

Heimische Kultivierung der Arzneipflanze *Tanacetum parthenium* zur Entwicklung eines Arzneimittels zur Migräneprophylaxe

Untersuchungen zur Produktionstechnik der Arzneipflanze *Tanacetum parthenium* (L.) Schultz Bip.

Katrin Jakob^{1,2}, Andreas Bramm¹ und Gerhard Rühl¹

Zusammenfassung

Mutterkraut (*Tanacetum parthenium*) ist als Arzneipflanze für die Herstellung eines Arzneimittels zur Migräneprophylaxe von Interesse. Bisher ist das Mutterkraut im Feld großflächig nicht kultiviert worden. In diesem Beitrag sollten die Grundlagen für eine Anbautechnik von Mutterkraut erarbeitet werden.

Bei der Aussaat von Mutterkraut mit einer Getreidedrillmaschine konnte aufgrund der geringen TKM nicht die erforderliche Samenmenge pro Flächeneinheit platziert werden. Dagegen führte die Aussaat einer Mischung von Saatgut mit Haushaltsgrieß, verbunden mit einer speziellen Saatbettbereitung, zu einem befriedigenden Pflanzenaufbau. Eine Bestandesetablierung wurde aufgrund der langsamen Jugendentwicklung des Mutterkrautes durch zu starkes Unkrautwachstum verhindert. In Testapplikationen mit verschiedenen Herbiziden erwiesen sich Elancolan und Boxer im Voraufbauverfahren sowie Stomp SC, Boxer und Butisan im Nachaufbau als effektiv. Für eine Bestandesetablierung auf Basis einer Drillsaat ist eine Lückenindikation notwendig, da bisher keines der Herbizide im Mutterkraut zugelassen ist.

Eine sichere Bestandesetablierung wurde mit im Gewächshaus vorgezogenen Pflanzen bei einer Bestandesdichte von 20 Pfl./m² und einer Stickstoffdüngung von 50 kg N/ha zu jedem Aufwuchs erreicht. Herbstpflanzungen erreichen im ersten Nutzungsjahr höhere TM- Erträge als Frühjahrspflanzungen, jedoch muss auf Frostempfindlichkeit der Herkunft geachtet werden. Als Schnitzeitpunkt für den ersten und zweiten Aufwuchs ist bei Herbstpflanzung die Vollblüte, bei Frühjahrspflanzung nur ein Schnitt zum Blühende zu empfehlen. Die Mutterkrauternte erfolgte mit einer Futtererntemaschine. Ein Drogenertrag von 140 dt/ha Gesamt- TM ist mit zwei Schnitten erzielbar und ergäbe mit einem durchschnittlichen Parthenolidgehalt von 5 mg/g einen Parthenolidertrag von 70 kg/ha und Jahr.

Schlüsselwörter: Arzneipflanze, Herbizideinsatz, Mutterkraut, Parthenolid, Produktionstechnik, Saatbettbereitung.

Abstract

Domestic cultivation of the medicinal plant *Tanacetum parthenium* for the development of a migraine pharmaceutical

Studies on the crop production technology of *Tanacetum parthenium*

Feverfew contains parthenolide which is used as prophylactic treatment for migraine. The technology for growing feverfew as a medicinal crop in the field is not well documented. We conducted studies on sowing and planting technologies to establish guidelines for cultural practices for the field production of feverfew.

Direct field sowing of feverfew with a conventional drilling machine is impractical due to the very small seed size. Using a mixture of feverfew seeds and semolina at a ratio of 1:25 in combination with a specific seed bed preparation resulted in a sufficient planting density and germination rate. However, the seedlings were easily overgrown by weeds due to the very slow youth development. The herbicides 'Elancolan' and 'Boxer' proved to be effective when applied before germination. At the four leaf stage of feverfew, we successfully applied 'Stomp SC', 'Boxer' and 'Butisan'. More herbicide tests are needed to obtain approval for the application, as no herbicides are registered yet for feverfew.

In contrast to direct sowing, establishment from feverfew plantlets is more easily accomplished. The plants produced high herbage yield after transplantation into the field at a plant density of 20 plants/m² and the application of 50 kg/ha nitrogen fertilization for each growing period. Fall plantings produce higher dry matter yield than spring plantings. However, winter hardy genotypes are necessary for successful overwintering of more than one winter. The first and second cut at full blossom appears as optimal harvest time for fall planting and the plants should be harvested only once at the end of the flowering period if seedlings are planted in spring. Feverfew produced dry matter yield of up to 140 dt/ha with two cuts yielding about 70 kg/ha parthenolide yield based on an average parthenolide content of 5 mg/g drug.

Keywords: feverfew, medicinal plant, parthenolide, sowing technology, seed bed preparation, herbicide, plant density, crop husbandry

¹ Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Institut für Pflanzenbau und Grünlandwirtschaft, Bundesallee 50, 38116 Braunschweig/Deutschland

² Mendel Biotechnology, Inc., 21375 Cabot Boulevard, Hayward, CA 94545/USA; Email: Kjakob@MendelBio.com

1 Einleitung

Zur Herstellung eines Arzneimittels auf pflanzlicher Basis wird homogenes, qualitativ hochwertiges Drogenmaterial mit definiertem Wirkstoffgehalt benötigt (Kroth und Steinhoff, 1996). Arzneipflanzen besitzen aufgrund ihrer geringen züchterischen Bearbeitung allgemein eine große genetische Variabilität, so dass die Bereitstellung homogenen Materials oft schwierig ist. Mutterkraut (*Tanacetum parthenium*) wird bisher in Deutschland nicht kontrolliert angebaut, wodurch sich die Qualitätsfrage verschärft. Probleme ergeben sich insbesondere dann, wenn das Pflanzenmaterial mit Kamille verunreinigt ist oder Material von *Tanacetum parthenium* - Herkünften geliefert wird, die nahezu kein Parthenolid enthalten. Es ist bisher nicht gelungen, den Wirkstoff Parthenolid biotechnologisch mit Hilfe von Zell- und Gewebekulturen in technisch verwertbaren Mengen zu erzeugen (Banthorpe and Brown, 1993; Brown, 1993). Für die pharmazeutische Industrie ist es wünschenswert, das Drogenmaterial aus kontrolliertem Feldanbau unter Verwendung standortangepasster Herkünfte beziehen zu können. Da bisher in Deutschland kein großflächiger Anbau von *Tanacetum parthenium* praktiziert wurde, war es notwendig, die pflanzenbaulichen Grundlagen für ein Anbauverfahren zu erarbeiten.

Nach Sammlung und Evaluierung verschiedener Herkünfte von *Tanacetum parthenium* (Bramm et al., 1997; Jakob et al., 2007) wurde mit der Ermittlung des Ertragspotentials im Feldanbau begonnen, wobei die Frage der Bestandesetablierung ein Schwerpunkt der Untersuchungen war. *Tanacetum parthenium* ist ein Lichtkeimer und die Samen haben eine sehr geringe TKM von 0,14 - 0,2 g. Eine Aussaat mit herkömmlicher Drilltechnik gestaltet sich aufgrund dieser Sameneigenschaften schwierig. Reimherr und Gradner (1987) bezeichnen *Tanacetum parthenium* als tagneutrale Pflanzenart, als Saattermin sei der Zeitraum Ende Januar bis Anfang April dem Herbst (Mitte August bis Anfang Dezember) vorzuziehen. Hegele (1986) hingegen differenziert nicht, die Saat könne während der gesamten Vegetationszeit erfolgen. Möglichkeiten der Bestandespflege durch den Einsatz von Herbiziden im Mutterkraut untersuchte Hartley (1993). Bei seinen Untersuchungen in Neuseeland fand er eine Reihe von Wirkstoffen, die als Nachaufmittel bei Pflanzung oder nach Bestandesetablierung im Mutterkraut eingesetzt werden können. Von diesen ist der Wirkstoff „Pendimethalin“ auch in der Bundesrepublik mit dem Herbizid „Stomp SC“ zugelassen. Stomp SC ist vielseitig einsetzbar und sowohl im Vorauflauf als auch zum Teil im Nachauflauf im Wintergetreide, Mais, Körnerleguminosen, Sonnenblumen und einigen Gemüsearten zugelassen. Der Einsatz von Stomp SC und Afalon bei der dem Mutterkraut botanisch sehr nahe stehenden Echten Kamille (*Matricaria recutita* L.) führte zur erfolgreichen Unkraut-

bekämpfung (Kewalanand et al., 2001).

Eine Alternative zu den Saatverfahren bietet das Pflanzverfahren. Bei Etablierung eines Bestandes durch Pflanzung variieren die Angaben in der Literatur zur Bestandesdichte zwischen 7 - 10 Pfl./m² für die Nutzung des Bestandes als Arzneipflanze im Freiland sowie 60 - 80 Pfl./m² bei gartenbaulicher Nutzung unter Glas (Porter, 2000; Ehret, 2004). Bei Etablierung eines Bestandes durch Pflanzung für die gartenbauliche Schnittnutzung wurde die höchste Blütenanzahl bei einer Bestandesdichte von 128 Pfl./m² erzielt (Krijger, 1985). Im Gewächshaus können bis zu drei Schnitte durchgeführt werden, wobei die Parthenolidgehalte zwischen 4 - 14 mg/g TM schwankten (Ehret, 2004).

Die pflanzenbaulichen Schwerpunkte, die im vorliegenden Beitrag bearbeitet wurden, können wie folgt zusammengefasst werden:

- Entwicklung eines Verfahrens zur Bestandesetablierung
- Ermittlung des optimalen Saat- bzw. Pflanzzeitpunktes (Frühjahr oder Herbst)
- Optimierung der Bestandesdichte im Hinblick auf Bestandespflege und optimalen Trockenmasseertrag
- Ermittlung des optimalen Erntezeitpunktes sowie der maximal verträglichen Anzahl Schnitte/Jahr
- Nutzungsdauer (einjährig - mehrjährig)
- Prüfung von mechanischen und chemischen Unkrautbekämpfungsmaßnahmen

In diesem Beitrag wird über die erzielten Ergebnisse zu den o.g. pflanzenbaulichen Arbeitsschwerpunkten berichtet.

2 Material und Methode

Die hier dargestellten Feldversuche wurden in den Jahren 1996 bis 2000 auf dem Versuchsfeld des Institutes für Pflanzenbau und Grünlandwirtschaft in Braunschweig durchgeführt. Der Versuchsstandort Braunschweig liegt 80 m über N.N., die Bodenart ist anlehmiger Sand und die Jahresdurchschnittstemperatur sowie die Niederschlagssumme betragen im langjährigen Mittel 8,7 °C bzw. 617 mm.

Die Herkunft der in den Feldversuchen gepflanzten Genotypen ist in Tabelle 1 dargestellt. Die Samen für alle Pflanz- und Saatversuche wurde von den Herkünften gewonnen, die sich in der Gefäßversuchsevaluierung als leistungsstark erwiesen hatten (Jakob et al., 2007). Die Vermehrung erfolgte getrennt für jede Herkunft in Isoliergewächshäusern, weil Mutterkraut ein Fremdbefruchter ist. Alle Feldversuche erhielten im Frühjahr eine Grunddüngung mit 70 kg/ha P₂O₅ und 140 kg/ha K₂O.

Tabelle 1:

Herkünfte der in den Feldversuchen angebauten *Tanacetum parthenium* - Genotypen

Genotyp	Einlieferer	Land	Einliefererbezeichnung
3	Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK) Gatersleben	Deutschland, (Italien)	CHRY 61/88
4	Botanischer Garten der Martin-Luther-Universität Halle	Deutschland	
7	Botanischer Garten Meise	Belgien	Sorte „Aureum“
9	Richters Canada's Herb Specialists	Canada	S 2480
12	Royal Botanical Garden West Sussex	UK	0086077; LL 098
14	OSEVA, 41117 Libochovice	Tschechien	Tom Thumb (niedrig)
38	Richters Canada's Herb Specialists	Canada	Aureum; S 2481
43	Botanischer Garten, Glasnevin, Dublin	Irland	
45	Horizon Herbs, Williams, OR	USA	
46	Pharmasaat Artern	Deutschland	

2.1 Drillsaat

Die Aussaat der Herkunft 38 erfolgte im August 1997 in zweifacher Wiederholung auf je 38 m x 2,5 m großen Flächen pro Variante. Der Reihenabstand betrug 35,7 cm. Versuche, naturbelassenes Mutterkrautsaatgut auszusäen, erfolgten mit einer normalen Drillmaschine (Fa. Amazone), bei der nur jede zweite Drillreihe mit Saatgut beschickt wurde. Die Saatbettbereitung und Aussaat für 6 Varianten wurde wie folgt durchgeführt:

- Variante 1: - Saatbettkombination (Egge, Doppelkrümmer)
 - Drillmaschine Amazone D 8/25 Super, Rollschare
 - Cambridgewalze
- Variante 2: - Saatbettkombination (Egge, Doppelkrümmer)
 - Cambridgewalze
 - Drillmaschine Amazone D 8/25 Super, Rollschare
- Variante 3: - Saatbettkombination (Egge, Doppelkrümmer)
 - Glattwalze (1/3 mit Wasser gefüllt)
 - Striegel (Federzinken)
 - Drillmaschine Amazone D 8/25 Super, Rollschare
- Variante 4: - Saatbettkombination (Egge, Doppelkrümmer)
 - Glattwalze (1/3 mit Wasser gefüllt)
 - Striegel (Federzinken)
 - Drillmaschine Amazone D 8/25 Super, Rollschare
 - Cambridgewalze
- Variante 5: - Bestellkombination (Kreiselgrubber, Zahnpackerwalze, Drillmaschine Amazone D 8/25 Super, Rollschare)
 - Cambridgewalze

- Variante 6: - Bestellkombination (Kreiselgrubber, Zahnpackerwalze, Drillmaschine Amazone D 8/25 Super, Rollschare)
 - Glattwalze (1/3 mit Wasser gefüllt)

Die Ermittlung des Aufgangs erfolgte drei Wochen nach der Saat in 8 Wiederholungen pro Variante durch Zählung der aufgelaufenen Pflanzen in 4 Reihen auf einer Länge von 0,7 m.

2.2 Herbizideinsatz

Zur Prüfung des Herbizideinsatzes im Nachauflauf wurden 5 x 2,5 m große Parzellen in die 38 m langen Drillsaatvarianten gelegt. Die Herbizidapplikation erfolgte Mitte September 1997 mit einer Parzellenspritzmaschine (Fa. Schachtner) zum Rosettenstadium des Mutterkrautes. Appliziert wurden die Herbizide in zwei Wiederholungen in je 3 Aufwandmengen (Tabelle 2).

Ende Oktober 1997 wurden für einen weiteren Herbizidversuch wiederum aus den 38 m langen Mutterkrautstreifen Parzellen abgetrennt und abermals mit unterschiedlichen Herbiziden behandelt. Die Applikation erfolgte im Nachauflauf ohne Wiederholung.

Nach erneuter Aussaat der Herkunft 38 im Juni 1998 wurden folgende Herbizide im Voraufbau eingesetzt: 2 l/ha Elancolan, 5 l/ha Boxer, 4 l/ha Stomp SC, 3 l/ha Dicuran und 2 l/ha Butisan. Die Parzellengröße betrug für jede Herbizidvariante 20 x 9 m = 180 m².

Da primär der Einfluss der Herbizide auf das Mutterkraut getestet werden sollte, wurde die Anzahl *Tanacetum parthenium*-Pflanzen/m² vor und nach der Herbizidapplikation in vier Reihen auf einer Länge von 0,7 m gezählt und die Reduktion der Pflanzenanzahl durch das jeweilige Herbizid ermittelt.

Tabelle 2:

Im Nachauflauf getestete Herbizide im Mutterkraut

Herbizid	Betanal	Betanal Progress	Duplosan KV	Stomp SC	Afalon	Boxer
Wirkstoff	Phenmedipham	Desmedipham + Ethofumesat	Mecoprop	Pendimethalin	Linuron	Prosulfocarb
Aufwandmenge						
1	2,5 l/ha	1,5 l/ha	1,0 l/ha	2,0 l/ha	0,75 kg/ha	2,5 l/ha
2	5,0 l/ha	3,0 l/ha	2,0 l/ha	4,0 l/ha	1,50 kg/ha	5,0 l/ha
3	7,5 l/ha	4,5 l/ha	3,0 l/ha	6,0 l/ha	2,25 kg/ha	7,5 l/ha

2.3 Pflanzversuche

Die Mutterkrautpflanzen wurden im Gewächshaus aus Samen bis zum 10 - 12 Blattstadium angezogen. Anschließend wurden die Jungpflanzen im Versuchsfeld gepflanzt. Als Ergebnis der Erstevaluierung im Gefäßversuch haben sich die Herkünfte 3, 4, 7, 9, 12, 14, 38, 42, 43 und 45 aufgrund ihres Parthenolidgehaltes und ihres Biomasse - Bildungsvermögens für einen Feldanbau empfohlen (Jakob et al., 2007). Davon wurden 1996 zunächst die Herkünfte 3, 4, 7, 9 und 12 in 6 m² große Parzellen in jeweils dreifacher Wiederholung gepflanzt, 1997 wurden auf Basis gleicher Kriterien die Herkünfte 14, 38, 42, 43 und 45 einer Feldprüfung unterzogen (Tabelle 3). Im Versuch zum Vergleich der Herbst- und Frühjahrspflanzung wurden die Parzellen der Herbstpflanzung gegen Ende März mit 3 l/ha Fusilade gegen Grasverunkrautung behandelt. Das Mutterkraut wurde durch diese Behandlung nicht beeinträchtigt. Die Pflanzversuche wurden mit 100 kg N/ha (KAS), jeweils 50 kg zum ersten und 50 kg zum zweiten Aufwuchs gedüngt. Die Unkrautbekämpfung erfolgte in den Pflanzversuchen per Handhacke. Die 1996 und 1997 gepflanzten Bestände wurden Mitte August 1998 mit 1,5 l/ha Folicur bzw. 1 l/ha Pronto behandelt, um den durch einen sehr feuchten Sommer aufgetretenen Pilzbefall an den Blättern des Mutterkrautes zu bekämpfen. Proben von befallenen Blättern wurden auf feuchtem Filterpapier in Plastiktüten an das Pflanzenschutzamt Magdeburg und an die BBA Braunschweig zur Krankheitsanalyse gesandt.

Tabelle 3:

Übersicht über die durchgeführten Pflanzversuche in Braunschweig

Lfd. Nr.	Pflanztermin	Gepflanzte Herkünfte	Bestandesdichte (Pfl/m ²)	Anzahl Wdhl.	Erntetermine		Nutzung
					1. Schnitt	2. Schnitt	
1	05.6.1996	3, 4, 7, 9, 12	40, 1997 vereinzelt auf 20	3	vB*, BE**	VB***	1996 - 1998
2	06.5.1997	14, 38, 42, 43, 45	20	3	VB, BE	VB	1997 - 1998
3	03.9.1998	4, 7, 9, 12, 25, 38, 43, 45	20	4	VB, BE	VB	1999
4	21.4.1999	4, 7, 9, 12, 25, 38, 43, 45, 46	20	4	VB	VB	1999

* vB: vor der Blüte; ** BE: Blühende; *** VB: Vollblüte

2.4 Ernte

Berntet wurden die Parzellen mit einem Futtervollernter mit Wägevorrückung (Fa. Haldrup), so dass das jeweilige Parzellenfrischgewicht auf dem Feld ermittelt wurde. Dem Erntegut wurden je Parzelle zwei Mischproben entnommen, wobei eine Probe zur Bestimmung des Trockensubstanz- und Nährstoffgehaltes 24 h bei 105 °C, die andere 72 h bei 40 °C zur Bestimmung des Parthenolidgehaltes im Labor der Fa. Schaper & Brümmer GmbH & Co.KG, Salzgitter- Ringelheim getrocknet wurde. Die Parthenolidbestimmung erfolgte auf Basis eines umweltfreundlichen CO₂ - Extraktionsverfahrens (Brunner, 1981). Aus Kostengründen wurden die Parthenolidgehaltsmessungen nicht in jedem Fall für alle Wiederholungen durchgeführt.

Zur Analyse phänotypischer Unterschiede der Herkünfte wurden von je 8 Pflanzen pro Herkunft sowohl vom ersten als auch vom zweiten Schnitt die Wuchshöhe gemessen und die Anzahl Triebe und Anzahl Blüten gezählt. Um den Stängelanteil an der Gesamttrockenmasse feststellen zu können, wurde für eine Strukturanalyse eine Separierung von 10 Einzelpflanzen pro Herkunft in die Bestandteile Stängel, Blätter und Blüten vorgenommen und nach der Trocknung bei 105 °C deren Trockengewicht bestimmt.

Die statistische Verrechnung der Werte erfolgte mit SAS 9.1. Zur Anwendung kamen die Prozedur GLM und der Tukey-Test.

3 Ergebnisse

3.1 Entwicklung eines Verfahrens zur Bestandesetablirung

3.1.1 Drillsaat von Mutterkrautsamen in unterschiedlich präpariertes Saatbett

Mit dem Ziel, ein Saatbett mit optimalen Keimbedingungen für das feine *Tanacetum parthenium* Saatgut zu schaffen, wurden 1997 sechs verschiedene Saatbettbereitungsvarianten getestet. Um vorhandene herkömmliche Getreidedrilltechnik für das feine Saatgut nutzen zu können, wurde ein *Tanacetumsaatgut*- Griesgemisch verwendet. Aufgrund der sehr feinen Konsistenz des herkömmlichen Haushaltsgrießes erschien dieser als besser geeigneter Mischungspartner als Erde oder Sand. Einem kg Grieß wurden 41,2 g Mutterkrautsamen beigemischt. Für einen Hektar kamen 330 g/ha reines Mutterkrautsaatgut gemischt mit 8 kg Grieß zur Aussaat. Dies entsprach einer Aussaatdichte von ca. 165 Samen/m². Zur Schaffung optimaler Keimbedingungen wurde nach der Aussaat mit 15 mm beregnet.

Das Mutterkraut begann 11 Tage nach der Saat aufzulaufen. Die Keimlingsentwicklung verlief sehr langsam. Die Ausbildung von 2 Laubblättern war erst 21 Tage nach der Saat abgeschlossen. Ca. 40 Tage nach Saat erreichten die Pflanzen das 8- bis 10-Blatt-Stadium. Die Zahl der aufgelaufenen Samen variierte in Abhängigkeit von der Saatbettbereitung in einem sehr weiten Bereich zwischen 10 und 92 Pfl./m² (Tabelle 4).

Eine erfolgreiche Mutterkraut-Aussaat im Feld scheint in Form eines Saatgut- Griesgemisches möglich, ist jedoch mit erheblichen Risiken verbunden, wie die Variation des Feldaufganges zeigt. Die Saatbettbereitung mit der Saatbettkombination (SBK), Glattwalze, Striegel und Drillmaschine führte mit durchschnittlich 42 % zum höchsten Feldaufgang. Allerdings war das Wachstum bzw. die

Entwicklung der Mutterkrautpflanzen so langsam, dass diese der Unkrautkonkurrenz nicht stand halten konnten. Die Unkräuter behinderten das Wachstum des Mutterkrautes massiv. Ohne eine effiziente Bekämpfungsmöglichkeit ist die Etablierung eines Mutterkrautbestandes durch Direkt- saar im Feld nicht möglich.

3.1.2 Prüfung von Herbiziden im Mutterkraut

Die schwache Konkurrenzskraft des Mutterkrautes gegenüber Unkräutern in den ersten 4 - 6 Wochen der Jugendentwicklung erfordert spezielle Maßnahmen, um den Unkrautdruck so gering wie möglich zu halten und ein Überwachsen des Mutterkrautes zu verhindern. Im Testversuch des Herbizideinsatzes im Vorauflauf liefen zwei Wochen nach der Saat die ersten Mutterkrautpflanzen in der Kontrollvariante auf, eine Woche später auch auf der mit Elancolan behandelten Variante. Vier Wochen nach der Saat hatten die Pflanzen dieser beiden Varianten teilweise das 2. Laubblattpaar ausgebildet. Zu diesem Zeitpunkt liefen vereinzelt auch Pflanzen in der mit Boxer behandelten Variante auf. Auf allen anderen behandelten Parzellen wurde kein Auflauf beobachtet. Lediglich Elancolan und mit Einschränkung auch Boxer sind von den getesteten Vorauf- laufmitteln im Mutterkraut einsetzbar.

Die Ergebnisse des Herbizideinsatzes im Nachauflauf sind in Tabelle 5 dargestellt. Betanal und Betanal Progress zeigten eine gute Unkrautwirkung, reduzierten die Mutterkrautpflanzen jedoch bereits in der geringsten gewählten Aufwandmenge um über 50 %. Duplosan KV hinterließ an den Pflanzen sichtbare Schäden, die Pflanzen kräuselten sich ein, verfärbten sich gelb und entwickelten sich nicht weiter. Stomp SC führte zu verzögerter Pflanzenentwicklung gegenüber der Kontrollvariante, jedoch wurde die Pflanzenzahl in den Aufwandmengen 2 und 4 l Stomp SC/ ha nur um 7 bzw. 3 % reduziert. Die Unkrautwirkung von Stomp SC war jedoch nicht zufriedenstellend. Afalon führte zum vollständigen Absterben der Mutterkrautbestände.

Tabelle 4:

Feldaufgang von *Tanacetum parthenium* in Abhängigkeit von der Saatbettbereitung

Variante	Feldaufgang (Anzahl Pfl./m ²)			
	Minimum	Maximum	Mittel ¹⁾	%
3: SBK, Glattwalze, Striegel, Drillmaschine	47	90	70 a	42
2: SBK, Cambridgewalze, Drillmaschine	32	68	55 ab	33
1: SBK, Drillmaschine, Cambridgewalze	30	92	53 ab	32
6: Bestellkombination, Glattwalze	23	56	47 b	28
4: SBK, Glattwalze, Striegel, Drillmaschine, Cambridgewalze	21	72	40 bc	24
5: Bestellkombination, Cambridgewalze	10	42	28 c	17
GD _{0,05}			18,6	

¹⁾ Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen; $\alpha = 0,05$ Tukey-Test

Tabelle 5:

Reduzierung der Pflanzenanzahl in den Beständen (% Pfl./m²) durch Herbizideinsatz im Nachauflauf

Aufwandmenge	Betanal	Betanal Pro-gress	Duplo-san KV	Stomp SC	Afalon	Boxer
1	53,4	55,8	30,5	7,2	100	+5*
2	79,3	84,5	64,4	3,6	100	15,3
3	95,7	96,7	71,3	28,5	100	0
Kontrolle	17,9	16,3	16,1	2,1	+ 15,5*	33,2

* In diesen Varianten stieg die Anzahl Pfl./m² nach der ersten Zählung

Beim Einsatz von Boxer wurde in den Aufwandsmengen 1 und 2 das Mutterkrautwachstum nur geringfügig beeinträchtigt, in der höchsten Aufwandsmenge waren Aufhellungen an den Blättern der Pflanzen sichtbar, auch wenn die Pflanzenzahl selbst nicht durch das Herbizid verringert wurde. Boxer und Stomp SC zeigten im Nachauflauf bei Mutterkraut eine gute Unkrautregulierungswirkung.

Ende Oktober 1997 wurden für einen weiteren Herbizidversuch wiederum aus den 38 m langen Mutterkrautstreifen der Drillsaat Parzellen abgetrennt und mit den Herbiziden U 46-D Fluid (2,4 D), Hora-Curan 700 fl (Chlortoluron), Butisan (Metazachlor), Azur (Diflufenican + Ioxynil + Isoproturon), Fenikan (Diflufenican + Isoproturon) und Stomp SC (Pendimethalin) im Nachauflauf ohne Wiederholung behandelt. Die Wirkung dieser Herbizide war hinsichtlich der Unkrautbekämpfung und/oder einer Beeinträchtigung des Mutterkrautes unbefriedigend (Ergebnisse nicht dargestellt). Obwohl mit Stomp SC im ersten Herbizidversuch bei gleicher Aufwandsmenge (4l/ha) gute Ergebnisse erzielt werden konnten, lag die Reduzierung der Pflanzenzahl mit 28 % in diesem zweiten Versuch relativ hoch. Die verbliebenen *Tanacetum* - Pflanzen zeigten in ihrem Wuchs jedoch kaum Beeinträchtigungen.

Tabelle 6:

Trockenmasseerträge (dt/ha) von Mutterkrautherkünften bei verschiedenen Schnitterminen im Pflanzjahr 1996

Ernte \ Herkunft	3	4	7	9	12	GD _{0,05}
1. Aufwuchs vor Blüte	48,8 b ¹⁾	46,7 b	38,6 c	58,7 a	60,0 a	6,2
2. Aufwuchs Vollblüte	27,1 c	34,8 ab	34,2 ab	38,6 a	32,5 bc	5,9
∑ 1. + 2. Aufwuchs	75,9 bc	81,5 b	72,8 c	97,3 a	92,5 a	8,3
1. Aufwuchs Blühende	107,0 ab	62,1 c	105,3 b	118,4 ab	126,1 a	19,9

¹⁾ Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen; α = 0,05 Tukey-Test

3.1.3 Pflanzversuche

Bei der ersten Pflanzung 1996 wurde eine Bestandesdichte von 40 Pfl./m² gewählt, um bei eventuellen höheren Ausfallraten genügend Reservepflanzen zur Verfügung zu haben. Im ersten Pflanzversuchsexperiment erreichten die Versuchsvarianten mit dem ersten Schnitt bei Blühende wegen des späten Pflanztermins im Juni 1996 nicht mehr die zweite Blüte. Aufgrund von Beobachtungen aus dem ersten Wuchsjahr 1996 wurde die Bestandesdichte 1997 von 40 auf 20 Pfl./m² reduziert.

3.1.3.1 Ertragsleistung und Qualität verschiedener Herkünfte

Die erste Pflanzung 1996 wurde mit den Herkünften 3, 4, 7, 9 und 12 vorgenommen. Bei einer Pflanzdichte von 40 Pfl./m² variierten die TM-Erträge im Pflanzjahr zum 1. Schnitt im Stadium „vor Blühbeginn“ zwischen 38,6 und 60,0 dt TM/ha. Der Trockenmasseertrag des 2. Schnittes zum Zeitpunkt Vollblüte fiel mit 27,1 - 38,6 dt TM/ha deutlich geringer aus als der des ersten Schnittes (Tabelle 6, Abbildung 1).

Eine Verlegung des ersten Schnittzeitpunktes auf „Blühende“ führte mit 62,1 bis 126,2 dt TM/ha zu signifikant höheren Erträgen als der Gesamtertrag aus beiden Schnitten, wenn der 1. Schnitt zum Schnittzeitpunkt „vor Blühbeginn“ erfolgte. Die geprüften Herkünfte erzielten im Durchschnitt mit einem Schnitt zum Blühende mit 103,8 dt TM/ha signifikant höhere TM-Erträge als mit zwei Schnitten, bei denen im Durchschnitt 84,0 dt/ha erzielt wurden. Daraus ist abzuleiten, dass bei später Pflanzung (Anfang Juni) nur ein Schnitt zum Stadium „Blühende“ erfolgen sollte.

Der Parthenolidgehalt in der Gesamtpflanze war zum 2. Schnitt höher als zum 1. Schnitt. Er variierte zwischen 6,5 und 11,7 mg/g TM. Der erste Schnitt zum Zeitpunkt vor der Blüte erreichte im Mittel der 5 Herkünfte einen Parthenolidgehalt von 4,2 mg/g TM im Vergleich zum ersten Schnitt bei Blühende mit 5,9 mg/g TM. Den höchsten

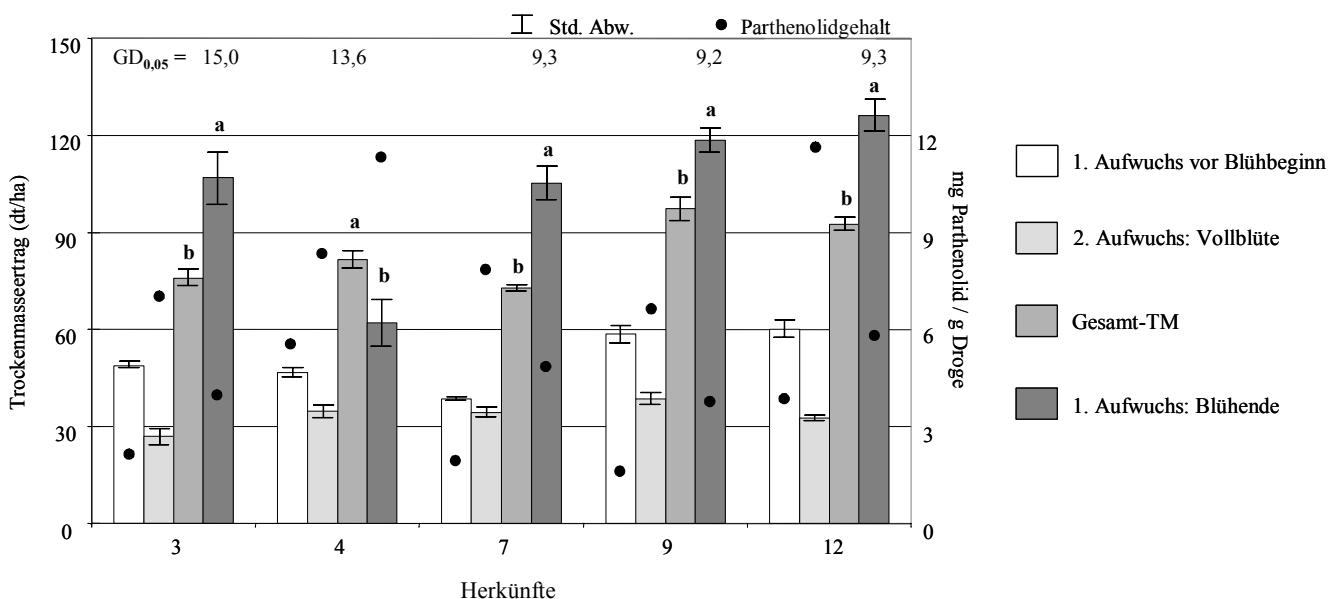


Abbildung 1: Trockenmasseerträge (dt/ha) und Parthenolidgehalt (mg/g TM) von Mutterkrautherkünften bei verschiedenen Schnittterminen im Pflanzjahr 1996 - Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen; $\alpha = 0,05$ Tukey-Test

Parthenolidgehalt zum 1. Schnitt vor der Blüte erzielte Herkunft 4 mit 5,51 mg/g TM und zum 2. Schnitt Herkunft 12 mit 11,66 mg/g TM.

Der Parthenolidertrag war zum 1. Schnitt bei Blühende mit Werten zwischen 40,2 und 74,1 kg/ha höher als zum 1. Schnitt bei Blühbeginn (7,4 - 25,7 kg/ha). Der Parthenolidertrag des 2. Schnittes variierte zwischen 19,1 und 37,9 kg/ha. Den höchsten Parthenolidertrag erreichte sowohl zum 1. als auch zum 2. Schnitt Herkunft 12.

Trotz teilweise starken Bodenfrostes bis unter -20 °C überwinternten alle 1996 gepflanzten Herkünfte ohne Probleme. Nach erfolgreicher Überwinterung konnte das Mutterkraut im zweiten Jahr die volle Vegetationszeit nutzen, was sich in den Leistungen auch widerspiegelte. Die Schnittkombination Vollblüte/Vollblüte erreichte im

Durchschnitt 98,7 dt TM/ha, die Kombination Blühende/Vollblüte durchschnittlich 86,4 dt TM/ha. Der höhere Ertrag in der erstgenannten Kombination war jedoch nicht signifikant. Herkunft 4 erreichte mit 141 dt/ha aus beiden Schnitten in dieser Feldprüfung den höchsten TM-Ertrag (Tabelle 7, Abbildung 2). Wurde der 1. Aufwuchs zu „Blühende“ geschnitten, verblieb für den 2. Aufwuchs nicht ausreichend Zeit zur Regeneration.

Wie im Pflanzjahr war der Parthenolidgehalt des Mutterkrautes auch in der 2. Vegetationsperiode zum 2. Schnitt höher (Mittel 6,67 mg/g Droge) als zum 1. Schnitt (Mittel 4,28 mg/g). Die Parthenolidgehalte des 1. Schnittes unterschieden sich zu den Zeitpunkten Vollblüte (Ø 4,18 mg/g) und Blühende (Ø 4,38 mg/g) nicht wesentlich. Die höchsten erzielten Parthenoliderträge aus beiden Ernten waren

Tabelle 7: Trockenmasseerträge (dt/ha) von Mutterkrautherkünften bei verschiedenen Schnittterminen nach Überwinterung 1997

Ernte	Herkunft	3	4	7	9	12	GD _{0,05}
1. Aufwuchs Vollblüte		73,7 bc	117,1 a	35,6 d	66,6 c	89,8 b ¹⁾	21,1
2. Aufwuchs Vollblüte		20,5 a	24,3 a	16,7 a	27,0 a	21,9 a	13,8
∑ 1. + 2. Aufwuchs		94,2 b	141,5 a	52,3 c	93,6 b	111,7 ab	30,6
1. Aufwuchs Blühende		66,3 ab	100,4 a	42,3 b	73,4 ab	90,0 a	35,7
2. Aufwuchs Vollblüte		6,4 b	10,5 b	8,1 b	18,2 a	16,2 a	4,1
∑ 1. + 2. Aufwuchs		72,7 bc	110,9 a	50,4 c	91,6 ab	106,3 ab	34,7

¹⁾ Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen; $\alpha = 0,05$ Tukey-Test

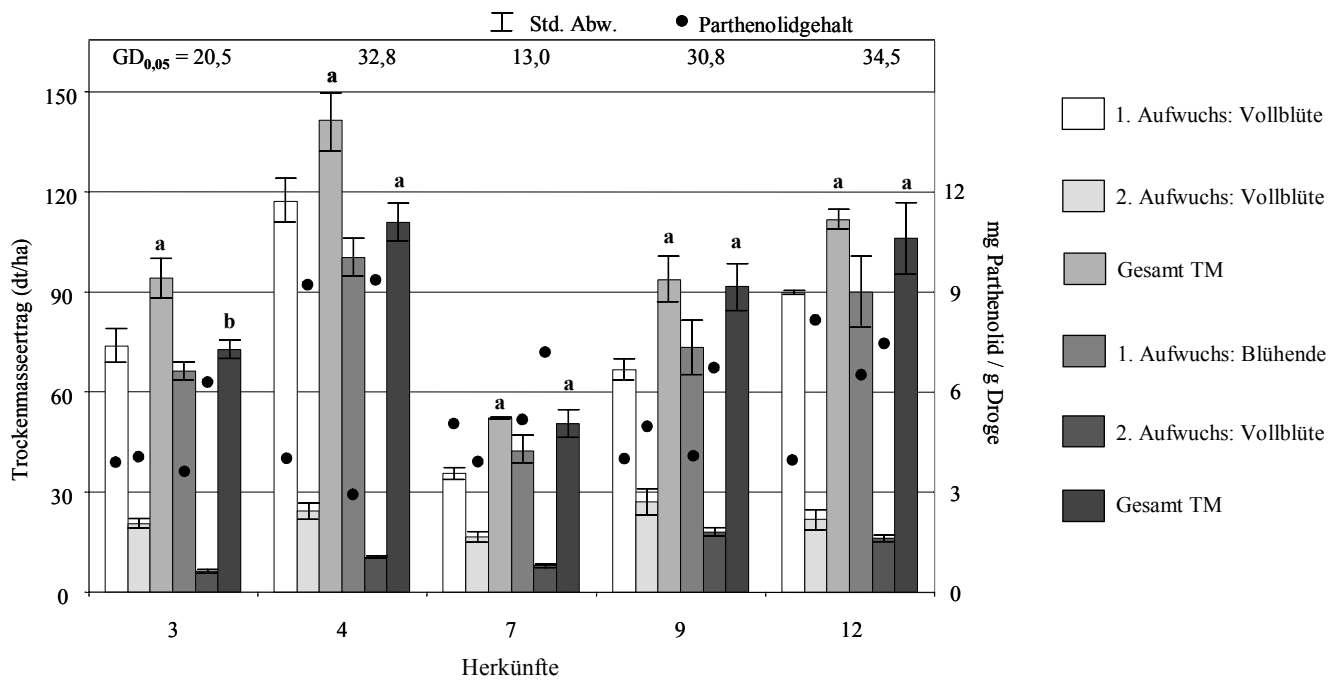


Abbildung 2:

Trockenmasseerträge (dt/ha) und Parthenolidgehalte (mg/g TM) von Mutterkrautherkünften bei unterschiedlichen Schnitterminen nach einer Überwinterung 1997 - Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen; $\alpha = 0,05$ Tukey-Test

mit 70,4 kg/ha bei Herkunft 4 und 69,3 kg/ha bei Herkunft 12 annähernd gleich. Herkunft 4 erreichte den Ertrag in der Schnittkombination Vollblüte/Vollblüte und Herkunft 12 in der Kombination Blühende/Vollblüte.

Im dritten Nutzungsjahr 1998 konnten nur noch die Herkünfte 4 und 12 geerntet werden. Die Herkünfte 3, 7 und 9 verzeichneten zu starken Befall mit *Fusarium* und *Alternaria*. Der erste Aufwuchs der Herkünfte 4 und 12 wurde Ende Juni zum Zeitpunkt der Vollblüte und Anfang der dritten Julidekade zu Blühende geschnitten. Die Vegetationsperiode 1998 war durch hohe Niederschlagsmengen gekennzeichnet, so dass aufgrund der starken Fäulnisbildung an den Blättern und Blüten zum Erntezeitpunkt „Blühende“ nur der Ertrag, jedoch nicht der Parthenolidgehalt bestimmt werden konnte. Herkunft 4 erreichte mit dem ersten Aufwuchs einen TM-Ertrag von 41,8 dt/ha mit einem Parthenolidgehalt von 2,04 mg/g Droge zur Vollblüte und 30,6 dt TM/ha zum Blühende. Herkunft 12 bildete mit dem 1. Aufwuchs TM-Erträge von 24,3 dt/ha mit einem Parthenolidgehalt von 3,12 mg/g Droge zur „Vollblüte“ bzw. 16,3 dt/ha zu „Blühende“. Nach erfolgreicher Fungizidapplikation von Pronto plus und Folicur zur Fäulnisbekämpfung (siehe 3.3) entwickelte sich der 2. Aufwuchs der Herkunft 12 deutlich besser als der erste und erreichte zur Vollblüte TM-Erträge von 33,9 dt/ha mit einem Parthenolidgehalt von 6,60 mg/g Droge bzw. 22,5 dt/ha mit einem Parthenolidgehalt von 7,70 mg/g Droge. Herkunft 4 bildete keinen erntefähigen zweiten Aufwuchs. Diese Ergebnisse verwei-

sen auf ein Problem des Mutterkrautanbaues: Krankheiten können zu Totalausfällen führen, wenn sie nicht rechtzeitig erkannt und erfolgreich bekämpft werden. Es gibt zwar Herkünfte, die auch im 3. Anbaujahr noch erntbar sind (Herkunft 4 und 12), jedoch wurden im dritten Anbaujahr nur geringe Gesamterträge erzielt,

Im gleichen Design wie 1996 wurden die Herkünfte 14, 38, 42, 43 und 45 Anfang Mai 1997 gepflanzt und kamen etwa 4 Wochen früher zur Aussaat als die im Jahre 1996 gepflanzten Mutterkrautherkünfte (Tabelle 3).

Geerntet wurden sie mit den Schnittkombinationen Vollblüte/Vollblüte und Blühende/Vollblüte. Beide Erntekombinationen erzielten mit 80,7 bzw. 81,7 dt TM/ha im Durchschnitt aller Herkünfte etwa gleiche Erträge. Die Herkunft 43 erreichte mit 104 dt/ha TM den höchsten Ertrag in dieser Prüfung mit der Schnittkombination Vollblüte/Vollblüte (Tabelle 8, Abbildung 3), erreichte aber nicht die Produktionsraten einiger der überwinterter Herkünfte. Anders als 1996 konnte aufgrund des früheren Pflanztermins nach dem Schnitttermin „Blühende“ noch ein zweiter Schnitt zur Vollblüte durchgeführt werden, der allerdings nur geringe Erntemengen brachte.

Von den fünf im Mai 1997 gepflanzten Herkünften überstanden nur die Herkünfte 43 und 45 den Winter. Im zweiten Nutzungsjahr erreichte Herkunft 43 beim ersten Schnitt zur Vollblüte 27,4 dt TM/ha, Herkunft 45 erzielte 43,5 dt TM/ha. Ein 1. Schnitt zu Blühende erbrachte mit 53,6 bzw. 64,3 dt TM/ha höhere Erträge. Herkunft 43 erzielte

Tabelle 8:

Trockenmasseerträge (dt/ha) von Mutterkrautherkünften bei unterschiedlichen Schnittterminen im Pflanzjahr 1997

Ernte \ Herkunft	14	38	42	43	45	GD _{0,05}
1. Aufwuchs Vollblüte	68,5 ab	44,0 d ¹⁾	51,6 cd	83,1 a	67,1 bc	15,6
2. Aufwuchs Vollblüte	22,5 a	3,7 b	20,4 a	20,9 a	21,7 a	13,5
∑ 1. + 2. Aufwuchs	91,0 ab	47,7 c	72,0 b	104,0 a	88,8 ab	22,0
1. Aufwuchs Blühende	73,4 ab	49,5 b	64,9 b	98,0 a	81,5 ab	32,4
2. Aufwuchs Vollblüte	16,7 a	0,7 b	9,6 ab	5,1 ab	9,3 ab	12,1
∑ 1. + 2. Aufwuchs	50,2 b	90,1 ab	74,5 ab	103,1 a	90,8 ab	41,7

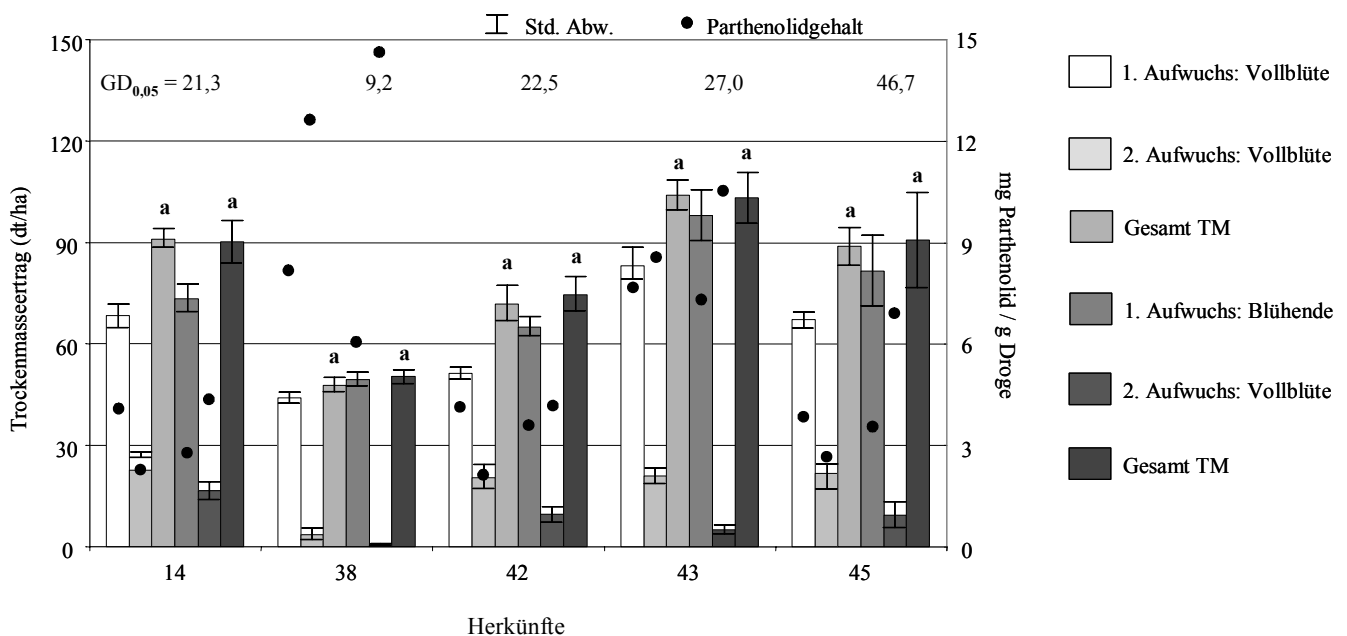
1) Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen; $\alpha = 0,05$ Tukey-Test

Abbildung 3:

Trockenmasseerträge (dt/ha) und Parthenolidgehalte (mg/g TM) von Mutterkrautherkünften bei unterschiedlichen Schnittterminen im Pflanzjahr 1997 - Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen; $\alpha = 0,05$ Tukey-Test

abhängig vom 1. Schnitttermin zur 2. Vollblüte Erträge von 27,4 bzw 53,6 dt TM/ha, Herkunft 45 war mit Erträgen von 43,5 dt TM/ha bzw. 64,3 dt TM/ha deutlich produktiver.

Im Gegensatz zu den bisherigen Ergebnissen waren die Parthenolidgehalte beim 1. Schnitt zur Vollblüte im Jahr 1997 höher (\bar{O} 5,6 mg/g TM) als die des 1. Schnittes zu Blühende (\bar{O} 4,6 mg/g TM). Die Parthenolidgehalte der 2. Schnitte waren im Mittel aller Herkünfte mit 5,8 mg/g TM bei der Kombination Vollblüte/Vollblüte bzw. 8,2 mg/g TM bei Blühende/Vollblüte höher, jedoch nicht so eindeutig wie bei den 1996 gepflanzten Herkünften.

Aufgrund der höheren Parthenolidgehalte beim ersten Schnitt zur Vollblüte erreichten die Herkünfte 14 und 38 zu

diesem Schnitttermin - trotz im Vergleich zum Schnittzeitpunkt „Blühende“ geringerer TM-Erträge - höhere Parthenoliderträge. Herkunft 38 wies mit 14,7 mg/g Droge den höchsten Parthenolidgehalt im 2. Schnitt auf (1. Schnitt zu Blühende).

Der Gesamtparthenolidertrag beider Ernten war mit Ausnahme von Herkunft 45 höher, wenn der 1. und 2. Schnitt zum Stadium Vollblüte durchgeführt wurde. Herkunft 43 bildete den höchsten TM- und Parthenolidertrag mit 104 dt/ha bzw. 82,3 kg/ha in der Schnittkombination Vollblüte/Vollblüte. Im Feldanbau zeigten die Herkünfte 4, 9, 12, 43 und 45 gutes Biomasse- Bildungsvermögen und zufriedenstellende Parthenolidgehalte, sowie eine geringere

Krankheitsanfälligkeit von Blättern und Stängeln im Vergleich zu anderen geprüften Herkünften.

3.1.3.2 Vergleich von Herbst - und Frühjahrspflanzungen zur Bestandesetablirung

Zur Klärung, ob eine Bestandesetablirung im Herbst oder im Frühjahr anzustreben ist, wurden Herbst- und

Frühjahrspflanzungen mit jeweils gleichen Herkünften vorgenommen.

Alle Schnitte wurden zur Vollblüte durchgeführt (Tabelle 3). Abbildung 4a zeigt die Trockenmasseerträge sowie die Parthenolidgehalte der Ernten der Herbstpflanzung, Abbildung 4b die der Frühjahrspflanzung. Tabelle 9 zeigt die Mittelwerte der Trockenmasseerträge getrennt nach Pflanz- und Schnitzeitpunkt sowie Herkünften. Es wird deutlich,

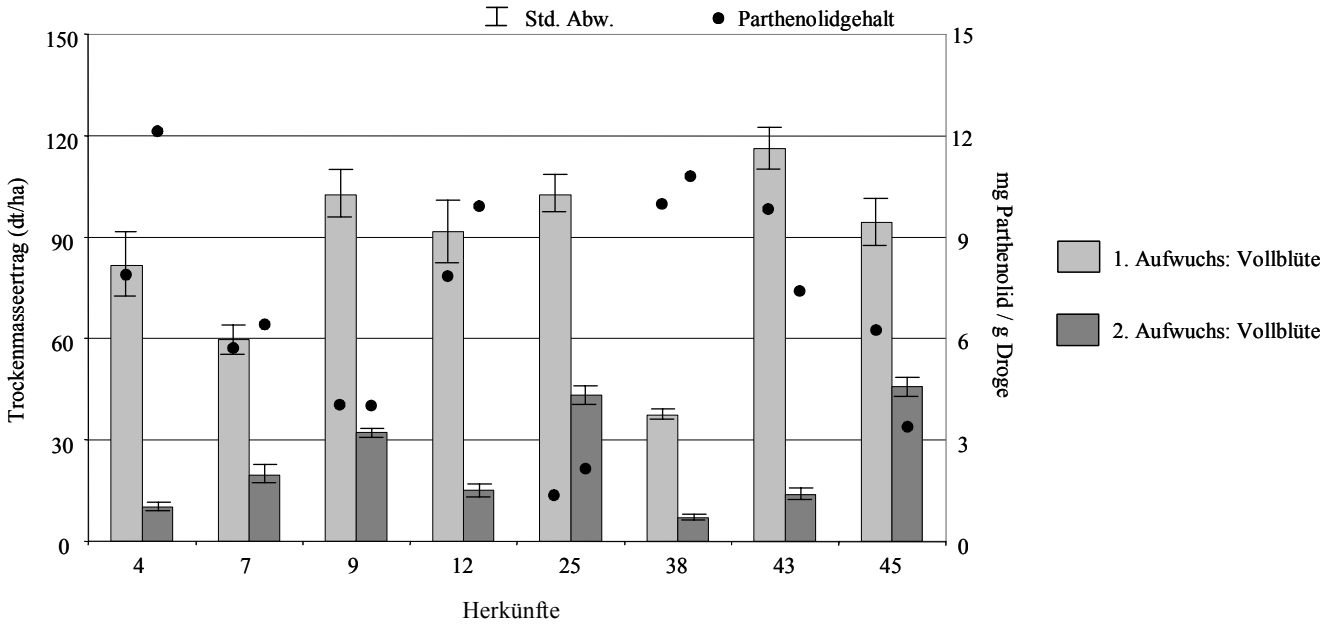


Abbildung 4a: Trockenmasseerträge (dt/ha) und Parthenolidgehalte (mg/g TM) von Mutterkrautherkünften – Feldleistungsprüfung 1999 mit Pflanzzeitpunkt Herbst 1998

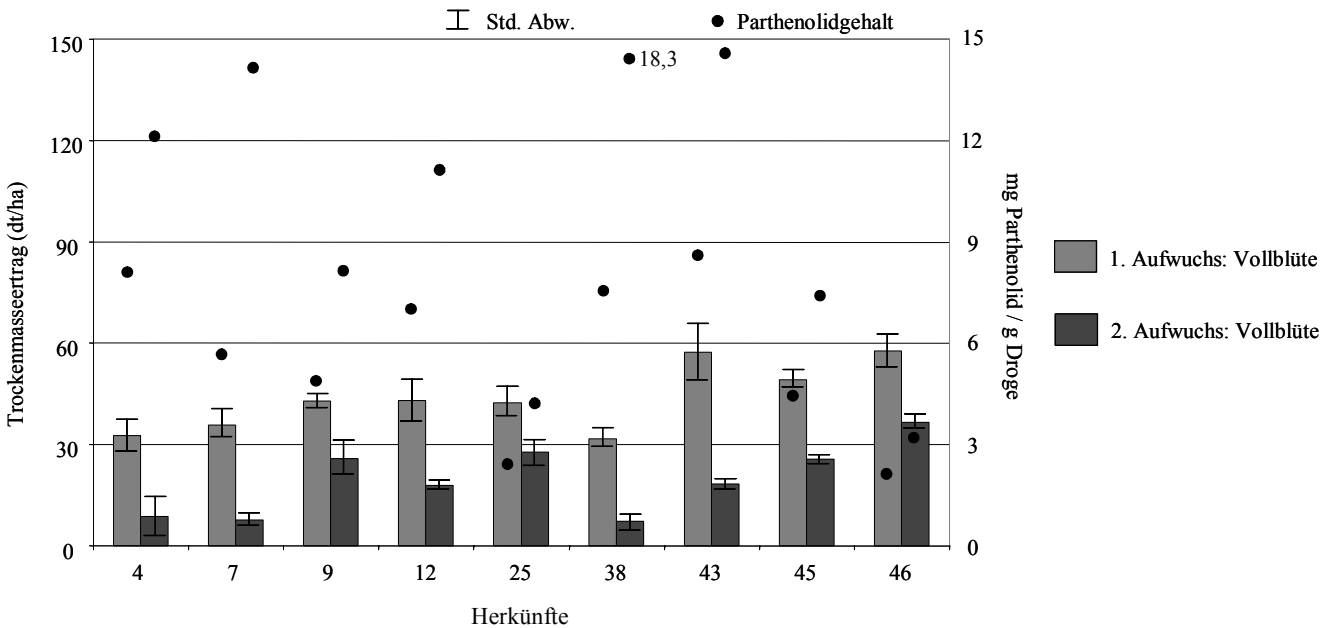


Abbildung 4b: Trockenmasseerträge (dt/ha) und Parthenolidgehalte (mg/g TM) von Mutterkrautherkünften – Feldleistungsprüfung 1999 mit Pflanzzeitpunkt Frühjahr 1999

Tabelle 9:

Trockenmasseerträge (dt/ha) von Mutterkrautherkünften – Feldleistungsprüfung 1999 (Pflanzzeitpunkte Herbst 1998 und Frühjahr 1999)

Ernte \ Herkunft	4	7	9	12	25	38	43	45	46	GD _{0,05}
Herbstpflanzung										
1. Aufwuchs, Vollblüte	81,5 bc	59,6 cd	102,5 ab	91,6 ab	102,4 ab	37,3 d	116,1 a	94,4 ab		30,6
Herbstpflanzung										
2. Aufwuchs, Vollblüte	10,3 d ¹⁾	19,8 c	32,2 b	15,1 cd	43,3 a	7,0 d	13,8 cd	45,8 a		9,2
Frühjahrs-pflanzung										
1. Aufwuchs Vollblüte	32,7 b	35,7 ab	42,9 ab	43,1 ab	42,5 ab	31,8 b	57,4 a	49,2 ab	57,7 a	22,2
Erühjahrs-pflanzung										
2. Aufwuchs Vollblüte	8,8 c	7,7 c	25,7 ab	17,8 bc	27,7 ab	7,2 c	18,3 bc	25,7 ab	36,7 a	11,9

¹⁾ Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen; $\alpha = 0,05$ Tukey-Test

dass eine Herbstpflanzung einer Frühjahrspflanzung im 1. Nutzungsjahr ertraglich überlegen ist. Im Durchschnitt der Herkünfte wurden mit dem 1. Schnitt der Herbstpflanzung 85,5 dt TM/ha und mit dem 2. Schnitt 23,4 dt TM/ha erzielt. Bei Frühjahrspflanzung wurden im ersten Schnitt 43,6 dt TM/ha und im 2. Schnitt 19,5 dt TM/ha erreicht. Die Resultate dieser Feldleistungsprüfung weisen wiederum auf das unterschiedliche Biomassebildungsvermögen der geprüften Herkünfte hin.

Hohe Trockenmasseerträge erzielten die Herkünfte 9, 12, 25, 43 und 45 sowohl bei Herbst- als auch bei Frühjahrspflanzung. Die Herkünfte 25 und 46 erreichen den geforderten Parthenolidgehalt von ca. 3 mg/g Droge jeweils beim 2. Schnitt, in den ersten Schnitten lag deren Parthenolidgehalt unter diesem von den Verarbeitern geforderten

Tabelle 10:

Auswinterungsraten unterschiedlicher Herkünfte im Jahr 2000 nach zwei bzw. einer Überwinterung (120 Pfl./Parzelle gepflanzt)

Herbstpflanzung 1998 (2 x überwintert)			Frühjahrs-pflanzung 1999 (1 x überwintert)		
Herkunft	Anzahl Pfl.	Auswinterung %	Herkunft	Anzahl Pfl.	Auswinterung %
4	116	3,3	4	114	5,0
7	41	65,8	7	73	39,2
9	81	32,5	9	88	26,7
12	92	23,3	12	109	9,2
25	100	16,7	25	107	10,8
38	95	20,8	38	98	18,3
43	82	31,7	43	75	37,5
45	55	54,2	45	70	41,7
			46	98	18,3

Wert. Die Herkunft 38 produzierte vergleichsweise wenig Biomasse und die Herkunft 45 erschien nicht winterhart genug (Tabelle 10).

Herbst- und Frühjahrspflanzung wurden im April 2000 hinsichtlich ihres Wiederaustriebes bewertet. Die Auswinterungsraten der Herkünfte gibt Tabelle 10 wieder.

Nach zwei Überwinterungen zeigte Herkunft 4 mit 3,3 % die geringsten Verluste. Auch die Auswinterungsverluste der Herkünfte 25, 38 und 12 liegen im tolerierbaren Bereich. Dagegen waren die Verluste bei den Herkünften 7 und 45 mit 65,8 % bzw. 54,2 % hoch. Aufgrund der starken Ausfälle wurden diese Bestände aufgegeben. Für einen mehrjährigen Anbau sollten diese Herkünfte keine Berücksichtigung finden. Hingegen kommen die Herkünfte 9, 12 und 43 für einen Anbau infrage, weil sowohl die Vitalität, die Biomasseproduktion als auch der Parthenolidgehalt zufriedenstellend sind.

3.2 Einzelpflanzenanalysen

3.2.1 Strukturanalyse von Mutterkrautherkünften

Um detaillierte Information zum Ertragsaufbau der unterschiedlichen Mutterkrautherkünfte zu bekommen, wurde eine Einzelpflanzenanalyse im Rahmen des Pflanzversuchs durchgeführt, der zum Vergleich von Winter- und Frühjahrspflanzung angelegt war.

Die Herkünfte zeigten eine erhebliche Variation hinsichtlich der Wuchshöhe sowie der Anzahl Triebe und Blüten pro Pflanze (Abbildung 5, Tabelle 11). Die Wuchshöhe und die Blütenzahl waren beim ersten Schnitt größer als beim zweiten, während die Zahl der Triebe beim zweiten Schnitt die des ersten in der Regel übertraf. Die Anzahl Triebe variierte beim ersten Schnitt von 10,4 bis 13,8 pro Pflanze und erreichte Werte bis zu 20,4 Trieben pro Pflanze beim

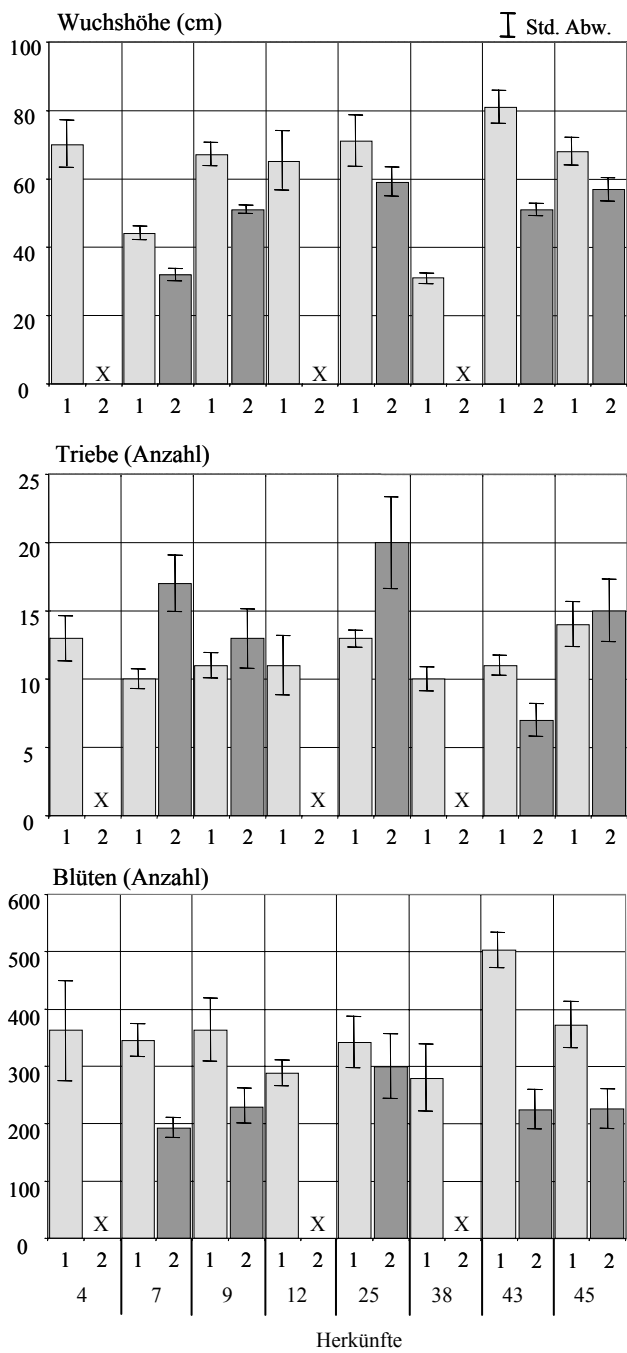


Abbildung 5: Wuchshöhe (cm), Anzahl Triebe und Blüten von Mutterkrautherkünften - Feldleistungsprüfung 1. und 2. Schnitt 1999 nach Pflanzung im Herbst 1998 (x- keine Ernte möglich)

zweiten Schnitt. Die Blütenzahl schwankte zwischen 279 und 503 im ersten Schnitt; bis zum zweiten Schnitt wurden noch einmal bis zu 299 Blüten pro Pflanze gebildet. Die Herkünfte 4, 9, 43 und 45 bildeten bezogen auf die drei erfassten Pflanzenorgane eine Spitzengruppe, was sich auch statistisch absichern ließ.

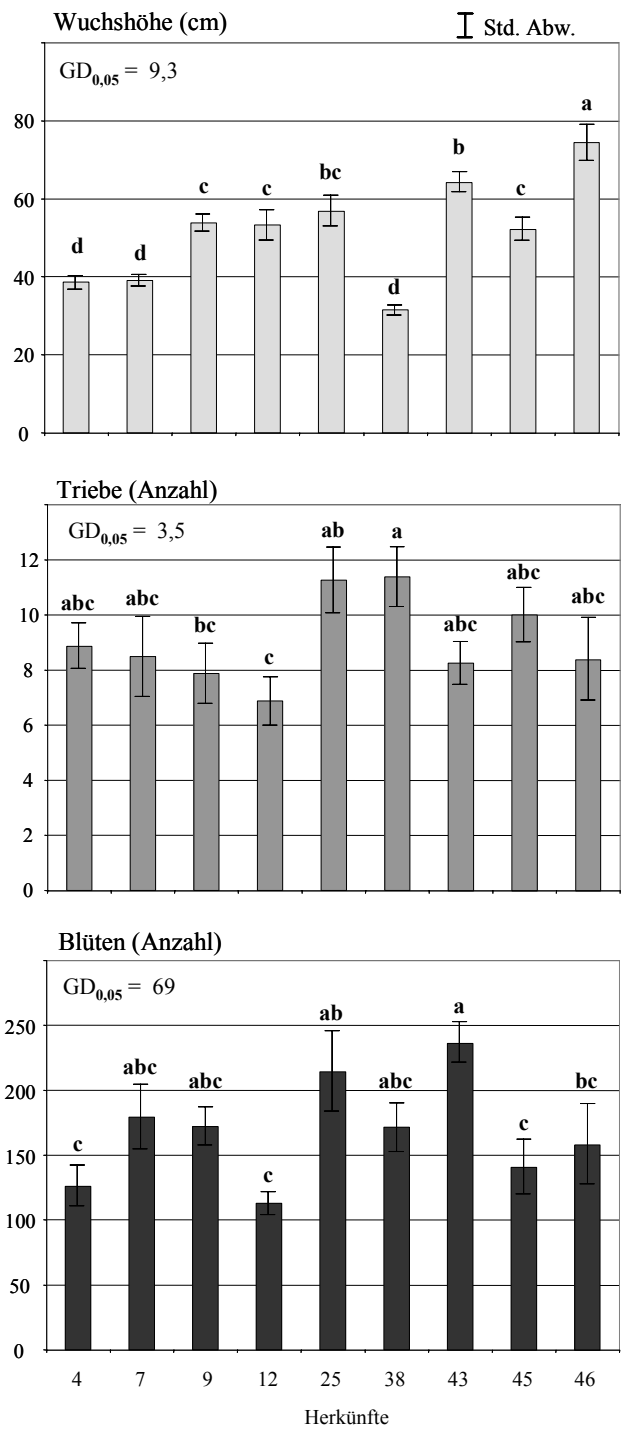


Abbildung 6: Wuchshöhe (cm), Anzahl Stängel und Blüten von Mutterkrautherkünften - Feldleistungsprüfung, 1. Schnitt 1999 nach Pflanzung im Frühjahr 1999 - Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen; $\alpha = 0,05$ Tukey-Test

Eine Strukturanalyse von Einzelpflanzen wurde bei der Frühjahrspflanzung nur zum Zeitpunkt Vollblüte des ersten Aufwuchses durchgeführt (siehe auch Abbildung 4a und 4b). In der Regel lagen Wuchshöhe, Triebzahl und Blütenzahl

Tabelle 11:

Wuchshöhe (cm), Anzahl Triebe und Anzahl Blüten von Mutterkrautherkünften – Feldleistungsprüfung 1999 mit Pflanzzeitpunkt Herbst 1998

		Herkunft	4	7	9	12	25	38	43	45	GD _{0,05}
Ernte											
1. Aufwuchs	Wuchshöhe		69,6 a ¹⁾	43,9 b	66,5 a	65,3 a	71,0 a	31,3 b	81,0 a	68,4 a	16,6
	Vollblüte	Triebanzahl	12,5 ab	10,4 b	11,0 ab	10,8 ab	12,6 ab	10,4 b	11,4 ab	13,8 a	3,2
		Blütenanzahl	363 ab	345 ab	363 ab	288 b	342 b	279 b	503 a	372 ab	160
2. Aufwuchs	Wuchshöhe			32,4 c	50,8 b		59,3 a		51,1 b	57,0 ab	7,7
	Vollblüte	Triebanzahl		17,1 ab	13,3 b		20,4 a		6,6 c	15,0 ab	6,4
		Blütenanzahl		192 a	229 a		299 a		224 a	226 a	107

¹⁾ Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen; $\alpha = 0,05$ Tukey-Test

bei der Frühjahrspflanzung auf deutlich niedrigerem Niveau als beim ersten Aufwuchs der Herbstpflanzung (Abbildung 6). Die spezifischen Eigenschaften jeder Herkunft, die bei den Pflanzen der Herbstpflanzung ermittelt wurden, traten bei der Frühjahrspflanzung ebenfalls auf, jedoch nicht in so deutlicher Ausprägung.

3.2.2 Einzelpflanzenenertragsanalyse von Mutterkrautherkünften

Der wertgebende Inhaltsstoff des Mutterkrautes, das Parthenolid, ist in den Blüten und Blättern der Pflanze enthalten. Die Stängel von Mutterkraut enthalten dagegen kein Parthenolid. Daher sollte der Stängelanteil an der Gesamtbiomasse der Pflanzen möglichst gering sein. Diese Einzelpflanzenanalysen wurden bei der Herbstpflanzung für beide Ernten, bei der Frühjahrspflanzung lediglich für die erste Ernte durchgeführt. Die Ergebnisse für die Herbstpflanzung zeigen die Tabelle 12 sowie die Abbildung 7.

Wuchshöhen bis zu 80 cm können mit hoher Trockenmassebildung verbunden sein, (Herkunft 4, 43, 45), sind

es aber nicht immer, wie im Falle der Herkünfte 9, 12 und 25. Hohe Gesamttrockenmassen pro Pflanze erzielten die Herkünfte 4, 43 und 45 im ersten Schnitt, mittlere die Herkünfte 9, 12 und 25, hingegen nur geringe die Herkünfte 7 und 38 (Abbildung 7).

Der Stängelanteil betrug bis zu 50 % der Gesamtpflanzen - Trockenmasse (Herkunft 4, 12, 25, 45), bei den anderen Herkünften bildete die Summe aus Blatt- und Blütentrockenmasse den überwiegenden Anteil an der Gesamtpflanze (Abbildung 7).

Die Einzelpflanzen-trockenmasse der Frühjahrspflanzung lag bei allen Herkünften mit Werten zwischen 40 % und 50 % unter der des ersten Schnitts der Herbstpflanzung (Tabelle 13). Der prozentuale Anteil der Stängeltrockenmasse an der Gesamttrockenmasse lag mit Werten um 40 % in der Regel unter dem Wert, der bei Herbstpflanzung erzielt wurde (Abbildung 8). Wie auch bei Herbstpflanzung erwiesen sich die Herkünfte 25, 43, 45 sowie auch 46 hinsichtlich der Gesamttrockenmassebildung als den anderen Herkünften überlegen.

Als Ergebnis der Einzelpflanzenanalyse lässt sich fest-

Tabelle 12:

Einzelpflanzenenertrag aufgeteilt in Stängel-, Blätter- und Blüten- TM (g TM/Pfl.) von Mutterkrautherkünften - Feldleistungsprüfung 1999 mit Pflanzzeitpunkt Herbst 1998

		Herkunft	4	7	9	12	25	38	43	45	GD _{0,05}
Ernte											
1. Aufwuchs	Stängel-TM		23,1 a ¹⁾	9,2 bc	13,9 abc	16,0 abc	17,1 abc	5,3 c	22,4 a	21,3 ab	13,0
	Vollblüte	Blätter-TM	9,4 ab	7,5 ab	7,8 ab	9,6 ab	8,8 ab	4,8 b	11,8 a	11,4 a	5,3
		Blüten-TM	12,8 a	7,3 ab	7,9 ab	6,7 ab	7,7 ab	5,9 b	11,9 ab	8,1 ab	6,8
2. Aufwuchs	Stängel-TM			5,1 b	7,6 b		11,1 a		6,0 b	7,8 ab	3,4
	Vollblüte	Blätter-TM		4,8 a	5,4 a		5,3 a		5,3 a	4,4 a	2,2
		Blüten-TM		4,9 c	7,0 abc		8,4 a		4,6 bc	7,9 ab	3,6

¹⁾ Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen; $\alpha = 0,05$ Tukey-Test

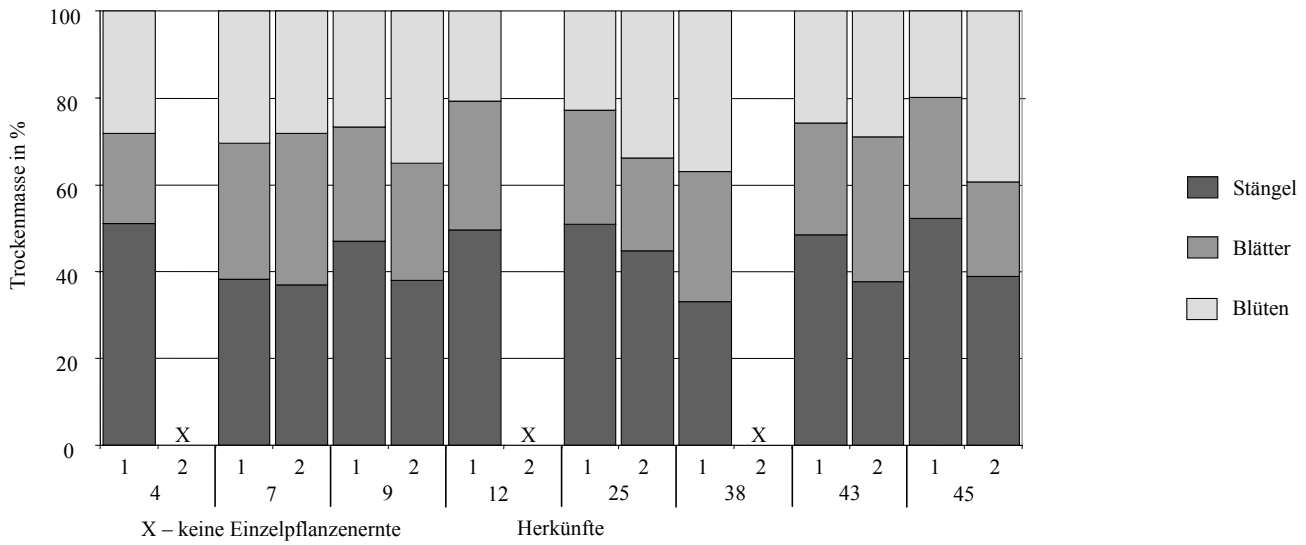


Abbildung 7:
 Prozentualer Anteil von Stängeln, Blüten und Blättern an der Gesamttrockenmasse von Mutterkrautherkünften - 1. und 2. Schnitt 1999 nach Pflanzung im Herbst 1998

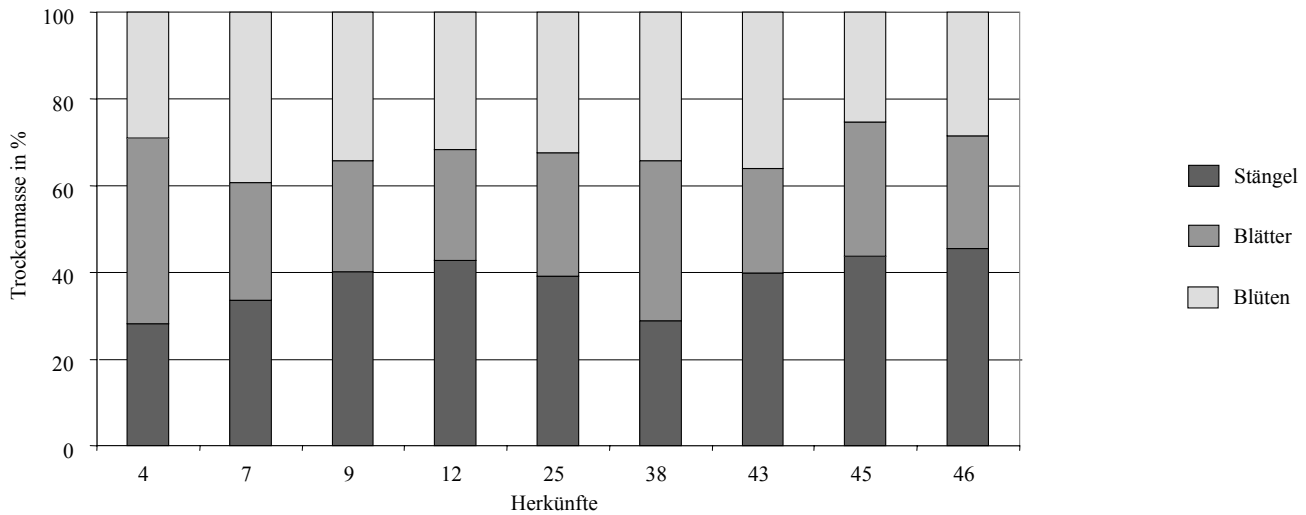


Abbildung 8:
 Prozentualer Anteil von Stängeln, Blüten und Blättern an der Gesamttrockenmasse von Mutterkrautherkünften - 1. Schnitt 1999 nach Pflanzung im Frühjahr 1999

Tabelle 13:
 Einzelpflanzenertrag aufgeteilt in Stängel-, Blätter- und Blüten-TM (g TM/Pfl.) von Mutterkrautherkünften - Feldeleistungsprüfung 1999 mit Pflanzzeitpunkt Frühjahr 1999

Ernte \ Herkunft	4	7	9	12	25	38	43	45	46	GD _{0,05}
Stängel-TM	3,9 c ¹⁾	5,3 bc	6,7 abc	6,5 abc	8,2 ab	4,3 c	8,6 ab	8,6 ab	9,9 a	3,6
Blätter-TM	5,9 a	4,3 a	4,3 a	3,9 a	6,0 a	5,5 a	5,2 a	6,1 a	5,6 a	2,5
Blüten-TM	4,0 b	6,2 ab	5,7 ab	4,8 b	6,8 ab	5,1 ab	7,8 a	5,0 ab	6,2 ab	2,9

¹⁾ Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Mittelwertdifferenzen; $\alpha = 0,05$ Tukey-Test

halten, dass die Herkünfte 43 und 45 bei Herbst- und Frühjahrspflanzung die höchste Produktivität aller geprüften Herkünfte zeigten. Dies steht im Einklang mit den Ergebnissen der Parzellenernten. Allerdings traten bei Herkunft 45 hohe Verluste durch Auswinterung auf. Herkunft 43 zeichnete sich zudem im Vergleich zu Herkunft 45 durch deutlich höhere Blütenzahl und damit erhöhtem Blütenanteil sowie auch höheren Parthenolidgehalt aus (Abbildung 4a + 4b), so dass nach diesen Ergebnissen Herkunft 43 in Regionen mit kalten Wintern zu bevorzugen ist.

3.3 Aufgetretene Krankheiten am Mutterkraut

Frühjahr und Sommer 1998 waren gekennzeichnet durch hohe Niederschläge, die starke Fäulniserscheinungen an den 1996/97 gepflanzten Pflanzen hervorriefen und zu extrem schlechter Qualität des 1. Schnittes zum Blühende führten (siehe 3.1.3.1). Eine Pflanzenanalyse an der BBA Braunschweig ergab Pilzbefall mit *Fusarium* und *Alternaria*. Nach einer Fungizidbehandlung mit Folicur bzw. Pronto plus Mitte August entwickelte sich der 2. Aufwuchs deutlich besser als der erste und konnte Ende August geerntet werden.

Einzelne befallene Pflanzen des 2. Aufwuchses zeigten einen Befall mit *Septoria*, jedoch nicht mit *Fusarium* oder *Alternaria* (Pflanzenschutzamt Magdeburg). Eine weitere Untersuchung des Pflanzenmaterials führte zum Nachweis des Bakteriums *Pseudomonas* (BBA- Außenstelle Kleinmachnow). Eine genauere Identifizierung der Bakteriengruppe war bisher nicht möglich. Die Chrysanthem-Blattminierfliege (*Phytomyza syngenesiae*), Blattläuse und Thripse verursachten zusätzlich Blattschäden am Mutterkraut.

4 Diskussion

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, im Gewächshaus vorevaluierte Mutterkrautherkünfte im Feldanbau auf ihre Leistungsfähigkeit zu testen sowie Grundlagen der Anbautechnik zu erarbeiten. Zur Produktionstechnik eines großflächigen Feldanbaus von Mutterkraut gibt es bisher kaum Informationen. Saatverfahren sind Pflanzverfahren grundsätzlich wegen geringerer Kosten und geringerem Arbeitsaufwand vorzuziehen. Daher wurde versucht, ein Saatverfahren für das Mutterkraut zu entwickeln. Die dabei aufgetretenen Schwierigkeiten sind eng an Mutterkraut - spezifische Eigenschaften gebunden, die im Zusammenhang mit den Saatguteigenschaften und der sehr langsamen Jugendentwicklung im Feld zu sehen sind. Die in den Aussaatversuchen erzielten Ergebnisse zeigen, dass eine Direktsaat des sehr feinen Mutterkrautsamens durch Mischen mit herkömmlichem Haushaltsgrieß im Gewichtsverhältnis 1:25 zu einer gewünschten Aussaatstärke von ca. 165

Pfl./m² führte. Um ein erfolgreiches Auflaufen der Mutterkrautsamen zu gewährleisten, muss das Saatbett gut rückverfestigt sein, was durch den Einsatz einer Glattwalze erreicht werden kann. Aufgrund der extrem langsamen Jugendentwicklung im Feld ist eine erfolgreiche handarbeitsfreie Bestandesetablierung nach dem Auflaufen der Samen jedoch nur in Verbindung mit einem Herbizideinsatz zu erreichen. Der Einsatz von Elanco im Vorsaatverfahren und Boxer, Butisan und Stomp im Nachauflauf ist möglich, jedoch ist keines dieser Herbizide derzeit für eine Anwendung im Mutterkraut zugelassen. Bis zu einer Freigabe der Herbizide ist eine Bestandesetablierung derzeit nur durch aufwändiges Pflanzen nach Voranzucht unter kontrollierten Bedingungen in Kombination mit einer mechanischen Unkrautbekämpfung möglich.

Bestände, die aus vorgezogenen Pflanzen etabliert wurden, erzielten bei einer Bestandesdichte von 20 Pfl./m² bei zwei Schnitten im Jahr Trockenmasseerträge bis zu 140 dt/ha. Ein Reihenabstand von 30 bis 40 cm ist empfehlenswert, um eine mechanische Unkrautbekämpfung durchführen zu können. Eine Stickstoffdüngung von ca. 50 kg N/ha pro Aufwuchs erscheint angemessen. Mutterkraut kann in Abhängigkeit von den Umweltbedingungen unterschiedlich auf eine N-Düngung reagieren. Eine Applikation von 100 kg N/ha führte sowohl zu einer TM-Ertragserhöhung als auch zu einer TM-Ertragsreduzierung in beregneten und unberegneten Mutterkrautbeständen (Porter, 2000).

Sekundäre Stoffwechselprodukte, also auch das Parthenolid, können in der Pflanze durch verschiedene Faktoren wie Genotyp und Pflanzenalter sowie durch Umweltfaktoren wie Nährstoffverfügbarkeit, Wasserstress, Lichtstärke und Bestandesdichte beeinflusst werden. Der Parthenolidgehalt in den hier durchgeführten Feldleistungsprüfungen war abhängig vom Schnitttermin. Je später der Erntetermin, desto höher war der Parthenolidgehalt. Wie in den Gewächshausversuchen (Jakob et al., 2007) hatten die Schnitte „zu Blühbeginn“ oder „zur Vollblüte“ geringere Parthenolidgehalte im Vergleich zum Erntetermin „Blühende“. Die Blüten enthalten den größten Teil des Parthenolids, so dass der Parthenolidgehalt mit der Blühdauer zunimmt (Porter, 2000). Eine Ausnahme bildete die Ernte der 1997 gepflanzten Herkünfte, wo die Mutterkrautherkünfte im ersten Schnitt „zur Vollblüte“ höhere Parthenolidgehalte aufwiesen als beim 1. Schnitt „zum Blühende“. Wasserstress kann einen Anstieg des Parthenolidgehaltes in den Pflanzen bewirken (Fonseca, 2005). Feldversuche mit Beregnung zeigten, dass unberegnete Flächen etwas höhere Parthenolidgehalte produzierten als beregnete Flächen (Porter, 2000). Jedoch war die klimatische Wasserbilanz zum Zeitpunkt des 2. Schnittes im August 1997 mit einem Defizit von -114 mm wesentlich negativer als zum Zeitpunkt des 1. Schnittes im Juli mit -11 mm. Das physiologische Alter der Pflanzen und die geringe Wasserverfügbarkeit zum 2. Schnitt führten in

diesem Versuch nicht zu einem höheren Parthenolidgehalt im Vergleich zum ersten Schnitt. Weitere Untersuchungen in Kombination mit einer höheren Probenanzahl sind erforderlich, um die Ursachen der Schwankungen zu ermitteln. Der 2. Aufwuchs produzierte für alle Versuche deutlich höhere Parthenolidgehalte als der erste Aufwuchs. Dieses Resultat bestätigt Ergebnisse von verschiedenen Gewächshausversuchen. (Ehret 2004, Jakob et al., 2007).

Aufgrund der Konzentration des Parthenolids in den Blüten und Blättern ist ein nur geringer Stängelanteil im Erntematerial wünschenswert. Die Ermittlung der prozentualen Anteile von Blüten, Blättern und Stängeln an Einzelpflanzen zeigt, dass höhere TM-Erträge durch einen höheren Stängelanteil an der Gesamtpflanze erreicht wurden. Die Proportionen von Blatt-, Blüten- und Stängelanteil blieben zwischen dem 1. und 2. Aufwuchs unverändert. Wuchshöhe und Blütenzahl sind jedoch in der Regel höher im 1. Schnitt, während die Anzahl der Triebe im 2. Schnitt höher war. Pflanzen einer Herbstpflanzung haben im Vergleich zur Frühjahrspflanzung eine höhere Wuchshöhe, Triebzahl und Blütenzahl, was zu höheren Erträgen einer Herbstpflanzung führt.

Wenn die Standortbedingungen entsprechende Voraussetzungen bieten, ist eine Herbstpflanzung frostverträglicher Herkünfte einer Frühjahrspflanzung vorzuziehen. Die Mutterkrautpflanzen können die längere Vegetationszeit effektiv nutzen und produzieren höhere Trockenmasseerträge als bei einer Frühjahrspflanzung. Als Schnittzeitpunkt für den ersten und zweiten Aufwuchs ist bei Herbstpflanzung „die Vollblüte“, bei Frühjahrspflanzung nur ein Schnitt zum „Blühende“ zu empfehlen.

Für eine Empfehlung, das Mutterkraut ein zweites Jahr im Feld zu nutzen, sind weitere Untersuchungen notwendig. In den hier durchgeführten Versuchen führte eine hohe Auswinterungsrate und Krankheitsbefall nach einer zweiten Überwinterung zu hohen Pflanzen- und Ertragsverlusten. Geringe Auswinterungsraten von 10 % im ersten Winter, jedoch hohe Ausfälle bis zu 99 % im zweiten Winter wurden ebenfalls in Feldversuchen in Kansas beobachtet (Janke, 2003). Weitere Untersuchungen zur optimalen Vorwinterentwicklung der Pflanzen sowie zur Krankheitsresistenz insbesondere gegenüber *Fusarium* und *Erysiphe* sind notwendig, um eine Nutzungsdauer von mehr als einem Jahr empfehlen zu können. In den hier durchgeführten Feldprüfungen haben sich die Herkünfte 4 (Botanischer Garten der Martin-Luther-Universität Halle), 9 (S2480, Richters Canada's Herb Specialists) und 12 (Royal Botanical Garden, West Sussex) durch gute Überwinterung, hohe TM-Erträge mit einem hohen Blütenanteil und hohe Parthenolidgehalte ausgezeichnet.

Danksagung

Die Autoren danken der Deutschen Bundesstiftung Umwelt für die Förderung des Projektes.

Herrn Dierk-Dieter Strauß vom Informations- und Datenzentrum der FAL danken die Autoren für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung.

Literatur:

- Banthorpe DV, Brown GD (1993) *Tanacetum parthenium* (L.) Schultz-Bip. (Feverfew) : in vitro culture and prospects for the production of parthenolide. *Biotechnol Agric Forestry* 24:361-372
- Bramm A, Rühl G, Jakob K (1997) Erstevaluierung von Mutterkraut (*Tanacetum parthenium*), einer Arzneipflanze zur Herstellung eines Migräneprophylaktikums. *Mitt Ges Pflanzenbauwiss* 10:193-194
- Bramm A, Rühl G, Cadirci C (2004) Untersuchungen zum Anbau der Arzneipflanze *Tanacetum parthenium* als Basis für die Entwicklung eines Arzneimittels zur Migräneprophylaxe. In: *Deutsch-Türkische Agrarforschung :7. Symposium vom 24.März – 30. März 2003 an der Ankara Universität / Ankara. Göttingen: Cuvillier*, pp 71-77
- Brown GD (1993) Production of anti-malarial and anti-migraine drugs in tissue culture of *Artemisia annua* and *Tanacetum parthenium*. *Acta hort* <Wageningen> 330:269-276
- Brunner P (1981) Zum Stand der Extraktion mit komprimierten Gasen. *Chem Ing Tech* (53):529-542
- Ehret D (2004) Greenhouse production of feverfew [online]. Zu finden in http://sci.agr.ca/parc-crapac/fs-ft/fsft001_e.htm [Zitiert am 05.04.2007]
- Fonseca JM, Rushing JW, Rajapakse NC, Thomas RL, Riley MB (2005) Parthenolide and abscisic acid synthesis in feverfew are associated but environmental factors affect them dissimilarly. *J Plant Physiol* 162:485-494
- Hartley MJ (1993) Herbicide tolerance and weed control in three medicinal herbs. In: Popay AJ (ed) *Proceedings of the 46. New Zealand Plant Protection Conference, Christchurch, August 10-12, 1993*, pp 30-34
- Hegele A (1986) *Chrysanthemum parthenium* "Santana" ist tagneutral. *Gärtnerbörse Gartenwelt* 86(23):864
- Jakob K, Bramm A, Rühl G (2007) Heimische Kultivierung der Arzneipflanze *Tanacetum parthenium* zur Entwicklung eines Arzneimittels zur Migräneprophylaxe. *Landbauforsch Völkenrode* 57(1):33-41
- Janke R, DeArmond J, Coltrain D (2003) Farming a few acres of herbs : an herb growers handbook [online]. Zu finden in http://www.oznet.ksu.edu/ksherb/farming_a_few_acres.htm [Zitiert am 05.04.2007]
- Kewalanand, Pandey CS (2001) Chemical weed control in chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Indian J Weed Sci* 33(3/4):156-159
- Krijger D (1985) Possibilities with feverfew: height of crop and duration of culture are strongly dependant on light. *Vakblad Bloemisterij* 40(38):42-43
- Kroth E, Steinhoff B (1996) Qualität von Phytopharmaka beginnt beim Anbau. *Pharm Ind* 58(9):781-783
- Porter B (2000) Feverfew in Saskatchewan [online]. Zu finden in <http://www.agr.gov.sk.ca/docs/production/feverfew.asp> [Zitiert am 05.04.2007]
- Reimherr P, Gradner U (1987) *Chrysanthemum parthenium* ausprobiert. *Gärtnerbörse Gartenwelt* 87(25):916-916