Schlussbericht

Thema

Unkrautregulierung im Arznei- und Gewürzpflanzenanbau –

Leistungsvergleich verschiedener Techniken

Zuwendungsempfänger

Universität Bonn
Lehr- und Forschungsstationen
Campus Klein-Altendorf
53359 Rheinbach

Dipl.-Ing. agr. Karin Pietzsch*, Prof. Dr. Andreas Ulbrich**, PD Dr. Ralf Pude*
*Universität Bonn
**FH Osnabrück, Forschungszentrum Jülich

Projektpartner

Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum - Rheinpfalz (DLR)
Forschungszentrum Jülich (FZJ)

Projektförderung

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe, FKZ 22001704

Laufzeit des Vorhabens

15.09.2006 bis 31.12.2009

I Kurze Darstellung:

1. Aufgabenstellung

Die im Arzneimittelgesetzbuch vorgeschriebenen Qualitätskriterien und die hohen Anforderungen der pharmazeutischen Industrie an die Reinheit des Erntegutes stellen die Anbauer zunehmend vor Probleme. Davon sind sowohl Verunreinigungen auf chemischer (z. B. Pflanzenschutzmittelrückstände) als auch physikalischer (z. B. Pflanzenmaterial, Bodenpartikel) Herkunft von Bedeutung.

Um Verunreinigungen der Rohware durch Unkrautteile zu minimieren, sind die Arzneipflanzenanbauer auf eine effiziente sowie kostengünstige Unkrautbekämpfung angewiesen. Grundsätzlich lässt sich Unkraut chemisch, mechanisch und thermisch regulieren. Zwar ergeben sich bei der chemischen Unkrautbekämpfung bei optimalen Einsatzzeitpunkten oftmals gute Bekämpfungserfolge, aber aufgrund der immer restriktiveren Pflanzenschutzmittelgesetzgebung ist davon auszugehen, dass immer weniger Herbizide zur Verfügung stehen werden. Zudem setzt die pharmazeutische Industrie bei Tee, Gewürzen und Babyfood vermehrt auf Pflanzenschutzmittel-rückstandsfreie Drogenrohware, was durch die immer sensibler werdende Pflanzenschutzmittel-Rückstandsanalytik weitere Probleme für den Anbauer birgt.

Dies sind – neben allgemeinen Pflanzenschutzmittelschwierigkeiten wie Resistenz, Abdrift und Umweltbelastung – die Hauptprobleme bei der chemischen Unkrautregulierung im heimischen Arznei- und Gewürzpflanzenanbau. Aus diesen Gründen gewinnt die mechanische und thermische Unkrautbekämpfung immer mehr an Bedeutung, weil sie – im Falle zunehmender Herbizidprobleme – dem Landwirt eine Alternative bieten. Bisher ist der ökologische Anbau von Arznei- und Gewürzpflanzen auf 9% der Gesamtfläche Deutschlands angestiegen, was einer Verdopplung des Flächenumfangs seit 1995 entspricht (RÖHRICHT, 2005).

Jedoch muss sich eine alternative Unkrautbekämpfung, vergleichbar zum Herbizideinsatz, der grundsätzlichen Bedingung stellen, dass sie effektiv, nachhaltig, komfortabel und kostengünstig zu realisieren ist.

Der Arzneipflanzenanbauer hat vor diesem Hintergrund zu entscheiden, neben der Kulturart, das Kultursystem, den Kulturstandort und die Kulturdauer kompatibel zu den möglichen Strategien der Unkrautregulierung auszuwählen. Für den Arzneipflanzenanbauer, der mechanisch Unkraut reguliert, ist eine Anbaupräzisierung in Verbindung mit einer immer weiter fortschreitende Technisierung mit Ausrichtung auf die Arznei-Spezialkulturen wichtig; denn im Zuge von Qualitätssicherungssystemen, Cross Compliance und Zertifizierungen steigt auch der Bedarf an präziser und effektiver Unkrautregulierungstechnik. Diesem

Problem haben sich Forschung und Landmaschinenindustrie bereits gestellt und sich auch die Vorteile zunutze gemacht, die optisch gestützte Systeme bieten. Konsequenter Weise fordert RÖHRICHT (2005) auch für den Arznei- und Gewürzpflanzenanbau eine schnellere Entwicklung für den Einsatz von photo-optischen Prinzipien zur Erfassung und Regulierung von Beikräutern. Dies steht im Kontext zu den Bemühungen der Europäischen Union die Pflanzenschutzmittelaufwendungen zu reduzieren (OEBEL, 2006).
Um die Leistungen und Grenzen von verschiedenen Maßnahmen zur Unkrautregulierung im Arznei- und Gewürzpflanzenanbau zu prüfen, wurde dieses Projekt zur Unkrautregulierung von 2006 bis 2009 durchgeführt.

Zentrale Fragestellungen für die Unkrautregulierung in Arznei- und Gewürzpflanzenbeständen sind demnach, wie mechanische Unkrautregulierungsmaßnahmen in ihrer Leistung optimiert werden können und welche Potentiale modernste technische Entwicklungen im Bereich der optischen und mechanischen Gerätetechnik bei der mechanischen Unkrautbekämpfung bieten. Grundsätzlich ist zu klären, welchen Effekt einzelne mechanische Geräte auf Unkrautpflanzen haben. Aus Sicht der Ertragsbildung stellt sich die Frage, welchen Einfluss die Unkrautregulierungsmaßnahmen auf die Pflanzenentwicklung und Erntequalitäten haben.

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Durch die Veränderungen der Forschungsmöglichkeiten im Bereich Arznei- und Gewürzpflanzen wurde das ursprünglich umfassende Kulturspektrum dieses Projektes auf die drei Leitkulturen Echte Kamille (*Chamomilla recutita*), Baldrian (*Valeriana officinalis*) und Zitronenmelisse (*Melissa officinalis*) eingegrenzt.
Somit wurde das Unkrautregulierungsprojekt mit den Modellarzneipflanzen für Blüten-, Blatt- und Wurzeldrogen als das erste Projekt in das „Demonstrationsvorhaben zur züchterischen und anbautechnologischen Verbesserung der Produktion von Kamille, Baldrian und Melisse (KAMEL)“ integriert, in dem anschließend vor- und nachgelagerte Forschungsziele durchgeführt werden.
Durch diese Kulturanpassung folgten eine pflanzenbauliche und technische Modifikation des Arbeitsplans und eine neue Gewichtung der Schwerpunkte mit Fokussierung auf die Unkrautregulierung im Nachauflauf durch mechanische Unkrautregulierung zwischen und in der Kulturpflanzenreihe. Die Ziele der ursprünglichen Projektskizze blieben weitestgehend erhalten.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Versuche wurden an drei Lehr und Forschungsstationen der Universität Bonn durchgeführt, um unterschiedliche Ausgangssituationen durch die Standortfaktoren erreichen zu können. Die Kulturen wurden durch Saat oder Pflanzung an allen drei Standorten (2009 stand der Standort Marhof nicht mehr zur Verfügung) etabliert und über ein Jahr (Baldrian, Echte Kamille) und zwei Jahre (Zitronenmelisse) kultiviert. Die Unkrautregulierung erfolgte durch sechs bzw. acht Varianten, wobei der Schwerpunkt auf der mechanischen Unkrautregulierung lag. Die Datenerfassung erfolgte neben herkömmlichen Methoden auch durch Bildgebende Verfahren.

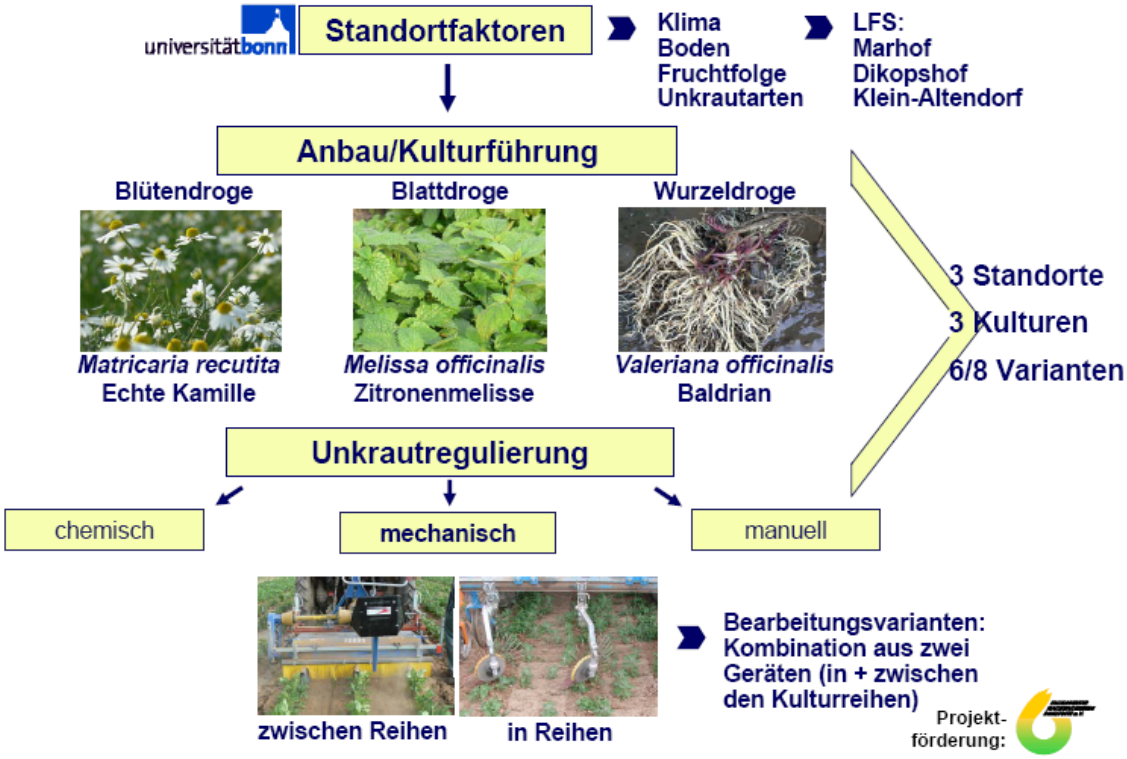


Abb. 3.1: Durchführung der Unkrautregulierungsversuche in den Arzneipflanzenkulturen an drei Standorten

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden

Für die Durchführung der Versuche wurden Geräte und Maschinen verwendet, die in gartenbaulichen bzw. landwirtschaftlichen Kulturen zu finden sind. Dabei wurden bewährte wie auch moderne Hackgeräte in das Projekt integriert. Die Auswertung der Daten, die mit bildgebenden Verfahren gewonnen wurden, erfolgte durch spezielle Software.

Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste

Die Literaturrecherche wurde mit Hilfe der Bibliothek der Universität Bonn und Online-Datenbanken durchgeführt:

4.1. Arznei- und Gewürzpflanzen

Phytopharmaka erfreuen sich als wirksame und weitgehend nebenwirkungsarme Arzneimittel in der Bevölkerung wachsender Beliebtheit. Sie werden vor allem im Rahmen der Selbstmedikation als rezeptfreie Arzneimittel zur Gesunderhaltung und zu Vorbeugungszwecken eingesetzt. Im Jahr 1999 wurden allein in deutschen Apotheken insgesamt 7,45 Mrd. € für rezeptfreie Arzneimittel ausgegeben, davon hatten Phytopharmaka einen Anteil von 28% (MARQUARD und KROTH, 2001).

Für den Anbau von Arzneipflanzen, aber auch für die Herstellung bzw. Inhaltsstoffe von Arzneimittel gelten Richtlinien und Vorschriften, die berücksichtigt und eingehalten werden müssen. So dürfen Phytopharmaka erst vermarktet werden, wenn sie die Anforderungen des Deutschen und Europäischen Arzneibuches erfüllen und ihre Qualität und Wirksamkeit beim Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM) nachgewiesen wurde. Durch den kultivierten Anbau von Arzneipflanzen bietet sich im Gegensatz zu der Möglichkeit von Wildsammlungen der Vorteil, dass die Inhaltsstoffspektren dieser pflanzlichen Rohstoffe in qualitativer und quantitativer Hinsicht recht konstant und dadurch reproduzierbar werden.

Im heimischen Arzneipflanzenanbau treten grundsätzlich die gleichen Probleme zwischen Kulturart und Unkräutern auf, wie in jedem anderen Kulturpflanzensystem auch. Im breiten Kulturartenspektrum der Arznei- und Gewürzpflanzen kann allerdings bezüglich der Unkrautregulierung - im Gegensatz zu anderen pflanzenbaulichen Kulturen – häufig nicht nach dem Schadschwellenprinzip (WALTER, 1995) vorgegangen werden, damit die Verunreinigung durch Unkräuter in der Drogenrohware minimal ist. Durch Sicherheits- und Zulassungsvorschriften ist eine obere Grenze für fremdes organisches Material von 2% im Ausgangsmaterial und in fertigen Arzneimitteln festgelegt (VAN WYK ET AL., 2004). Daraus folgt, dass während der gesamten Anbaudauer neben den technischen Maßnahmen auch ein höherer Handhackbedarf erforderlich ist.

Im Hinblick auf die zunehmend verhalteneren Einsätze von Herbiziden, mit dem Ziel der Verringerung der Rückstandsproblematik im Erntegut, wird speziell im Gewürzpflanzenanbau immer häufiger der Weg einer mechanischen Unkrautregulierung gewählt. Da Arzneipflanzenkulturen hauptsächlich in Reihen angebaut werden, besteht hier, neben speziell angefertigten Maschinen und Geräten, auch die Möglichkeit auf Geräte

zurückzugreifen, die im allgemeinen Acker- und Gemüsebau alltäglich Verwendung finden. Der Arzneipflanzenanbau findet in einem relativ kleinen Rahmen statt und ist durch die große Diversität an Pflanzenarten gekennzeichnet. Da nur selten speziell entwickelte Maschinen für Arznei- und Gewürzpflanzen zur Pflege, Ernte und Nachernteverfahren angefertigt werden, können Arzneipflanzenkulturen generell als arbeitsintensiv betrachtet werden (HTTP://INFOWIS.DE/KAPITEL/ANBAU.HTML, 6.02.09).

4.2. Unkrautregulierung

Die Unkrautbekämpfung ist so alt wie der Landbau. Seitdem Pflanzenbau betrieben wird, war der Mensch gezwungen, auf den Feldern das Unkraut als Konkurrenten für die angebauten Pflanzen zu beseitigen. Unkräuter können je nach Art und Stärke ihres Vorkommens den Ernteertrag erheblich herabsetzen (ZWERGER und AMMON 2002), weil sie der Kulturpflanze Nährstoffe, Wasser und Wuchsraum entziehen (KRUG ET AL., 2002). Problematisch ist, dass viele Unkräuter ein ausgeprägteres Wurzelsystem als die meisten Kulturpflanzen besitzen und durch ihr besseres Aneignungsvermögen für Nährstoffe und Wasser einen Mangel bei der Kulturpflanze hervorrufen können. Die Menge des Entzugs hängt allerdings von der Stärke und Art der Verunkrautung ab (BÖRNER, 1995).

Des Weiteren können Unkräuter Erntearbeiten erschweren, Krankheiten und Schädlinge übertragen und überdies noch giftig sein (WALTER, 1995). Auch die Qualität des Ernteguts kann negativ beeinträchtigt werden, z.B. wenn die Samen der Unkräuter die Ernte verunreinigen (WONNEBERGER und KELLER, 2004).

Unkräuter lassen sich nach verschiedenen Merkmalen klassifizieren. So unterscheiden sich in der Unkrautbiologie Monokotyledone und Dikotyledone. Bezüglich der Vermehrungsstrategie werden Unkräuter in Samen- und Wurzelunkräuter (Speicherorgane) eingeteilt (WALTER, 1995). Weiter erfolgt eine Differenzierung nach Keimzeitpunkten und der Lebensdauer (ESTLER, 1993; BÖRNER, 1995; KRUG ET AL., 2002): Keimen einjährige (annuelle) Unkräuter im Frühjahr/Frühsommer werden sie Sommerannuelle genannt, dagegen etablieren sich beispielsweise im Wintergetreide überwinternde Herbstkeimer (Winterannuelle). In Sommergetreide und Blattfrüchten finden sich Frühjahrskeimer, während Sommerkeimer hauptsächlich in späten (Gemüse-) Kulturen auftreten. Es gibt auch Unkräuter, die ganzjährig keimen.

Für das Auftreten bzw. das Dichteaufkommen von Unkrautbeständen spielen Standortfaktoren wie Klima, Boden, Relieffaktoren und biotische Faktoren eine wesentliche Rolle. Langjährige Feldversuche haben ergeben, dass Unkräuter im Hinblick auf die Standortfaktoren häufig aggregiert oder nesterweise auf Ackerschlägen auftreten (ZWERGER und AMMON, 2002). Die Anpassung der Unkrautpopulationen an Standort- und biotische Faktoren haben den Begriff „Zeigerpflanzen“ geprägt (BÖRNER, 1995; KRUG ET AL., 2002).

Um das Unkraut in Kulturpflanzenbeständen zu reduzieren, gewinnen wegen der allgemeinen Pflanzenschutzmittelproblematik zunehmend Verfahren zur gezielten Unkrautkontrolle ohne, oder nur mit geringem Herbizidaufwand an Bedeutung (KLOEPFER, 1995). Dies ist auch Zielsetzung des Integrierten Pflanzenschutzes. Die Anwendung chemischer Pflanzenschutzmaßnahmen sollen hier durch Kombinationen biologischer, pflanzenzüchterischer, sowie anbau- und kulturtechnischer Maßnahmen auf das notwendige Maß beschränkt werden (BERTRAM, 1996). Zusätzlich stellt der Herbizideinsatz auch einen Kostenfaktor dar (AULER, 1998; KLOEPFER, 1995).

Neben diesen Problemen durch den Einsatz von Herbiziden kann auch die Kulturpflanze selbst in ihrer Entwicklung und Wachstumsdynamik trotz Einhaltung der guten fachlichen Praxis beeinträchtigt werden. Nach Herbizidanwendung kann die Kultur mit Verfärbung, Wuchsdepression oder mit verzögertem Auflaufen reagieren.

Durch den Verzicht auf Herbizide wird ein optimaler Einsatz von mechanischen, aber auch kulturtechnischen Maßnahmen vorausgesetzt (HOFFMANN und GEIER, 1989). Die mechanische Unkrautregulierung ist grundsätzlich auf die Bodenbedingungen, die Kulturart und die jeweilige Verunkrautungssituation abzustimmen (ZWERGER und AMMON, 2002). Dabei ist die Identifizierung der vorkommenden Unkrautarten (möglichst im Keimblattstadium) ein wichtiger Schritt bei der Planung von Unkrautregulierungsmaßnahmen, denn die einzelnen Arten reagieren auf die Verfahren unterschiedlich (ESTLER, 1993; BÖRNER, 1995).

Die Landmaschinenindustrie bietet unterschiedliche, größtenteils praxiserprobte Gerätelösungen an (SCHÖN ET AL., 1992). Dabei ist das Geräteangebot sehr umfangreich und vielseitig: Es existieren gezogene wie auch zapfwellenbetriebene Geräte, die spezielle Beetbereiche oder die gesamte Fläche bearbeiten können.

Je nach Art der Geräte werden die Unkräuter durch Verschütten, (ober- oder unterirdisches) Abschneiden oder Herausreißen/Entwurzeln geschädigt. Die Wirkung und der Erfolg hängen dabei von Faktoren wie Bodenfeuchtigkeit, Sättigungsdefizit der Luft und Niederschlägen nach der Regulierungsmaßnahme ab (KRUG ET AL., 2002; SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, 2002).

Zusätzlich zu mechanischen Unkrautregulierungsmaßnahmen finden auch thermische Verfahren vermehrt Anwendung (ZWERGER und AMMON, 2002).

Grundsätzlich gilt: je kleiner das Unkraut, desto besser wird die Wirkung der mechanischen Unkrautregulierungsmaßnahme, da Unkräuter im Keimblattstadium wesentlich empfindlicher auf mechanische (aber auch chemische oder thermische) Beschädigung reagieren als beispielsweise im 2- bis 4-Blattstadium (LICHTENHAHN ET AL., 2002). Gleichzeitig setzen alle bekannten mechanischen Geräte einen Wachstumsvorsprung der Kulturpflanze voraus (SCHÖN ET AL., 1992) und es ist wichtig, dass die Wurzeln der Kulturpflanzen möglichst nicht

beschädigt oder freigelegt werden (KLOEPFER, 1995). Vorteilhaft ist es zudem, wenn sich der Kulturpflanzenbestand mit Vorsprung vor den Unkräutern etablieren kann, womit die Konkurrenzkraft der Kultur steigt (ZWERGER und AMMON, 2002).

Aus verfahrenstechnischer Sicht setzt die mechanische und thermische Unkrautregulierung Ziele, wie eine hohe Schlagkraft, eine Eignung für möglichst viele Einsatzbereiche, einen sicheren Regulierungserfolg auch bei unterschiedlichen Unkrautpopulationen und eine termingerechte Arbeitserledigung voraus (KLOEPFER, 1995). Ein geringer Reihenabstand, empfindliche Kulturarten und das möglichst nahe Arbeiten an der Kulturpflanze, führen allerdings zu geringen Arbeitsgeschwindigkeiten und zu einer erheblichen Erschwernis der Geräteführung (KLOEPFER, 1995).

Dagegen sind positive Nebeneffekte der mechanischen Unkrautregulierung die Mineralisierung von organisch gebundenem Stickstoff im Boden (LICHTENHAHN ET AL., 2002), ein verbesserter Gasaustausch der oberen Bodenschicht und eine Verminderung von Verkrustungen und Verschlämmungen der Bodenoberfläche (SCHÖN ET AL., 1992; WALTER, 1995).

Im Allgemeinen sind für eine Bewertung von Unkrautregulierungsmaßnahmen der damit verbundene Aufwand für Investitionen, Wirkstoffe, Energie und Arbeitskraft, sowie mögliche Nebenwirkungen und der Bekämpfungserfolg zu berücksichtigen (KRUG ET AL., 2002). Ein weiteres wichtiges Kriterium für die Wirksamkeit einer mechanischen Unkrautregulierungsmaßnahme bei herbizidfreien Anbauverfahren ist der Handarbeitszeitbedarf für die Beseitigung verbliebener Unkräuter (KOLBE UND PETZOLD, 2002).

4.3. Bildgebende Verfahren in der Landwirtschaft

Eine wissensbasierte Unkrautbekämpfung erfordert eine präzise Beurteilung der Unkrautpopulationen und des Entwicklungsstadiums der Unkraut- und Kulturbestände – insbesondere im Arznei- und Gewürzpflanzenanbau.

Um die Effektivität der Unkrautregulierungsmaßnahmen und die Auswirkungen auf die Kulturpflanze fundiert bewerten zu können, sind umfangreiche Datenerhebungen an wiederkehrenden Messpunkten wichtig. So kann der Unkrautregulierungserfolg und die Kulturschädigung ermittelt werden. Standard für die Kultur- und Unkrautpflanzenerfassung ist die subjektive Vorgehensweise mittels Zählrahmen, in dem sich die einzelnen Unkraut- und Kulturpflanzen auszählen und deren Deckungsgrade abschätzen lassen.

Durch manuelle/visuelle Bonituren im Sinne einer Rasterkartierung von Unkräutern ist die Variabilität von Unkrautarten und deren Abundanz auf einem Schlag zu erfassen und zu kartieren. Insbesondere bei einem Abstand der Messpunkte von nur wenigen Metern ist der Zeitaufwand für die Erstellung von Unkrautkarten aus betriebswirtschaftlichen

Gesichtspunkten zu hoch (SCHWARZ UND WARTENBERG, 1999). Manuelle Bonituren sind deshalb nur stichprobenartig im Schlag einzusetzen. Das hat zur Folge, dass Feldheterogenitäten und Unkrautnester in der Regel nur unzureichend erfasst werden können (TIMMERMANN, 2001; ZWERGER UND AMMON, 2002; KROHMANN, 2003; DICKE, 2005; OEBEL, 2006). Die Kenntnisse über die auf einer Fläche vorkommenden Unkrautarten, deren räumliche und zeitliche Dynamik, deren Lebenszyklus und Interaktion mit der Kulturpflanze sind aber wichtige Voraussetzungen für gezielte Unkrautmanagementstrategien.

Im Hinblick auf die Bemühungen der Europäischen Union die Pflanzenschutzmittel-aufwendungen zu reduzieren, werden heute vermehrt digitale Bildanalyseverfahren als fester Bestandteil der industriellen Produktfertigung und –kontrolle verwendet (OEBEL, 2006). In der Literatur wird dies als Precision Farming oder Precision Agriculture bezeichnet. Precision Farming ist ein Sammelbegriff für Produktions- und Managementtechniken in der Landwirtschaft, die Daten über einen Standort und Pflanzenbestand nutzen (WWW.KRESS-LANDTECHNIK.DE 18.05.09). Durch diese Technik besteht die Möglichkeit, die räumliche Verteilung der Pflanzen und vor allem von Unkraut auf einem Schlag zu erfassen. Da Unkräuter auf einer Fläche meist nester- oder streifenartig auftreten, kann die Heterogenität des Unkrautaufwuchses digital erkannt, bewertet und in weiterführende Entscheidungsprozesse einbezogen werden (BORNIMER AGRARTECHNISCHE BERICHTE, 2007). So können z.B. ackerbauliche Maßnahmen und Betriebsmittel, wie Pflanzenschutzmittel, bedarfsgerecht eingesetzt und Erträge gesteigert werden.

Bisher wurde die Konkurrenz zwischen Unkräutern und den Kulturpflanzen anhand der Individuenzahl pro Quadratmeter für einzelne Unkrautgruppen bestimmt. Mit Hilfe digitaler Bildanalysen lässt sich das Unkraut- und Kulturwachstum genauer und objektiver erfassen und somit die Konkurrenzkraft der Unkrautvegetation auf den Kulturpflanzenertrag besser ermitteln. Parallel zu einer Bestimmung von Unkrautarten und deren Verteilung auf dem Feld können in jedem Teilstück, wenn erwünscht, auch die Bodenart, Nährstoffversorgung, Bodenfeuchtigkeit, Mächtigkeit des Bodenprofils, der pH-Wert und die im Boden befindlichen lebensfähigen Unkrautsamen bestimmt werden (KLOEPFER, 1995).

Mit Hilfe von Precision Farming können so genannte Rasterkartierungen über die Variabilität von Unkrautarten durchgeführt, somit deren Abundanz auf dem Schlag erfasst und, wenn erforderlich, Unkrautverteilungskarten erstellt werden. Folglich kann eine Berechnung des Deckungsgrades zu einer Bekämpfungsentscheidung beitragen (OEBEL, 2006). So können neben der Tatsache, dass Unkräuter in ihrem Auftreten bewertet werden, Herbizide nur noch an den notwendigen Stellen eines Schlages ausgebracht und dadurch der Naturhaushalt weniger stark belastet werden (BORNIMER AGRARTECHNISCHE BERICHTE, 2007), bzw. die Entscheidung auf eine mechanische Unkrautregulierung fallen. Die bisherige Vorgehensweise einer Ganzflächenapplikation von Herbiziden ist in vielen Fällen ökologisch

und ökonomisch als nachteilig zu bewerten. Ziel sollte es daher sein, Unkrautbekämpfungsmaßnahmen teilflächenspezifisch durchzuführen.

Untersuchungen haben ergeben, dass das Teilschlagkonzept aus wissenschaftlicher Sicht einen Beitrag zur Umweltentlastung leistet, ohne dass Ertragseinbußen zu erwarten sind. Allerdings werden bei der Umsetzung des Konzeptes ein fundiertes Fachwissen, die Bereitschaft zusätzliche Zeit aufzuwenden und das Investieren in zusätzliche Technik vom Landwirt erfordert (ZWERGER und AMMON, 2002).

Aber auch im kleinflächigeren Anbau kommen bildgebende Verfahren zum Einsatz. Es sind bereits sensorgesteuerte Hackmaschinen auf dem Markt, die Pflanzenreihen erkennen und durch computergestützte Berechnungen das Hackgerät wesentlich präziser in der Kulturpflanzenreihe führen können. So wird viel dichter an die Pflanzenreihe herangearbeitet. Auch innerhalb der Reihe können durch Kameras/Sensoren Kulturpflanzen erkannt, in Folge Zwischenräume berechnet und mit schnellen Reaktionen ausgeführte Hackbewegungen realisiert werden (RUCKELSHAUSEN ET AL., 2004).

An der Unkrauterkennung über Blattformen wird ebenso geforscht. Die mit einer bispektralen Kamera aufgenommenen Pflanzen werden hierbei mit zuvor gespeicherten Musterpflanzen aus einer „Wissensbasis“ abgleichen. Als Erkennungsmerkmal der Unkräuter werden Form, Größe sowie beschreibende Parameter der äußeren Kontur verwendet (GERHARDS ET AL., 1998; SÖKEFELD ET AL., 2000; DICKE, 2005; WEIS ET AL., 2008). Zusätzlich bietet das GPS Verbesserungen in der Präzision, sodass der Bereich Precision Farming und teilschlagspezifische, bedarfsgerechte Anwendungen immer weiter forciert werden.

In diesem Projekt wird der Vorteil der bildgebenden Verfahren nicht durch die teilflächenspezifische Anwendung aufgegriffen, sondern neue Bild- und Bearbeitungstechniken für die Untersuchungsgenauigkeit integriert.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Wie beantragt, wurde ein Unterauftrag mit dem Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum – Rheinpfalz erstellt; Ansprechpartner für arzneipflanzenspezifische Aufgaben war Frau Dehe. Nachträglich erfolgte durch Bemühungen von Herrn Prof. Ulbrich die Integration des Forschungszentrums Jülich in Form eines weiteren Unterauftrags in das Vorhaben, welches die Bildgebenden Verfahren präzisierte.

Das Projektvorhaben soll zum einen für den Anbauer von Arznei- und Gewürzpflanzen essenzielle Aussagen zur mechanischen Unkrautregulierung generieren und zum anderen, ist für potenzielle Verwerter eine hochqualitative Drogenrohware von Bedeutung. Daher war es sinnvoll zum Projektstart mit Vertretern beider Seiten in intensiven Kontakt zu treten.

Zunächst wurden die über die Forschungsvereinigung der Arzneimittelhersteller (FAH Sinzig) ermittelten unterstützenden Firmen besucht und das Projekt besprochen: Firma Kneipp, Firma Martin Bauer und die Erzeugergemeinschaft agrimed. Neben den produzierenden Mitgliedern der Erzeugergemeinschaft agrimed wurden zusätzliche Betriebe besichtigt und befragt, die konventionell oder biologisch Arznei- und Gewürzpflanzen anbauen.

Aus den Besprechungen ging hervor, dass die Rohwarenqualität insbesondere im Hinblick auf die Pflanzenschutzmittel-Rückstände (in diesem Fall Herbizide) von immer größerer Bedeutung werden.
Ausgehend von weiteren direkten persönlichen Kontakten, die dazu dienten Erwartungen der Wissenschaftler, Produzenten und Vertretern der verarbeitenden Industrie zusammen zu tragen, erfolgte aufgrund des Erkenntnisgewinnes eine Modifizierung und Konkretisierung des Unkrautregulierungsprojekts.
Auf zahlreichen Tagungen, Meetings und Seminaren konnten folgende Gesprächspartner für dieses Projektvorhaben gewonnen werden konnten:

Im Bereich Arznei- und Gewürzpflanzen:
- Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum – DLR Rheinpfalz
- Institut für Pflanzenbau, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
- Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt
- Firma Kneipp
- Firma Martin Bauer
- Erzeugergemeinschaft agrimed

Im Bereich Technik:
- Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt
- Institut für Landtechnik, TUM Weihenstephan, Fachgebiet Technik im Gartenbau
- Lehr- und Versuchsbetrieb Queckbrunnerhof, DLR Neustadt
- Institut für Phytomedizin, Fachgebiet Herbologie, Universität Hohenheim
- Institut für Landtechnik, Universität Bonn
- KTBL

Durch die Anregungen der genannten Gesprächspartner sowie Literaturrecherchen und Erfahrungen aus einem Vorversuch konnten im Bereich des Anbaues und der Gerätetechnik konkrete Verbesserungen in das Vorhaben integriert werden.

II Eingehende Darstellung:

6. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Gegenstand des Vorhabens war die vergleichende Prüfung und Beurteilung effizienter Verfahren der mechanischen Unkrautregulierung im Arznei- und Gewürzpflanzenanbau. Die Kombination von Unkrautregulierung in und zwischen den Kulturpflanzenreihen bildete den Schwerpunkt. Zu den Vorhabenszielen gehörte der Leistungsvergleichen verschiedener Hacktechniken, um den produzierenden Betrieben praxistaugliche Entscheidungshilfen anbieten zu können. Die geprüften Systeme wurden an Beispielkulturen auf ihre Praxisrelevanz und Nachhaltigkeit beurteilt.

6.1. Modellhafte Klassifizierung der Wirkungsweise von Geräten für die mechanische Unkrautregulierung

Mechanische Hackgeräte regulieren das Unkraut durch verschiedenste Prinzipien und in unterschiedlichen Beetbereichen. Die bearbeitete Fläche lässt sich charakteristisch durch Hackbereiche einteilen: flächenspezifisch (zwischen den Kulturreihen, innerhalb der Kulturreihe) und flächenunspezifisch (über die gesamte Fläche).
Um die grundsätzliche Wirkungsweise von Unkrautregulierungsgeräten spezifisch aufzuzeigen, erfolgte 2008 eine Versuchsanlage am Standort Marhof in Form eines Modellversuchs. Hierfür wurde als Modellunkraut Gelbsenf (*Sinapsis alba* `Ultra`, 250 kg/ha) von Hand ausgesät, um den Unkrautcharakter, nämlich die heterogene Verteilung auf der Fläche, zu imitieren. Anschließend wurde mit verschiedenen Geräten das Modellunkraut Senf reguliert (Abb. 6.1.1).
Die Datenerfassung erfolgte über eine destruktive Entnahme des Restunkrautes aufgeteilt in sieben Bereiche des Kulturreihenzwischenraums sowie über hochwertige digitale Aufnahmen mit Hilfe eines neuartigen Stereo-Kamerasystems (BISKUP ET AL., 2007), aus denen mit dem Computerprogramm *Stereotool* verschiedene Strukturparameter (Deckungsgrad, Bestandesvolumen) ermittelt wurden.

Abb. 6.1.1.: Anlage des eines Modellversuchs mit Gelbsenf zur Erfassung der Wirkprinzipien von Geräten für die mechanische Unkrautbekämpfung. (dreifache Wiederholung, randomisiert)

6.1.1. Unkrautregulierung über die Gesamtfläche

Zu den flächenunspezifischen Geräten zählten in diesem Modellversuch der Striegel und das Abflammgerät, deren Arbeitsweisen auf gegensätzlichen Prinzipien beruhen.

Bei dem Vergleich der Geräte anhand von Daten durch die Unkrautpflanzenentnahme wurde deutlich, dass beide Geräte die Unkrautpflanzenanzahl über den gesamten Kulturraum in den definierten Kulturraumabschnitten von je 5 cm (über 0 bis 30 cm) gegenüber der Kontrolle reduzierten (Abb. 6.1.2).

Der Striegel bearbeitete im Vergleich zu der Kontrollvariante die gesamte Fläche ungleichmäßig. Es blieben unabhängig von den Abschnitten im Mittel 1 bis 6 Pflanzen durch die Bearbeitung verschont. Das ganzflächig arbeitende Abflammgerät reduzierte die Unkrautpflanzenanzahl stärker, es konnte durchschnittlich in allen Abschnitten maximal nur eine Pflanze gefunden werden.

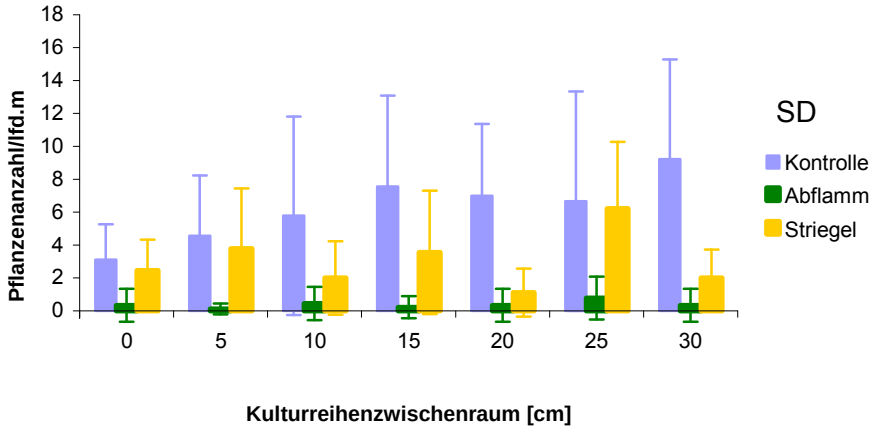
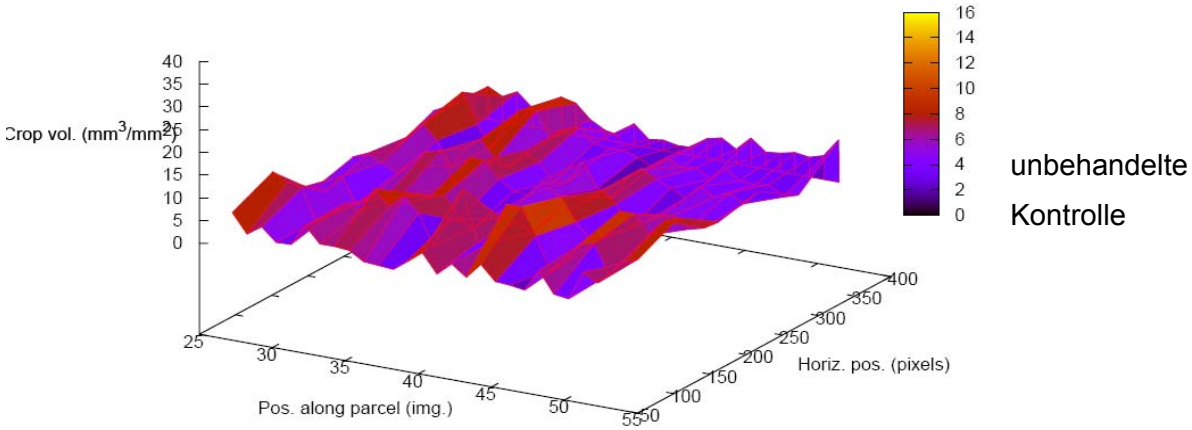


Abb. 6.1.2: Reduzierung der Unkrautpflanzenanzahl/lfd. Meter durch unspezifisch arbeitende Geräte (Abflammgerät, Striegel) im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle, über eine Breite von 0 bis 30 cm. Abschnitt 0 bis 5 cm = definierte Kulturreihe, Abschnitt 10 bis 30 cm = definierter Kulturreihenzwischenraum. Mittelwerte aus 3*3 Wdh., SD = Standardabweichung

Die Ergebnisse aus der flächenbezogenen Entnahme der Unkrautpflanzen nach einer Unkrautregulierungsmaßnahme werden durch die digital erhobenen Daten - die einen großen Teil der Parzelle abbilden - deutlicher.

Als dreidimensionale Graphiken wird die Biomasse bzw. das Bestandesvolumen der Restverunkrautung nach Anwendung des Abflammgerätes und des Striegels im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle dargestellt.

Abb. 6.1.3 zeigt das Bestandsvolumen (Crop vol.) in mm³/mm² über die Parzellenlänge (position along parcel) und -breite (Horiz. pos. pixels) der unbehandelten Kontrolle. Im Vergleich dazu ist fast kein Bestandesvolumen nach dem Abflammen der Parzellen zu erkennen. Durch diese Regulierungsmaßnahme wurde der Aufwuchs flächig reduziert. Es wurden nur noch Volumina von 0,1 mm³/mm² erkennbar. Daraus wird aber auch ersichtlich, dass diese thermische Unkrautregulierungsmaßnahme nur in den Fällen eingesetzt werden kann, bei der keine übermäßige Kulturschädigung zu erwarten ist. Dies ist somit im Vorauflauf möglich, evtl. auch im Voraustrieb bei überwinternden Kulturen.



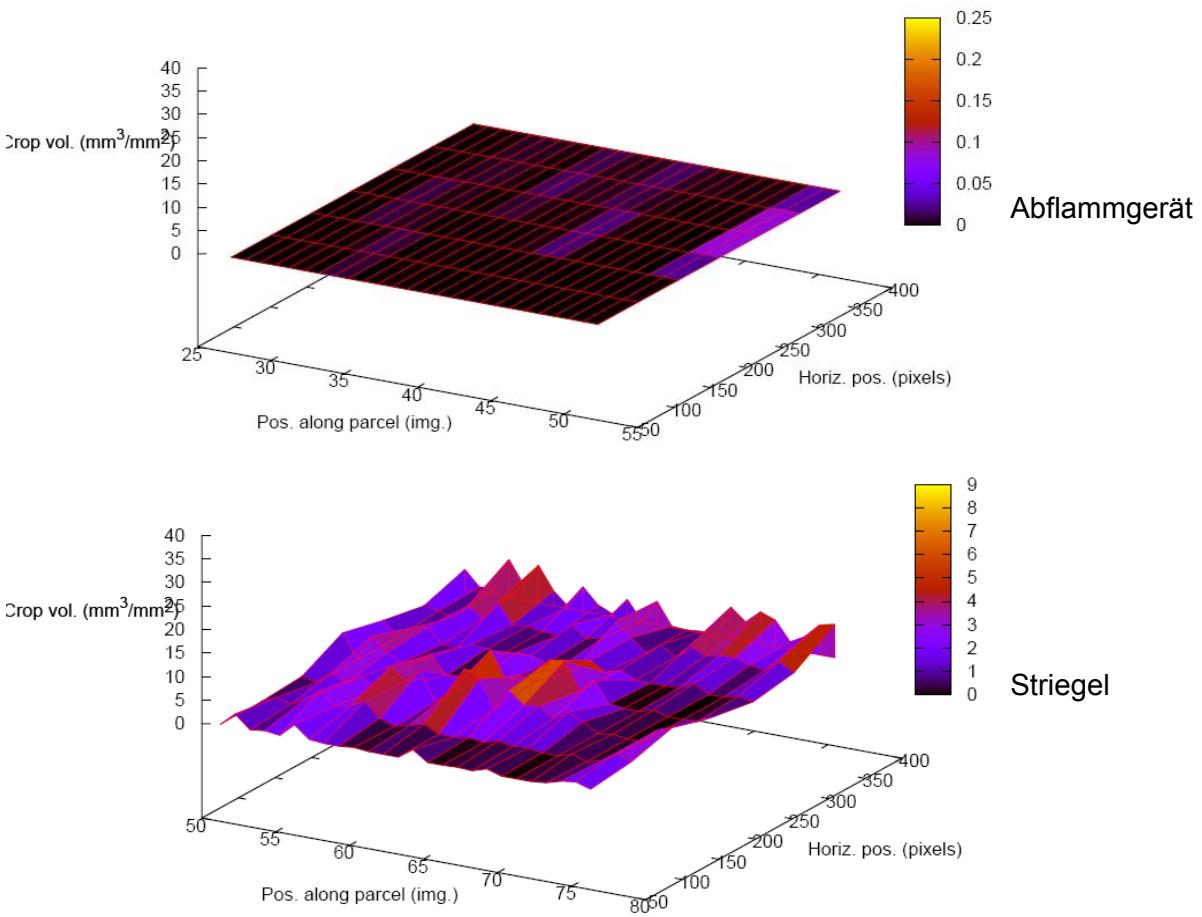


Abb. 6.1.3: Pflanzenwachstum von Unkrautpflanzen nach Einsatz unspezifisch arbeitender Geräte im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle anhand des dreidimensionalen Bestandesvolumens fünf Tage nach der Unkrautregulierungsmaßnahme. Erfasste Beetlänge (Pos. along parcel) = 6 m, Beetbreite (Horiz. pos.) = 0,4 m; Auswertung: Stereotool

Die absolute Wirkung des Abflammgerätes unterscheidet sich stark von der lediglich reduzierenden Wirkung des Striegels.

Die restlichen Unkrautpflanzen zeigten nach der Behandlung mit dem Striegel eine unspezifische Verteilung auf der gesamten Beetfläche. Das Volumen hatte im Gegensatz zur unbehandelten Kontrolle viele unkrautfreie Stellen und betrug maximal bis zu 7 mm³/mm². Zudem zeigt sich bei dem Vergleich zur Kontrolle, dass die Unkrautpflanzen, die nicht durch den Striegel entfernt wurden, eine Wuchsstörung anzeigten - ersichtlich aus dem geringeren Bestandesvolumen. Dieses lag im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle bei ungefähr der Hälfte.

6.1.2. Unkrautregulierung zwischen den Kulturreihen

Die Abbildung 6.1.4 vergleicht die Anzahl der erfassten Restverunkrautung in den definierten Kulturreihenzwischenräumen nach Bearbeitung des Inter-Reihenbereiches durch Gänsefußhacke, Winkelmesser und Reihenhackbürste gegenüber der unbehandelten

Kontrolle. Gänsefuß- und Bürstenhacke arbeiteten ab dem 10. Zentimeter neben der Kulturreihe (3. Abschnitt) sehr sauber und hinterließen nahezu keine Pflanzen mehr in den Reihenzwischenräumen bis zu dem 30. Zentimeter. Dagegen wurden in der Kontrollvariante in allen Abschnitten der Beetbreite zwischen 3 und 9 Pflanzen bonitiert.

Die Winkelmesser arbeiteten ebenfalls sehr gründlich in dem Bereich zwischen 10 und 20 Zentimetern. Im Gegensatz zu den beiden anderen Geräten (3-reihig) ergab das 5-reihig arbeitende Gerät schmalere Arbeitsbereiche. Demzufolge reduzierten die Winkelmesser die Pflanzenanzahl schon ab dem 2. Abschnitt. Ab dem 25. Zentimeter, also dem 6. Abschnitt stieg die Unkrautpflanzenanzahl wieder an, was der Arbeitsbreite des Winkelmessers entspricht.

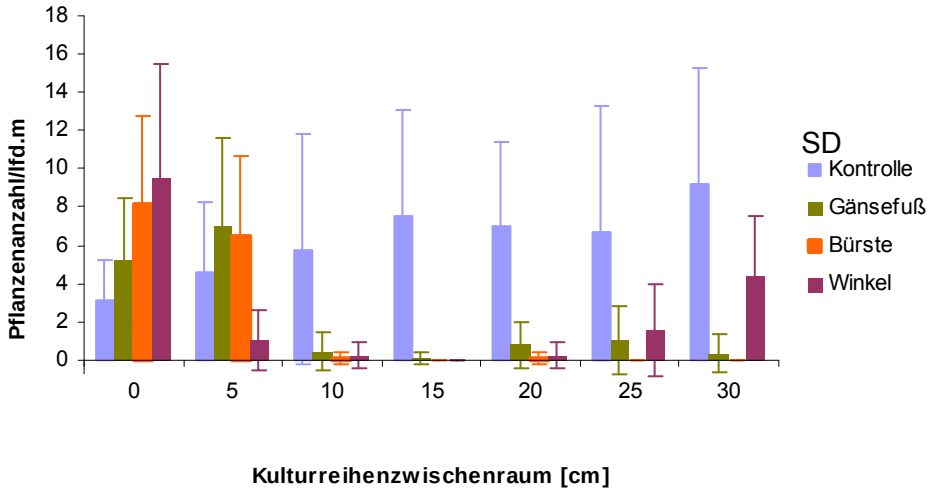


Abb. 6.1.4: Reduzierung der Unkrautpflanzenanzahl/lfd. Meter durch Geräte, die zwischen den Kulturreihen arbeiten im Vergleich zur Kontrolle. Abschnitt 0 bis 5 cm = definierte Kulturreihe, Abschnitt 10 bis 30 cm = definierter Kulturreihenzwischenraum. Mittelwerte aus 3*3 Wdh., SD = Standardabweichung
Gänsefußhacke: Arbeitsbreite 46 cm, Kulturreihenbreite 14 cm; Bürstenhacke: Arbeitsbreite 48 cm, Kulturreihenbreite 12 cm; Winkelmesser: Arbeitsbreite 25,5 cm, Kulturreihenbreite 10,5 cm

Mit der nicht invasiven, großflächigeren digitalen Analyse werden die manuell erhobenen destruktiven Ergebnisse verdeutlicht. Abb. 6.1.5 gibt das Bestandsvolumen in der Variante der Gänsefußhacke nach der Unkrautregulierungsmaßnahme wieder. Der vordere Bildbereich entspricht dem Reihenzwischenraum, in dem mit der digitalen Methode ebenfalls keine Unkrautpflanzen gefunden werden konnten. Erst im 3. Bereich der horizontalen Position, zu erkennen durch die Längslinien, ging der bearbeitete Bereich in den unbearbeiteten Bereich über und es waren bereits wenige Pflanzen vorhanden.

Das Volumen des Restpflanzenbestandes lag bei etwa 5 bis 10 mm³/mm². Das Winkelmesser, das sich aufgrund der Form der Messer durch einen klar abgegrenzten Hackbereich auszeichnet und sich dadurch von dem Gänsefußschar unterscheidet, zeigt

auch bei den dreidimensionalen Bildern diesen Effekt. Die Unkraut unterschneidende Wirkung der Winkelmesser hinterließ im vorderen Bildbereich (= zwischen Reihen) über eine Breite von drei Abschnitten keine Unkräuter. Im ungehackten Bereich (= in Reihe) war ein Volumen der restlichen Pflanzen von bis zu 12 mm³/mm² festzustellen.

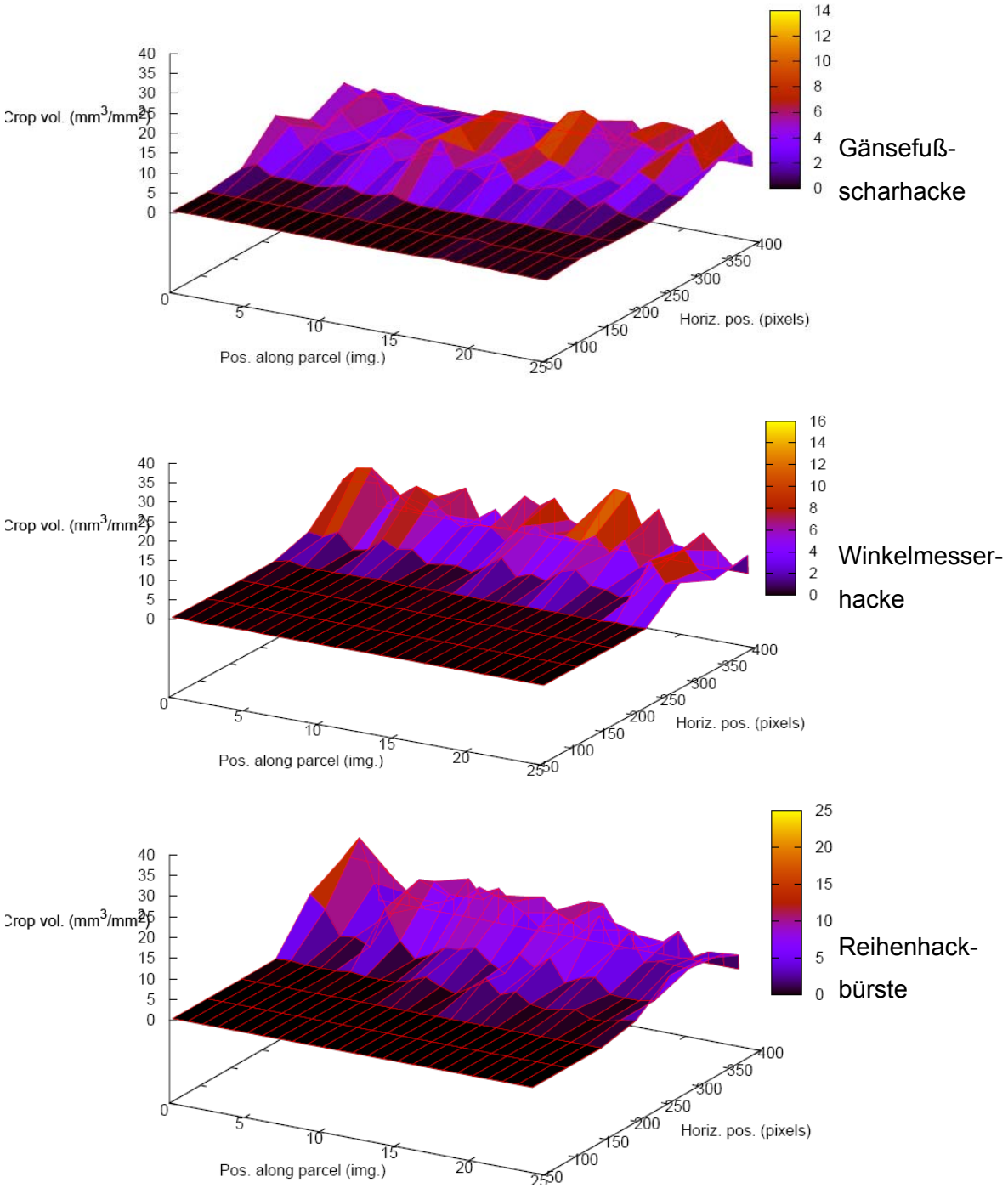


Abb. 6.1.5: Pflanzenwachstum von Unkrautpflanzen nach Einsatz der Hackgeräte, die zwischen den Kulturreihen arbeiten anhand des dreidimensionalen Bestandesvolumens fünf Tage nach der Unkrautregulierungsmaßnahme. Erfasste Beetlänge (Pos. along parcel) = 6 m, Beetbreite (Horiz. pos.) = 0,4 m; Auswertung: Stereotool

Die Behandlung der Beetfläche mit der Reihenhackbürste bewirkte ebenfalls, dass die Unkrautpflanzen im vorderen Bildbereich – sogar mit einer Breite von vier Abschnitten -

eliminiert wurden. Im hinteren ungehackten Bildbereich zeigten die durch den Schutztunnel unversehrten Unkrautpflanzen ein Volumen 10 bis 18 mm³/mm².

6.1.3. Unkrautregulierung innerhalb der Kulturreihe

In Abbildung 6.1.6 ist die destruktiv ermittelte Pflanzenanzahl auf einem laufenden Meter in Abhängigkeit der Kulturreihenzwischenräume für die Geräte dargestellt, die innerhalb der Kulturreihe arbeiteten, im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle.

Der Unkrautregulierungserfolg der Annaburger Unihacke (Rollstriegel) wurde nur bei 0 cm sichtbar. Hier waren durchschnittlich immer noch ca. 2 Pflanzen durch das Hacken verschont geblieben. In dem nachfolgenden Bereich wurden noch ca. 4 Pflanzen gefunden, somit konnte keine Regulierung des Unkrautes in den restlichen Räumen festgestellt werden. Die mittlere Anzahl der bonitierten Unkrautpflanzen in diesen Kulturreihenzwischenräumen betrug zwischen 7 bis 11 Pflanzen je laufenden Meter und lag damit durch die heterogene Verteilung der Unkrautpflanzen über der Kontrollvariante mit 3 bis 9 Pflanzen.

Die Fingerhacke regulierte das Unkraut innerhalb der Kulturreihen bis zum 10. cm, entsprechend deren Arbeitsbreite. So konnte hier durchschnittlich maximal eine Pflanze gefunden werden. Im vierten Bereich (15 cm), der gerade außerhalb der Kulturreihe lag, waren nur 2 Pflanzen vorhanden. In den restlichen Räumen waren 6 bis 7 Pflanzen zu finden, vergleichbar mit der unbehandelten Kontrolle.

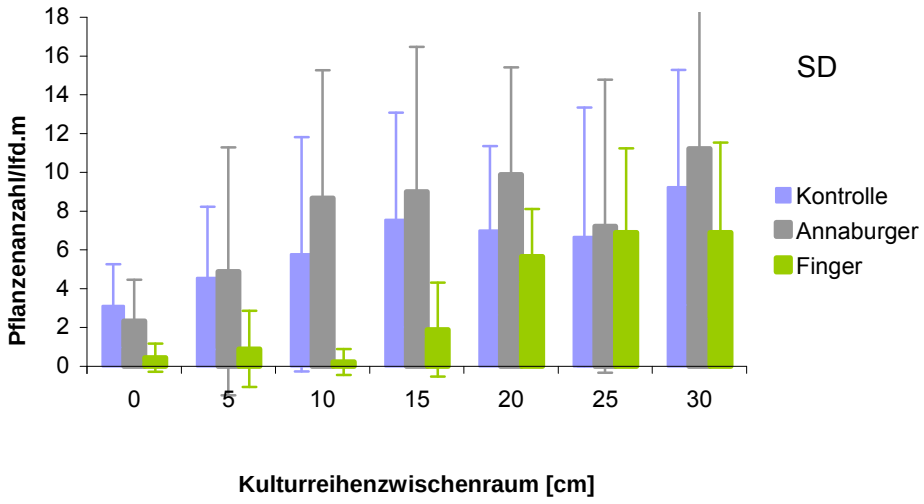


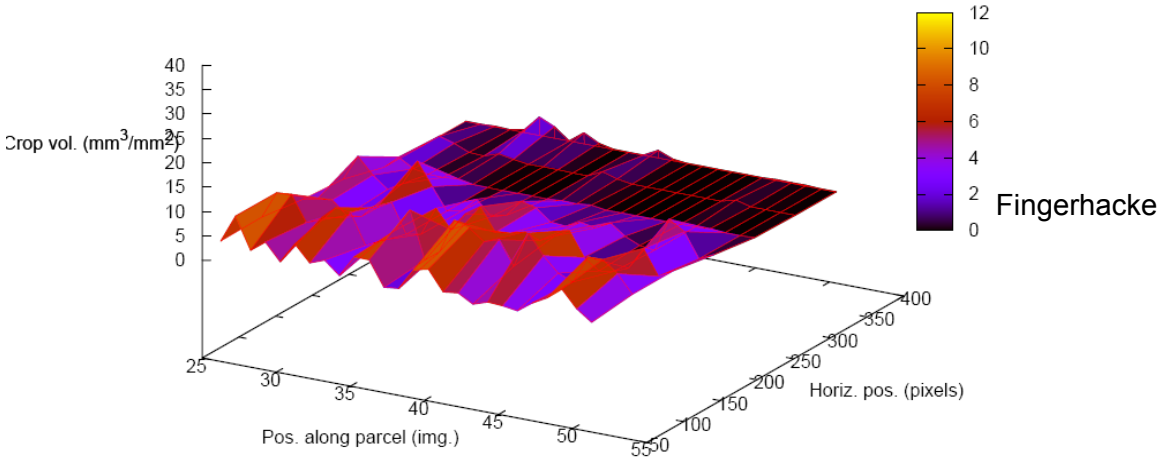
Abb. 6.1.6: Reduzierung der Unkrautpflanzenanzahl/lfd. Meter durch Geräte, die in der Kulturreihe arbeiten im Vergleich zur Kontrolle. Abschnitt 0 bis 5 cm = definierte Kulturreihe, Abschnitt 10 bis 30 cm = definierter Kulturreihenzwischenraum. Mittelwerte aus 3*3 Wdh., SD = Standardabweichung
Annaburger Unihacke: Arbeitsbreite 10 cm, Reihenzwischenräume 50 cm; Fingerhacke: Arbeitsbreite 17 cm, Reihenzwischenräume 43 cm

Um die Bestandsvolumen-Daten bildlich veranschaulichen zu können, wurden auch für den Beetbereich „in der Reihe“ dreidimensionale Graphiken erstellt. Entgegen der Geräte, die zwischen den Kulturreihen hacken und im vorderen Bildbereich die Unkrautpflanzen beseitigten, ist bei den Geräten, die in der Kulturreihe hacken, im hinteren Bildbereich das Unkraut reduziert worden.

Im Gegensatz zu den Varianten Gänsefußhacke, Winkelmesser und Reihenhackbürste war deutlich zu erkennen, dass Fingerhacke und Unihacke (Rollstriegel) genau den entgegen gesetzten Beetbereich beeinflussten.

In Abb. 6.1.7 wird das Bestandsvolumen nach der Behandlung durch die Fingerhacke und Unihacke (Rollstriegel) gezeigt. Während das Bestandesvolumen der Variante Fingerhacke in den vorderen drei Bereichen bei ca. 10 mm³/mm² lag, war ab dem vierten Abschnitt nur noch ein geringes Bestandsvolumen erkennbar. Die Tatsache, dass die Unkrautpflanzen im behandelten Bereich noch ein Restvolumen bilden konnten, verdeutlicht, dass zum einen noch Unkraut in der Kulturreihe bestehen blieb, aber auch zum anderen, dass eine etablierte Kulturpflanze die Maßnahme überstehen kann.

Nach der Behandlung der Beetfläche mit der Unihacke (Rollstriegel) wurde deutlich, dass nur in einem sehr schmalen Bereich das Unkraut erfolgreich reduziert werden konnte und im eigentlich bearbeiteten Bereich teilweise noch 5 mm³/mm² zeigte. Das Restunkraut bildete noch ein Volumen von 8 bis 16 mm³/mm².



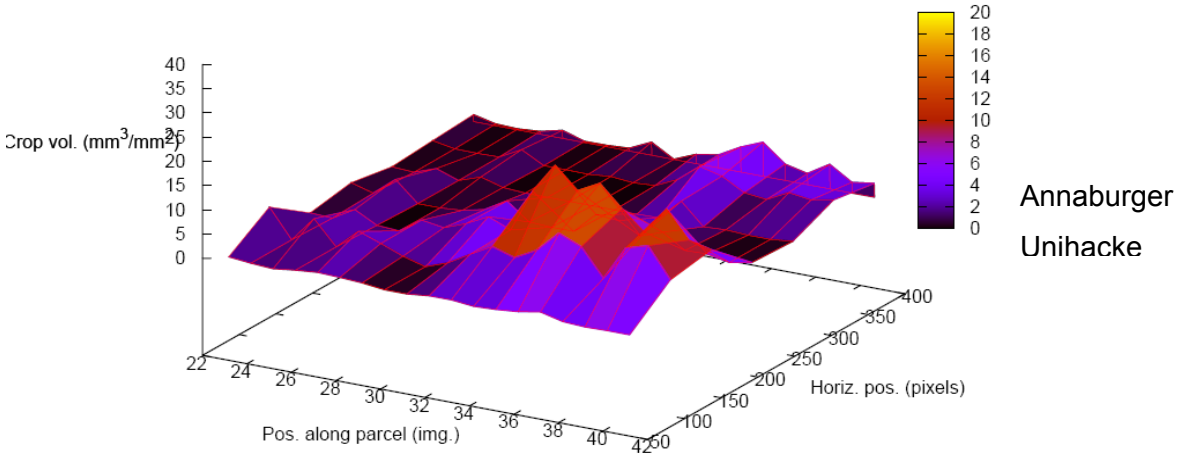


Abb. 6.1.7: Pflanzenwachstum von Unkrautpflanzen nach Einsatz der Hackgeräte, die innerhalb der Kulturpflanzenreihe arbeiten anhand des dreidimensionalen Bestandesvolumens fünf Tage nach der Unkrautregulierungsmaßnahme. Erfasste Beetlänge (Pos. along parcel) = 6 m, Beetbreite (Horiz. pos.) = 0,4 m; Auswertung: Stereotool

Zusammenfassend werden die digitalen Ergebnisse aller Unkrautregulierungs-Maßnahmen unter besonderer Berücksichtigung der Nachhaltigkeit vergleichend dargestellt. Anhand der Bedeckungsgrade zu den verschiedenen Boniturterminen, vor, unmittelbar nach und fünf Tage nach der Unkrautbekämpfung, konnten für jede Bearbeitungsvariante separat ein Verlauf der Bedeckungsgrade berechnet werden (Mittelwerte aller Durchgänge).
In die Berechnungen flossen nur die Werte ein, die aus dem jeweiligen bearbeiteten Bereich stammten. Bedeckungsgrade, die sich außerhalb der bearbeiteten Fläche ergaben, wurden somit nicht berücksichtigt. Aus diesem Grund kann eine präzise Charakterisierung der Geräte erfolgen.

Zum ersten Boniturtermin vor den Maßnahmen zeigten alle Varianten eine Ausgangsverunkrautung mit einem Deckungsgrad von ca. 10%. Bei den meisten Varianten kam es durch die Unkrautregulierungsmaßnahme zu einer Unkrautreduzierung und damit zu einem signifikant geringeren Bedeckungsgrad.
Lediglich die unbehandelte Kontrolle und die Behandlung mit der Annaburger Unihacke zeigten keine Reduzierung des Bedeckungsgrades. In diesen beiden Varianten kam es zum dritten Boniturtermin in der Tendenz zu einem exponentiellen Wachstum bzw. Bedeckungsgrad bis zu 25%, was bei der unbehandelten Kontrolle vorauszusetzen war.
Auch bei den meisten anderen Varianten kam es, wie in Abbildung 6.1.8 ersichtlich, zu einer signifikanten Erhöhung des Bedeckungsgrades, der sich aus der Restverunkrautung fünf Tage nach der Behandlung entwickelte, allerdings nicht bei den Varianten Winkelmesser und Fingerhacke. Diese beiden Varianten blieben im Bezug auf den Bedeckungsgrad auf gleichem Niveau und waren somit signifikant nachhaltiger als die übrigen Varianten.

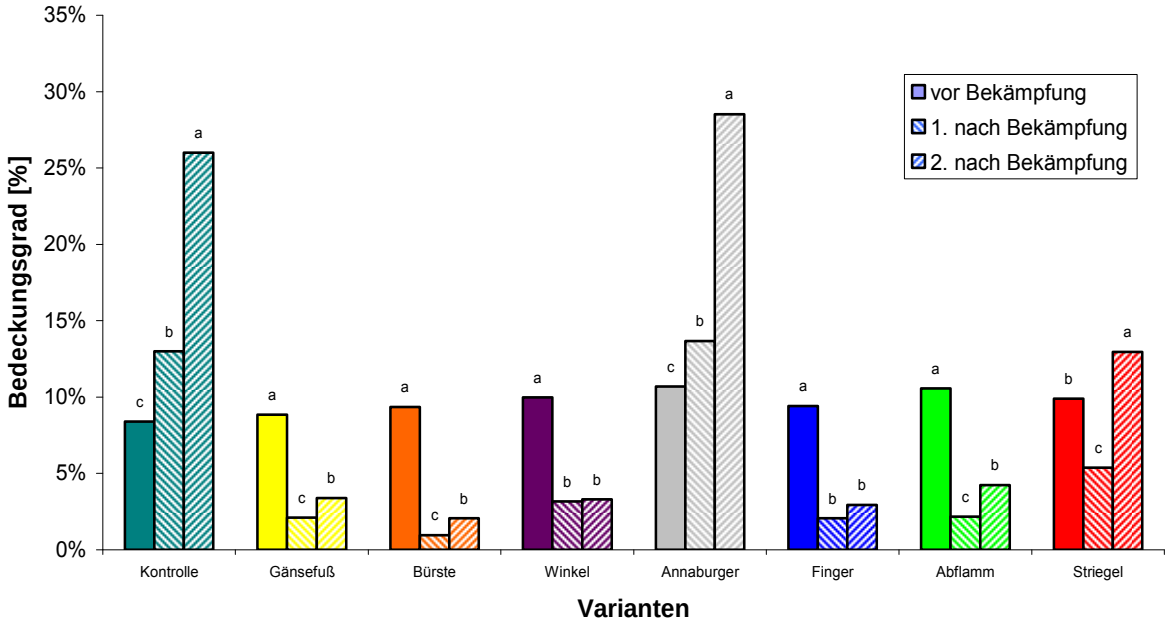


Abb. 6.1.8: Verlauf des Unkrautbedeckungsgrades (in %) vor, einen und fünf Tage nach der Behandlung, ermittelt durch Kamerabonituren, ausschließlich bezogen auf den bearbeiteten Bereich.
Mittelwerte aus 3*3 Wdh.; Signifikanzen getrennt nach Varianten (Tukey a-c, $p \leq 0,05$)

Anhand der Kameradaten wurde auch das Bestandsvolumen vor, unmittelbar nach und fünf Tage nach den Maßnahmen berechnet. Mittels dieser Daten lässt sich der Verlauf des Bestandsvolumens (Abb. 6.1.9) darstellen. Da in der Kontrollvariante keine Unkrautregulierung stattfand, konnte der Pflanzenbestand ungehindert aufwachsen. Das Bestandsvolumen nahm hier vom ersten zu dem zweiten Boniturtermin (1. nach Bekämpfung) tendenziell, jedoch nicht signifikant, zu. In den Tagen bis zu der dritten Datenerhebung gab es einen starken Bestandszuwachs, sodass das Bestandsvolumen signifikant zunahm. Ähnlich verhielt sich auch die Variante der Unihacke.

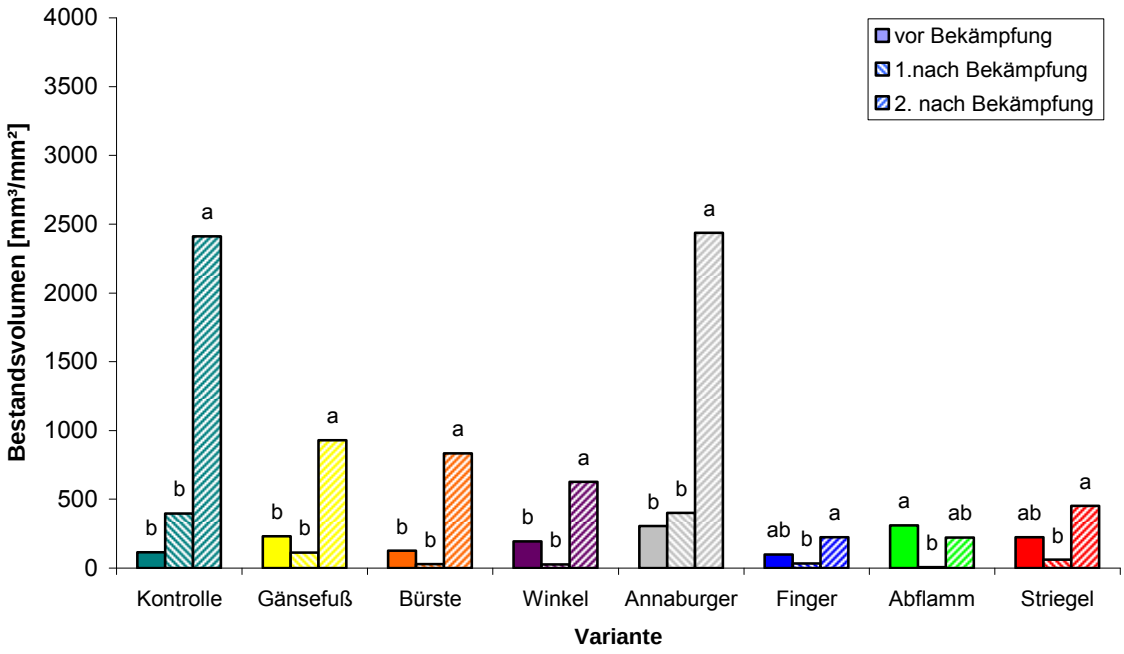


Abb. 6.1.9: Verlauf des Bestandsvolumens (in mm³/mm²), vor, einen und fünf Tage nach der Behandlung, ermittelt durch Kamerabonituren, ausschließlich bezogen auf den bearbeiteten Bereich.
Mittelwerte aus 3*3 Wdh., Signifikanzen innerhalb der Gerätevarianten (Tukey a-b, $p \leq 0,05$)

In den Varianten der Gänsefußhacke, Bürstenhacke, Winkelmesser, Fingerhacke und Striegel verringerte sich das Bestandsvolumen tendenziell durch die Regulierungsmaßnahme, durch das Abflammen sogar signifikant. Innerhalb weniger Tage nahm das Bestandsvolumen signifikant zu, außer bei der Abflammvariante.
Zur dritten Datenerhebung nahm das Bestandsvolumen fast aller Varianten im Vergleich zu dem Zeitpunkt der zweiten Bonitur signifikant zu, jedoch die Abflammvariante nur tendenziell: Durch den Einsatz des Abflammgerätes konnte das Bestandsvolumen signifikant verringert werden und zudem erholten sich die Unkrautpflanzen dieser Variante gegenüber allen anderen Varianten nicht signifikant.

6.1.4. Kombinierter Geräteeinsatz

Es wurde beschrieben, dass es flächenunspezifische oder flächenspezifische Unkrautregulierungsmaßnahmen mit unterschiedlich mechanischen und thermischen Arbeitsprinzipien gibt. Um möglichst alle Beetbereiche zu bearbeiten, ist ein Wechsel, eine Abfolge oder eine systematische Verknüpfung der Geräte sinnvoll.

Der Modellversuch zeigte sehr präzise, wie die einzelnen Geräte funktionieren. Daraus ließ sich schließen, dass die Kombination zweier Geräte, in der ein Gerät zwischen den Pflanzenreihen hackt und ein weiteres in der Kulturreihe, einen besonders positiven Effekt auf die Unkrautreduzierung haben kann. Werden die Geräte gleichzeitig in einer oder zwei Überfahrten eingesetzt, ist ein Großteil des Bodens bearbeitet und der ungehackte Bereich mit potentiellem Unkraut verringert sich. Zwei Hackgeräte, die bestmöglich aufeinander und auf die Kulturpflanze und deren Stadium abgestimmt sind, vermindern somit die hohen Pflegekosten der zusätzlich notwendigen Handarbeit.

Als ein Beispiel für eine optimale Gerätekombination werden in Abb. 6.1.10 die charakteristischen Hackeigenschaften und Arbeitsweisen von einzelnen Geräten schematisch dargestellt. Bei einer Kombination von zwei Geräten, die in und zwischen den Reihen arbeiten, ergibt sich, dass die Unkrautpflanzenanzahl auf der gesamten Breite einer Fläche auf fast Null reduziert werden kann. Die Fingerhacke (blau) eliminiert Unkrautpflanzen eines schmalen Bereichs innerhalb der Reihe, zwischen den Reihen befreit die Reihenhackbürste (orange) die restliche Fläche von Unkraut. Dieser optimale Geräteeinsatz zeichnet sich im Gegensatz zur unbehandelten Kontrolle (grün) durch einen hohen Unkrautregulierungserfolg aus.

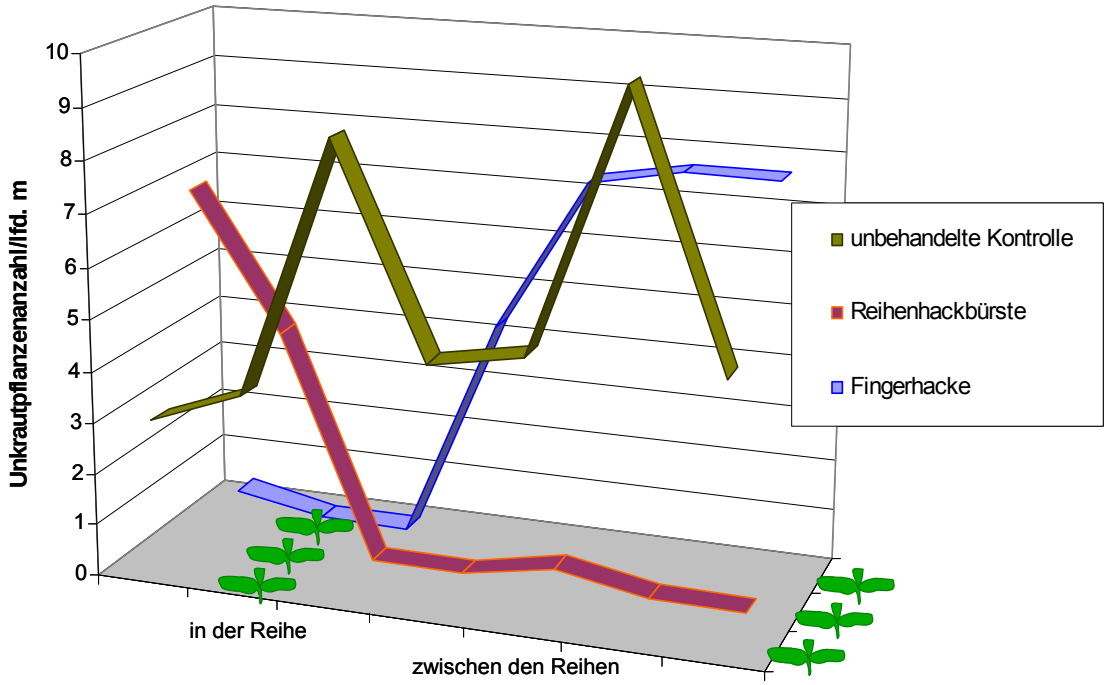


Abb. 6.1.10: Schema der Reduzierung von Unkrautpflanzenanzahlen in drei aneinander grenzende Beetbereiche durch mechanisch arbeitender Hackgeräte; Intra-Reihenbereiche = Fingerhacke und Inter-Reihenbereiche = Reihenhackbürste im Vergleich zur höheren Unkrautpflanzenanzahl unbehandelten Kontrolle

Im Vergleich dazu wird mit Hilfe der Kameratechnik die Charakteristik der Hackmaschinen über eine digital aufgenommene Fläche noch deutlicher: In den Abb. 6.1.11 wird dargestellt, welcher Bodenbereich gehackt wurde und in welchem Bereich Unkrautpflanzen unversehrt blieben und somit das verbleibende Bestandesvolumen bilden. Die Abbildung a zeigt das Hackergebnis der Reihenhackbürste, die zwischen den Kulturreihen (vorderer Bildbereich) hackt, während mit der Fingerhacke (b) innerhalb der Reihe gehackt wurde (hinterer Bildbereich).

Würden beide Grafiken übereinander gelegt, hieße das, dass in der Summe der beiden Geräte auf dem Großteil der Fläche das Unkraut sehr effektiv reduziert worden ist. So geben diese Beispiel-Darstellungen einen Einblick, wie mechanische Unkrautregulierung strukturiert werden kann.

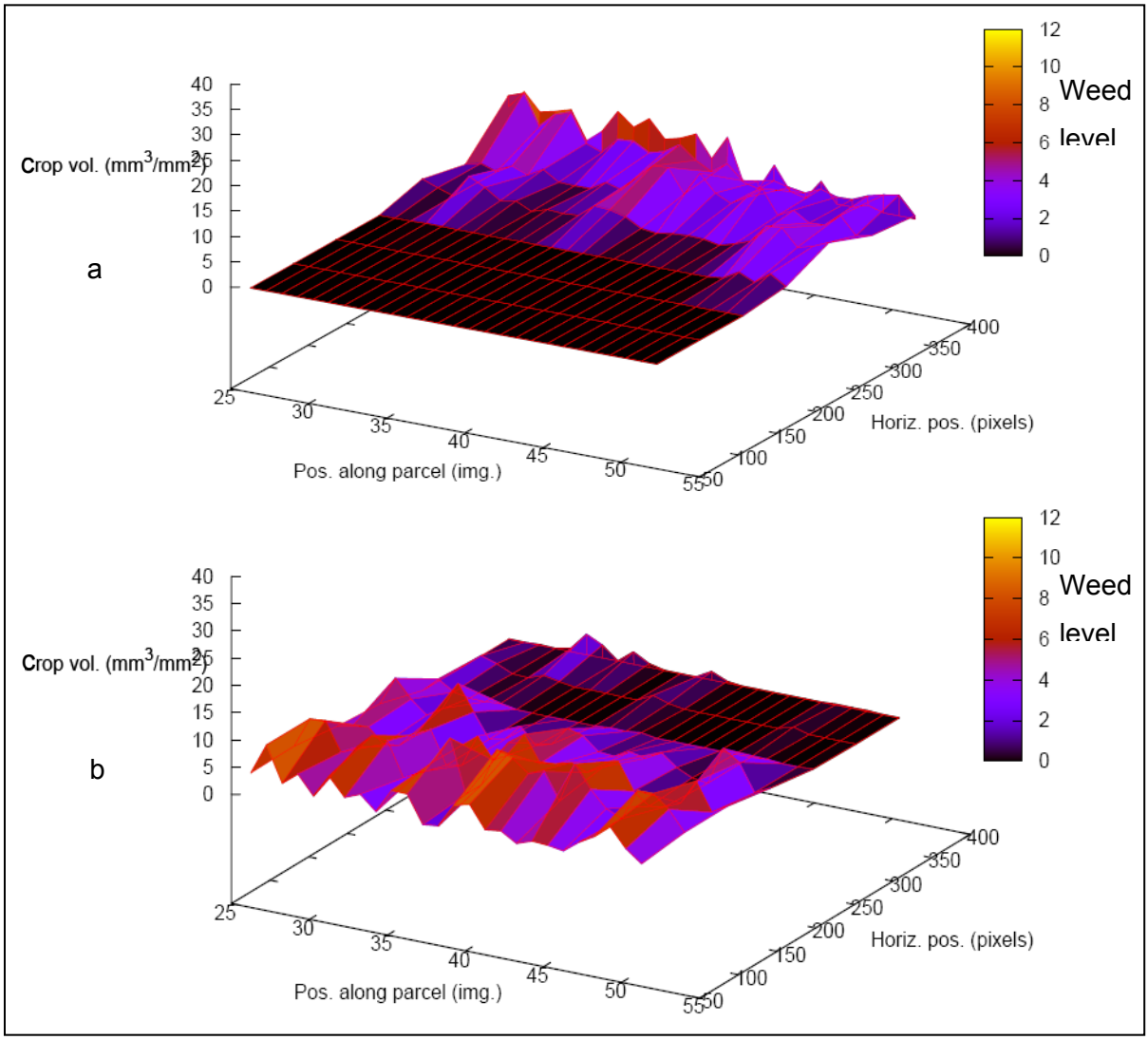


Abb. 6.1.11: Reduktion der Bestandesvolumens (Crop vol.) von Unkrautpflanzen nach mechanischen Unkrautregulierungsmaßnahmen; zwischen den Reihen durch die Bürstenhacke (a) und in der Reihe (b) durch die Fingerhacke in Abhängigkeit der Parzellenlänge (Position along parcel) und der Parzellenbreite (Horiz. position)

Fazit:
Dieser Versuch hatte das Ziel, die Wirkungsweise und Bekämpfungserfolge der Geräte genauer zu untersuchen.
Anhand der prinzipiellen Erkenntnis mit Hilfe Bildgebender Verfahren über die Effektivität von Unkrautregulierungsgeräten, lassen sich die Geräte durch die Spezifizierung sinnvoll zusammenführen. Durch die optimale Kombination von Hackgeräten wird die Intensität der Unkrautregulierung - wie dargestellt – wesentlich erhöht.

Für die Unkrautregulierungsversuche in den Arzneipflanzenbeständen wurden folgende mechanische Unkrautregulierungsvarianten zusammengestellt. Als Kontrolle dienten jeweils eine Handhackvariante und eine Herbizidvariante.

Pflanzkulturen Zitronenmelisse und Baldrian (dreireihig kultiviert):

1. Handhacke
2. Herbizid
3. Gänsefußscharhacke (GF) + Fingerhacke (FiH)
4. Gänsefußscharhacke (GF) + Annaburger Unihacke/Rollstriegel (UniH)
5. Reihenhackbürste (BüH) + Fingerhacke (FiH)
6. Reihenhackbürste (BüH) + Annaburger Unihacke/Rollstriegel (UniH)

Säkultur Echte Kamille (fünfreihig kultiviert):

1. Herbizidlose Kontrolle, Gänsefußscharhacke (GF) + Fingerhacke (FiH)
2. Vorsaatherbizid, Herbizid
3. Vorsaatherbizid, Gänsefußscharhacke (GF) + Fingerhacke (FiH)
4. Vorsaatherbizid, Gänsefußscharhacke (GF) + Annaburger Unihacke/Rollstriegel (UniH)
5. Vorsaatherbizid, Winkelmesser (WM) + Fingerhacke (FiH)
6. Vorsaatherbizid, Winkelmesser (WM) + Annaburger Unihacke/Rollstriegel (UniH)
7. Vorsaatherbizid, Winkelmesser (WM) + Gänsefußscharhacke (GF)
8. Herbizidlose Handhacke

6.2. Bewertung und Optimierung mechanischer Unkrautregulierungsmaßnahmen in Arznei- und Gewürzpflanzenbeständen (einjährig/mehrjährig) unter Berücksichtigung der Unkrautpopulationen, bedingt durch den Standort (Fruchtfolgegestaltung)

6.2.1 Unkrautpopulationen

Einfluss des Standortes auf die Unkrautpopulationen

Die Versuche zur Unkrautregulierung in Arznei- und Gewürzpflanzen fanden an drei Standorten statt. Um die Standorte nicht nur hinsichtlich des Klimas und des Bodens zu vergleichen, wurden die speziellen Fruchtfolge-Unterschiede besonders berücksichtigt, die das Auftreten von Unkrautpopulationen maßgeblich beeinflussen. Als Konsequenz einer langjährigen Bewirtschaftungsweise unterscheiden sich die Unkrautpopulationen in Hack- und Gemüsebaufruchtfolgen im Allgemeinen durch einen höheren Unkrautdruck von Ackerbaufruchtfolgen. Anhand des Standortes und der Fruchtfolgegestaltung ist das Unkrautpotential tendenziell abzusehen.
In den mehrjährigen Versuchen zur Unkrautregulierung konnte bestätigt werden, dass der Unkrautdruck an den verschiedenen Standorten mit verschiedenen Fruchtfolgen signifikant unterschiedlich ist und der Standort Marhof (Gemüsebau) die höchste Unkrautanzahl erreichte (Abb. 6.2.1).
Die Fruchtfolgen beeinflussen neben der Unkrautanzahl auch die Artenverteilung der Unkräuter, daraus resultieren die spezifischen Leitunkräuter. Charakteristisch für Gemüsebaufruchtfolgen sind eher sommerannuelle Unkräuter wie beispielsweise Franzosenkraut, Kreuzkraut und Nesselarten. In Ackerbaufruchtfolgen mit häufigem Wintergetreideanbau – wie am Standort Klein-Altendorf - entwickeln sich vermehrt Winterannuelle wie Vogelmiere und in Kombination mit Zuckerrüben üblicherweise Weißer Gänsefuß. Besteht ein Fruchtfolgeglied aus Kartoffelanbau, ist zusätzlich Schwarzer Nachtschatten vorzufinden, analog zum Standort Dikopshof.

Anhand der dargestellten Unterschiede wird deutlich, dass die Fruchtfolgegestaltung einen entscheidenden Einfluss auf die Unkrautpopulationen und folglich auch auf den Unkrautregulierungserfolg hat.

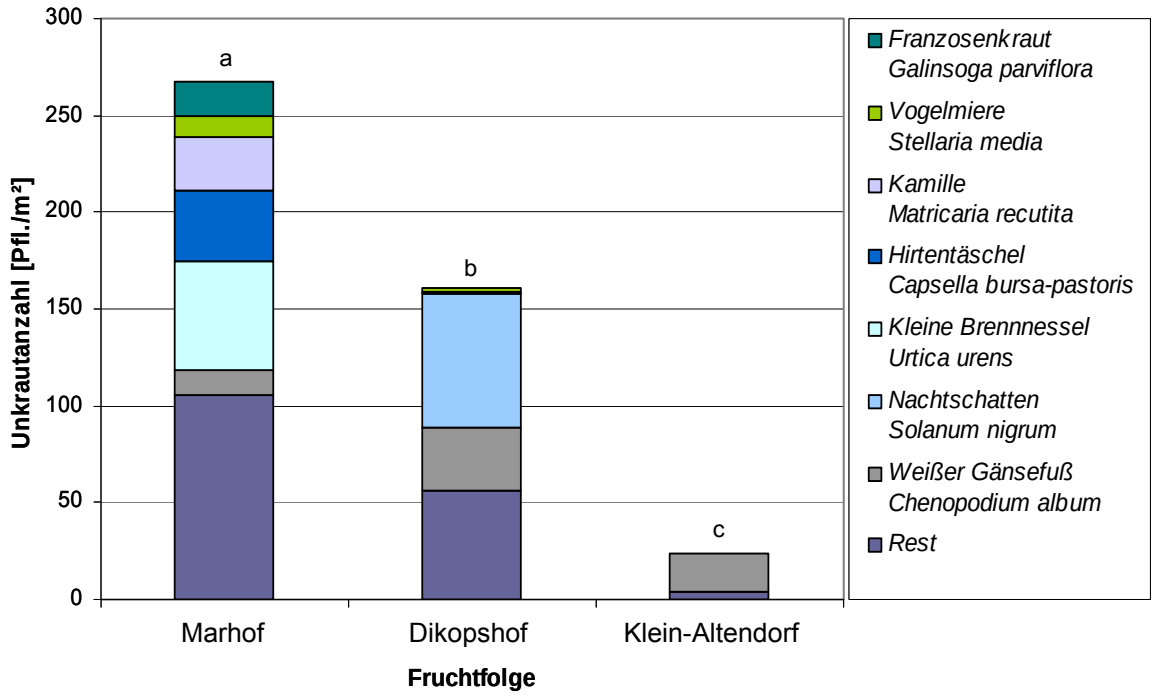


Abb. 6.2.1: Einfluss einer mehrjährigen Fruchtfolgegestaltung auf Unkrautpopulationen, ermittelt in Zitronenmelissebeständen im Pflanzjahr, 2007. Signifikanzen der Standorte für die Gesamtanzahl der Unkräuter (a-c) nach Tukey ($p \leq 0{,}05$)

Einfluss der Unkrautarten auf den Unkrautregulierungserfolg

Um Unkrautregulierungsmaßnahmen besser bewerten zu können wurde der Unkrautregulierungserfolg vor dem Hintergrund des verschiedenartigen Unkrautaufkommens der Standorte erfasst. Die Anzahl der mit Hilfe des Zählrahmens ausgezählten Unkrautpflanzen wurde vor und nach der Unkrautregulierung erhoben und miteinander verglichen.

Die Bedeutung von Leitunkräutern ist besonders in Arzneipflanzenbeständen von Bedeutung. So ergab die Differenzierung der Unkräuter (alle Unkrautarten) und Leitunkräuter (Schwarzer Nachtschatten (*Solanum nigrum*), Weißer Gänsefuß (*Chenopodium album*)) bei Zitronenmelisse im Pflanzjahr am Standort Dikopshof, dass der Regulierungserfolg in der Herbizidvariante gemessen an allen Unkräutern bei ca. 80% lag. Bei der Betrachtung der Leitunkräuter war ein signifikant erhöhter Regulierungserfolg (95%) gegenüber der Handhacke zu erreichen (Abb. 6.2.2). Die Unterscheidung der Gesamtheit der Unkräuter gegenüber den Leitunkräutern zeigte bei allen anderen Varianten keine Unterschiede.

An dieser Stelle wird auch deutlich, wie wichtig die Klassifizierung einzelner Unkräuter sein kann: Pflanzenteile des Schwarzen Nachtschattens sind giftig – verbleiben Reste dieses Unkrauts später im Erntegut, beeinträchtigt dies gravierend die Qualität der Drogenrohware, wovon direkt der Erlös des Anbauers abhängt.

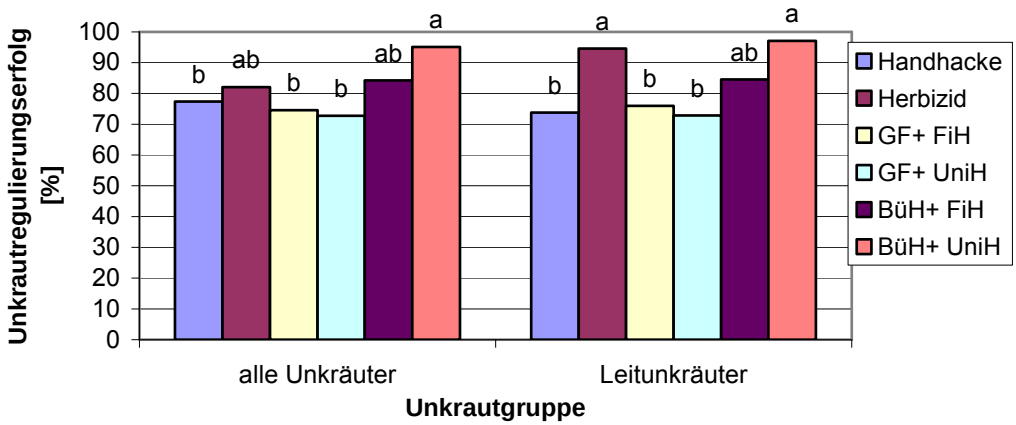


Abb. 6.2.2: Unkrautregulierungserfolg in Abhängigkeit der Maßnahmen und der Differenzierung der Unkrautgruppe bei Zitronenmelisse im Pflanzjahr, Dikopshof 2007. Signifikanzen innerhalb der Unkrautgruppe (a-b) nach Tukey ($p \leq 0{,}05$)

Einfluss der Unkrautregulierung auf die Entwicklung von Unkrautpopulationen in mehrjährigen Arzneipflanzenkulturen

In mehrjährigen Arzneipflanzenkulturen kann sich das Unkraut nicht nur über die erste Vegetationsperiode im Kulturpflanzenbestand etablieren, sondern sich auch im späten Herbst und im folgenden Frühjahr frühzeitig weiterentwickeln. Deshalb sind nachhaltige Unkrautregulierungsmaßnahmen in mehrjährigen Arzneipflanzen besonders von Bedeutung.

In den Zitronenmelissebeständen zeigte sich ein Jahr nach Pflanzung an den Standorten zunächst ein unterschiedliches Ausgangsniveau der Unkräuter zu Vegetationsbeginn (Abb. 6.2.3). Es konnte eine ähnliche Abstufung der Standorte festgestellt werden - wie schon in Abb. 6.2.1 gezeigt wurde - allerdings mit einem geringeren Unkrautdruck von maximal 100 Pflanzen/m², was aus einem wesentlich höherem Bedeckungsgrad der überwinterten Kultur resultieren kann. Die Unkrautpopulation war mit ca. 100 Pfl./m² am Standort Marhof signifikant am höchsten gegenüber den Standorten Dikopshof und Klein-Altendorf.
Dabei wird die heterogene Unkrautverteilung an den Standorten durch die großen Standardabweichungen deutlich.

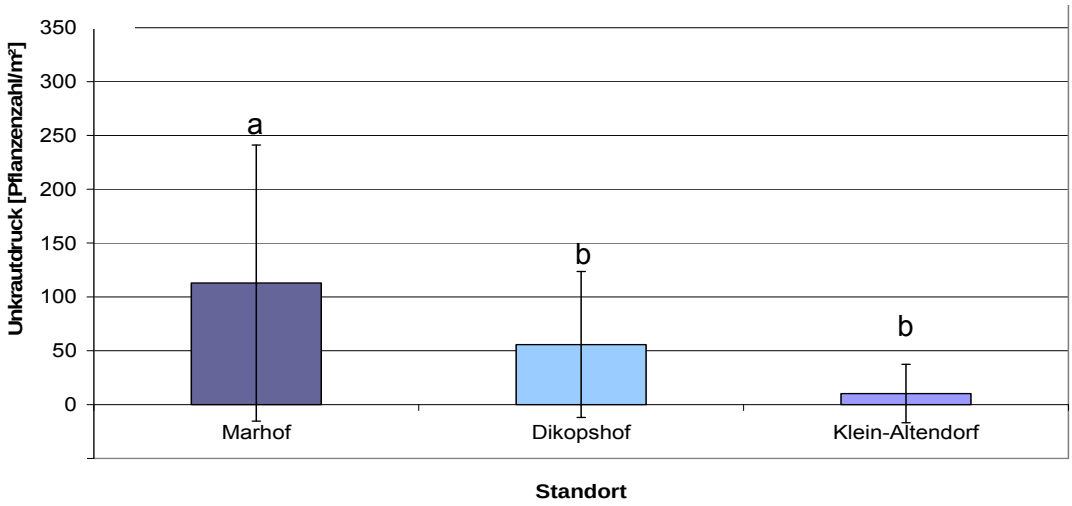


Abb. 6.2.3: Einfluss des Standortes auf den Unkrautdruck im Folgejahr der überwinterten Zitronenmelisse (ein Jahr nach Pflanzung), 2008, SD = Standardabweichung, Signifikanzen (a-b) nach Tukey ($p \leq 0{,}05$).

Die Bestände, in denen im Jahr zuvor die verschiedenen Unkrautregulierungsmaßnahmen durchgeführt wurden, zeigten im Folgejahr vor den ersten Maßnahmen auch innerhalb der Behandlungsvarianten ein z. T. signifikant unterschiedliches Unkrautausgangspotential.

Demnach (Abb. 6.2.4) war die Anfangsverunkrautung in den Parzellen, die im Vorjahr mit Gänsefußscharhacke + Unihacke bearbeitet wurden, höher als in den beiden Varianten, die mit der Bürstenhacke + Fingerhacke behandelt wurden. Die Unkrautanzahl war hier im zweiten Jahr geringer als bei den meisten anderen Unkrautregulierungsmaßnahmen, sodass vermutet werden kann, dass sich die Bürstenhackenbearbeitung nachhaltig positiv ausgewirkt hatte.

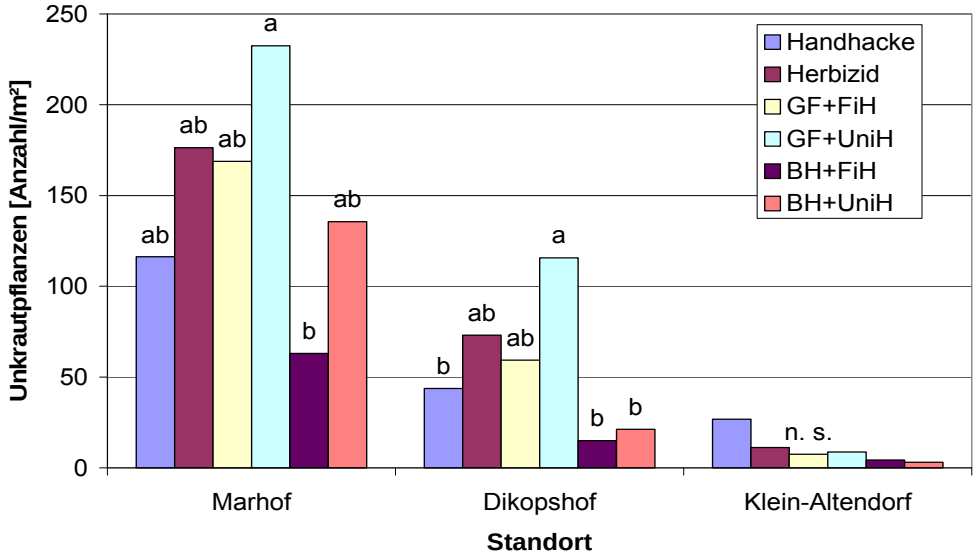


Abb. 6.2.4: Einfluss der Bearbeitungsvarianten des Vorjahres auf die Unkrautanzahl des Folgejahres in der überwinterten Kultur Zitronenmelisse (ein Jahr nach dem Pflanzjahr) zu Vegetationsbeginn in Abhängigkeit der Standorte, 2008. Signifikanzen innerhalb des Standortes (a-b, n. s.) nach Tukey ($p \leq 0{,}05$)

Ausgehend von den teilweise starken Unterschieden, die schon zu Beginn der Unkrautregulierungsmaßnahmen im zweiten Anbaujahr herrschten, wurde somit auch der Unkrautregulierungserfolg im zweiten Anbaujahr beeinflusst. Dies äußerte sich darin, dass die Variante Gänsefußscharhacke + Unihacke am Standort Dikopshof nach dem Hacken immer noch viele Unkrautpflanzen enthielt. Dagegen war in den Beständen der Varianten Bürstenhacke + Fingerhacke kaum noch Unkraut zu finden (Abb. 6.2.5).

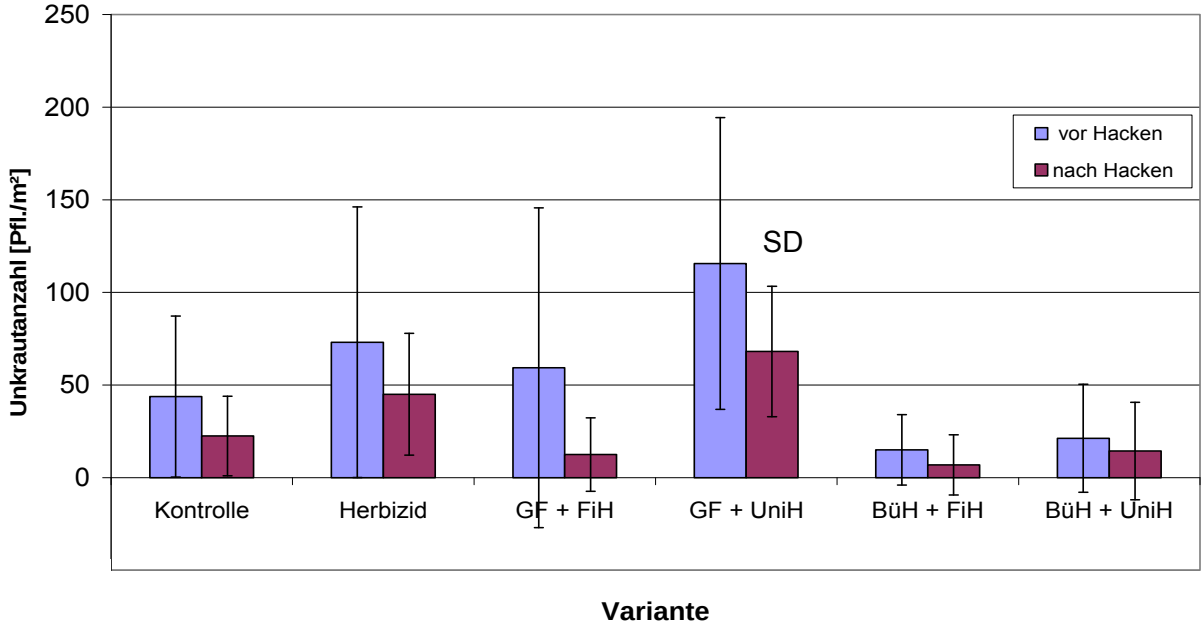


Abb. 6.2.5: Einfluss der Unkrautregulierungsvarianten des Vorjahres auf die Unkrautanzahl zu Vegetationsbeginn (blau) sowie eine reduzierte Unkrautpflanzenanzahl (rot) durch anschließende Unkrautregulierung im Folgejahr in Zitronenmelisse (ein Jahr nach Pflanzung), Dikopshof, 2008. SD = Standardabweichung

Fazit

Im Rahmen der Unkrautregulierungsversuche wurde deutlich, dass das Unkrautaufkommen in Art und Quantität wesentlich deutlich durch die vorgestellten Standortfaktoren bedingt wird. Durch eine Differenzierung von Unkrautpopulationen und deren Leitunkräuter kann eine verbesserte Bewertung der Unkrautregulierungserfolge bewirkt werden. Varianten mit der Unkrautbekämpfungsmaßnahme „Reihenhackbürste“ bewiesen meist ein höheres Maß der Nachhaltigkeit, da sich die Unkrautpopulationen im zweiten Anbaujahr weniger stark entwickelten als in den anderen Varianten.

6.2.2 Unkrautregulierungserfolge in einjährigen Kulturen

Zitronenmelisse

Abb. 6.2.6 stellt ausführlich den Unkrautregulierungserfolg der drei Standorte in Abhängigkeit der Bearbeitungsvarianten dar. Beim Vergleich der Standorte war festzustellen, dass trotz des wesentlich höheren Unkrautaufkommens auf dem Marhof Erfolge von 75 bis 92% erreicht werden konnten. Eine Ausnahme bildete die Herbizidvariante, die mit ca. 45% einen deutlich geringeren Unkrautregulierungserfolg erzielte. Die Erfolge lagen auf dem Dikopshof bei ca. 72 bis 95%, in Klein-Altendorf bei ca. 60 bis 92%. Auffällig, war, dass an den Standorten Marhof und Dikopshof die Varianten mit Bürstenhacke am besten Unkraut regulierten, dagegen aber in Klein-Altendorf gering.

Der Vergleich der Varianten zeigte, dass die Handhackvariante mit den mechanischen Varianten vergleichbar war. Es wurde deutlich, dass die Herbizidvariante auf dem Marhof den signifikant geringsten Erfolg erzielte, was auch mit weniger herbizidsensiblen Unkrautarten zusammen hängen kann. Die Handhackkontrolle sowie alle anderen mechanischen Varianten waren wesentlich erfolgreicher. Im Vergleich dazu zeigten die Herbizidvarianten an den anderen beiden Standorten mit ca. 80% ein besseres Ergebnis - sie liegen im Vergleich zu den anderen Varianten tendenziell im oberen Bereich. Dies könnte auf das Unkrautartenspektrum zurückgeführt werden. Der signifikant größte Erfolg wurde auf dem Dikopshof durch die Variante Bürstenhacke und Unihacke erzielt und in Klein-Altendorf tendenziell mit der Variante Gänsefußhacke und Fingerhacke. Im Bezug auf die kontroversen Unkrautregulierungserfolge ist hier nochmals auf die unterschiedlichen Bodenverhältnisse der Standorte hinzuweisen.

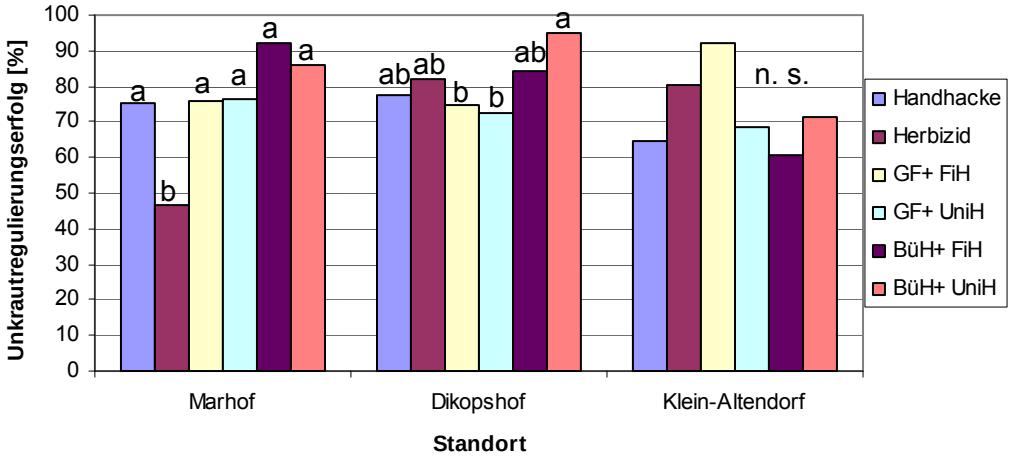


Abb. 6.2.6: Unkrautregulierungserfolg in Abhängigkeit der Maßnahmen und der Standorte bei Zitronenmelisse im Pflanzjahr, 2007. Signifikanzen innerhalb der Standorte (a-b), (n. s.) nach Tukey ($p \leq 0{,}05$)

Baldrian

Die Bekämpfung der Unkräuter in den Baldrianbeständen ergab z. T. sehr gute Erfolge – bis zu 100%. So zeigte die Variante Bürstenhacke und Unihacke auf allen Standorten die meistens signifikant beste Wirkung. Diese waren an den Standorten Dikopshof und Klein-Altendorf mit der Herbizidvariante vergleichbar, die Erfolge der Handhacke waren signifikant geringer. Diese lagen an allen Standorten bei ca. 75%. Die Handhacke war am Standort Marhof mit der geringeren Wirkung des Herbizids in der Herbizidvariante vergleichbar.
Einen guten Erfolg zeigten ebenfalls auf dem Marhof und auf dem Dikopshof die Variante Bürstenhacke und Fingerhacke, sowie tendenziell am Standort Klein-Altendorf die Variante Gänsefußscharhacke und Unihacke (Abb. 6.2.7).

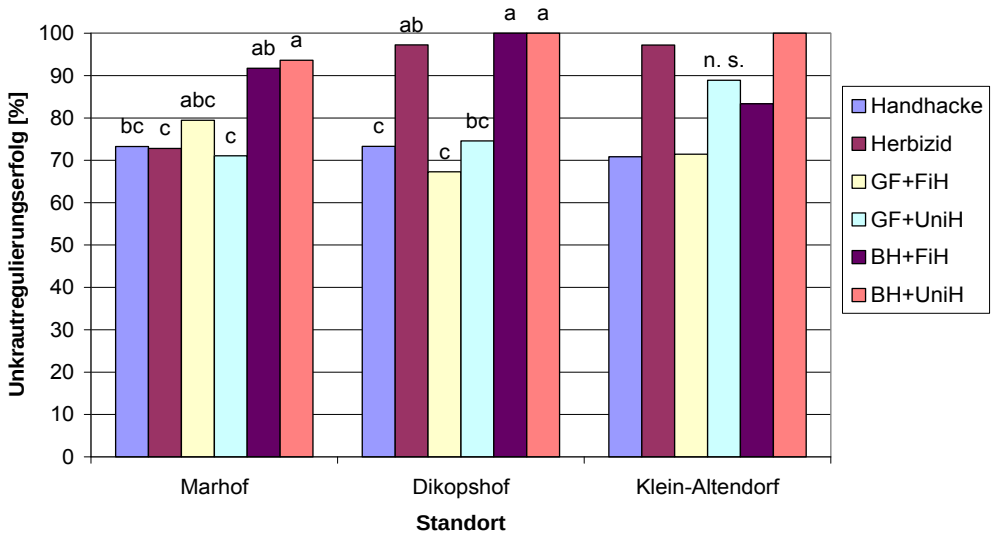


Abb. 6.2.7: Einfluss der Bearbeitungsvarianten auf den Unkrautregulierungserfolg in Baldrian in Abhängigkeit der Standorte, 2007. Signifikanzen innerhalb der Standorte (a-b), (n. s.) nach Tukey ($p \leq 0{,}05$)

Echte Kamille

In der Kultur Echte Kamille wurde vor der Saat der Kamille ein Vorsaat-Herbizid in sechs Varianten von acht Varianten ausgebracht, was zunächst die Kultur in ihrer Auflaufgeschwindigkeit beeinträchtigte. Neben dieser unerwünschten Wirkung war aber auch ein positiver Einfluss des Vorsaat-Herbizides auf die Unkrautpflanzenanzahl bonitierbar. Durch die Vorsaatbehandlung wurde der hohe Unkrautdruck von 670 bzw. 400 Unkrautpflanzen/m² auf ca. 210 bis 290 Pflanzen reduziert (Abb. 6.2.8).

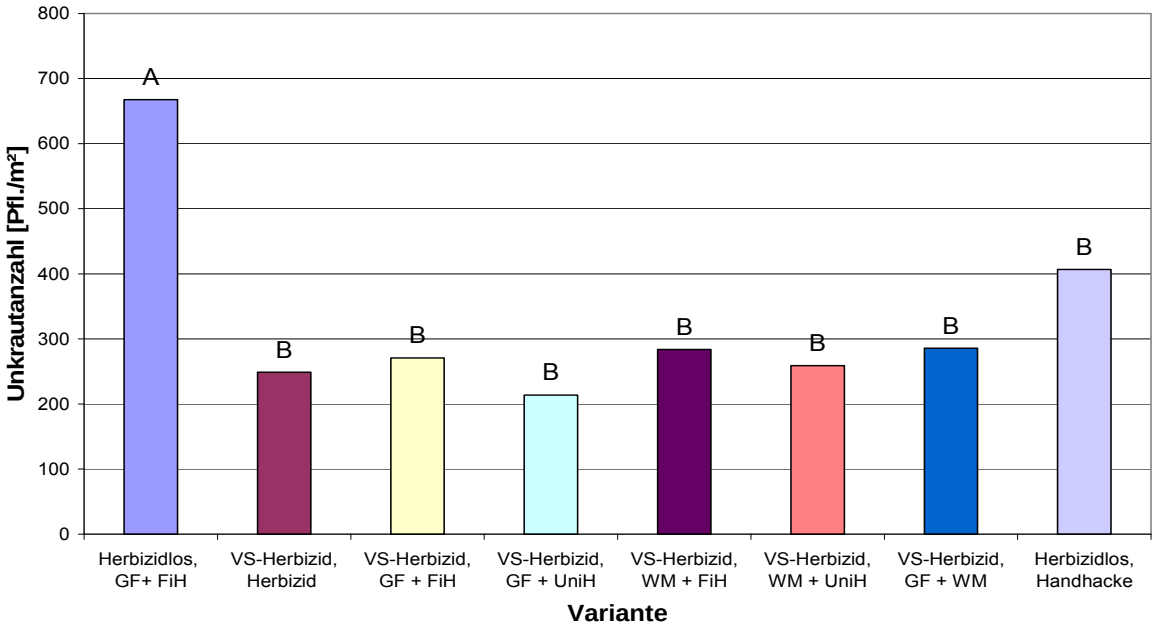


Abb. 6.2.8: Unkrautanzahl in Abhängigkeit der Vorsaat-Herbizidmaßnahme in Echte Kamille, Standort Marhof, 2008. Signifikanzen (a-b) nach Tukey ($p \leq 0,05$)

Die Unkrautregulierungserfolge der Maßnahmen im Nachauflauf wiesen in Abb. 6.2.9 am Standort Marhof trotz der unterschiedlichen Ausgangsverunkrautung einen Erfolg von ca. 72 bis 81% auf und waren mit dem mittleren Erfolg der Handhacke (67%) vergleichbar. In der Herbizidvariante zeichnete sich ein z. T signifikant niedriger Erfolg von ca. 34% ab. Am Standort Klein-Altendorf gab es keine abgesicherten Unterschiede in Unkrautregulierungserfolgen, die sich insgesamt auf einem hohen Niveau befanden. Hier erreichte auch die Herbizidvariante ein gutes Ergebnis. Am Standort Dikopshof musste der Kulturbestand nach einem Gewitterschauer aufgegeben werden.

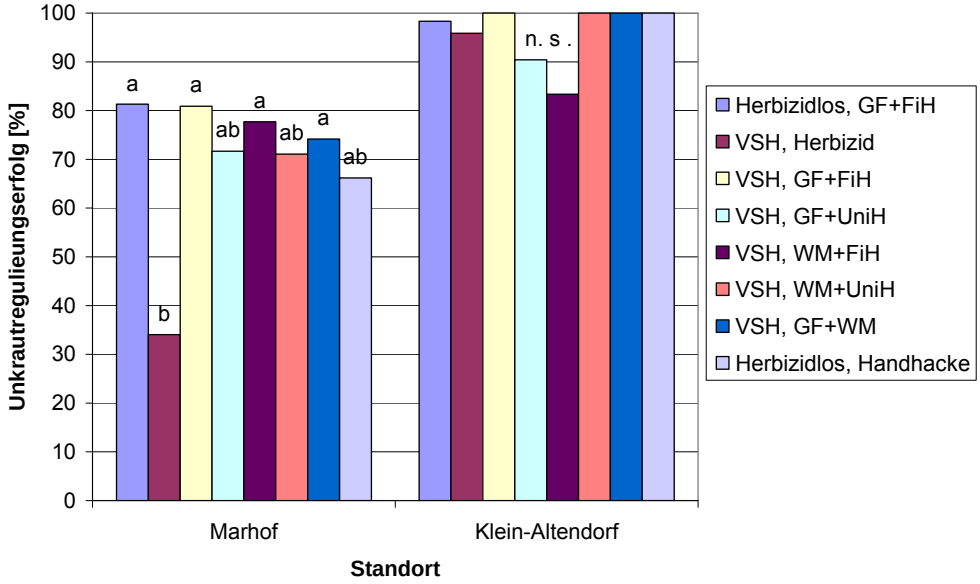


Abb. 6.2.9: Unkrautregulierungserfolg in Abhängigkeit der Maßnahmen in Echte Kamille, Standort Marhof, 2008. Signifikanzen (a-b), (n. s.) nach Tukey ($p \leq 0,05$)

Fazit

Die Unkrautregulierungserfolge wurden in den Beständen der Pflanzkulturen Zitronenmelisse und Baldrian sowie in der Säkultur Kamille im Fall der Herbizidvarianten hauptsächlich durch den Standort beeinflusst. Im Allgemeinen waren in den Kulturen Zitronenmelisse und Baldrian die Varianten, die die Reihenhackbürste enthielten, sehr gute Unkrautregulierungserfolge zu verzeichnen.

In der Säkultur Echte Kamille hatte die Vorsaat-Herbizidspritzung einen größeren Einfluss auf die Unkrautreduzierung als die Unkrautregulierungsmaßnahmen im Nachauflauf. Die Herbizidspritzung im Nachauflauf zeigte je nach Standort signifikant schlechte oder vergleichbare Erfolge.

6.2.3 Handarbeitsaufwand für die Unkrautregulierung

Im Arznei- und Gewürzpflanzenanbau hat derzeit die Handarbeitszeit für die Unkrautregulierung im Hinblick auf die Reinheit der Drogenrohware einen hohen Anteil an den Produktionskosten. Die Arbeitskraftstunden (AKh) für die Handhacke, die trotz chemischen und mechanischen Maßnahmen zusätzlich zwingend notwendig bleiben, sind somit von wirtschaftlicher Bedeutung.

Durch die Verrechnung von Arbeitskraftstunden (Abb. 6.2.10) nach den Unkrautregulierungsmaßnahmen zeigte sich, dass gegenüber der zeitintensiven Handhackvariante die benötigte Zeit für die Eliminierung der Restunkräuter in den anderen Varianten reduziert wurde (Abb. 16). Gegenüber der Handhacke wurde durch die Herbizidvariante mit 500 AKh/ha nur eine tendenzielle Zeiteinsparung erreicht. Der Zeitbedarf der dieser beiden Varianten war signifikant höher als bei den mechanischen Varianten. Im Vergleich der mechanischen Varianten, verbrauchte die Variante Bürstenhacke und Unihacke mit ca. 80 AKh/ha tendenziell am wenigsten Zeit.

Somit ließen sich die einzelnen Unkrautregulierungsmaßnahmen in Arznei- und Gewürzpflanzenbeständen durch einen weiteren Parameter bewerten.

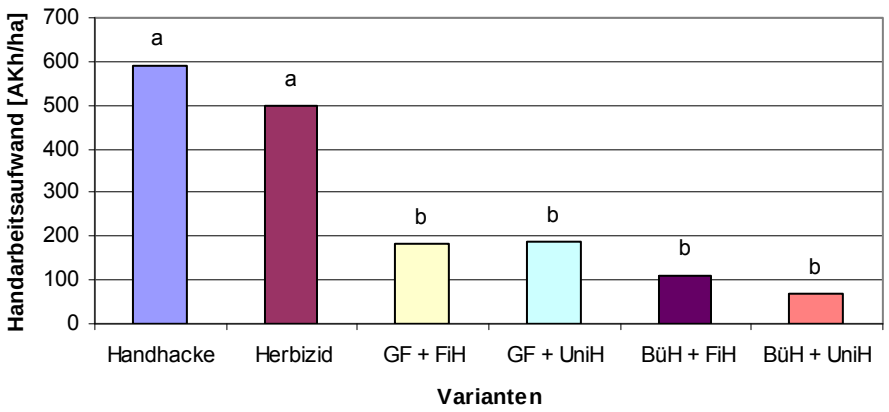


Abb. 6.2.10: Einfluss unterschiedlicher Unkrautbekämpfungsverfahren auf den zusätzlichen praxisüblichen Handarbeitsaufwand über den gesamten Vegetationszeitraum bei Zitronenmelisse im Pflanzjahr, Dikopshof, 2007. Signifikanzen (a-b) nach Tukey ($p \leq 0,05$)

6.3 Beeinflussung der Kulturpflanzenentwicklung durch Unkrautregulierungsmaßnahmen - am Beispiel ertragsrelevanter Parameter -

Die Unkrautregulierung stellt nur einen Faktor in der komplexen Ertragsbildung dar und unkrautregulierungsbedingte Ertragsunterschiede gleichen sich oftmals aus. Dennoch sind im Kulturaufwuchs und in den erntereifen Arzneipflanzenbeständen die Einflüsse der mechanischen und chemischen Unkrautregulierungsmaßnahmen zu erkennen. Während des Kulturverlaufs wurde die Bestandesentwicklung untersucht, bei Zitronenmelisse insbesondere durch digitale Methoden. Mit Hilfe ertragsrelevanter Parameter der jeweiligen Kulturen werden Frisch- und Trockenmassen sowie der Ertrag, die aufbereitete Drogenrohware und Analyseergebnisse in Abhängigkeit der Unkrautregulierungsmaßnahmen und der unterschiedlichen Standorte beschrieben.

6.3.1 Zitronenmelisse im Pflanzjahr

Entwicklung des Kulturbestandes

Bereits während der Durchführung der Unkrautregulierungsmaßnahmen wurde der Kulturverlauf der jungen Zitronenmelissebestände mit Hilfe der Stereotool-Kameratechnik sowie mittels Zählrahmen eingehend untersucht. Abb. 6.3.1 zeigt zum einen die Vorgehensweise und zum anderen die Vorteile, die durch die digitale Methode entstehen.

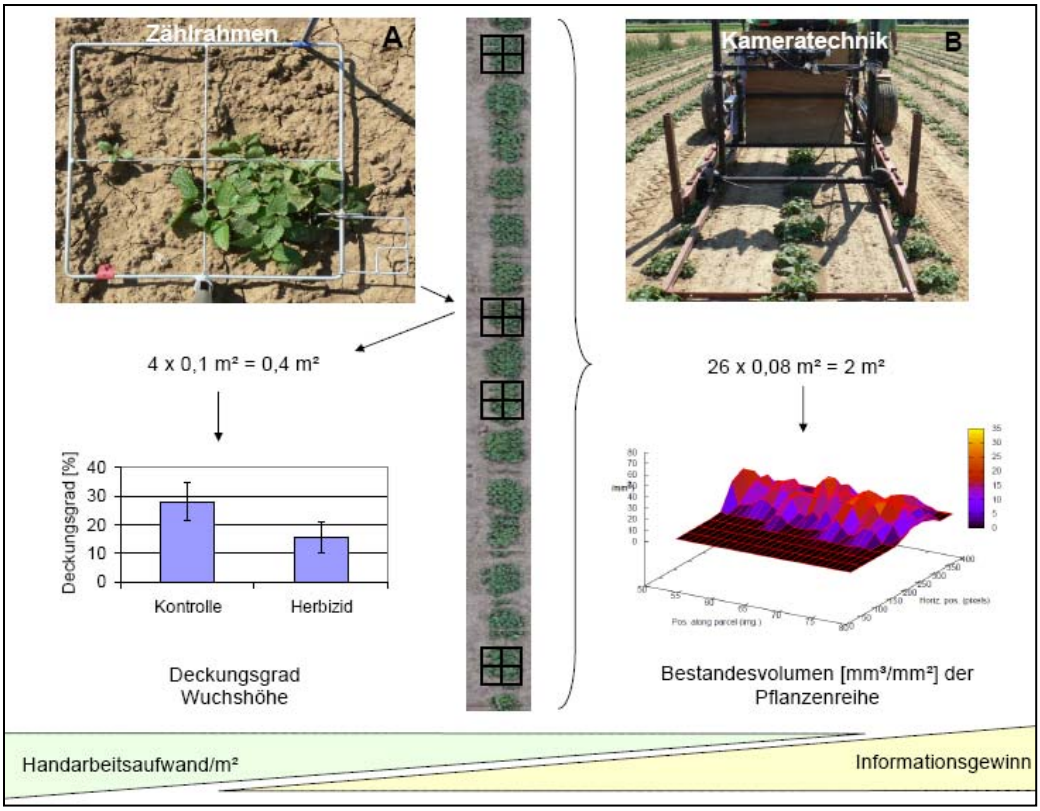


Abb. 6.3.1 Vergleich der Erfassung, Datenmenge und Auswertung von Kultur- und Unkrautpflanzen durch Zählrahmen (A) und mit Hilfe des Kamerasystems Stereo-Imaging (B)

Um unmittelbar nach der Unkrautregulierung eventuelle Pflanzenschäden mit den Maßnahmen in Zusammenhang zu bringen, ist eine sofortige Ermittlung des Pflanzenzustands wichtig. Die direkte Erkennung der Auswirkung von Maßnahmen auf die Kulturpflanze hat den großen Vorteil, dass schon frühzeitig Ertragsverluste abgeschätzt werden können. Zu diesem Zeitpunkt ist auch ein Eingreifen noch möglich, sodass mit entsprechenden Maßnahmen gegen gesteuert und bestenfalls ein Ausgleich bewirkt werden kann.

Für eine gezielte Steuerung des Anbaus wurden im jungen Zitronenmelissebestand mit Hilfe des Stereotool-Programms Bestandesgrößenparameter (Deckungsgrad und Bestandesvolumen) ermittelt, sowie standardmäßig Größen und Deckungsgerade stichprobenartig mittels Zählrahmen erhoben. Die Erhebung erfolgte im reinen, unkrautfreien Zitronenmelissebestand, um die Wirkung der Maßnahmen ausschließlich auf die Kultur zu untersuchen.

Unmittelbar nach den unterschiedlichen Unkrautregulierungsmaßnahmen wiesen die jungen Zitronenmelissebestände Unterschiede bezüglich des Deckungsgrades auf. Die Pflanzen der schonenden Handhackvariante zeigten die höchste Deckung, in allen anderen Varianten entwickelten sich geringere Deckungsgrade. Besonders die Herbizidspritzung hemmte die Kultur in ihrer Entwicklung.

Durch den Methodenvergleich bestätigen sich die Daten in der ungefähren Abfolge, jedoch wurde der Deckungsgrad mittels Zählrahmen gegenüber der Kamera ca. 10% höher abgeschätzt. Der stichprobenartig manuell erhobene Deckungsgrad wies dabei aber weniger Abstufungen auf, als der Deckungsgrad, der mit Hilfe der digitalen Aufnahmen aus der gesamten Kernparzelle berechnet werden konnte (Abb. 6.3.2). Die digitalen Ergebnisse sind aufgrund ihrer Objektivität und des größeren Messumfangs repräsentativer.

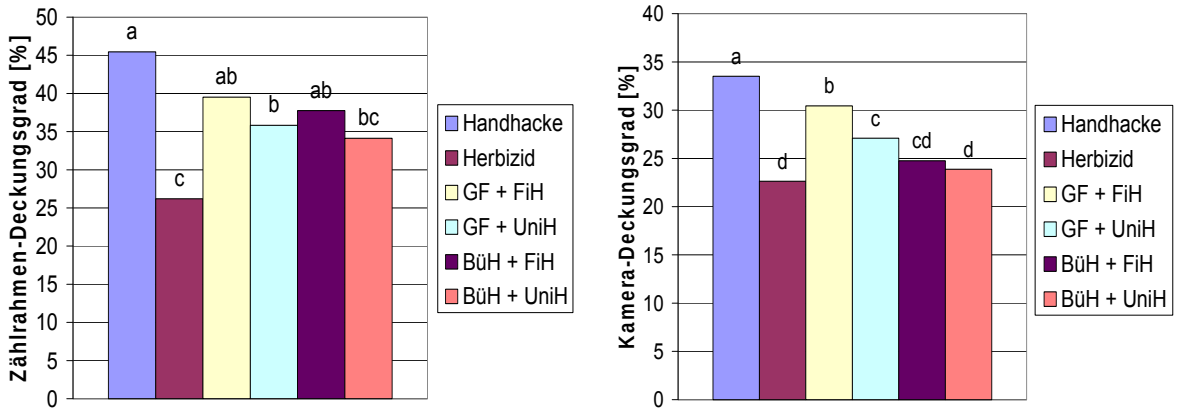


Abb. 6.3.2: Deckungsgrad von Zitronenmelisse im Pflanzjahr, Klein-Altendorf, 2009, Vergleich manuell (links) und digital (rechts) erhobener Daten. Signifikanzen manuell (a-c), digital (a-d) nach Tukey ($p \leq 0{,}05$)

Als weiterer Parameter für die Bewertung des Bestandes gibt auch die Pflanzenhöhe Hinweise auf die Kulturbeschaffenheit (Abb. 6.3.3). Neben den manuell erhobenen Messungen zeigte sich auch hier eine Verbesserung der Aussage durch die statistische Absicherung mit Hilfe des objektiven bildgebenden Verfahrens.

Die Verrechnung des Bestandesvolumens brachte im Vergleich der Unkrautregulierungsvarianten signifikante Unterschiede. Nach dem Hacken wurde deutlich, dass das Bestandesvolumen der Handhackvariante mit Signifikanz alle anderen Varianten übertraf. Die Bestandesvolumina, die sich nach der Behandlung mit mechanischen Maßnahmen entwickelten, lagen auf mittlerem Niveau, während das Volumen der Herbizidvariante das signifikant geringste Volumen gegenüber allen anderen Varianten aufwies. Diese eindeutigen signifikanten Unterschiede – bedingt durch die Unkrautregulierung - konnten durch die stichprobenartigen Erhebungen bisher weniger zuverlässig statistisch abgesichert werden. Die Annahme, dass die großflächige Erfassung mit Hilfe der Kameratechnik den Kulturpflanzenbestand verlässlicher widerspiegelt, wurde hiermit bekräftigt.

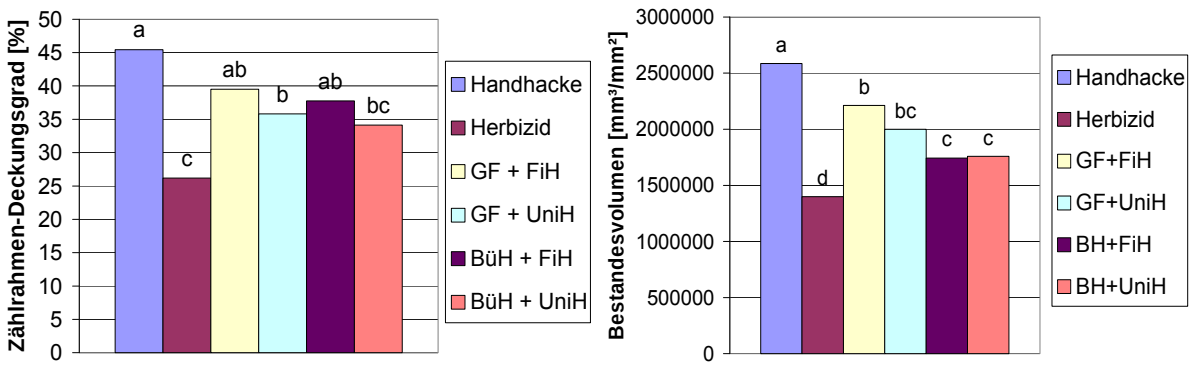
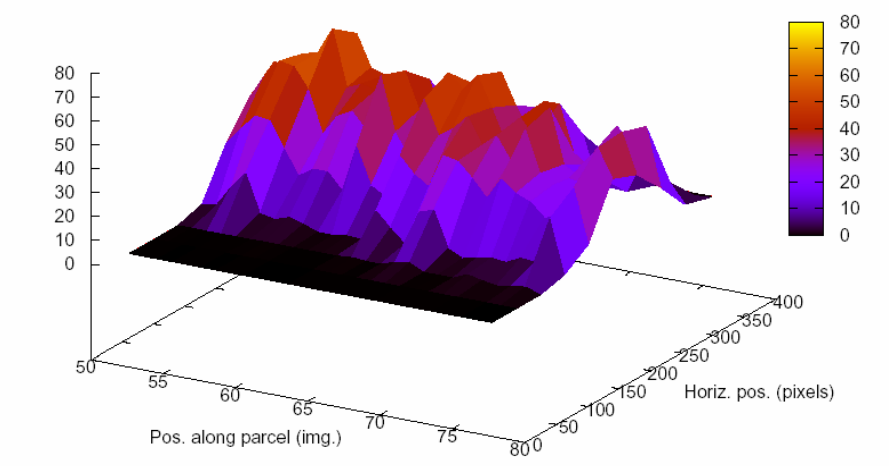


Abb. 6.3.3: Einfluss der Unkrautregulierung auf die Pflanzenhöhe (manuelle Ermittlung) und das Bestandesvolumen (digitale Erfassung) von unkrautfreien Zitronenmelissebeständen im Pflanzjahr. Standort: Klein-Altendorf, 2009. Signifikanzen manuell (a-b), digital (a-d) nach Tukey ($p \leq 0{,}05$)

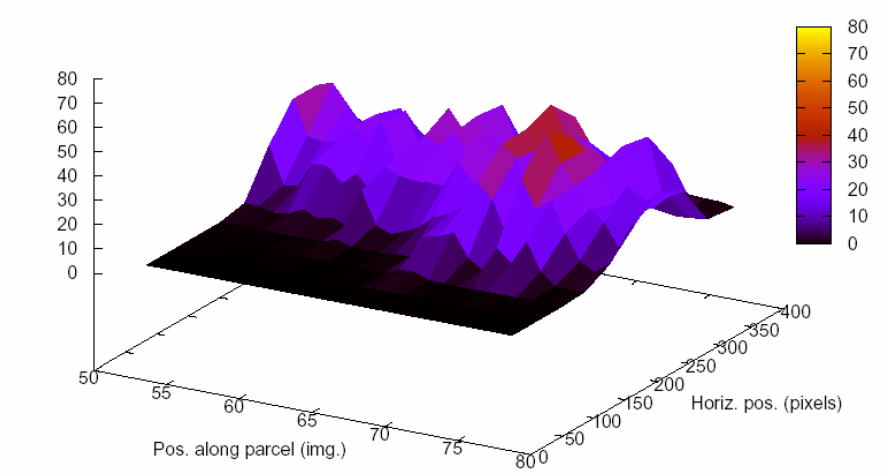
Nachfolgend dargestellt, wurden für die einzelnen Varianten dreidimensionale Abbildungen erzeugt, die die Pflanzenbestände hinsichtlich ihrer Homogenität in Abhängigkeit der Unkrautregulierungsmaßnahmen verdeutlichen (Abb. 6.3.4).

Diese zeigen im Vergleich der Varianten, dass sich über die gesamte Parzelle der Handhackkontrolle ein Bestandesvolumen von ca. 55 mm³/mm² entwickelt hatte, dagegen war das Bestandesvolumen der Herbizidkontrolle gestaucht und lag überwiegend bei nur 20 bis 30 mm³/mm².

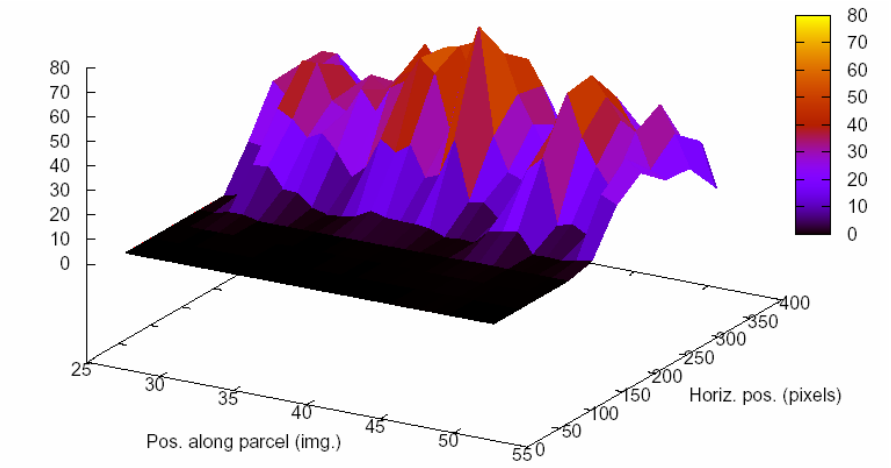
Nach dem Einsatz von Gänsefußhacke + Fingerhacke variierte das Wachstum der Parzelle von 30 bis 50 mm³/mm², bei der Kombination der Gänsefußhacke mit der etwas aggressiveren Unihacke erreichte der Bestand im Maximum eine ähnliche Größe, war aber in der Mitte der Parzelle nur 20 bis 25 mm³/mm² groß. Das Bestandesvolumen der Variante Bürstenhacke + Fingerhacke schwankte ebenfalls stark und lag bei 30 bis 55 mm³/mm², das Volumen der Parzelle, die mit Bürstenhacke + Unihacke behandelt wurde, erzielte einen geringeren Aufwuchs von nur 20 bis 40 mm³/mm² und lag damit auf einem etwas höheren Niveau als die Melissenpflanzen der Herbizidvariante.



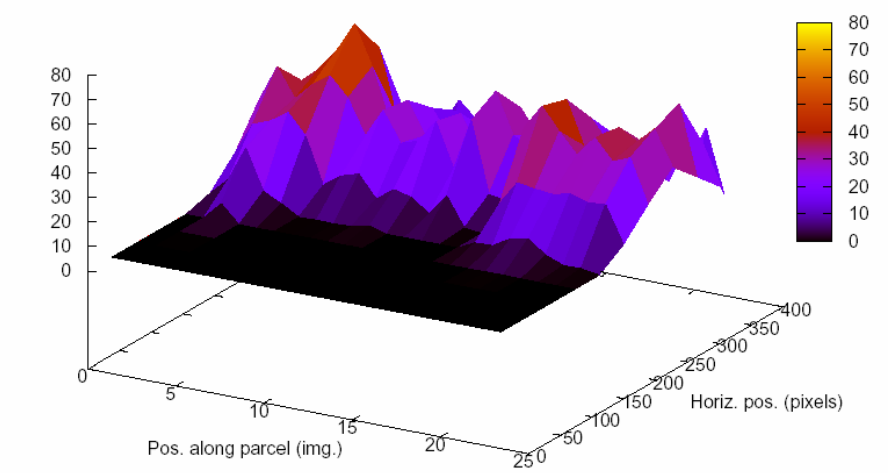
Nach Handhacke



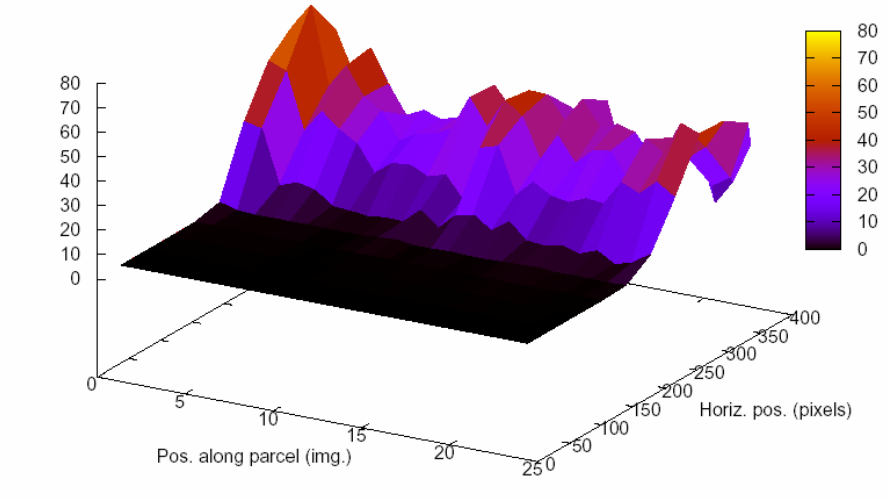
Nach Herbizidspritzung



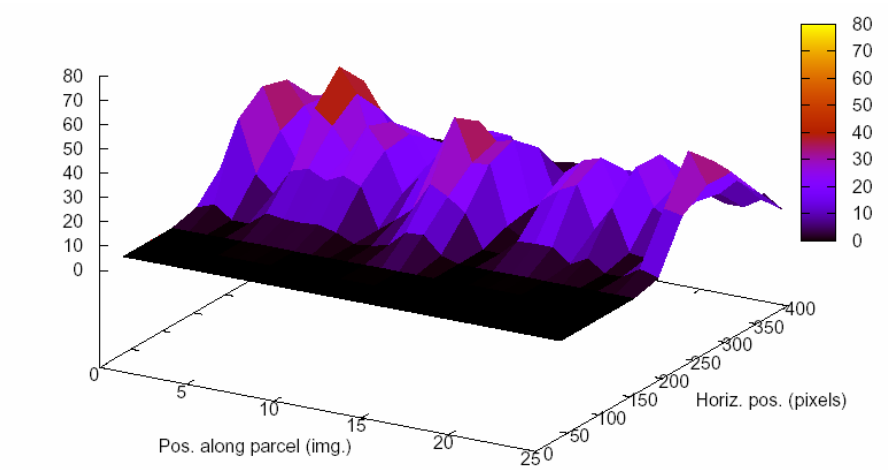
Nach Gänsefußhacke + Fingerhacke



Nach Gänsefußhacke + Unihacke



Nach Bürstenhacke + Fingerhacke



Nach Bürstenhacke + Fingerhacke

Abb. 6.3.4: Einfluss der Unkrautregulierungsmaßnahmen auf das Bestandesvolumen von unkrautfreien Zitronenmelissebeständen im Pflanzjahr. Standort: Klein-Altendorf, 2009, Aufnahme und Auswertung: Stereotool-Technik

Des Weiteren galt zu prüfen, ob die Unterschiede in der Bestandesentwicklung noch in den erntereifen Beständen bzw. zum Erntezeitpunkt wieder zu finden waren und inwiefern sich dieser Faktor auf die Erträge auswirkte.
Bei der Ernte von Zitronenmelissebeständen innerhalb des Pflanzjahres sind noch keine Vollerträge zu erwarten. Aufgrund der Auswahl der aufrecht wachsenden Sorte `Citra` war eine Beerntung der einjährigen Bestände möglich. Nach der Ernte und der Ermittlung der Frischgewichte erfolgte die schonende Trocknung der Krautdroge. Die Trockengewichte des gesamten Krautes, getrennt nach Parzellen. Mittels Ernteaufbereitung der TM-Proben (Trennung Blatt/Stängel) wurden die reinen Blatterträge spezifiziert.

Ertrag in Abhängigkeit der Standorte

Bei dem Vergleich der Frischmasse-Erträge (FM) zeigten sich in Abb. 6.3.5 mit durchschnittlich 6000 kg/ha meistens keine Standortunterschiede, lediglich im Fall von verschiedenen Ernteterminen differenzierten sich die Standorte mit etwas geringeren FM-Erträgen. Nach der Trocknung von den Zitronenmelisse-Erträgen des Pflanzjahres gab es ebenso nur tendenzielle Standortunterschiede.

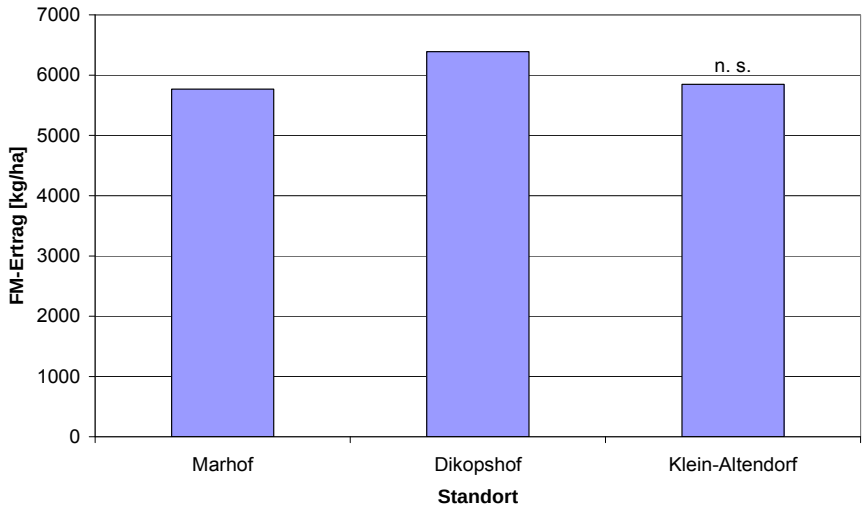


Abb. 6.3.5: Einfluss des Standortes auf den FM-Ertrag von Zitronenmelisse im Pflanzjahr, 2008. Signifikanzen (n. s) nach Tukey ($p \leq 0,05$)

Ertrag in Abhängigkeit der Unkrautregulierungsvarianten

Bei der Differenzierung der Varianten erreichten die TM-Erträge der Handhackvariante tendenziell die höchsten Werte (Abb. 6.3.6).

Auch bei der aufbereiteten, von Stängelanteilen befreiten Blattware war der Trend zu erkennen, dass an allen drei Standorten die schonende Handhackvariante auf höherem Niveau lag und die Herbizidvariante den niedrigsten Ertrag brachte. Die Blatt-Erträge der mechanischen Varianten lagen über der Herbizidvariante.

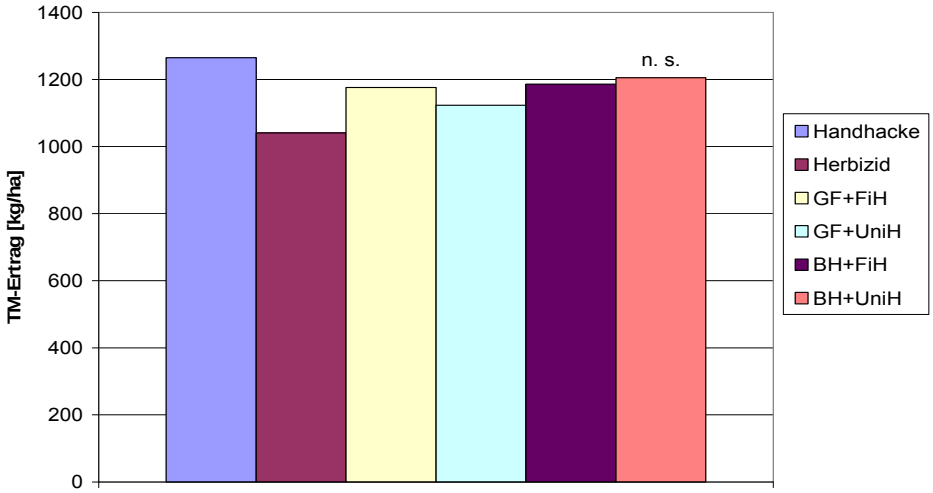


Abb. 6.3.6: Einfluss der Bearbeitungsvarianten TM-Ertrag von Zitronenmelisse im Pflanzjahr, Dikopshof, 2009. Signifikanzen (n. s.) nach Tukey ($p \leq 0{,}05$)

Als zusätzlicher Parameter für eine Kulturbeeinflussung durch die Unkrautregulierungsvarianten wurde die Pflanzenhöhe nochmals zum Erntezeitpunkt bestimmt. Die Kultur zeigte eine einheitliche Wuchshöhe von 13 bis 14 cm ohne signifikante Unterschiede. Tendenziell waren auch zum Erntezeitpunkt die Pflanzen der Handhackvariante am höchsten, wohingegen die Herbizidvariante die geringste Wuchshöhe aufwies (Abb. 6.3.7).

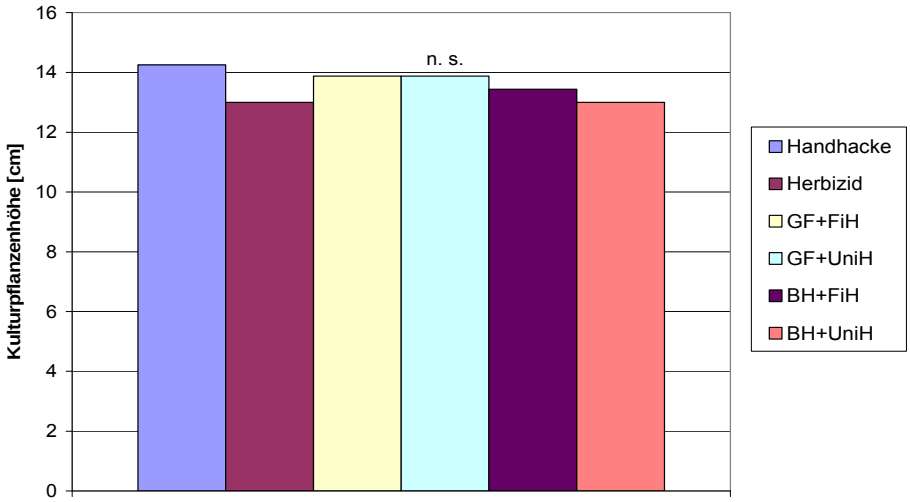


Abb. 6.3.7: Wuchshöhe von Zitronenmelisse im Pflanzjahr zum Erntezeitpunkt in Abhängigkeit der Bearbeitungsvariante, Klein-Altendorf, 2009. Signifikanzen (n. s.) nach Tukey ($p \leq 0{,}05$)

Bei der Analyse der aufbereiteten Drogenrohware zeigte sich, dass Gehalte der Proben aller Varianten zwischen 0,05-0,13% ätherischem Öl lagen und entsprachen damit der Mindestanforderung. Aus Kostengründen erfolgten nur Einzelmessungen. Unterschiede ließen sich dadurch nicht absichern. In der Herbizidvariante war der Wirkstoff Pyridat des Herbizides `Lentagran` gegen dikotyle Unkräuter und der Wirkstoff Tepraloxidim des Herbizides `Aramo` gegen Ungräser unterhalb des Grenzwertes analysierbar.

Fazit:
In jungen, nicht erntereifen Zitronenmelissebeständen konnte nachgewiesen werden, dass die Unkrautregulierungsmaßnahmen die Pflanzenentwicklung beeinflussten. Insbesondere die Herbizidspritzung wirkte sich signifikant negativ auf die Kulturpflanzenentwicklung aus. Diese Effekte konnten zum Erntezeitpunkt und in den Erträgen noch tendenziell beobachtet werden. Mit Hilfe der großflächig eingesetzten Kameratechnik wurden aus der Unkrautregulierung resultierende Unterschiede deutlicher als durch manuelle Datenerfassung. Ein frühzeitiges und objektives Widerspiegeln von jungen Kulturpflanzenbeständen kann somit den langjährigen Anbau von Zitronenmelisse verbessern.

6.3.2. Zitronenmelisse ein Jahr nach Pflanzung

Ertrag in Abhängigkeit der Standorte

Ein Jahr nach der Pflanzung konnten die Zitronenmelissebestände in zwei Schnitten beerntet werden. Dabei wurden Abb. 6.3.8 Unterschiede zwischen den Standorten bezüglich der FM- und TM-Erträge sichtbar. Die Frischmasse ergab in der Summe beider Schnitte auf dem Marhof den geringsten Ertrag mit ca. 14000 kg/ha und in Klein-Altendorf signifikant höhere 17000 kg/ha. Dem entsprechend unterschied sich auch in der Trockenmasse der Marhof signifikant von den anderen Standorten.

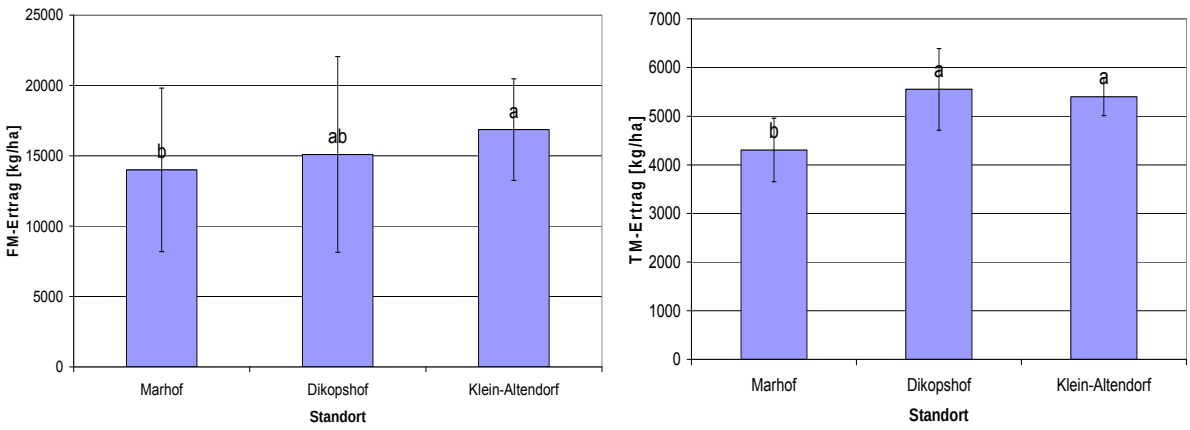


Abb. 6.3.8: Einfluss des Standortes auf den FM- und den TM-Ertrag von Zitronenmelisse ein Jahr nach Pflanzung, Summe beider Schnitte, 2008. Signifikanzen (a-b) nach Tukey ($p \leq 0{,}05$)

Ertrag in Abhängigkeit der Unkrautregulierungsvarianten

Um Erklärungsansätze über den Einfluss der Bearbeitungsvarianten auf die Kulturpflanze neben der Ertragsermittlung zu erhalten, wurde auch hier - als Maß einer Pflanzenbeeinflussung – die Kulturpflanzengröße zum Erntezeitpunkt hinzugezogen. Es zeigte sich, dass bei der Zitronenmelisse die Auswirkung der Bearbeitung auf die Pflanzenhöhe trotz der relativ einheitlichen Größe von ca. 90 cm zu erkennen war (Abb. 6.3.9). Die Handhackvariante war signifikant größer als die Herbizidvariante. Die mechanischen Varianten lagen dazwischen.

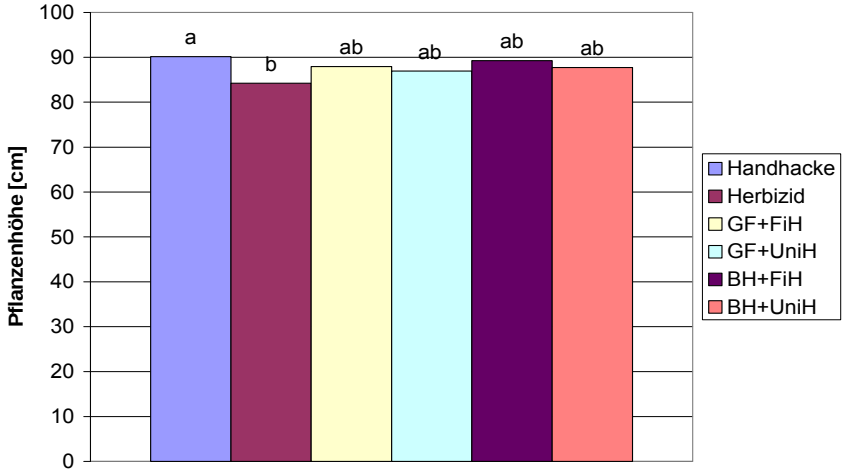


Abb. 6.3.9 Wuchshöhe von Zitronenmelisse ein Jahr nach Pflanzung zum Erntezeitpunkt in Abhängigkeit der Bearbeitungsvariante, Standort Marhof, erster Schnitt, 2008. Signifikanzen (a-b), (n. s.) innerhalb der 3 Standorte nach Tukey ($p \leq 0{,}05$)

Am jeweiligen Standort konnte der Einfluss der Varianten auf die Gesamterträge beider Erntetermine statistisch nicht abgesichert werden, wie aus Abb. 6.3.10 hervor geht.

Tendenziell lagen die Erträge der Handhackvariante zum ersten Erntetermin wegen einer geringen Kulturschädigung durch die Handhacke im oberen Bereich.

Auffällig war auch, dass der erste Schnitt ertragreicher war als der zweite Schnitt.

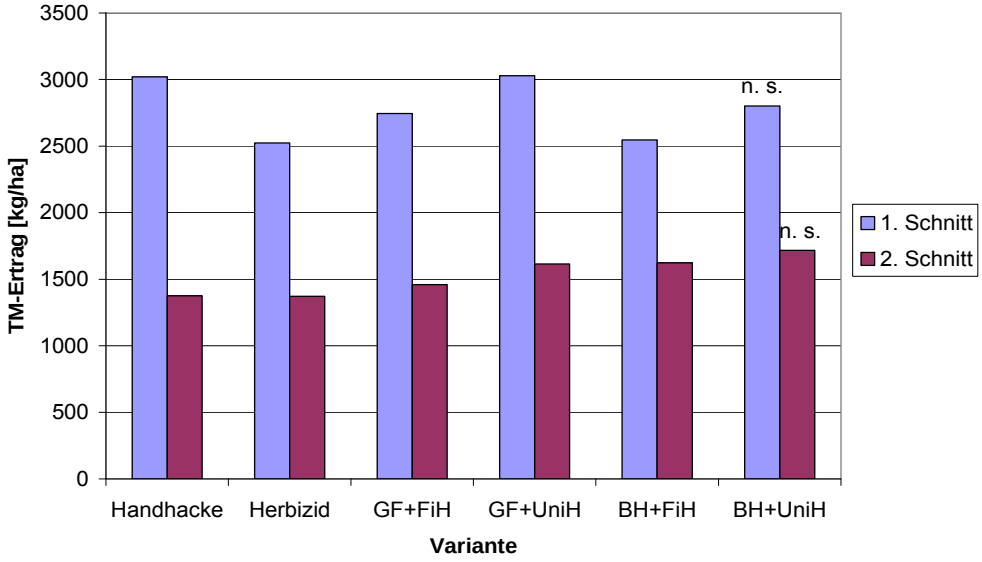


Abb. 6.3.10: Einfluss der Bearbeitungsvarianten auf den TM-Ertrag beider Schnitte von Zitronenmelisse ein Jahr nach Pflanzung, Marhof, 2008. Signifikanzen (n. s.) nach Tukey ($p \leq 0{,}05$)

Bei den von Stängeln getrennten aufbereiteten Blatterträgen der Zitronenmelisse konnten beim Vergleich der Varianten ebenfalls keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

Die analytischen Probenuntersuchungen erfolgten getrennt nach erstem und zweitem Schnitt. Die Gehalte an ätherischem Öl lagen bei 0,05-0,15% und entsprachen der Mindestanforderung. Der erste Schnitt ergab Werte von 0,05-0,14% und beinhaltete – im Übereinklang mit Literaturangaben – durchschnittlich etwas weniger ätherisches Öl als der zweite Schnitt mit 0,08-0,15%. Die Reinheitsprüfung ergab, dass bei beiden Schnitten auch die Fremdbestandteile innerhalb der Sollvorgabe lagen. Durch das Herbizid `Lentagran`, welches gegen dikotyle Unkräuter wirkt, wurde in der Probe der Herbizidvariante der Grenzwert des Wirkstoffes Pyridat überschritten. Bei dem Herbizid gegen Ungräser `Aramo` wurde der Grenzwert des Wirkstoffes Tepraloxidim eingehalten.

Fazit:

Tendenziell erreichte die Variante der kulturschonenden Handhacke die höchsten Erträge. Der leicht höhere Ertrag einer reinen Handhacke wiegt aber die enormen Kosten für die manuelle Pflege nicht auf. Der Ertrag der chemischen Variante war meist mit den Erträgen der mechanischen Varianten vergleichbar. Allerdings bergen nachweisbare

Herbizidrückstände einen Nachteil. Somit sind aus Sicht der Ertragsbildung mechanische Maßnahmen mit Herbizideinsatz vergleichbar.

6.3.3 Baldrian

Ertrag in Abhängigkeit der Standorte

Die Kultur Baldrian wurde im Herbst des Anbaujahres gerodet und durch mehrere Wäschen und schonende Trocknung aufbereitet. Die Standorteigenschaften beeinflussten die Erträge signifikant, was überwiegend aus Bodeneigenschaften sowie den Ernte- und Aufbereitungsverfahren resultierte (Abb. 6.3.11). Denn aufgrund der lehmigen Standorte kann auch nach gründlichen Wäschen ein Rest an Erdbestandteilen im Wurzelballen enthalten sein. Zudem verblieben bei der Rodung auf den lehmigen Standorten Feinwurzeln im Boden. Es ist nicht auszuschließen, dass die unterschiedlichen Wurzelgewichte trotz Wäsche auch durch den Erdanhang beeinflusst wurden.

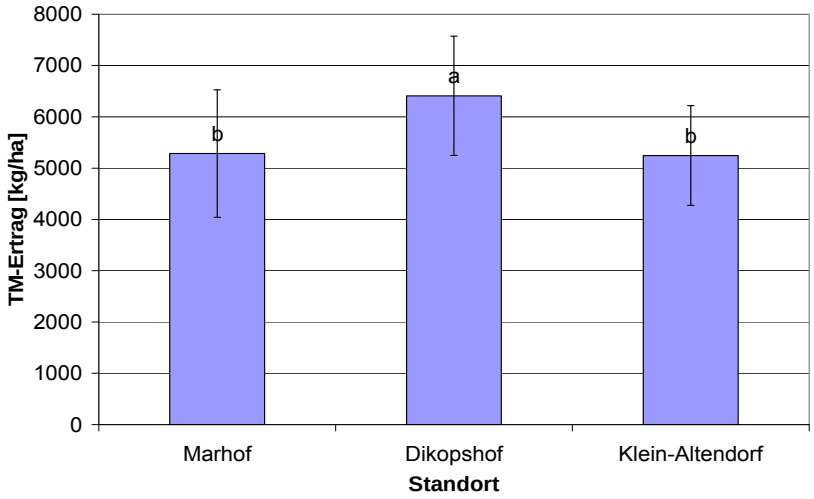


Abb. 6.3.11: Einfluss des Standortes auf den TM-Ertrag von Baldrian in Abhängigkeit der Standorte, 2008. Signifikanzen (n. s.) nach Tukey ($p \leq 0{,}05$)

Ertrag in Abhängigkeit der Unkrautregulierungsvarianten

Für einen Vergleich der Unkrautregulierungsvarianten wurde in den Baldrianbeständen als erklärender Parameter zur Schädigung der Verlust von Kulturpflanzen durch die verschiedenen Maßnahmen untersucht, indem alle geernteten Pflanzen der gesamten Kernparzelle ermittelt wurden.

Es konnte ein signifikanter Unterschied zwischen der Kulturschonenden Handhacke und der Variante GF + UniH festgestellt werden, was bedeutet, dass in der GF + UniH-Variante die Bestände von ca. 5,3 auf 4,2 Pfl./m² reduziert wurden (Abb. 6.3.12).

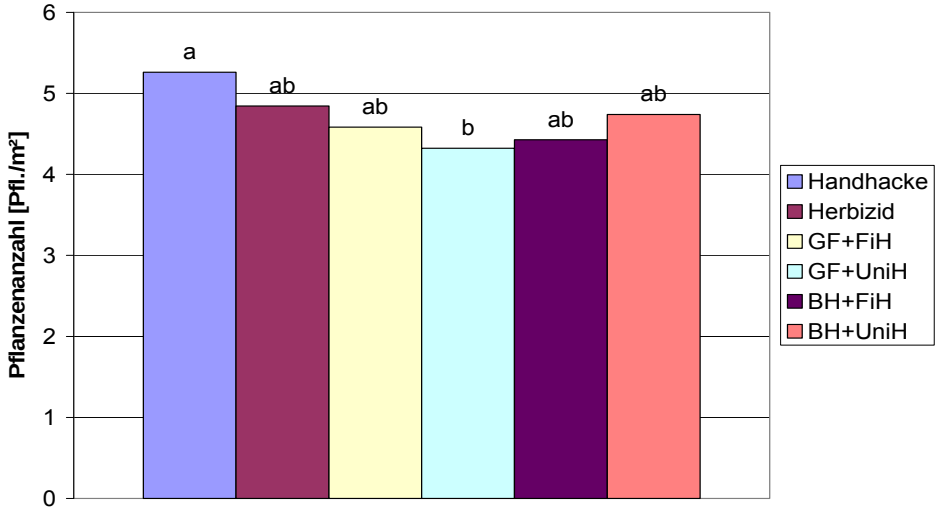


Abb. 6.3.12: Kulturschädigung an Baldrian in Form einer Reduzierung der Pflanzenanzahl in Abhängigkeit der Bearbeitungsvariante, Dikopshof, 2008. Signifikanzen (a-b), nach Tukey ($p \leq 0,05$)

Nach der Ernte der Baldrianwurzeln ergab die gewaschene Frischmasse zunächst, dass sich die Gewichte der einzelnen Wurzelballen nicht signifikant unterschieden; auch nach der Trocknung zeigten die Wurzelballen bei durchschnittlich 150 g/Pflanze keine statistisch absicherbare Differenzierung.

Nachdem die Varianten bezüglich des Einzelgewichtes keine signifikanten Unterschiede hervorbrachten, wurden im Folgenden die Felderträge untersucht.

Bei der Erhebung der TM-Baldrianerträge/ha stellte sich heraus, dass sich die Unkrautregulierungsvarianten statistisch unterschieden (Abb. 6.3.13). Die Erträge der Kontrollvariante und die Variante BüH + FiH lagen bei ca. 7400 kg/ha und waren mit Signifikanz höher als die der Variante GF + UniH mit 5000 kg/ha. Aufgrund der ähnlichen Abstufung innerhalb der Varianten liegt nahe, dass dies durch die reduzierten Pflanzenanzahlen hervorgerufen wurde.

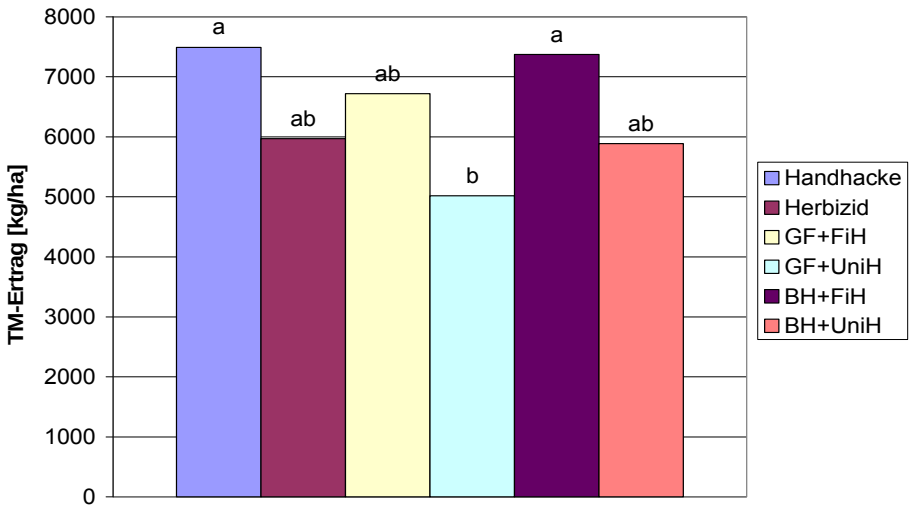


Abb. 6.3.13: Einfluss der Bearbeitungsvarianten den Baldrianwurzel-TM-Ertrag, Dikopshof, 2008. Signifikanzen (a-b) nach Tukey ($p \leq 0,05$)

Die Untersuchung der Baldrianwurzeln auf ätherisches Öl zeigte Werte von 0,45-1,02%, die Herbizid- und die BüH + UniH-Varianten lagen knapp unter der Sollvorgabe von 0,5%. Es wurden Valerensäure-Gehalte von 0,14-0,36% erzielt, auch hier lag die Herbizidvariante mit 0,14% unter der Sollvorgabe von 0,17%. Bei der Herbizidrückstandsanalyse lag der Wirkstoff Pendimethalin des Herbizides `Stomp` leicht über den Grenzwert.

Fazit

Die Reduzierung der Kulturpflanzenzahlen durch mechanische Maßnahmen (insbesondere durch die Variante Gänsefußhacke und Unihacke) im Vergleich zur Handhacke kann sich in ungünstigen Fällen negativ auf den Ertrag auswirken. Allgemein zeigten die mechanischen Varianten allerdings gleiche Erträge wie die Herbizidvariante.

6.3.4 Echte Kamille

Entwicklung des Kulturbestandes

Der Kulturverlauf der Echten Kamille wurde im Wesentlichen durch das Vorsaat-Herbizid geprägt. Dies hatte zur Folge, dass sich die Auflaufgeschwindigkeit der Kultur in den Vorsaatbehandelten Varianten gegenüber den beiden unbehandelten Varianten verringerte (Abb. 6.3.14).

Abb. 6.3.14: Einfluss des Vorsaat-Herbizides auf die Auflaufgeschwindigkeit der Echten Kamille, 2007; vorne links: unbehandelt, vorne rechts: behandelt, hinten im Bild umgekehrt

Bei der weiteren Beobachtung des Kulturverlaufes zeigten sich auch bei den Maßnahmen im Nachauflauf signifikante Unterschiede der Kulturpflanzenanzahl in Abhängigkeit der Varianten. Die herbizidlosen Unkrautregulierungsvarianten wiesen mit ca. 1000 Pfl./m² signifikant mehr Kulturpflanzen auf als die Varianten, die nach den mechanischen Varianten (mit Vorsaat-Herbizid) nur 600 bis 660 Pfl./m² ergaben. Die reine Herbizidvariante lag ungefähr auf mittlerem Niveau (Abb. 6.3.15).

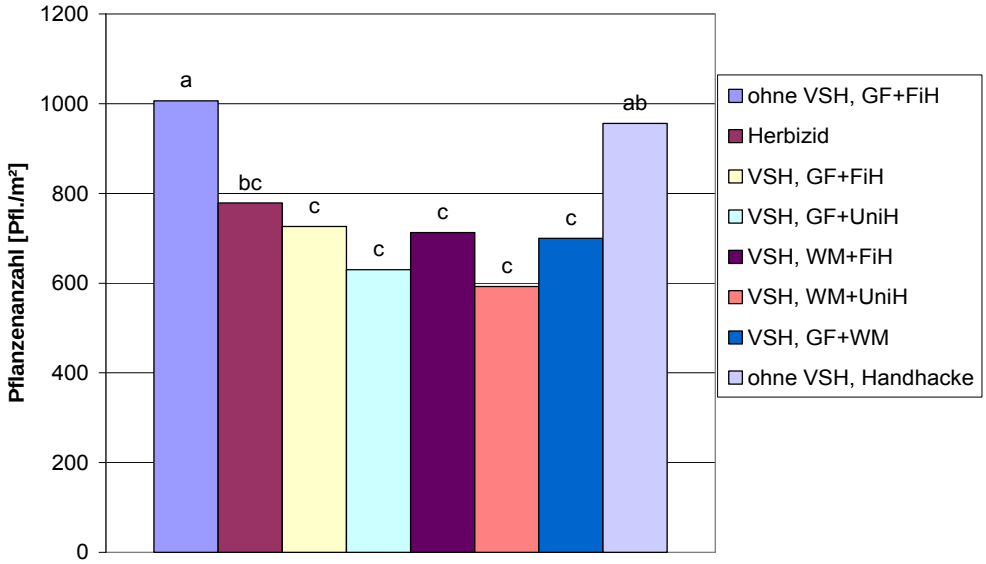


Abb. 6.3.15: Einfluss der Bearbeitungsvarianten auf Kulturpflanzenanzahl, Dikopshof, 2009. Signifikanzen (a-c) nach Tukey ($p \leq 0{,}05$)

Ertrag in Abhängigkeit der Standorte

Zum Kulturende wurden die FM- und TM-Erträge erhoben, die Standortbedingt Unterschiede boten (Abb. 6.3.16). Am Standort Klein-Altendorf wurden mit 750 kg/ha signifikant höhere Erträge produziert; auch die niedrigeren Trockenmassen lagen im praxisüblichen Ertragsbereich.

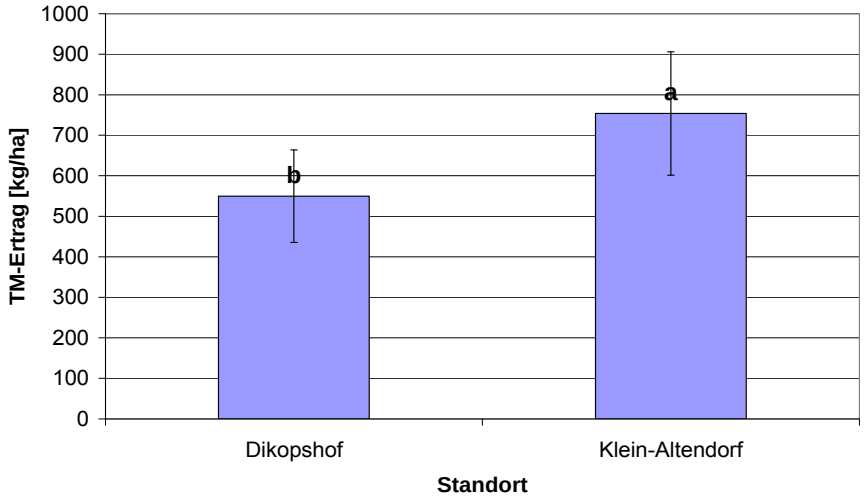


Abb. 6.3.16: Einfluss des Standortes auf den TM-Ertrag von Kamilleblüten, 2009. (Anmerkung: 2009 stand der Standort Marhof nicht mehr zur Verfügung). Signifikanzen (a-c) nach Tukey ($p \leq 0,05$)

Ertrag in Abhängigkeit der Unkrautregulierungsvarianten

Es wurden TM-Erträge der Blüten von 420 bis 720 kg/ha ermittelt. Es zeigte sich, dass die herbizidlosen Varianten den höchsten Ertrag mit 660 bzw. 720 kg/ha erzielten, gegenüber den VSH-behandelten Varianten war dieser Unterschied z. T. sogar signifikant. Die Herbizid-Variante unterschied sich mit fast 600 kg/ha weder von den herbizidlosen, noch von den mechanischen Varianten mit 420 bis 530 kg/ha (Abb. 6.3.17).

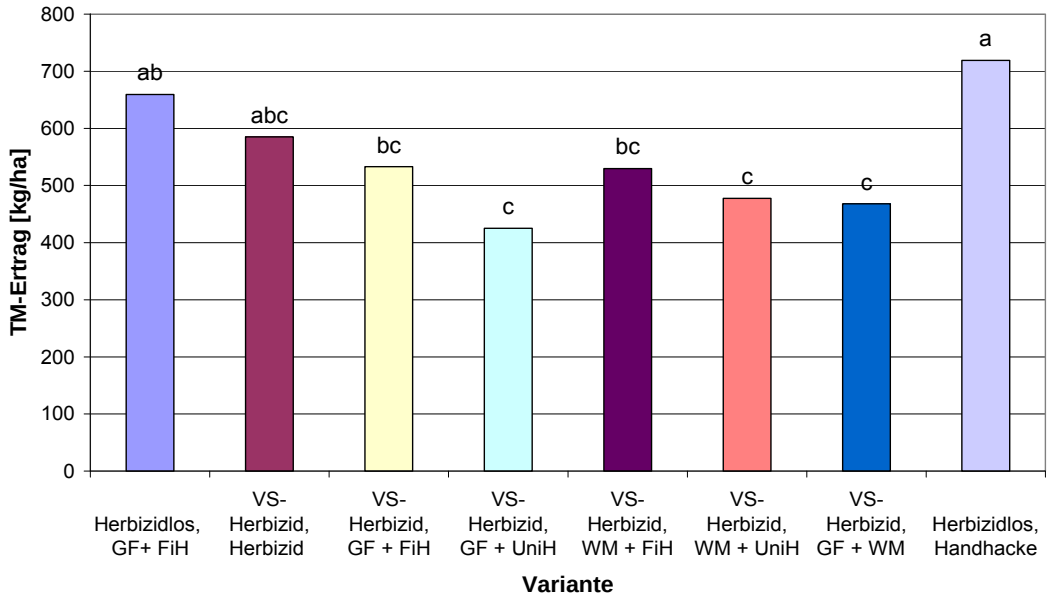


Abb. 6.3.17: Einfluss der Bearbeitungsvarianten auf den TM-Ertrag von Kamilleblüten, Dikopshof, 2009. Signifikanzen (a-c) nach Tukey ($p \leq 0{,}05$)

Zusätzlich sollte als Nachweis für günstigere Voraussetzungen der herbizidlosen Varianten eine Untersuchung der Blütenreife Aufschluss über den Einfluss der Bearbeitungsvarianten auf die Kultur geben. Für die Blütenbonitur wurde der Reifegrad der einzelnen Blüten bestimmt. In der Literatur wird der optimale Erntezeitpunkt bei Kamille ausführlich beschrieben, der für die Ertragshöhe essentiell ist.

Abb. 6.3.18 zeigt das Blütenreifestadium der Echten Kamille am Standort Dikopshof, welches in drei Kategorien unterteilt ist: Blüten, die sich im optimalen Reifezustand befanden; bereits verblühte Einzelblüten und Blüten, die noch im Knospenstadium waren. Durch die Darstellung wird zunächst deutlich, dass zu einem optimalen Zeitpunkt geerntet worden ist, da die Mehrzahl der einzelnen Blüten im richtigen Reifezustand waren. Dagegen sind die Anzahlen der Verblühten und Knospen ausgeglichen.

Bei der Betrachtung der Unterschiede innerhalb der Varianten zeigte sich, dass es in der ersten Kategorie (erntereife Blüten) keine signifikanten Unterschiede gab, wohl aber in den anderen beiden Gruppen: Auch hier wird der Einfluss des VSH erneut aufgezeigt, indem der Anteil bereits verblühter Blüten hier signifikant niedriger ist, als bei alle anderen Varianten ohne VSH-Behandlung. Im Umkehrschluss stellt dies auch die Knospenanzahl dar, indem die Varianten mit VSH-Behandlung eine stärkere Anzahl an Knospen vorwies als die beiden unbehandelten Varianten, teilweise signifikant.

Der verzögerte Kulturstart, der aus der VSH-Behandlung hervorgeht, wächst sich demnach im Laufe der Vegetationszeit nicht aus, sondern bleibt bis zur Ernte erhalten.

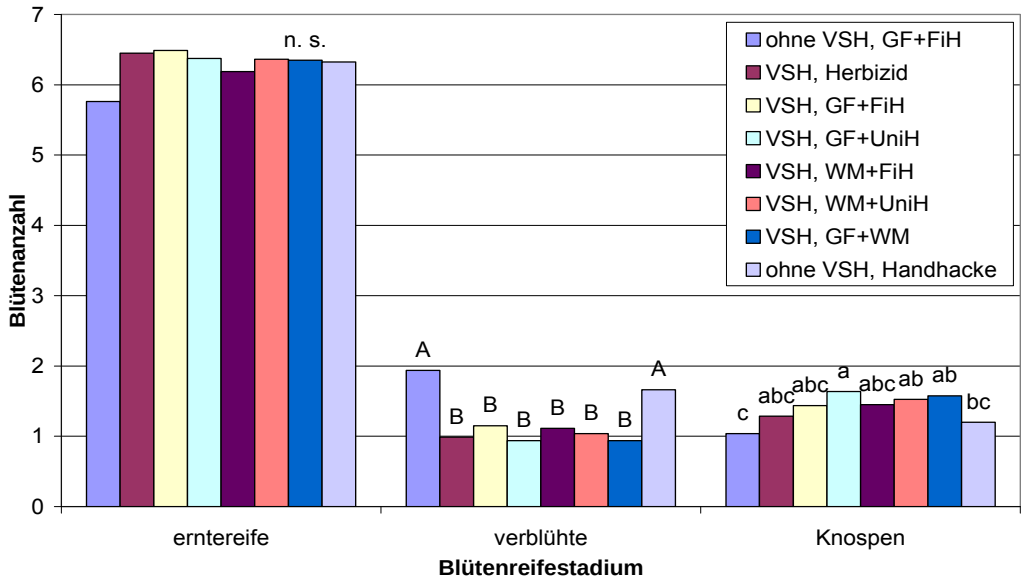


Abb. 6.3.18: Blütenreife in Abhängigkeit der Bearbeitungsvariante von Echter Kamille am Standort Dikopshof, 2009. Signifikanzen (A-B, a-c, n. s.) getrennt nach Blütenkategorie, nach Tukey ($p \leq 0{,}05$)

In den Blütenproben der Echten Kamille wurde 0,6-0,91% ätherisches Öl ermittelt. Insgesamt waren die Gehalte relativ homogen über die Varianten verteilt und lagen über der Mindestanforderung von 0,4%. Bezüglich der Herbizidrückstände war der Wirkstoff Prosulfocarb der Herbizides `Boxer` lediglich nachweisbar. Glufosinat, die Wirkstoffgruppe des Vorsaatherbizides `Basta`, war aus messtechnischen Gründen nicht analysierbar, da die Messgrenze bisher bei 5 mg/kg liegt, die Höchstmenge aber bei 0,1 mg/kg angesetzt ist.

Die Differenzen im ätherischen Ölgehalt könnten auf die unterschiedlichen Reifegrade der Kamillebestände zum Erntezeitpunkt zurückzuführen sein. Daher erfolgte eine weitere Aufspaltung der Qualität der einzelnen Ölbestandteile.

Um Aussagen über die Abreife (die augenscheinlich durch die Vorsaatherbizid-Maßnahme beeinflusst wurde) zu treffen, wurden die Bestandteile des ätherischen Öls weiter in Alfa-Bisabolol, Bisabololoxid a, Bisabololoxid b, Chamazulen, En-in-dicycloether und Farnesen aufgeschlüsselt, die aufgrund der Einzeluntersuchung keine absicherbaren Unterschiede in Abhängigkeit der Varianten ergaben.

Fazit

Die Bestandesentwicklung der Echten Kamille war hauptsächlich vom Einsatz des Vorsaat-Herbizideinsatz abhängig. Der verzögerte Entwicklungsverlauf, bedingt durch das unterschiedliche Auflaufverhalten, konnte bis zur Ernte nicht ausgeglichen werden, wie der Reifegrad der Blüten zeigte. Die mit Vorsaatherbizid kombinierten mechanischen Unkrautregulierungsvarianten reduzierten die Pflanzenanzahl im Vergleich zum Herbizideinsatz nur tendenziell. Dies spiegelte sich auch im Ertrag wieder.

7. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die Zuwendung wurde für die Anlage (z. B. Saat- und Pflanzgut) und Durchführung der Versuche (Hacktechnik, Datenerhebung) verwendet. An dieser Stelle wird auf den gesonderten Verwendungsnachweis verwiesen.

8. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Notwendigkeit und Angemessenheit dieser Arbeit war gegeben. Es konnten wesentliche Erkenntnisse bezüglich der Unkrautregulierung in Arzneipflanzen gewonnen werden.

9. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die Veröffentlichungen aus diesem Projekt werden unter 11. ausführlich angegeben. Besonders durch den Transfer der Ergebnisse in die Praxis auf den Feldtagen hatte für die Arzneipflanzenanbauenden Betriebe einen hohen Nutzen.

10. Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Nicht bekannt

11. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

11.1 Feldtage

Es wurde 2007, 2008 und 2009 jeweils ein Feldtag mit Besichtigung der Versuche durchgeführt.

Am 20.07.2007 fand auf der Lehr- und Forschungsstation Marhof (Universität Bonn) der erste Feldtag im Rahmen des Unkrautregulierungsprojektes statt. Im Folgejahr wurde der zweite Feldtag am 09.07.2008 an der Lehr- und Forschungsstation Klein-Altendorf organisiert. Dieser erfolgte in Kooperation mit weiteren Versuchsvorstellungen im Bereich der Arzneipflanzen (Universität Bonn sowie Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum) und der nachwachsenden Rohstoffe. Der dritte Feldtag wurde am 01.07.2009 ebenfalls in Klein-Altendorf veranstaltet.

Die Versuche wurden vorgestellt, besichtigt und die ersten Ergebnisse präsentiert. Zusätzlich fanden Maschinenvorführungen statt (Fa. Kress (2007, 2008), Fa. Schmotzer (2008), Universität Bonn (2007, 2008, 2009)), sowie Präsentationen zur Erntetechnik mit

Spezialerntemaschinen für Arzneipflanzen – insbesondere für die Kamille-Blütenpflücke der Fa. Euro prima doo aus Serbien (2007) und der Firma Trinkel zur Sätechnik für Feinsämereien (2007).

Neben Gästen wie Herrn Dr. Stürmer (BMELV, 2007), Frau Stelter (FNR, 2008) und Frau Dr. Grohs (FAH, 2007, 2008, 2009), sowie Mitgliedern der Expertengruppe KAMEL zeigten zahlreiche Teilnehmer aus den Bereichen der Praxis, Technik, Wissenschaft und Beratung Interesse an den Sonderkulturen und der Hacktechnik (Abb. 11.1).

Abb. 11.1: Vorstellung der Hacktechnik auf dem Feldtag 2008

11.2. Vorträge

In Form von Vorträgen wurde das Projekt über die gesamte Laufzeit vor Praktikern wie auch Wissenschaftlern vorgestellt und die Ergebnisse präsentiert.

<u>Sitzungen der FAH</u> (Forschungsvereinigung für Arzneimittelhersteller):

12.07.2006, DLR, Ahrweiler

Pietzsch, K., Ulbrich, A., Pude, R., Blum; H.: Unkrautregulierung im Arznei- und Gewürzpflanzenbereich, Leistungsvergleich verschiedener Techniken.

13.12.2007, BAH, Bad Godesberg

Pietzsch, K., Ulbrich, A., Pude, R.: Unkrautregulierungserfolg als Bewertungskriterium für den Leistungsvergleich mechanischer Unkrautregulierungsmaßnahmen in Kulturbeständen von Baldrian, Echter Kamille und Zitronenmelisse.

Sitzungen des wissenschaftlichen Beirates:

29.04.2008, Bad Hersfeld, Expertengruppe „Bestandesetablierung“
Pietzsch, K., Ulbrich, A., Pude, R.: Unkrautregulierung im Arznei- und Gewürzpflanzenanbau - Leistungsvergleich verschiedener Techniken (Verlängerungs- und Aufstockungsantrag).

14.05.2008, Bad Hersfeld, Expertengruppe „Bestandesetablierung“
Pietzsch, K., Ulbrich, A., Pude, R.: Unkrautregulierung im Arznei- und Gewürzpflanzenanbau - Leistungsvergleich verschiedener Techniken (Verlängerungs- und Aufstockungsantrag).

09.12.2009, BAH, Bad Godesberg
Pietzsch, K., Ulbrich, A., Pude, R.: Ergebnisse zum Leistungsvergleich verschiedener Unkrautregulierungsmaßnahmen in Baldrian, Echter Kamille und Zitronenmelisse.

Feldtag:

20.07.2007, Lehr- und Forschungsstation Marhof, Wesseling
Pietzsch, K., Ulbrich, A., Pude, R., Blum; H.: Unkrautregulierung im Arznei- und Gewürzpflanzenbereich, Leistungsvergleich verschiedener Techniken.

Tagungen:

06.10.2009, Quedlinburg
Pietzsch, K., Ulbrich, A., Pude, R.: Unkrautregulierung im Arznei- und Gewürzpflanzenanbau – aktuelle Ergebnisse mit Zitronenmelisse. Tagung der Arbeitsgemeinschaft Arznei- und Gewürzpflanzen (AG 17) der Gesellschaft für Pflanzenzüchtung und Arbeitsgemeinschaft Heil- und Gewürzpflanzen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Anbau und Züchtung von Zitronenmelisse (*Melissa officinalis*).

09.02.2010, Dienstleistungszentrum Ländlicher Raum, Klein-Altendorf
Pietzsch, K., Ulbrich, A., Pude, R.: Aktuelle Ergebnisse zur Unkrautregulierung in Arznei- und Gewürzpflanzen. Anbauerschulung.

11.3. Poster

Für nationale und internationale wissenschaftliche Tagungen wurden Poster erstellt und präsentiert (mit Veröffentlichung in Tagungsbänden).

Pietzsch, K., Ulbrich, A., Pude, R. (2007): Projektentwicklung: Unkrautregulierung in Arznei- und Gewürzpflanzen – Leistungsvergleich verschiedener Techniken, Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 19, 238- 239, 50. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, 18.-20.September 2007, Bonn, Deutschland.

Pietzsch, K., Ulbrich, A., Pude, R. (2008): Improving mechanical weed management as an alternative for chemical weed control in selected medicinal herbs, Book of Abstracts 145-146, First Symposium on Horticulture in Europe, 17.-20. February 2008, Vienna, Austria.

Pietzsch, K., Blum, H., Ulbrich, A., Pude, R. (2008): Untersuchungen zur mechanischen Unkrautregulierung in Zitronenmelisse (*Melissa officinalis L.*), Tagungsband 75-76, 18. Bernburger Winterseminar und 5. Fachtagung Arznei- und Gewürzpflanzen, 18.-21. Februar 2008, Bernburg, Deutschland.

Pietzsch, K., Ulbrich, A., Pude, R. (2009): Untersuchungen zu mechanischer Unkrautregulierung als herbizidfreie Alternative in Echter Kamille, Baldrian und Zitronenmelisse, 19. Bernburger Winterseminar, 17.-18. Februar 2009, Bernburg, Deutschland.

11.4. Beiträge

Teilergebnisse des Unkrautregulierungsprojektes wurden auch in Form eines Buchkapitels eingereicht:

Pietzsch, K., Ulbrich, A., Pude, R. (2010): Optimierungsansätze zur Steigerung der Effektivität mechanischer Unkrautbekämpfungsmaßnahmen in Arznei- und Gewürzpflanzen. Handbuch des Arznei- und Gewürzpflanzenanbaus, Band 1 Grundlagen des Arznei- und Gewürzpflanzenanbaus, Verein für Arznei- und Gewürzpflanzen SALUPLANTA e.V. Bernburg (eingereicht).

12. Literatur

1. Auler T. Unkrautunterdrückung mit Sinapis alba L. als Bodendecker. Diss. Universität Hohenheim 1998

2. Bertram, A. (1996): Geräte- und verfahrenstechnische Optimierung der thermischen Unkrautbekämpfung, Forschungsbericht Agrartechnik 284, Weihenstephan (Selbstverlag), 21-41, 170-188

3. Biskup B, Scharr H, Schurr U, Rascher U. A stereo imaging system for measuring structural parameters of plant canopies. Plant, Cell and Environment 2007:1299-1308

4. Börner, H. (1995): Unkrautbekämpfung, Gustav Fischer Verlag, Jena, 14-17, 24-41, 55-67

5. Bornimer Agrartechnische Berichte (2007): 13. Workshop Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft & 4. Workshop Precision Farming, Heft 60, Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V.

6. Dicke D. Lenkung teilschlagspezifischer Unkrautkontrollverfahren unter Berücksichtigung der Populationsdynamik von Unkräutern mit computergestützten Modellen. Inaugural-Diss. Lehrstuhl Allgemeiner Pflanzenbau, Universität Bonn 2005

7. Estler M. Mechanische Unkrautregulierung – Möglichkeiten und Grenzen. Arbeitsunterlagen, DLG e.V., Frankfurt a. M. 1993

8. Gerhards R, Sökefeld M, Kühbauch W. Einsatz der digitalen Bildverarbeitung bei der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVI 1998:273-280

9. Hoffmann, M., Geier, B. (1989): Beikrautregulierung statt Unkrautbekämpfung: Methoden der mechanischen und thermischen Regulierung, 2. Auflage, Alternative Konzepte 58, Verlag C. F. Müller, Karlsruhe, 65-73

10. Kloepfer F. Mechanische Unkrautregulierung. Arbeitspapier 22, KTBL, Darmstadt 1995

11. Kolbe H, Petzold W. Leistungsvergleich neuer Hackgeräte sowie Einsatzhinweise. SÖL Berater-Rundbrief 2002,1/02:41-46

12. Krohmann P. Effizienz teilschlagspezifischer Unkrautkontrolle und räumlich-zeitliche Dynamik der Unkrautpopulationen in einer Felderfolge und Monokultur. Inaugural-Diss. Insitut für Pflanzenbau, Universität Bonn 2003

13. Krug H, Liebig H-P, Stützel H. Gemüseproduktion. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart 2002:233-242

14. Lichtenhahn, M., Koller, M. Dierauer, H., Baumann, D. (2002): Biogemüs-eanbau: Unkrautregulierung – termingerecht und schlagkräftig, 2. Auflage, FiBL, Berlin

15. Marquardt, R. und Kroth, E. 2001, Anbau und Qualitätsanforderungen ausgewählter Arzneipflanzen, Buchedition Agrimedia GmbH, Bergen/Dumme.

16. Oebel H. Teilschlagspezifische Unkrautbekämpfung durch raumbezogene Bildverarbeitung im Offline- (und Online-) Verfahren (TURBO). Verlag Handpresse 2006

17. Röhricht C. Ökologischer Anbau von Heil- und Gewürzpflanzen – Ergebnisse einer Befragung. Zeitschrift für Arznei- und Gewürzpflanzen 2005,10 (4):197-205

18. Ruckelshausen A, Kielhorn A, Linz A, Trautz D. Innovative Methoden in der nichtchemischen Unkrautbekämpfung. Wissenschaftliches Kolloquium Vielfalt-Ideen-Fortschrit / Weed Science on the GO. Universität Hohenheim 2004b:67-77

19. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (2002): Unkrautregulation im ökologischen Gemüsebau, Informationen für Praxis und Beratung 2. Auflage, Dresden-Pillnitz

20. Schön H, Estler M. Entwicklung und Erprobung neuer mechanischer Verfahren zur umweltgerechten Unkrautbekämpfung. Gelbes Heft Nr. 45, TU München, Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 1992

21.] Schwarz J, Wartenberg G. Wirtschaftlichkeit der teilflächenspezifischen Herbizidanwendung. Landtechnik 1999,54:334-335

22. Sökefeld M, Gerhards R, Kühbauch W. Teilschlagspezifische Unkrautkontrolle – von der Unkrauterfassung bis zur Herbizidapplikation. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVII 2000:227-233

23. Timmermann C. Teilflächenspezifische Unkrautkontrolle im präzisen Pflanzenbau unter Berücksichtigung von Ertragsdaten und Bodenparametern. Inaugural-Diss. Institut für Pflanzenbau, Universität Bonn 2001

24. van Wyk, B.-E., Wink, C., Wink, M. (2004): Handbuch der Arzneipflanzen – Ein illustrierter Leitfaden, 2. Auflage, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart, 7-8

25. Walter, S. (1995): Nicht-chemische Unkrautregulierung, 2. Auflage, Sonderausgabe Nr. 27, Stiftung Ökologie & Landbau (SÖL), Bad Dürkheim, 7-29, 50-65, 85-87

26. Weis M, Gutjahr C, Rueda Ayala V, Gerhards R, Ritter C, Schöderle F. Precision farming for weed management: techniques. Gesunde Pflanzen 2008,60:171-181

27. Wonneberger, C., Keller, F. (2004): Gemüsebau, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 53-54, 81

28. Zwerger A, Ammon H U. Unkraut Ökologie und Bekämpfung. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart 2002

29. www.infowis.de/kapitel/anbau.html (06.02.09): Arznei- und Gewürzpflanzenanbau

30. www.kress-landtechnik.de/wDeutsch/produkte/Agrarelektronik/ index.shtml?navid=78 (18.05.09): Agrarelektronik - Precision Farming / GPS Leitspursysteme / Kamerasteuerungen