Institut für Landtechnik der Technischen Universität München in Weihenstephan

Geräte- und verfahrenstechnische Optimierung der mechanischen Unkrautregulierung in Beetkulturen

von

Hansjörg Weber

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Agrarwissenschaften

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Prüfer der Dissertation: Univ.-Prof. Dr. Dr. h.c. (AE) H. Schön

1. Univ.-Prof. Dr. J. Meyer

2. Univ.-Prof. Dr. W. Schnitzler

3. Univ.-Prof. Dr. M. Estler (i.R.)

Die Dissertation wurde am 29.07.1997 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Landwirtschaft und Gartenbau am 22.09.1997 angenommen.

Diese Arbeit wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten und von der Firma Fendt unterstützt.
© 1997 by Landtechnik Weihenstephan
ISSN-Nr. 0931-6264
Alle Rechte, auch die der Übersetzung und des Nachdrucks sowie jede Art der photomechanischen Wiedergabe oder Übernahme auf Datenträger, auch auszugsweise, bleiben vorbehalten.
Selbstverlag im Eigenvertrieb: Institut für Landtechnik Vöttinger Straße 36 85350 Freising

Für meine Eltern

Vorwort

Die Verringerung der Aufwandmengen oder der vollständige Verzicht auf den Einsatz von Herbiziden ist mit erheblichen Kosten und steigenden Risiken für den Kulturerfolg verbunden. Für den integrierten Anbau ist eine chemische Unkrautregulierung ohne die Prüfung physikalischer Alternativen nicht zulässig und häufig ist die Verfügbarkeit von Herbiziden wegen fehlender Zulassungen unzureichend. Der Anbau nach ökologischen Richtlinien schließt den Einsatz synthetischer Herbizide aus. Vor diesem Hintergrund haben Arbeiten zur Verbesserung von Geräten und Verfahren zur Unkrautregulierung mit physikalischen Maßnahmen erheblich an Bedeutung gewonnen.

In der vorliegenden Arbeit liegen die Ziele in der Optimierung mechanischer Verfahren der Unkrautregulierung, einer Bewertung dieser Verfahren und einer Einschätzung des kulturtechnischen und wirtschaftlichen Risikos für den Anwender der Verfahren. Diese komplexe Zielstellung läßt die Bearbeitung mit den bisher üblichen, mehr zu beschreibenden Ergebnissen führenden Forschungsansätzen nicht zu. Es wird daher erstmalig für den Bereich "mechanische Verfahren der Unkrautregulierung" ein klassischer Lösungsansatz aus der Systemtechnik konsequent und erfolgreich der Aufgabe angepaßt als Forschungsmethode eingesetzt.

Das entwickelte Hackgerät, die "Weihenstephaner Trennhacke", ist wegen seiner zweistufigen Arbeitsweise und durch den Einsatz eines hydraulischen Antriebes für die Trennvorrichtung (Rotationsstriegel) wesentlich weitgehender als die Vergleichsgeräte in der Lage, unabhängig von Bodenstruktur, Fahrgeschwindigkeit und Unkrautgröße die notwendigen Arbeiten durchzuführen. Dieses kommt einerseits dem Regulierungserfolg, andererseits aber auch dem Anspruch nach Bodenschonung entgegen.

Die Arbeit ist durch den konsequent durchgeführten systemtechnischen Forschungsansatz als beispielgebend zu bewerten. Erfahrungen aus Literatur und Praxis werden mit wissenschaftlichen Methoden in neue Erkenntnisse umgesetzt und über den Bau und die Erprobung eines Prototypen erfolgreich in die Praxis zurückgeführt. Die Ergebnisse der Arbeit sind deshalb von außerordentlich hohem Wert und werden international Beachtung und auch Eingang in die Praxis finden.

Weihenstephan, im Oktober 1997

J. Meyer

An dieser Stelle möchte ich allen herzlich danken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben:

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. J. Meyer für die Überlassung des Themas und für die Betreuung der Arbeit und dafür, daß ich jederzeit auch über das Fachliche hinaus seinen Rat und seine Hilfe in Anspruch nehmen konnte.

Herrn Prof. Dr. W. Schnitzler und Herrn Prof. Dr. M. Estler möchte ich für die Übernahme der Koreferate danken sowie Herrn Prof. Dr. h.c. (AE) J. Schön für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes.

Danken möchte ich Herrn Prof. Dr. Feucht für die Überlassung der Versuchsfläche.

Bei meinem Kollegen Dr. A. Bertram möchte ich mich für die anregenden Diskussionen und die konstruktive Kritik bedanken.

Mein Dank gilt allen, die an der Konstruktion und dem Bau des Prototyps der Weihenstephaner Trennhacke beteiligt waren. Nennen möchte ich an dieser Stelle Herrn H. Stadler, die Mitarbeiter der Werkstatt und den Elektroingenieur der Landtechnik, Herrn J. Dallinger.

Bei Herrn H. Keller möchte ich mich für die technischen Zeichnungen und für die Übersichtsdiagramme bedanken, die mit viel Initiative und Liebe zum Detail angefertigt wurden.

Bedanken möchte ich mich auch bei denen, die an der Planung, Durchführung und Auswertung der Datenerhebung und der Experimente mitgearbeitet haben. Hervorzuheben sind hier Ina Maria Großlohmann-Hürmann und Klaus Hutner.

Für ihre Unterstützung und dafür, daß sie mich stets aufs Neue motiviert hat, möchte ich mich schließlich ganz besonders bei meiner Pia bedanken.

Weihenstephan, im Juli 1997

Hansjörg Weber

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis				
por est	nhaltsverzeichnis	. 5		
A	Abbildungsverzeichnis	. 9		
Т	abellenverzeichnis	13		
V	Verzeichnis der Formelzeichen	15		
V	Verzeichnis der Abkürzungen	16		
1 E	Cinleitung und Problemstellung	17		
2 S	tand des Wissens	20		
2.1.1 2.1.2 2.1.3	Gerätetechnik für die mechanische Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen Reihenhacke Reihenhackbürste Reihenfräse	22 23		
2.2 2.2.1 2.2.1.1 2.2.1.2 2.2.1.3 2.2.2 2.2.2.1 2.2.2.2 2.2.2.3 2.2.3 2.2.3.1 2.2.3.2 2.2.3.3 2.2.4 2.2.5	Verfahrenstechnik Regulierungserfolg Reihenhacke Reihenhackbürste Reihenfräse Fahrgeschwindigkeit und Flächenleistung Reihenhacke Reihenhackbürste Reihenhackbürste Reihenhräse Auswirkung auf die Bodenstruktur Reihenhacke Reihenhacke Reihenhacke Reihenhacke Reihenfräse Einsatzplanung Modelle zur Kalkulation verfügbarer Feldarbeitstage	26 27 29 32 33 34 34 35 36 36 38 39		
2.3	Kosten			
1 77	Calcatement	15		

6	Inhaltsverzeichnis	
4 I	Material und Methoden	47
4.1	Systemtechnik als Methode zur geräte- und verfahrenstechnischen Optimierung der mechanischen Unkrautregulierung	47
4.2	Datenerhebung zur mechanischen Unkrautregulierung in der Praxis	49
4.2.1	Betriebsauswahl und Stichprobenumfang	49
4.2.2	Fragebogen	50
4.2.3	Durchführung	51
4.3	Modellkalkulation zur Bewertung eines optimierten Gerätekonzeptes .	52
4.3.1	Beschreibung der Modellbetriebe	54
4.3.2	Berechnung der benötigten Feldarbeitstage	
4.3.3	Modell zur Berechnung der verfügbaren Feldarbeitstage	59
4.3.3.1	Berechnung des Bodenfeuchtegehalts	
4.3.3.2	Berechnung der verfügbaren Feldarbeitstage	73
4.3.3.3	Beschreibung der Rahmenbedingungen für die Berechnung der	
	verfügbaren Feldarbeitstage	78
4.3.4	Kostenkalkulation	
4.3.4.1	Fixkosten	
4.3.4.2	Variable Kosten	83
	Datenerhebung zur mechanischen Unkrautregulierung in der Praxis	
	Ergebnisse und Schlußfolgerungen	85
5.1	Ergebnisse	85
5.1.1	Betriebsdaten	85
5.1.1.1	Standortbedingungen	85
5.1.1.2	Flächengröße und Anzahl der Arbeitskräfte	88
5.1.1.3	Gerätebesatz der Betriebe	91
5.1.2	Verfahrenstechnik	93
5.1.2.1	Geräteeinsatz	
5.1.2.2	Einsatzgrenzen	
5.1.2.3		100
5.1.2.4		101
5.1.2.5		103
5.1.3	Kosten	104

 5.1.3.1
 Maschinenkosten
 104

 5.1.3.2
 Arbeitskosten
 106

	Inhaltsverzeichnis	7
5.2	Schlußfolgerungen	106
5.2.1	Darstellung des Systems "Mechanische Unkrautregulierung"	
5.2.2	Darstellung der Handlungsspielräume bei der geräte- und	107
J. L. L	verfahrenstechnischen Optimierung	110
5.2.2.1	Sicherstellung der Regulierungswirkung	
5.2.2.1	Erhöhung der Flächenleistung	111
5.2.2.3	Ausweitung der gerätespezifischen, witterungsbedingten	111
3.4.4.3	Einsatzgrenzen	112
5.2.3	Einsatzstrategie für die Geräte bei der Modellanwendung	
3.2.3	Emsatzsulategie für die Gefate bei der wioderfahwendung	114
	lodellanwendung zur Bewertung eines optimierten Gerätekonzeptes	
	Ergebnisse und Schlußfolgerungen	120
6.1	Ergebnisse	120
6.1.1	Einsatzplanung und Durchführbarkeit der Verfahren	120
6.1.1.1	Variante "Geringe Niederschläge/Bodenklasse leicht"	120
6.1.1.2	Variante "Hohe Niederschläge/Bodenklasse schwer"	
6.1.2	Arbeitszeitaufwand	
6.1.2.1	Variante "Geringe Niederschläge/Bodenklasse leicht"	133
6.1.2.2	Variante "Hohe Niederschläge/Bodenklasse schwer"	134
6.1.3	Kostenkalkulation	136
6.1.3.1	Variante "Geringe Niederschläge/Bodenklasse leicht"	137
6.1.3.2	Variante "Hohe Niederschläge/Bodenklasse schwer"	140
6.2	Schlußfolgerungen	142
7 B	au und Überprüfung eines neuartigen Gerätes zur mechanischen	
	nkrautregulierung zwischen den Reihen	145
7.1	Konstruktion und Bau des Prototyps	145
7.1.1	Anforderungsprofil für das Gerätekonzept	145
7.1.2	Festlegung des Funktionsprinzips	146
7.1.2.1	Sicherstellung des Regulierungserfolges	146
7.1.2.2	Erhöhung der Flächenleistung	
7.1.2.3	Ausweitung der witterungsbedingten Einsatzgrenzen	148
7.1.3	Bau des Prototyps der Weihenstephaner Trennhacke	149
7.0	I'll ameriifang dae ayggefiiketan Carötakangantas	150
7.2 7.2.1	Überprüfung des ausgeführten Gerätekonzeptes Material und Methoden	
7.2.1.1	Versuchsanordnung und -durchführung	
	Erfassung des Regulierungserfolges	
7.2.1.2	Erfassung der Fahrgeschwindigkeit	
7.2.1.3	Ermittlung der witterungsbedingten Einsatzgrenzen	
7.2.1.4	EFINITIONS OF WITTERINGSDEGINGTED EMISSINGER	10/

8	Inhaltsverzeichnis	
7.2.1 7.2.2 7.2.2 7.2.2 7.2.2 7.2.2	Ergebnisse	158 158 159 160 160
8	Diskussion	165
8.1	Begrenzungen und Handlungsspielräume bei der geräte- und verfahrenstechnischen Optimierung	166
8.2	Modellanwendung	67
8.3	Versuchsergebnisse	71
8.4	Ausblick 1	74
9	Zusammenfassung 1	76
10	Summary 1	80
11	Literaturverzeichnis	84
	Anhang 1	91

Abbildungsverzeichnis		
Abb. 1:	Schematische Darstellung der Reihenhacke	22
Abb. 2:	Schematische Darstellung der Reihenhackbürste	23
Abb. 3:	Schematische Darstellung der Reihenfräse	25
Abb. 4:	Regulierungserfolg der Reihenhacke abhängig von der Schütthöhe und der Pflanzenhöhe (TERPSTRA und KOUWENHOVEN 1981)	28
Abb. 5:	Einfluß der Arbeitstiefe auf den Regulierungserfolg der Reihenhackbürste (Durchschnittliche Durchwurzelungstiefe der Unkrautpflanzen: 5 cm) (WEBER 1994a)	30
Abb. 6:	Erreichte Arbeitstiefe in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit der Bürstenspitzen und der Fahrgeschwindigkeit (WEBER 1994b)	31
Abb. 7:	Verteilung der Bodenfraktionen in Gew% in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit der Bürstenspitzen am Boden (WEBER 1994a)	37
Abb. 8:	Varianten für die Modellkalkulation	53
Abb. 9:	Flächenaufriß für den Modellbetrieb I	54
Abb. 10	Flächenaufriß für den Modellbetrieb II	56
Abb. 11	Hauptkomponenten der Feuchtebewegung in der Bearbeitungszone (verändert nach AUGTER 1983)	62
Abb. 12	Fließschema zur Berechnung des aktuellen Gehaltes an pflanzenverfügbarem Wasser	71
Abb. 13	Tagessummen der Niederschläge und Feuchtegehalt der Schicht 1 (Feuchte 10)	72
Abb. 14	Bodenfeuchte und Einsatzgrenzen am Beispiel der Klimaregion 5; Bodenklasse schwer und Bearbeitungsgerät Reihenhacke	75
Abb. 15	Entscheidungsprozeß bei der Bestimmung der verfügbaren Feldarbeitstage für die mechanische Unkrautregulierung	77

Abb.	16:	Übersicht über den Simulationsablauf zur Berechnung der verfügbaren Feldarbeitstage	80
Abb.	17:	Einteilung der befragten Betriebe nach der Betriebsform und der Größe der Gemüseanbaufläche	88
Abb.	18:	Durchschnittliche Anzahl der Geräte zur Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen in Abhängigkeit von der Größe der Gemüseanbaufläche	92
Abb.	19:	Einsatzhäufigkeit der Unkrautregulierungsgeräte	97
Abb.	20:	Geschätzter Erfolg der Unkrautregulierung nach Angaben der Befragten	100
Abb.	21:	Handarbeitszeitaufwand für die Unkrautregulierung	103
Abb.	22:	Schematische Darstellung des Systems "Mechanische Unkrautregulierung"	107
Abb.	23:	Der Arbeitszeitaufwand in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit und der Arbeitsbreite	112
Abb.	24:	Einflußfaktoren auf den Regulierungserfolg 1	14
Abb.	25:	Einsatzstrategie für die Gerätekombination "Bürste/Hacke/Fräse" und für die Trennhacke	16
Abb.	26:	Pflanzenverfügbares Wasser in der obersten Bodenschicht (Feuchte 10) und Einsatzgrenzen der Geräte; geringe Niederschläge/Bodenklasse leicht	21
Abb.	27:	Flächen der geplanten und tatsächlich durchgeführten Unkrautregulierungsmaßnahmen mit der Gerätekombination Bürste/Hacke/Fräse und der Trennhacke; Betrieb I; geringe Niederschläge/Bodenklasse leicht	22
Abb.	28:	Flächen der geplanten und tatsächlich durchgeführten Unkrautregulierungsmaßnahmen mit der Gerätekombination Bürste/Hacke/Fräse und der Trennhacke; Betrieb II; geringe Niederschläge/Bodenklasse leicht	23

Abb. 29:	Pflanzenverfügbares Wasser in der obersten Bodenschicht (Feuchte 10) und Einsatzgrenzen der Geräte;)
	hohe Niederschläge/Bodenklasse schwer	124
Abb. 30:	Flächen der geplanten und tatsächlich durchgeführten Unkraut- regulierungsmaßnahmen mit der Gerätekombination Bürste/Hacke/Fräse; Betrieb I;	
	hohe Niederschläge/Bodenklasse schwer	126
Abb. 31:	Flächen der geplanten und tatsächlich durchgeführten Unkrautregulierungsmaßnahmen mit der Trennhacke; Betrieb I; hohe Niederschläge/Bodenklasse schwer	129
Abb. 32:	Flächen der geplanten und tatsächlich durchgeführten Unkraut- regulierungsmaßnahmen mit der Gerätekombination Bürste/Hacke/Fräse; Betrieb II;	121
	hohe Niederschläge/Bodenklasse schwer	131
Abb. 33:	Flächen der geplanten und tatsächlich durchgeführten Unkrautregulierungsmaßnahmen mit der Trennhacke; Betrieb II; hohe Niederschläge/Bodenklasse schwer	132
Abb. 34:	Gesamtarbeitszeitaufwand [AKh] für die Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen; geringe Niederschläge/Bodenklasse leicht	133
Abb. 35:	Gesamtarbeitszeitaufwand [AKh] für die Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen; hohe Niederschläge/Bodenklasse schwer .	
Abb. 36:	Jährliche Einsatzkosten für die mechanische Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen; geringe Niederschläge/Bodenklasse leicht	137
Abb. 37:	Flächenbezogene Arbeits- und Schlepperkosten in Abhängigkeit von der Flächenleistung der Geräte; Bandbreiten der Flächenleistungen von Bürste, Hacke, Fräse und Trennhacke	139
Abb. 38:	Jährliche Einsatzkosten für die mechanische Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen; hohe Niederschläge/Bodenklasse schwer	140
Abb. 39:	Prototyp der Weihenstephaner Trennhacke im Zwischenachsanbau mit Antriebsaggregat	149

Abb. 40:	Seitenansicht der Weihenstephaner Trennhacke	151
Abb. 41:	Funktionsschnitt der Weihenstephaner Trennhacke	151
Abb. 42:	Versuchsfeld mit Varianten der Versuche (09./10.08.1996)	155
Abb. 43:	Pflanzenverfügbares Wasser in der obersten Bodenschicht (Feuchte 10 und Einsatzgrenzen der Geräte; hohe Niederschläge/Bodenklasse mittel	,
Abb. 44:	Verteilung der Gewichtsanteile der Bodenfraktionen vor und nach der Bearbeitung mit verschiedenen Intensitäten; Feuchte $10=0,4~\mathrm{mm}$	162
Abb. 45:	Verteilung der Gewichtsanteile der Bodenfraktionen vor und nach der Bearbeitung bei unterschiedlichem Gehalt an pflanzenverfügbarem Wasser (Feuchte 10)	163
Abb. A1	und A2: Die Weihenstephaner Trennhacke im Einsatz	201

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Gerätetechniken zur mechanischen Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen (verändert nach ESTLER 1989)	21
Tab. 2:	Fahrgeschwindigkeit und Flächenleistung von Reihenhacke, Reihenhackbürste und Reihenfräse (nach KESSLER 1996 und KTBL 1996)	33
Tab. 3:	Maschinenkosten für die Reihenhacke, die Reihenhackbürste und die Reihenfräse (nach KTBL 1994)	44
Tab. 4:	Angebaute Kulturen Betrieb I	55
Tab. 5:	Angebaute Kulturen Betrieb II	56
Tab. 6:	Flächenleistungen der Unkrautregulierungsgeräte für die Modellbetriebe	58
Tab. 7:	Zuordnung der Bodenklassen zu den Bodenarten nach der Bodenschätzung und nach DIN 4220 (nach KTBL 1994)	61
Tab. 8:	Größen für die Berechnung der Bodenfeuchte (nach DYER 1980, DYER und BAIER 1979 und AUGTER 1990a)	70
Tab. 9:	Ober- und Untergrenzen des pflanzenverfügbaren Wassers in der Bearbeitungszone (Feuchte 10) für die unterschiedlichen Unkrautregulierungsgeräte.	74
Tab. 10:	Arbeitskräftebesatz (festangestellt) der Betriebe mit gärtnerischem Freilandgemüsebau	89
Tab. 11:	Arbeitskräftebesatz (festangestellt) der Betriebe mit Feldgemüsebau	89
Tab. 12:	Art und Anzahl der eingesetzten Geräte zur Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen	91
Tab. 13:	Angaben zu Fahrgeschwindigkeit und Flächenleistung der Unkrautregulierungsgeräte	02
Tab 14:	Summen der Flächen, auf denen Unkrautregulierungsmaßnahmen durchgeführt werden müssen	18

Гаb. 15:	Summen der Feldarbeitstage (FAT), die in dem Zeitraum von 1. März bis 30. September (214 Tage) in der Variante "geringe Niederschläge /Bodenklasse leicht" für den Einsatz der Geräte zur Verfügung stehen	121
Tab. 16:	Summen der Feldarbeitstage (FAT), die in dem Zeitraum von 1. März bis 30. September (214 Tage) in der Variante "hohe Niederschläge /Bodenklasse schwer" für den Einsatz der Geräte zur Verfügung steher	125
Tab. 17:	Jahressummen der Flächen für geplante und tatsächlich durchgeführte Unkrautregulierungsmaßnahmen; Betrieb I; hohe Niederschläge/Bodenklasse schwer	128
Tab. 18:	Jahressummen der Flächen für geplante und tatsächlich durchgeführte Unkrautregulierungsmaßnahmen; Betrieb II; hohe Niederschläge/Bodenklasse schwer	131
Tab. 19:	$\label{eq:fixe} \mbox{Fixe } (K_F) \mbox{ und variable } (K_V) \mbox{ Kosten der eingesetzten Geräte} \\ \mbox{ und Verfahren } \\ $	136
Tab. 20:	Flächenbezogener Verfahrenskostenanteil der mechanischen Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen [DM/ha a]; geringe Niederschläge/Bodenklasse leicht	138
Tab. 21:	Flächenbezogener Verfahrenskostenanteil der mechanischen Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen [DM/ha a]; hohe Niederschläge/Bodenklasse schwer	141
Tab. 22:	Versuchsparameter (Intensitätsstufen) bei Versuch 1	153
Tab. 23:	Versuchsparameter (Drehzahlen und Geschwindigkeiten) bei Versuch 2	156
Tab. 24:	Wassergehalt und Feuchte 10 in der Bearbeitungszone am 19.06.1996 und am 09. und 10.08.1996; Bodenart Versuchsfeld: sandiger Lehm (sL)	160
Гаb. А1:	Flächenbelegung und Einsatzplanung für den Modellbetrieb I (30 ha Feldgemüsebau; durchschnittliche Schlaggröße: 2 ha)	197
Tab. A2:	Flächenbelegung und Einsatzplanung für den Modellbetrieb II (10 ha gärtnerischer Freilandgemüsebau; durchschnittliche Schlaggröße: 0,5 ha)	198

Verzeichnis der Formelzeichen

A	Fläche	[ha]
AF	Abtrocknungsfaktor	[-]
Df	Wasser, das zwischen den Schichten diffundiert	[mm]
DK	Diffusionskoeffizient	[-]
E	Sättigungsdampfdruck	[hPa]
Ea	Evapotranspiration aus Schicht 1 (Tagessumme)	[mm]
Ep	potentielle Evapotranspiration (Tagessumme)	[mm]
f f	relative Luftfeuchte um 14.00 Uhr MOZ	[%]
F10	pflanzenverfügbares Wasser in Schicht 1 (0 - 10 cm Tiefe)	[mm]
F50	pflanzenverfügbares Wasser in Schicht 2 (10 - 50 cm Tiefe)	[mm]
Feuchte 10		FIIIII
i cacine io	Bearbeitungshorizont (0 - 10 cm Tiefe); entspricht F10	[mm]
F_G	Wassergehalt der Bodenprobe	[Gew%]
FK10	Feldkapazität der Schicht 1	[mm]
FK50	Feldkapazität der Schicht 2	[mm]
F _w	Welkefeuchte	[Vol%]
HF	Haude-Faktor (nach DIN 19685, 1977 in ACHTNICH 1980)	[mm/hPa]
i	aktueller Tag	[-]
ŽZinken	Anzahl der Zinken pro Umdrehung der Werkzeugwelle	[-]
*Zinken K ₁	6,107	[hPa]
k ₂	17,26939	[-]
k ₃	237,3	[°C]
l _{Biss}	Bissenlänge	[cm]
N N	Tagesniederschlag	[mm]
n_{Welle}	Drehzahl der Werkzeugwelle	[s ⁻¹]
OG	Obergrenze des Bodenfeuchtegehalts für eine Bearbeitung	[mm]
OW	Oberflächenwasser	[mm]
P _A	Flächenleistung	[ha/h]
pF10	potentieller Gehalt an pflanzenverfügbarem Wasser in Schich	
pF50	potentieller Gehalt an pflanzenverfügbarem Wasser in Schich	
PK	Pflanzenkoeffizient	(-)
QB	mittlere Dichte mineralischer Böden	[g/cm ³]
\sum_{a}	Summe	[-]
SW10	Sättigungswassermenge der Schicht 1	[mm]
SW50	Sättigungswassermenge der Schicht 2	[mm]
T	Lufttemperatur um 14.00 Uhr MOZ	[°C]
	notwendige Zeit für die Bearbeitung	[h]
t _A	zur Verfügung stehende Zeit	[11] [h]
t _{mög} Tr	Transpiration der in Schicht 2 wurzelnden Pflanzen	[mm]
UG	Untergrenze des Bodenfeuchtegehalts für eine Bearbeitung	[mm]
Ju	Chrospionic des podemenencies un sur eme pearbeilung	firmit

16	16 Verzeichnis der Abkürzungen		
VK	Versickerungskoeffizient	[-]	
Vs1	Wasser, das von Schicht 1 nach Schicht 2 versickert	[mm]	
Vs2	Wasser, das aus Schicht 2 versickert	[mm]	
v_A	Aufprallgeschwindigkeit der Zinken auf den Boden	[m s ⁻¹]	
V_{F}	Fahrgeschwindigkeit	[m s ⁻¹]	
v_U	Umfangsgeschwindigkeit an den Zinkenspitzen	$[m s^{-1}]$	

Verzeichnis der Abkürzungen

Abb.	Abbildung
Abs.	Absatz
AKh	Arbeitskraftstunden
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
DM	Deutsche Mark
et al.	et alies
etc.	et cetera
incl.	inclusive
MOZ	Mitteleuropäische Ortszeit
Tab.	Tabelle
u.a.	unter anderem
z.T.	zum Teil
8	Paragraph

1 Einleitung und Problemstellung

Von den Maßnahmen zum Schutz von Kulturpflanzen nimmt im Freilandgartenbau die Unkrautregulierung eine zentrale Stellung ein. Erfolg oder Mißerfolg der Unkrautregulierung sind entscheidende Faktoren für den Kulturerfolg.

Mit der Entdeckung von Wuchsstoffherbiziden, die seit 1948 in Deutschland eingesetzt werden, wurde die Weiterentwicklung der mechanischen Verfahren zur Unkrautregulierung unterbrochen. Mit zunehmenden Resistenzerscheinungen, selektiver Wirkung, einem veränderten Umweltbewußtsein der Konsumenten und vor allem strengeren gesetzlichen Beschränkungen beim Einsatz von Herbiziden werden wieder verstärkt physikalische Verfahren eingesetzt (HURLE und KEMMER 1987, ESTLER 1989 und LOHUIS 1990).

Der § 6, Abs. 1 des Pflanzenschutzgesetzes vom 15. September 1986 schreibt vor, daß bei allen Maßnahmen des Pflanzenschutzes die Grundsätze des integrierten Pflanzenschutzes berücksichtigt werden müssen. Wichtigster Grundsatz ist, daß zum Schutz der Pflanzen vorrangig biologische, technische, biotechnische sowie anbau- und kulturtechnische Maßnahmen ergriffen werden. Dabei sind als direkte Maßnahmen zur Unkrautbekämpfung physikalische Verfahren zu berücksichtigen, wie mechanische und thermische Unkrautbekämpfung und Mulchen. Dieser Grundsatz gilt nach ZOHREN und MERZ (1997) im besonderen für den integrierten und kontrollierten Anbau von Frischgemüse.

Betriebe, die nach Richtlinien ökologischer Anbauverfahren produzieren, müssen bei der Unkrautregulierung vollständig auf physikalische Verfahren zurückgreifen.

Die Zahl der Betriebe, die integrierten Pflanzenschutz betreiben oder nach ökologischen Anbaurichtlinien produzieren und somit wieder verstärkt physikalische Verfahren der Unkrautregulierung einsetzen, steigt an.

Diese Verfahren müssen nach ESTLER (1989) und PARISH (1990) folgende Anforderungen erfüllen:

- Eine wirksame Regulierung möglichst des gesamten Spektrums an Unkräutern sollte gewährleistet sein. Dazu muß es möglich sein, die verwendeten Geräte den jeweiligen Bedingungen anzupassen.
- Aus arbeits- und betriebswirtschaftlicher Sicht wird eine hohe Flächenleistung bei geringer Arbeitsintensität und hohem Regulierungserfolg gefordert.
- Die Bodenstruktur darf durch die Bearbeitung nicht zerstört werden, damit Verschlämmungen, Verdichtung und Erosion nicht gefördert werden.

Bei allen Bereichen der physikalischen Unkrautregulierung besteht Handlungsbedarf für eine geräte- und verfahrenstechnische Optimierung. Im Bereich der Verfahren zur Unkrautregulierung in der Kulturpflanzenreihe, speziell im Bereich der thermischen Verfahren, liegen umfassende Arbeiten vor (ASCARD 1995 und BERTRAM 1996). Weitere Spielräume für eine Optimierung liegen in den mechanischen Verfahren und hier besonders in den Verfahren zur mechanischen Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen im Freilandgemüsebau.

Die Abhängigkeit von klimatischen Bedingungen und von Bodeneigenschaften, die niedrige Flächenleistung und die hohen Kosten stellen bei den mechanischen Verfahren der Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen ein ungelöstes Problem dar:

- Der Regulierungserfolg wird von einer Vielzahl von Rahmenbedingungen beeinflußt, die den Einsatz der Geräte begrenzen, deren Wirkung beeinträchtigen und das Risiko für den Anwender erhöhen (SCHULZ et al. 1987, NIEMANN 1990 und ESTLER 1991).
- Die Schlagkraft und die Flächenleistung sind gering, da die Fahrgeschwindigkeit und die Arbeitsbreiten niedrig sind (HURLE und KEMMER 1987 und ESTLER 1991).
 Der Einsatz der Geräte ist in der Regel sehr arbeits- und damit kostenintensiv (SCHLÜTER 1985, AUST 1987, LINDNER 1987 und PRIEBE 1990).
- Die Bodenstruktur wird durch die häufige und intensive Bearbeitung z.T. sehr stark beansprucht (WEBER 1994a).

Bei der Entwicklung von neuen Geräten wurden vor allem alte Gerätekonzepte wieder entdeckt, die mit dem Auftreten der Herbizide in Vergessenheit geraten waren (KRESS 1987a). Dies bedeutet, daß diese Geräte keine gezielten Neuentwicklungen sind, sondern bereits Bestehendes übernehmen. Die Forderung nach Geräten mit hoher Wirksicherheit und hoher Schlagkraft zu niedrigen Kosten ist jedoch eine Forderung, deren Bedeutung mit den steigenden Arbeits- und Produktionskosten der neueren Zeit stark zugenommen hat; sie kann durch die zur Zeit verfügbaren Geräte nicht in ausreichendem Maße erfüllt werden.

Das Ziel der Arbeit ist es, durch die Entwicklung eines neuen Gerätekonzeptes einen Beitrag zur Lösung der bis jetzt noch ungelösten Probleme zu leisten und damit die arbeitswirtschaftlichen Abläufe der Verfahren zu vereinfachen, das Anbaurisiko zu reduzieren und die Kosten der Verfahren zu senken.

Für die Auswahl und Konkretisierung der Optimierungsmaßnahmen wird ein neuer methodischer Ansatz zur Bewertung von Geräten und Verfahren entwickelt.

Die Arbeit begrenzt sich auf die Verfahren zur mechanischen Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen im Freilandgemüsebau.

2 Stand des Wissens

Die Verfahren zur physikalischen Unkrautregulierung kann man im allgemeinen in indirekte und direkte Verfahren unterteilen.

Die in der Praxis bevorzugt angewandten indirekten Verfahren sind nach MEYER (1997) Fruchtfolge, Bodenbearbeitung und Kulturtechnik. ESTLER (1991) nennt als Nachteil der indirekten Verfahren, daß ihre Wirkung nicht gezielt zu planen ist, da sie von vielen, wechselnden Faktoren abhängt (Gerätewirkung, Witterungsverlauf, etc.). Sie sind jedoch ein unverzichtbarer Teil für das gesamte Unkrautmanagement eines Betriebes, vor allem bei einem vollständigen Verzicht auf Herbizide (DIERAUER und STÖPPLER-ZIMMER 1994).

Die direkten Verfahren lassen sich in thermische Verfahren und in ganz- und teilflächige mechanische Verfahren einteilen.

Die thermischen Verfahren werden ganzflächig im Vorauflauf bei langsam keimenden Kulturen und selektiv in der Pflanzenreihe bei Kulturen mit geringer thermischer Empfindlichkeit eingesetzt. Für die Unkrautregulierung zwischen den Reihen sind aus ökonomischen Gründen mechanische Verfahren vorzuziehen (BERTRAM 1994).

Ganzflächige mechanische Verfahren werden vor der Saat oder Pflanzung und in begrenztem Umfang auch in der wachsenden Kultur angewendet. Als Geräte werden vor allem Striegel oder Eggen in verschiedenen Bauformen eingesetzt, deren Hauptwirkung im Verschütten und in geringerem Umfang auch im Ausreißen oder der direkten Schädigung der Unkräuter liegt (HABEL 1954). Der selektive Einsatz in der Kultur ist in erster Linie vom Wachstumsstadium und der mechanischen Belastbarkeit der Kulturpflanzen abhängig (WALTER 1995).

2.1 Gerätetechnik für die mechanische Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen

Die teilflächigen, mechanischen Verfahren arbeiten im Gegensatz zu den ganzflächigen Verfahren nur zwischen den Kulturpflanzenreihen. Geräte für die teilflächigen Verfahren sind verschiedene Bauarten von Reihenhacken, Reihenhackbürsten, Reihenfräsen und Roll- oder Sternhacken (Tab. 1). Sie unterscheiden sich in ihrer Arbeitsweise und -qualität und in ihrer Fähigkeit, dicht an der Reihe zu bearbeiten (KRESS 1994).

Tab. 1: Gerätetechniken zur mechanischen Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen (verändert nach ESTLER 1989)

Betriebsart	Geräte	
gezogene Geräte:	verschiedene Bauarten von Reihenhacken (meist mit Gänsefußscharen)	
abrollende Geräte:	- Sternhacken und Rollhacken	
angetriebene Geräte (Zapfwelle/hydraulisch):	 Reihenfräsen Reihenhackbürsten (mit vertikal oder horizontal rotierenden Arbeitswerkzeugen) 	

Davon werden im Feldgemüsebau hauptsächlich die Reihenhacke, die Reihenhackbürste und die Reihenfräse eingesetzt (GEYER et al. 1991). Die unkrautregulierende Wirkung besteht im allgemeinen im Bedecken, oberflächigen Ablegen und teilweise mechanischen Schädigen der Unkrautpflanzen (TERPSTRA und KOUWENHOVEN 1981).

2.1.1 Reihenhacke

Reihenhacken bestehen aus einer Universalschiene und den Hackwerkzeugen, die an zum Teil gefederten Parallelogrammen oder Teleskopaufhängungen befestigt sind (Abb. 1).

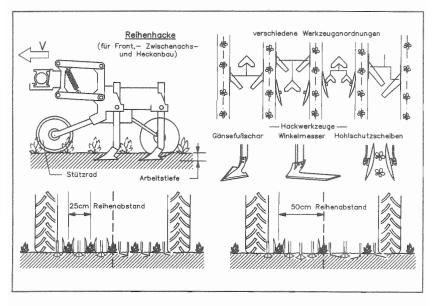


Abb. 1: Schematische Darstellung der Reihenhacke

Jedes Parallelogramm ist mit einer Tastrolle zur Tiefenführung ausgerüstet und kann mit einem bis drei Werkzeugen bestückt werden. Dadurch ist die Reihenhacke bei Reihenbreiten von ca. 10 - 70 cm einsetzbar.

Als Werkzeuge werden Gänsefußschare oder Winkelmesser in unterschiedlichen Breiten eingesetzt. Die Gänsefußschare sind so geformt, daß sie bei der Bearbeitung im Boden die Erde aufwerfen. Als normale Fahrgeschwindigkeit für die Hacken werden von KOOLEN und KUIPERS (1983) 6 - 8 km/h angegeben; die Bearbeitungsintensität und die Krümelung des Bodens nimmt mit steigender Fahrgeschwindigkeit

zu.

Die Kulturpflanzen werden durch Pflanzenschutztunnel oder Hohlschutzscheiben geschützt. Eine leicht häufelnde Wirkung an die Kulturpflanzenreihe kann durch höhere Fahrgeschwindigkeiten und ohne Schutzvorrichtungen erreicht werden.

Die Hackgeräte werden für den Feldgemüsebau in Arbeitsbreiten von 1,50 - 9,00 m angeboten. Das Gerät kann im Front-, Zwischenachs- oder Heckanbau gefahren werden.

2.1.2 Reihenhackbürste

Die Reihenhackbürste besteht aus einem Rahmen, auf dem mit Stehlagern die Werkzeugwelle befestigt ist (Abb. 2).

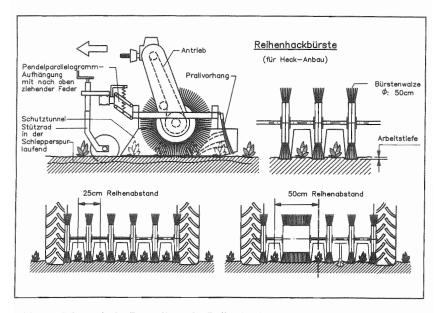


Abb. 2: Schematische Darstellung der Reihenhackbürste

Der Rahmen ist durch ein Parallelogramm mit einer Accord-Profilschiene verbunden. Auf der durchgehenden Werkzeugwelle sind Scheiben mit Borsten aus Polypropylen aufgeschoben. Der Durchmesser der Borsten beträgt ca. 2 - 3 mm, der Durchmesser der Scheiben 50 cm.

Die zusammengeschobenen Bürstenscheiben werden von Pflanzenschutztunneln unterbrochen, die die Kulturpflanzenreihe auf einer Länge von 80 cm abdecken. Die Reihenweite bestimmt die Anzahl der Bürstenscheiben zwischen den Pflanzenschutztunnels.

Der Antrieb der Werkzeuge erfolgt durch die Zapfwelle über ein Winkelgetriebe und über einen seitlichen Kettenantrieb. Bei der Zapfwellennormdrehzahl von 540 U/min beträgt die Geschwindigkeit an den Borstenspitzen ca. 3,5 m/s.

Die Vorwahl der Arbeitstiefe erfolgt im Zwischenachsanbau über den Kraftheber und über Zugfedern am Parallelogramm; im Heckanbau über verstellbare Stützräder und ebenfalls über die Zugfedern.

Bei der Bearbeitung wird durch die rotierenden Bürsten die obere Bodenschicht in der erreichten Arbeitstiefe vollständig abgelöst. Die bis in diese Tiefe verwurzelten Pflanzen werden mit der Erde nach hinten gegen einen Prallvorhang geschleudert, wieder verschüttet und zum Teil auf der Oberfläche abgelegt (GEYER et al. 1991, WEBER 1994b).

Der Vorteil der Reihenhackbürste liegt vor allem darin, daß sehr nahe an der Kulturpflanzenreihe gearbeitet werden kann und daß ihr Einsatz in einem sehr frühen Wuchsstadium der Kulturpflanze möglich ist, da die Borsten kaum seitlichen Druck ausüben und somit keine seitliche Verschiebung der Erde in Richtung der Kulturpflanzenreihen erfolgt; zusätzlich werden Pflanzenschutztunnel mit Weiten von 4 - 5 cm eingesetzt (KRESS 1987a, ASCARD 1993).

Die Reihenhackbürste wird in den Arbeitsbreiten 1,50 m und 2,70 m angeboten.

2.1.3 Reihenfräse

Bei Reihenfräsen sind die einzelnen Fräselemente pendelnd an einer Universalschiene aufgehängt und zur Anpassung an verschiedene Bodenverhältnisse mit einer Zugfeder ausgestattet (Abb. 3).

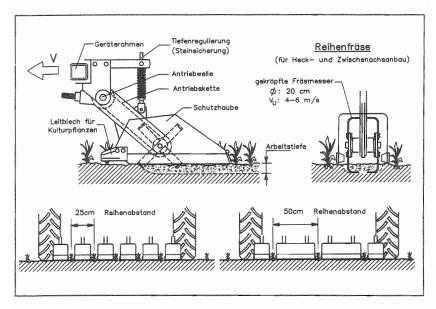


Abb. 3: Schematische Darstellung der Reihenfräse

Der Antrieb erfolgt von der Schlepperzapfwelle über ein Winkelgetriebe auf eine Sechskantwelle. Von dort aus werden die einzelnen Fräswellen mit Ketten angetrieben. Je nach Fräsbreite (ca. 14 - 100 cm) sind auf der Fräswelle zwei oder mehr Werkzeugkränze mit jeweils 4 sternförmig angeordneten, gekröpften Fräsmessern. Für den Feldgemüsebau werden Geräte mit Arbeitsbreiten zwischen 1,50 m und 4,00 m, für Zwischenachs- oder Heckanbau, angeboten.

Die unkrautregulierende Wirkung der Reihenfräse beruht nach GEYER et al. (1991) hauptsächlich auf dem Vergraben der Unkräuter.

Die Intensität der Bearbeitung wird durch das Verhältnis der Fräswellendrehzahl zur Fahrtgeschwindigkeit, der sogenannten "Bissenlänge", bestimmt. Die Geschwindigkeit an den Werkzeugen kann, je nach Zapfwellendrehzahl, bis zu 8 m/s betragen (KOOLEN und KUIPERS 1983). Die Arbeitstiefe wird durch die Kraftheberstellung am Schlepper und die Veränderung der Federspannung vorgewählt.

2.2 Verfahrenstechnik

Nach ESTLER (1991) bestehen für die verschiedenen Geräte zur Unkrautregulierung neben den Vorteilen und Möglichkeiten auch Einschränkungen. Deren Kenntnis kann für den praktischen Einsatz der Gerätetechnik erhebliche Bedeutung haben, vor allem, wenn betriebs- und standortspezifisch die jeweils geeignete Technik auszuwählen und gezielt einzusetzen ist.

Zur Verfahrenstechnik der mechanischen Unkrautregulierung zwischen den Reihen werden in der Literatur größtenteils nicht näher quantifizierte Beurteilungen über Regulierungserfolg und Flächenleistung angegeben, die sich in einer großen Bandbreite unterschiedlicher Aussagen bewegen. Vor allem zur Reihenfräse sind nur wenige zitierfähige Literaturstellen zu finden. Hier können zum Teil als Vergleich Angaben zu Fahrgeschwindigkeit und Auswirkungen auf die Bodenstruktur aus der Literatur über die Bodenbearbeitung herangezogen werden.

2.2.1 Regulierungserfolg

Die Aussagen zur Beurteilung des Regulierungserfolges der drei Geräte sind sehr unterschiedlich und zum Teil widersprüchlich. So weisen in den Versuchen von GEYER et al. (1991) und WALTER (1994) die Reihenhackbürste und die Reihenfräse den höchsten Regulierungserfolg auf, während HAMPL et al. (1995) die Reihenhacke in Kombination mit Striegeln als wirkungsvollstes Gerät zur mechanischen Unkrautregulierung bezeichnet.

Alle Autoren stimmen überein, daß der Effekt der Bearbeitung bei allen Geräten am größten ist, je kleiner die Unkrautpflanzen sind. Der Einsatz der Geräte sollte in einem möglichst frühen Wachstumsstadium des Unkrautes erfolgen, um eine sichere Regulierungswirkung zu erzielen. Für den Regulierungserfolg ist es entscheidend, inwieweit die Wurzeln der Unkrautpflanzen enterdet werden, um ein erneutes Anwachsen zu verhindern (KRESS 1987b). Der Wirkungsgrad ist nach NIEMANN (1990) abhängig von der Bodenart, der Bodenfeuchte, der Unkrautart und deren Entwicklungsstadium. Um die Anzahl der Bearbeitungen gering zu halten (Kosten, Bodenschonung) sollten zum Zeitpunkt der Bearbeitung bereits viele Unkräuter aufgelaufen sein. Der Nachteil dabei ist, daß durch die mechanische Bearbeitung des Bodens erneut Unkräuter zum Auflaufen angeregt werden und somit die Wirkungsdauer der mechanischen Bearbeitung nur sehr kurz ist (NIEMANN 1990).

Bei einem nicht voll befriedigenden Regulierungserfolg kann die Unkrautkonkurrenz nach ESTLER (1991) zu einer Ertragsreduzierung führen. Deshalb fordert er eine bestmögliche Anpaßbarkeit der Gerätetechnik an die jeweils vorliegenden Einsatzbedingungen.

Mit der herkömmlichen Gerätetechnik kann nach GEYER et al. (1991) noch keine befriedigende Regulierungswirkung erreicht werden. Er sieht eine verfahrenstechnische Optimierung und gerätetechnische Entwicklungsmaßnahmen als unbedingt notwendig an.

2.2.1.1 Reihenhacke

Die Wirkungsweise der Reihenhacke besteht vor allem im Unterschneiden und Verschütten kleinerer Unkrautpflanzen (KOCH 1964, KOOLEN und KUIPERS 1983). Sie wird durch die Arbeitstiefe, die Fahrgeschwindigkeit und den Anstellwinkel der Schare beeinflußt (TERPSTRA und KOUWENHOVEN 1981). Nach KOCH (1964) tritt bei geringeren Arbeitstiefen und größeren Unkrautpflanzen mehr die schneidende Wirkung in Erscheinung, aber größere Arbeitstiefen und höhere Fahrgeschwindigkeiten verbessern den Regulierungserfolg (TERPSTRA und KOUWENHOVEN 1981 und

GEYER et al. 1991) (Abb. 4).

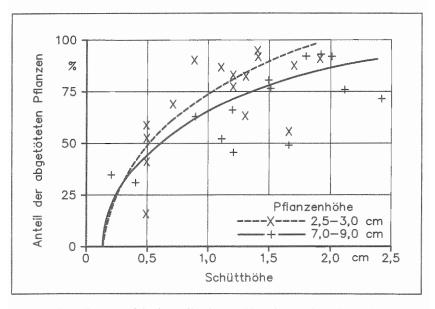


Abb. 4: Regulierungserfolg der Reihenhacke abhängig von der Schütthöhe und der Pflanzenhöhe (TERPSTRA und KOUWENHOVEN 1981)

HAMPL et al. (1995) hält die Reihenhackgeräte für die wirkungsvollsten Geräte zur mechanischen Unkrautregulierung, wenn sie mit nachlaufenden Striegeln kombiniert werden. Wurzelunkräuter werden jedoch nur ungenügend bekämpft (HERRMANN und PLAKOLM 1993).

Nach KOCH (1964) besteht die unkrautregulierende Wirkung der Hacke im Verschütten junger Pflanzen. Er konnte in seinen Untersuchungen nur bei kleinen Wuchsstadien ein befriedigendes Ergebnis feststellen.

In vergleichenden Untersuchungen (GEYER et al. 1991) lag der Regulierungserfolg der Reihenhacke im Durchschnitt um ca. 10 - 20 % unter dem der Reihenhackbürste oder der Reihenfräse. Begründet wurde dies mit einer zu niedrigen Fahrgeschwindigkeit. Diese liegt im Feldgemüsebau, abhängig von den Reihenabständen und dem Si-

cherheitsabstand zur Kulturpflanzenreihe, nach GEYER et al. (1991) im Durchschnitt bei 3 km/h und somit für die Reihenhacke im suboptimalen Bereich. KOOLEN und KUIPERS (1983) geben als Einsatzgeschwindigkeit 6 - 8 km/h an.

Bei einer Fahrgeschwindigkeit von 3 km/h ist nach GEYER et al. (1991) die schneidende und grabende Wirkung der Schare nicht mehr gegeben. Unkräuter, die nicht tief genug vergraben sind und Wasseranschluß mit den Wurzeln besitzen, wachsen somit weiter.

Die Mechanismen Zerschneiden und Aufwerfen der Erde und Verschütten der Unkräuter sind sehr stark abhängig von der Bodenart und dem Bodenzustand (TERPSTRA und KOUWENHOVEN 1981).

Das Aufwerfen und Schütten der Erde funktioniert, abhängig von der Bodenart, nur unter relativ trockenen Bedingungen. Bei feuchten Böden bewirken durch den Boden gezogene Werkzeuge nur eine plastische Verformung der Bodenstruktur, ohne zu krümeln, und verschmieren dabei die Schnitt- und Gleitflächen (SÖHNE 1954 und KOOLEN und KUIPERS 1983).

Der Regulierungserfolg der Reihenhacke wird demnach vor allem durch die Fahrgeschwindigkeit, Bodenart und -zustand und von der Größe der Unkräuter begrenzt, wobei die niedrige Fahrgeschwindigkeit in Beetkulturen, feuchte Bedingungen und zu große Unkräuter als wichtigste Begrenzung hervorzuheben sind.

2.2.1.2 Reihenhackbürste

Das Arbeitsprinzip der Reihenhackbürste besteht nach KRESS (1987b) darin, daß die Bürsten die Unkrautpflanzen mitsamt den Wurzeln aus dem Boden ziehen und sie gegen einen Prallvorhang werfen. Die Erde löst sich von den Wurzeln und die freigelegten Unkrautpflanzen bleiben auf der Oberfläche liegen, die enterdeten Wurzeln trocknen aus und sterben ab. Diese Beschreibung des Arbeitsprinzips der Reihenhackbürste ist von einem Großteil der Autoren, die über dieses Gerät berichten, übernom-

men worden. So zum Beispiel bei LAMPKIN (1990), PARISH (1990) und PEDERSEN (1990).

Nach Weber (1994a,b) wird die oberste Bodenschicht bis zu der erreichten Arbeitstiefe vollständig weggebürstet. Die bis in diese Tiefe wurzelnden Unkrautpflanzen werden mitsamt der mitgeführten Erde nach hinten gegen den Prallvorhang geschleudert. Der größte Teil der Pflanzen wird wieder verschüttet, ein kleiner Teil bleibt auf der Bodenoberfläche liegen und trocknet aus. Größere, tiefer und fester verwurzelte Unkrautpflanzen werden nur teilweise am Bearbeitungshorizont abgerissen. Der von den Bürsten erfaßte Teil wird dadurch geschädigt, daß die Blätter zerrissen oder die Stengel geknickt werden. Die erreichte Arbeitstiefe ist nach Weber (1994a,b) der entscheidende Faktor für den Regulierungserfolg (Abb. 5).

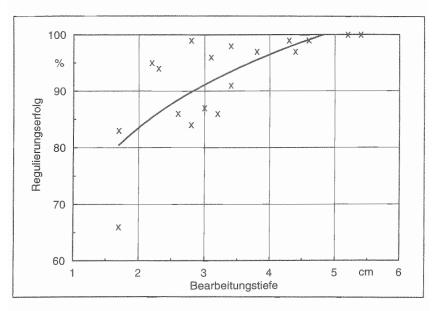


Abb. 5: Einfluß der Arbeitstiefe auf den Regulierungserfolg der Reihenhackbürste (Durchschnittliche Durchwurzelungstiefe der Unkrautpflanzen: 5 cm) (WEBER 1994a)

Nähert sich die Arbeitstiefe der Durchwurzelungstiefe, so ist mit einem Regulierungs-

erfolg von 100 % zu rechnen. Dies spricht nach WEBER (1994a) dafür, daß ein Großteil der Wirkung der Reihenhackbürste darauf beruht, daß die Unkrautpflanzen nicht herausgezogen, sondern ausgegraben werden.

Die für eine erfolgreiche Bearbeitung notwendige Arbeitstiefe kann bei der Reihenhackbürste durch die gefederte Aufhängung des Werkzeugrahmens nicht exakt vorgewählt werden. Die erreichte Arbeitstiefe wird beeinflußt von den Bodeneigenschaften (lockerer oder verdichteter Boden, Unebenheiten) und der Fahrgeschwindigkeit im Zusammenhang mit der Geschwindigkeit der Bürstenspitzen am Boden (Abb. 6).

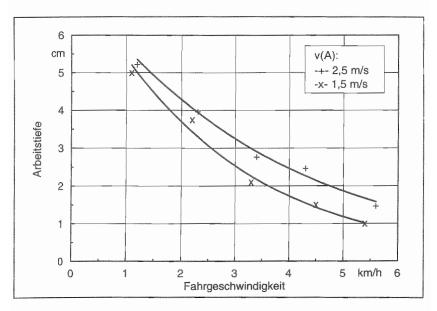


Abb. 6: Erreichte Arbeitstiefe in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit der Bürstenspitzen und der Fahrgeschwindigkeit (WEBER 1994b)

Die für einen guten Regulierungserfolg notwendige Arbeitstiefe kann unter schwierigen Bodenverhältnissen nur durch niedrige Fahrgeschwindigkeiten und hohe Bürstengeschwindigkeiten erreicht werden.

Eine sichere Regulierungswirkung ist dadurch nur bei kleinen Unkräutern, niedrigen Fahrgeschwindigkeiten und optimalen Bodenverhältnissen gewährleistet.

Der Regulierungserfolg der Reihenhackbürste wird demnach wie bei der Reihenhacke durch die Fahrgeschwindigkeit, die Bodenart und den Bodenzustand und von der Größe der Unkräuter begrenzt. Dabei sind vor allem höhere Fahrgeschwindigkeiten auf trockenen, harten Böden und große, tiefer verwurzelte Unkräuter als wichtigste Begrenzung hervorzuheben.

2.2.1.3 Reihenfräse

Über die unkrautregulierende Wirkung von Reihenfräsen liegen nur sehr wenige Angaben aus der Literatur vor.

Nach GEYER et al. (1991) durchmischt und lockert die Fräse den gesamten oberen Horizont, ohne die Unkrautpflanzen zu zerschneiden. Unkräuter, die an der Oberfläche abgelegt werden und mit den Wurzeln Bodenkontakt besitzen, können weiterwachsen.

2.2.2 Fahrgeschwindigkeit und Flächenleistung

Ein großer Nachteil der Geräte zur mechanischen Unkrautregulierung ist die geringe Flächenleistung bedingt durch niedrige Fahrgeschwindigkeiten und die geringe Arbeitsbreite von meist nur 1,5 m (DIERAUER und STÖPPLER-ZIMMER 1994 und WALTER 1995).

Die in der Literatur vorhandenen Angaben zu Fahrgeschwindigkeit und Flächenleistung der Geräte bewegen sich in einer sehr großen Bandbreite und widersprechen sich ähnlich wie die Bewertungen der Regulierungswirkung.

Das Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL 1996) und KESSLER (1996) geben für die Reihenhacke, die Reihenhackbürste und die Reihenfräse

folgende Fahrgeschwindigkeiten und Flächenleistungen an (Tab. 2):

Tab. 2: Fahrgeschwindigkeit und Flächenleistung von Reihenhacke, Reihenhackbürste und Reihenfräse (nach KESSLER 1996 und KTBL 1996)

Gerät	Fahrgeschwindigkeit ¹⁾ [km/h]	Flächenleistung ²⁾ [ha/h]
Reihenhacke (1,5 m)	2,25 - 3,8	0,3 - 0,5
Reihenhackbürste (1,5 m)	1,5 - 1,8	0,11 - 0,25
Reihenfräse (1,5 m)		0,125 - 0,3

¹⁾ KESSLER (1996)

Vom KTBL (1996) liegen Angaben zu den Flächenleistungen der Geräte vor. Dabei wird keine Aufschlüsselung in Fahr- und Wendezeiten vorgenomen. KESSLER (1996) ermittelte bei seinen Messungen die Fahrgeschwindigkeiten und den Einfluß der Wendezeiten auf die Flächenleistung. Abhängig von den Schlaggrößen und den Beetlängen lag der Anteil der Wendezeiten an der Gesamtarbeitszeit zwischen 6 % (Beetlänge 200 m, großes Vorgewende) und 36 % (Beetlänge 50 m, enges Vorgewende).

Die maximale Fahrgeschwindigkeit der Geräte hängt im Feldgemüsebau vom Reihenabstand und dem Sicherheitsabstand der Werkzeuge zur Kulturreihe ab und bewegt sich im Bereich von durchschnittlich ca. 3 km/h (GEYER et al. 1991), was die Angaben zu den theoretisch erreichbaren Geschwindigkeiten zum Teil relativiert.

2.2.2.1 Reihenhacke

WILDFELLNER (1990) hebt als besonderen Vorteil der Reihenhacke die große Schlagkraft durch hohe Fahrgeschwindigkeiten, die er mit 4 - 6 km/h angibt, hervor. ESTLER (1991) gibt Fahrgeschwindigkeiten von 5 - 7 km/h an. KOOLEN und KUIPERS (1983) geben als normale Geschwindigkeit 6 - 8 km/h an, wobei, bei gleichzeitig steigender

²⁾ KTBL (1996)

Bearbeitungsintensität, 12 km/h erreicht werden könnten.

Bei der Bearbeitung in Getreide beträgt nach KOCH (1964) die Fahrgeschwindigkeit, bedingt durch die engen Reihenabstände, 2,7 km/h.

KESSLER (1996) ermittelte im Gemüsebau Fahrgeschwindigkeiten von 2,25 km/h bis maximal 3.8 km/h.

2.2.2.2 Reihenhackbürste

KRESS (1987a) gibt die Arbeitsgeschwindigkeit der Reihenhackbürste unter optimalen Voraussetzungen mit 3 km/h an. Nach ESTLER (1991) können Geschwindigkeiten von 4 - 4,5 km/h gefahren werden. KESSLER (1996) ermittelte Fahrgeschwindigkeiten von 1,5 - 1,8 km/h. WILDFELLNER (1991) beschreibt die Fahrgeschwindigkeit von 1,5 - 3,5 km/h als besonders nachteilig, weil keine hohe Flächenleistung erreicht werden kann. Auch WALTER (1995) hebt die niedrige Fahrgeschwindigkeit der Reihenhackbürste als besonderen Nachteil hervor.

WEBER (1992) untersuchte die Regulierungswirkung der Reihenhackbürste bei Fahrgeschwindigkeiten von ca. 1 - 6 km/h. Bei Geschwindigkeiten über 2,5 km/h konnte in den Untersuchungen die für einen sicheren Regulierungserfolg notwendige Arbeitstiefe nicht mehr konstant gehalten werden, was somit eine Begrenzung für die Fahrgeschwindigkeit bedeutet.

2.2.2.3 Reihenfräse

Nach GEYER et al. (1991) liegt die Fahrgeschwindigkeit der Reihenfräse zwischen 3 und 7 km/h. WALTER (1995) bezeichnet die niedrige Fahrgeschwindigkeit der Reihenfräse als nachteilig. Bei Fräsen für die Bodenbearbeitung geben KOOLEN und KUIPERS (1983) als Obergrenze für die Werkzeuggeschwindigkeit 8 m/s und für die Fahrgeschwindigkeit 6 km/h an. Um für eine gute Regulierungswirkung eine ausreichende

Bearbeitungsintensität durch eine geringe Bissenlänge zu erreichen muß entsprechend langsamer gefahren werden. Begrenzender Faktor ist auch hier die Reihenweite und der Abstand zur Kulturpflanzenreihe (GEYER et al. 1991).

2.2.3 Auswirkung auf die Bodenstruktur

ESTLER (1989) und KRESS (1994) weisen auf die Auswirkungen der mechanischen Verfahren auf die Bodenstruktur hin. Danach sind die als vorteilhaft zu bewertenden Einflüsse das Aufbrechen von Verkrustungen und die Verbesserung der Bodendurchlüftung, die Förderung der Mineralisierung von Stickstoff und die Verbesserung der Wasserführung in den obersten Bodenschichten.

Die Verbesserung der Bodenstruktur durch die mechanischen Verfahren stellt sich jedoch nur bei sachgemäßer und schonender Bearbeitung ein. Falsche Bearbeitung kann jedoch eine gegenteilige Auswirkung auf die Bodenstruktur haben (ESTLER 1989 und KRESS 1994). Die nachteilige Veränderung der Bodenstruktur besteht nach GALLWITZ und BREITFUSS (1953) in der Zerkleinerung der Bodenkrümel, was zu Verschlämmung, Verdichtung, Verkrustung oder Erosion führen kann.

Um aufgrund der geringen Nachhaltigkeit mechanischer Verfahren eine ausreichende Wirkung zu erzielen, sind meistens mehrere Arbeitsgänge notwendig (NIEMANN 1990). Die Anzahl und Intensität der Bearbeitungen werden durch den Unkrautdruck und die Kulturdauer bestimmt. Die Beeinträchtigung der Bodenstruktur ist daher zum Teil erheblich (WEBER 1994a).

Zu den negativen Auswirkungen der Bearbeitung durch Fräsen und Hackbürsten sind ausführliche Untersuchungen vorhanden. Über die Auswirkung der Hacken sind jedoch kaum detaillierte Aussagen zu finden.

2.2.3.1 Reihenhacke

Die Zerkrümelung oder Staubbildung des Bodens bei der Bearbeitung durch die Reihenhacke nimmt mit steigender Fahrgeschwindigkeit zu (KOOLEN und KUIPERS 1983).

In feuchtem Boden verschmiert die Hacke durch den geraden Schnitt die Bodenkapillaren am Bearbeitungshorizont und erschwert die Durchlüftung des Bodens und das Abfließen von Regenwasser und fördert somit die Erosion (KRESS 1987b).

2.2.3.2 Reihenhackbürste

Bei höheren Wellendrehzahlen kann es nach SCHMID und STEINER (1987) in feuchten Böden zur Bildung von Schmierschichten kommen.

Im Gegensatz dazu beschreibt KRESS (1987b) die Auswirkung der Reihenhackbürste auf die Bodenstruktur folgendermaßen: Die Bürsten hinterlassen im Boden keinen glatten Schnitthorizont. Durch die Arbeit der einzelnen Borsten entsteht ein welliger Schnitthorizont, die Kapillaren werden nicht verschmiert und bleiben offen. Die aufgeworfene Feinerde wirkt wie ein Schwamm und fördert die Durchlüftung des Bodens. Die Erosions- und Verschlämmungsgefahr werde durch diesen Effekt vermindert.

Auch WEBER (1994a) konnte in Versuchen auf feuchtem und zum Teil nassem Boden keine nachteiligen Auswirkungen auf die Bodenstruktur erkennen. Die Borsten verursachten in diesen Versuchen keinen verschmierten Arbeitshorizont.

Im Gegensatz dazu wird nach WEBER (1994a) auf trockenen, verkrusteten oder verdichteten Böden die für einen ausreichenden Regulierungserfolg benötigte Arbeitstiefe nur durch hohe Wellendrehzahlen und niedrige Fahrgeschwindigkeiten erreicht. Mit Hilfe einer Siebanalyse wurde die Verteilung der Bodenfraktionen nach der Bearbeitung mit unterschiedlichen Bürstengeschwindigkeiten ermittelt (Abb. 7).

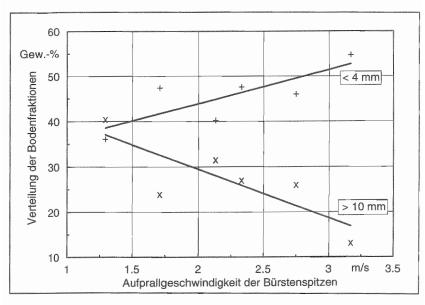


Abb. 7: Verteilung der Bodenfraktionen in Gew.-% in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit der Bürstenspitzen am Boden (WEBER 1994a)

Eine Erhöhung der Geschwindigkeit, mit der die Borsten auf den Boden auftreffen, führt zu einer Abnahme des grobkörnigen Anteils von über 10 mm Durchmesser in der bearbeiteten Bodenschicht. Dieser ist mit entscheidend für die Strukturstabilität der Bodenoberfläche. Gleichzeitig nimmt der Feinerdeanteil mit einem Krümeldurchmesser von weniger als 4 mm zu. Eine Zunahme des Feinerdeanteils fördert die Verschlämmungsneigung, Verdichtungen und die Erosion.

Dies bedeutet nach WEBER (1994a), daß bei einer bodenschonenden Arbeitsweise mit der Reihenhackbürste, abhängig von der Bodenart und dem Bodenzustand die Bürstengeschwindigkeit nicht beliebig erhöht werden darf.

2.2.3.3 Reihenfräse

FEUERLEIN (1957) untersuchte die Auswirkung des Fräsens auf die Bodenstruktur und den Ertrag. Dabei stellte er den Einfluß der verschiedenen Bodenarten auf die Beurteilung der Fräse heraus. Die Böden werden in "fräsenverträglich" und "fräsenempfindlich" eingeteilt. Zu den ersteren zählt er aufgrund ihrer hohen Krümelstabilität die Humus- und Tonböden. Bei strukturschwachen Böden aus Löß, die zu den "fräsempfindlichen" gehören, weist er auf die Verschlämmungs- und Erosionsgefahr hin. Fräsempfindliche Böden neigen zu Sohlenbildung.

Mit einer Modellfräse untersuchten GALLWITZ und BREITFUSS (1953) den Einfluß von Form, Anbringungsart und Werkzeuggeschwindigkeit auf die Bodenzerkleinerung an zwei Modellböden mit Hilfe der Krümelanalyse. Generell stellten sie mit steigender Umfangsgeschwindigkeit eine stärkere Bodenkrümelung fest, die u.a. abhängig von der Bodenart unterschiedlich stark ausgeprägt war.

Nach Söhne (1954) hängt der Zerkleinerungseffekt in erster Linie von der Bodenfeuchte ab.

SAACKE (1995) stellte bei einer zweimaligen Bearbeitung im Abstand von 16 Tagen eine deutliche Abnahme großer Bodenkrümel, und die Zunahme der Krümel mit einem Durchmesser von weniger als 1,25 mm fest.

Als obere Grenze für die Werkzeuggeschwindigkeit nennt ZHULAMANOV (1978) 8 m/s. Bei höheren Werkzeuggeschwindigkeiten wird seiner Meinung nach die natürliche Bodenstruktur zu stark zerstört, so daß mit acker- und pflanzenbaulichen Folgeschäden gerechnet werden muß.

2.2.4 Einsatzplanung

Als Hauptproblem der mechanischen Unkrautregulierung wird von allen Autoren die hohe Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen gesehen (AUST 1987, LINDNER 1987, GEYER et al. 1991 und SCHULZ et al. 1987). Problematisch ist vor allem das je nach Standort oft sehr enge Witterungsfenster, wodurch der Einsatz der Geräte stark begrenzt wird. LINDNER (1987) und AUST (1987) stellten in nassen Jahren erhebliche Probleme bei der Unkrautregulierung fest, da aufgrund der Bodenbeschaffenheit das Unkraut nicht mechanisch reguliert werden konnte. Auch PETERS (1987) bezeichnet als das Hauptproblem der mechanischen Verfahren die große Abhängigkeit von der Witterung. Ungünstige Witterungsverhältnisse verhindern häufig den Einsatz zum richtigen Zeitpunkt und durch die niedrige Schlagkraft kann in der zur Verfügung stehenden Zeit nicht die gesamte Fläche bearbeitet werden. Dadurch können die Unkräuter zu groß werden, so daß sie mit Hacken, Bürsten oder Fräsen nicht mehr bekämpft werden können.

Nach SCHULZ et al. (1987) wird die Unkrautkonkurrenz auf ökologisch bewirtschafteten Flächen stärker vom Witterungsverlauf innerhalb eines Jahres und von Jahr zu Jahr bestimmt als auf konventionell bewirtschafteten Flächen, da die Witterungsbedingungen die Nachhaltigkeit der mechanischen Regulierungsmaßnahmen stärker beeinflußt als die Nachhaltigkeit von Herbiziden.

Nach GEYER et al. (1991) ist der Einsatz der Reihenhackbürste auf ausgetrockneten Böden ebenso begrenzt wie auf schweren und verkrusteten Böden. KOOLEN und KUIPERS (1983) beschreiben die Deformierung der Bodenpartikel bei der Bearbeitung in feuchtem Zustand. Die Reihenhacke verschmiert im feuchten Boden durch den geraden Schnitt die Bodenkapillaren und fördert somit die Erosionsgefahr und verhindert die Durchlüftung des Bodens. Zudem wachsen bei feuchter und unbeständiger Witterung die Unkrautpflanzen häufig wieder an (KRESS 1987b). SCHMID und STEINER (1987) konnten in ihren Versuchen mit der Reihenhacke bei anhaltend regnerischer Witterung nur sehr geringe Regulierungserfolge von 8 - 26 % erzielen.

Ein befriedigender Regulierungserfolg kann also nur unter den für das jeweils einge-

setzte Gerät optimalen Bedingungen erreicht werden. Die Anschaffung von mehreren Geräten, die sich in ihren Einsatzgrenzen und Wirkungsweisen ergänzen, führt zwangsläufig zu hohen Investitionskosten.

Durch den witterungsbedingt begrenzten Einsatz der Geräte und durch die hohe Arbeitsintensität der Verfahren können extreme Arbeitsspitzen entstehen. Um das Risiko für den Anwender möglichst gering zu halten, ist deshalb eine betriebsspezifische Geräteauswahl und Einsatzplanung notwendig.

ORTH (1993) beschreibt den stark ansteigenden Arbeitsbedarf durch Maßnahmen der mechanischen Unkrautregulierung und das damit verbundene Problem der geringen Verfügbarkeit von Saisonarbeitskräften bei einer Umstellung auf umweltschonende Pflanzenschutzverfahren. Falls es dem Betrieb nicht gelingt, in ausreichender Zahl Saisonarbeitskräfte zu akquirieren ist der Erfolg der mechanischen Unkrautregulierung in Frage gestellt. ORTH (1993) betont die Notwendigkeit, im Hinblick auf die anfallenden Arbeitsspitzen den zeitlichen Anfall des Arbeitsbedarfes festzustellen.

Für eine betriebsspezifische Arbeitsplanung wurden von verschiedenen Autoren (BOKERMANN und HASSENPFLUG 1984, WITNEY 1988, DYER und BAIER 1979, BABEIR et al. 1986 und AUGTER 1990a und b) Modelle entwickelt, die die Ermittlung verfügbarer Feldarbeitstage für eine Vielzahl unterschiedlicher Arbeiten zum Ziel hatten.

2.2.5 Modelle zur Kalkulation verfügbarer Arbeitstage

Nach AUGTER (1990a) bestimmt der Feuchtegehalt in der Bearbeitungszone welche Geräte eingesetzt werden können. Dabei spielen die Witterung, die Bodenart und die spezifischen Einsatzgrenzen der Geräte eine Rolle.

In den Vorhersagemodellen aller genannter Autoren liegt deshalb der Schwerpunkt auf der möglichst realistischen Bestimmung des Feuchtegehaltes in der Bearbeitungszone des Ackerbodens.

Nach HANKS und ASHCROFT (1980) wird der Wasserkreislauf im Boden bestimmt durch den Input Niederschlag und Bewässerung, die Speicherung und den Output Evaporation, Transpiration, oberflächig abfließendes Wasser und Versickerung.

Ein von BOKERMANN und HASSENPFLUG (1984) entwickeltes Konzept basiert auf ein Rechenmodell, in dem die Bodenfeuchte indirekt über eine täglich fortlaufende, klimatische Wasserbilanz bestimmt wird. Als Einflußgrößen werden der Niederschlag und die Verdunstung berücksichtigt. Außerdem ist ein Anpassungsfaktor für die auf verschiedenen Böden unterschiedliche Niederschlagsversickerung vorgesehen. Die im Boden verbleibende Restfeuchte dient zur Überprüfung der Eignung der einzelnen Tage zur Feldarbeit. Eine Aufgliederung der Eignung von Feldarbeitstagen für unterschiedliche Arbeitsverfahren ist möglich. Die möglichen Feldarbeitstage werden in Blockzeitspannen und nach Dekaden ausgewiesen. Die errechneten Ergebnisse werden empirisch überprüft und mit dem realisierten Arbeitseinsatz in 10 Betrieben verglichen.

WITNEY (1988) verwendet zur Bestimmung der Feldarbeitstage ein Modell, in dem täglich die Feuchte der obersten Bodenschicht berechnet wird. Die tägliche Ermittlung des Bodenfeuchtegehaltes ermöglicht es, die zur Bodenbearbeitung geeigneten Tage für Orte mit unterschiedlichen Klima- und Bodenbedingungen zu bestimmen. Außerdem werden bei WITNEY (1988) Kriterien für mögliche Feldarbeitstage bei unterschiedlichen Arbeiten, wie Spritzen, Grünfutterernte und Mähdrusch erläutert.

Das von DYER und BAIER (1979) veröffentlichte Modell wurde zur Bestimmung der möglichen Feldarbeitstage im Herbst in Kanada entwickelt. Die auch hier als Kriterium für die Bearbeitbarkeit verwendete Bodenfeuchte wird täglich für 2 Bodenschichten (1 - 10 cm und 10 - 60 cm) berechnet. Neu an diesem Modell ist die Aufteilung in zwei Bodenschichten und die getrennte Ermittlung des durch Verdunstung und durch Pflanzen verursachten Wasserentzugs. Mit Hilfe einiger, für unterschiedliche Bodenarten festgelegten Koeffizienten ist es möglich, das pflanzenverfügbare Wasser täglich aus der Tagesniederschlagssumme und aus der aktuellen Evapotranspiration zu berechnen. Die Gültigkeit dieses Modells wurde an 3 unterschiedlichen Standorten in Kanada überprüft.

Aufbauend auf dieses Rechenmodell wurde von DYER (1980) eine Aufstellung für Feldarbeitstage für die 40 bedeutsamsten landwirtschaftlichen Regionen in Kanada erstellt. Es ist möglich, drei verschiedene Bodenarten (leicht, mittel und schwer) zu berücksichtigen. Die Obergrenze der Bodenfeuchte für mögliche Feldarbeitstage ist durch Konstanten, die sich an der Feldkapazität der jeweiligen Böden orientieren, festgelegt.

Das Computersimulationsmodell TRACTMOD (BABEIR et al. 1986) wurde zur Vorhersage von möglichen Feldarbeitstagen in Iowa entwickelt. In ihm werden die Berechnungsformen von DYER und BAIER (1979) leicht modifiziert. Einige Größen werden anders benannt und der zeitliche Bezug ist etwas verändert. Die erzielten Ergebnisse wurden für unterschiedliche Standorte über einen Zeitraum von 9 Jahren mit beobachteten Feldarbeitstagen verglichen; eine hohe Übereinstimmung wurde festgestellt.

In Deutschland werden Berechnungen über die verfügbaren Feldarbeitstage vom KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT KTBL (1996) herausgegeben. 1990 wurde ein neues Verfahren zur Berechnung der verfügbaren Feldarbeitstage von AUGTER (1990a und b) entwickelt. Die verfügbaren Feldarbeitstage sind flächendeckend für das gesamte Bundesgebiet, für die Zeit vom 1. März bis 30. November für 3 Bodenarten und für 3 Kategorien von Feldarbeiten berechnet worden. Für die Berechnung der Bodenfeuchte, die auch hier als Grundlage für die Bestimmung der Tauglichkeit eines Bodens zur Durchführung von Feldarbeiten dient, wird das Modell von DYER und BAIER (1979) verwendet. Lediglich die Berechnung der Verdunstung wurde an die Verhältnisse in Deutschland angepaßt. Die Bodenarten wurden in 3 Bodenklassen (leicht, mittel und schwer) aufgeteilt. Die unterschiedlichen Feldarbeiten wurden in Abhängigkeit ihres jeweiligen Anspruchs an die Abtrocknung der Bearbeitungszone in 3 Feldarbeitsklassen eingeteilt. Die Obergrenzen der Bodenfeuchte wurden unter Berücksichtigung der Aufzeichnungen landwirtschaftlicher Betriebe für die 3 Bodenarten und die 3 Anspruchsstufen festgelegt. Die verfügbaren Feldarbeitstage wurden für 12 Klimagebiete berechnet, in denen jeweils möglichst einheitliche Arbeitsbedingungen vorherrschen. Die verfügbaren Feldarbeitstage eines Gebiets werden aus den Daten aller Klimastationen dieses Gebiets, für jeden Halbmonat, vom 1. März bis zum 30. November, für jede Anspruchsstufe und für jede Bodenklasse berechnet.

Keines der aufgeführten Modelle berücksichtigt eine Untergrenze der Bodenfeuchte für die Bearbeitbarkeit.

Für die mechanische Unkrautregulierung, bei der die Witterungsabhängigkeit eine der Hauptprobleme ist, (AUST 1987, LINDNER 1987, PETERS 1987 und SCHULZ et al. 1987) existiert kein Berechnungsmodell für die während der Saison zur Verfügung stehenden Feldarbeitstage.

2.3 Kosten

AUST (1987) ist der Meinung, daß der produktionsspezifische Arbeitsbedarf zur Unkraut- und Schädlingsregulierung, bedingt durch den Verzicht von chemischen Pflanzenschutzmitteln, bei den ökologischen Betrieben im Durchschnitt etwa um ein Drittel größer ist als bei den konventionellen Betrieben. Auch SCHLÜTER (1985), LINDNER (1987) und PRIEBE (1990) beziffern den systembedingten Arbeitsmehraufwand auf bis zu 30 %, was an dem vermehrten Arbeitseinsatz zur Unkrautregulierung und Schädlingsbekämpfung liegt, wobei hier jedoch noch erhebliche Rationalisierungsreserven gesehen werden.

Die Kosten der Verfahren zur mechanischen Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen setzen sich aus den fixen und variablen Maschinenkosten und den Arbeitskosten zusammen.

Die Kosten werden, bedingt durch die geringe Flächenleistung vor allem durch die Arbeitskosten bestimmt. KESSLER (1996) ermittelte in verschiedenen Kulturen als Verfahrenskostenanteil allein für die Reihenhacke 128 - 353 DM/ha und für die Reihenhackbürste Verfahrenskosten von 348 - 680 DM/ha.

Die Maschinenkosten stellen sich nach KTBL (1994) folgendermaßen dar (Tab. 3):

Tab. 3:	Maschinenkosten für die Reihenhacke, die Reihenhackbürste und die Rei-
	henfräse (nach KTBL 1994)

Gerät	I _G [DM]	D _N [a]	K _F [DM/a]	K _v [DM/ha]
Hacke	5.900	12	728	3,13
Bürste	7.500	8	1.238	3,48
Fräse	6.600	8	1.089	10,26

 I_G = Investitionskosten K_F = Fixkosten D_N = Nutzungsdauer K_V = Variable Kosten

Die vergleichsweise geringe Schlagkraft, kombiniert mit einer hohen Abhängigkeit von der Witterung führen dazu, daß die engen Witterungsfenster nicht optimal ausgenutzt werden können. Dies führt zu einer meist unzureichende Wirkung der Geräte, vor allem in der Reihe; dadurch sind zusätzliche Durchgänge per Hand erforderlich (AUST 1987). Je nach angebauten Kulturen kann der Handarbeitsaufwand sehr hoch sein und damit zu einem begrenzenden Faktor werden im Hinblick auf deutliche Arbeitsspitzen und die Verfügbarkeit von Arbeitskräften, die Bezahlung von Fremdarbeitskräften und die Wirtschaftlichkeit von einzelnen Kulturen. Dies macht die Unkrautregulierung zu einem Hauptrisikofaktor für den Kulturerfolg.

Der hohe Kostenanteil der physikalischen Verfahren bei der Unkrautregulierung kann bei ökologisch wirtschaftenden Betrieben durch höhere Produktpreise ausgeglichen werden (MÜHLBACH 1990). Eine solch Steigerung erzielbarer Preise ist nach ORTH (1993) nur im Einzelfall und in Verbindung mit einem unterstützenden Marketing-konzept (z.B. "Bio"-Betrieb eines anerkannten Anbauverbandes) möglich. Im Rahmen einer Expertenbefragung wurde die Durchsetzung höherer Preise am Markt mit dem Argument umweltschonender Pflanzenschutzverfahren zwar als wünschenswert, aber für das Gros der Gemüsebaubetriebe als nicht machbar bezeichnet. ORTH (1993) empfiehlt verstärkte Maßnahmen zu Rationalisierung oder Mechanisierung der Verfahren. Er stellt in diesem Bereich weiteren Forschungs- und Entwicklungsbedarf bei der Gerätetechnik fest.

3 Zielsetzung

Der Erfolg der Regulierungsmaßnahmen mit den herkömmlichen Geräten ist abhängig von den Rahmenbedingungen während der Anwendung (Witterung, Bodenart und Bodenzustand, Größe der Unkräuter) und somit unsicher. Durch die witterungsbedingten Einsatzgrenzen der Geräte kann die mechanische Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen nicht immer in dem erforderlichen Umfang und mit befriedigendem Ergebnis durchgeführt werden. Die Anschaffung von mehreren Geräten, die sich in ihren Einsatzgrenzen ergänzen, führt zu hohen Investitionskosten. Die geringe Schlagkraft der Geräte führt zu hohen variablen Kosten. Ein Mißerfolg der Maßnahmen führt zu einem hohen zusätzlichen Handarbeitsaufwand und zu einer zusätzlichen Erhöhung des Verfahrenskostenanteils bis hin zu einem eventuellen Verlust an Qualität und Quantität des Ertrags.

Die Ziele der Arbeit sind die Vereinfachung der arbeitswirtschaftlichen Abläufe und die Minimierung des Risikos und der Kosten bei der mechanischen Unkrautregulierung.

Ein Teilziel dabei ist die Entwicklung eines neuen Gerätekonzeptes, das folgendem Anforderungsprofil entsprechen soll:

- Das Gerätekonzept soll universell einsetzbar sein und damit mehrere Geräte ersetzen. Dadurch werden die Investitionskosten gesenkt.
- Durch höhere Fahrgeschwindigkeiten ohne Verschlechterung der Regulierungswirkung werden die variablen Kosten gesenkt.
- Weitere witterungsbedingte Einsatzgrenzen entzerren Arbeitsspitzen und erleichtern die Einsatzplanung.
- Durch ein gegenüber äußeren Rahmenbedingungen unempfindlicheres Arbeitsprinzip wird der Regulierungserfolg gesichert.

Das zweite Teilziel ist die Entwicklung eines Modells zur Bewertung von geräte- und verfahrenstechnischen Optimierungsmaßnahmen. Dies ist vor allem deshalb notwendig, weil die Ergebnisse von Messungen in Praxisversuchen sehr stark von den Rahmenbedingungen während der Versuchsdurchführung dominiert werden, was die große

Bandbreite der Angaben in der Literatur zeigt. Die Vergleichbarkeit dieser Daten muß deshalb in Frage gestellt werden.

Eine zielgerichtete Optimierung erfordert die Einbeziehung möglichst aller Randbedingungen, die bei der mechanischen Unkrautregulierung eine Rolle spielen. Deshalb wurde als methodischer Lösungsansatz die Systemtechnik gewählt.

Die Arbeit gliedert sich in mehrere Abschnitte:

- Die Darstellung der Rahmenbedingungen und der arbeitswirtschaftlichen Daten in der Literatur soll durch eine Datenerhebung in der Praxis ergänzt und konkretisiert werden. Die begrenzenden Faktoren und die Handlungsspielräume werden dargestellt und diskutiert.
- Die ausgewählten Optimierungsmaßnahmen werden mit Hilfe von Modellkalkulationen bewertet.
- Gemäß dem Anforderungsprofil wird das Gerätekonzept skizziert und in einen Prototypen umgesetzt. Dieser wird im Hinblick auf die Zielsetzung in Feldversuchen überprüft, mit vorhandenen Geräten verglichen und ökonomisch eingeordnet.

4 Material und Methoden

4.1 Systemtechnik als Methode zur geräte- und verfahrenstechnischen Optimierung der mechanischen Unkrautregulierung

Für die zielgerichtete Entwicklung eines neuen Gerätes im Rahmen einer verfahrenstechnischen Optimierung müssen die Anforderungen und die Rahmenbedingungen für dessen Einsatz möglichst umfassend definiert sein.

Aufgabe der Forschung im Bereich Verfahrenstechnik ist es, Maschinen und Arbeitsverfahren zu entwickeln, mit denen sich bei der Erzeugung von Produkten unter anderem folgendes ökonomisches und ökologisches Ziel erreichen läßt (ENGLERT 1997):

Verringerung der Produktionskosten durch

- Verringerung des Materialaufwands,
- Verringerung des Energieaufwands und
- Verringerung der Arbeitszeit und damit Einsparung von Arbeitskräften.

Das System "mechanische Unkrautregulierung" besteht aus einem komplexen Geflecht unterschiedlicher, sich gegenseitig beeinflussender Faktoren, dessen experimentelle Untersuchung nur punktuelle Ergebnisse mit einer hohen Streubreite liefert. Die Einordnung solcher Einzeldaten erfordert eine Gesamtbetrachtung des Systems. Daher bietet sich als Methode zur Bearbeitung der verfahrenstechnischen Optimierung der mechanischen Unkrautregulierung die Systemtechnik an.

Nach PAHL und BETTZ (1986) beinhaltet die Systemtechnik folgende Vorgehensschritte:

- Systemstudie: Gewinnung von Information über das zu betrachtende System (Zustandsanalyse), Problemanalyse zur präzisen Formulierung des zu lösenden Problems,
- Zielprogramm: Definition der Zielsetzung bei der Weiterentwicklung des Systems,
- Systemthese: Entwicklung von Lösungsvarianten,
- Systemanalyse: Feststellung der Eigenschaften der Lösungsvarianten als Grundlage der Systembewertung,

- Systembewertung: Herausfinden einer relativen Optimallösung anhand des Zielprogramms und die
- Systementscheidung: Entscheidung über das endgültige Lösungskonzept.

Für die geräte- und verfahrenstechnische Optimierung der mechanische Unkrautregulierung wurde für diese Arbeit entsprechend der Systemtechnik folgende Vorgehensweise gewählt:

- Die Befragung dient als Methode zur Erhärtung der Darstellung des "Ist-Zustandes" der mechanischen Unkrautregulierung in der Literatur im Bezug auf den Regulierungserfolg, die Fahrgeschwindigkeit und die Flächenleistung, mögliche Auswirkungen auf die Bodenstruktur, die Einsatzgrenzen und die Kosten (Zustandsanalyse).
- Die Darstellung des Systems und die Definition der Handlungsspielräume (Lösungsvarianten) erfolgt aus den Ergebnissen der Befragung und den Angaben aus der Literatur (Systemthese).
- Für die Bewertung der Handlungsspielräume im Hinblick auf die Zielsetzung werden die Auswirkungen der in Frage kommenden Optimierungsmaßnahmen in Modellkalkulationen quantifiziert. Die Modellierung wird als Methode zur Vorgabe von arbeits- und betriebswirtschaftlichen Rahmenbedingungen und von standortspezifischen Einsatzbedingungen für die Kalkulation gewählt (Systembewertung).
- Als Lösungskonzept wird das Anforderungsprofil für ein neues Gerät zur mechanischen Unkrautregulierung zwischen den Reihen konkretisiert (Systementscheidung).
- Die Überprüfung der gewählten Optimierungsmaßnahmen erfolgt durch den Bau und die anschließende Untersuchung eines Prototyps.

4.2 Datenerhebung zur mechanischen Unkrautregulierung in der Praxis

Immer dann, wenn ein Informationsbedarf durch die Sekundärforschung, also durch vorhandene Daten, nicht in befriedigendem Maße gedeckt werden kann, ist nach JOAS (1992) die Erhebung von Primärdaten erforderlich.

Es gibt nach BEREKOVEN et al. (1991) drei Möglichkeiten, Primärdaten zu erheben:

- Befragung,
- Beobachtungen und
- Experimente.

Die Befragung ist nach BEREKHOVEN et al. (1991) die am häufigsten angewandte und wichtigste Erhebungsmethode im Rahmen der Primärforschung.

Mit Hilfe einer Befragung zu arbeitswirtschaftlichen Kenndaten, Gerätebesatz, Einsatzkriterien und -verfahren und zu wirtschaftlichen Gesichtspunkten wurden die aktuelle Situation und die Rahmenbedingungen der mechanischen Unkrautregulierung in der Praxis ermittelt. Die erforderlichen Daten wurden mit Hilfe eines Fragebogens gewonnen.

4.2.1 Betriebsauswahl und Stichprobenumfang

Die Daten wurden in Betrieben, die nach Richtlinien des ökologischen Landbaus wirtschaften, ermittelt.

Aufgrund der verfügbaren Zeit wurde die Datenerhebung als Teilerhebung durchgeführt. Um die Übertragbarkeit der Aussagen einer Teilerhebung auf die Grundgesamtheit sicherzustellen, muß eine repräsentative Teilmenge (Stichprobe) gebildet werden. Eine Teilmenge ist immer dann repräsentativ, wenn sie ein zwar verkleinertes, aber ansonsten realitätsgetreues Abbild der Grundgesamtheit darstellt (JoAs 1992). Hauptkriterium für die Auswahl der Betriebe war eine langjährige und einschlägige Erfahrung mit physikalischen Verfahren der Unkrautregulierung. Da die Anbauricht-

linien der ökologischen Verbände ausschließlich physikalische Verfahren bei der Unkrautregulierung zulassen, wurde davon ausgegangen, daß auf den Mitgliedsbetrieben der ökologischen Anbauverbände langjährige Erfahrung in der Anwendung der physikalischen Verfahren vorliegt.

Für eine erfolgreiche Befragung war es wichtig, ein möglichst weites Spektrum an ökologisch arbeitenden Betrieben zu erfassen, vor allem im Hinblick auf die Flächengröße, die Bodenbedingungen und das Kultursortiment, um so ein möglichst vollständiges Bild zu bekommen.

Insgesamt wurden 54 Mitgliedsbetriebe der Anbauverbände BIOLAND, DEMETER und NATURLAND mit landwirtschaftlichem Feldgemüsebau bzw. gärtnerischem Freilandgemüsebau aus dem gesamten bayerischen Raum befragt. Die Auswahl der Betriebe erfolgte in Zusammenarbeit mit den jeweiligen Anbauberatern.

4.2.2 Fragebogen

Als Befragungsform wurde ein standardisiertes Interview gewählt. Diese Form der Befragung verlangt, daß die Fragen vor dem Interview schriftlich festgelegt werden und allen Beteiligten mit dem gleichen Wortlaut und in der gleichen Reihenfolge gestellt werden. Die Standardisierung soll erreichen, daß die Unterschiede in der Beantwortung der Fragen aus unterschiedlichen Sachverhalten oder Ansichten der Befragten und nicht etwa aus unterschiedlichem Verhalten (Fragefolge, Frageformulierung) der Interviewer herrühren (BEREKHOVEN et al. 1991). Um diese Ziele zu erreichen wurde ein Fragebogen verwendet (Anhang, S. 191).

Mit Hilfe dieses Fragebogens sollten die arbeits- und betriebswirtschaftlichen Daten der in den einzelnen Betrieben eingesetzten Unkrautregulierungsmaßnahmen erfaßt werden. Der Fragebogen unterteilte sich in einen allgemeinen Teil, mit Fragen zum Betrieb, und in einen speziellen Teil, mit Fragen zur Bewirtschaftung.

Die Fragen zum Betrieb umfaßten die Betriebsgröße, den Arbeitskräftebesatz, die

Standortbedingungen und Bodeneigenschaften, das Kultursortiment, die Fruchtfolge, den Absatzweg und die vorkommenden Unkräuter.

Bei den Fragen zur Bewirtschaftung wurde nach dem Gerätebesatz des Betriebes gefragt. Darüber hinaus wurden die Einsatzkriterien, die Arbeitsgeschwindigkeit und die Flächenleistung für die Unkrautregulierungsgeräte, der Handarbeitsaufwand und die eingesetzten Pflegeschlepper zur Unkrautregulierung erfragt. Aber auch die möglicherweise durchgeführten vorbeugenden Maßnahmen zur Unkrautregulierung, allgemeine und spezielle Probleme bei den Unkrautregulierungsmaßnahmen, Maschinenkosten, Erntemengen und Erlöse wurden im zweiten Teil des Fragebogens erfaßt.

4.2.3 Durchführung

Die Befragung fand in einem persönlichen Gespräch mit den Betriebsleitern im Betrieb statt. Die Dauer der Befragung variierte zwischen einer Stunde und zwei Stunden, je nach Ausführlichkeit der Antworten. Dabei traten vereinzelt Probleme auf, die die Vergleichbarkeit der Antworten in Frage stellen könnten:

Das Interesse an den Untersuchungen und die Einschätzung des zu erwartenden Nutzens für die einzelnen Betriebe war sehr unterschiedlich. Dies spiegelte sich auch in der Ausführlichkeit der Beantwortung der Fragen wieder. Es konnten im Einzelfall deutliche Unterschiede bei der Gewissenhaftigkeit der Beantwortung festgestellt werden, was jedoch nicht pauschal auf bestimmte Betriebszweige bzw. -sparten zutraf.

Da diese Probleme jedoch nur vereinzelt auftraten, und der überwiegende Teil der Betriebsleiter sehr interessiert war, wird davon ausgegangen, daß die Aussagekraft und Vergleichbarkeit der Antworten gegeben ist. Durch die mündliche Befragung hatte der Interviewer zudem eine gewisse Kontrollfunktion, so daß Unklarheiten beseitigt werden konnten.

Die Mehrzahl der befragten Betriebsleiter konnten aufgrund unvollständiger Buchführung oder aus Gründen der Wahrung des Betriebsgeheimnisses keine detaillierte

Aussagen zu betriebswirtschaftlichen Kenngrößen machen. Die Betriebsleiter, die diesen Teil der Befragung beantworteten, taten dies dann entsprechend umfangreich und ausführlich.

4.3 Modellkalkulation zur Bewertung eines optimierten Gerätekonzeptes

Die aus den Kapiteln 2 und 5 hergeleiteten Handlungsspielräume und die möglichen Auswirkungen der ausgewählten Optimierungsmaßnahmen (Sicherstellung des Regulierungserfolgs, Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit und Flächenleistung, Ausweitung der gerätespezifischen, witterungsbedingten Einsatzgrenzen) müssen für eine Folgeabschätzung und eine Entscheidung hinsichtlich ihrer Umsetzung bewertet werden.

Als Methode für die Bewertung wurde die Kalkulation mit Hilfe eines Modells gewählt, das in der Lage ist, die große Bandbreite der Rahmenbedingungen, die den Erfolg der Maßnahmen maßgeblich beeinflussen abzubilden. Durch die exakte Definition der Rahmenbedingungen soll die Vergleichbarkeit der Ergebnisse und die Einordnung in den Gesamtzusammenhang gewährleistet werden. Damit wird das Modell universell einsetzbar.

Für die durchgeführte Kalkulation wurden folgende Einschränkungen vorgenommen:

- Es wurden zwei beispielhafte Betriebe modelliert und eine Einsatzstrategie für die Geräte zur mechanischen Unkrautregulierung festgelegt.
- Für beide Modellbetriebe wurde eine Kalkulation unter zwei extremen Rahmenbedingungen hinsichtlich der Standortbedingungen (Klimaregion und Böden) durchgeführt, um möglichst die gesamte Bandbreite der in der Praxis herrschenden Rahmenbedingungen abzudecken. Es wurde ein Standort mit geringen Niederschlägen und leichten Böden und ein Standort mit hohen Niederschlägen und schweren Böden ausgewählt.
- Um die Auswirkung einer gerätetechnisch optimierten Neuentwicklung zu quantifizieren, wurde ein laut Befragung und Literatur guter Gerätebesatz mit Reihenhacke,

Reihenhackbürste und Reihenfräse mit ihren sich ergänzenden Geräteparametern ausgewählt und mit einem fiktiven, optimierten Gerät verglichen. Der Prototyp dieses Gerätes wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit gebaut und im Einsatz überprüft. Das Gerät erhielt als Bezeichnung den Arbeitstitel "Weihenstephaner Trennhacke". Die Variante "Optimiertes Gerät" wird deshalb im folgenden immer als Variante "Trennhacke" bezeichnet.

Insgesamt ergeben sich aus diesen Vorgaben 8 Varianten (Abb. 8).

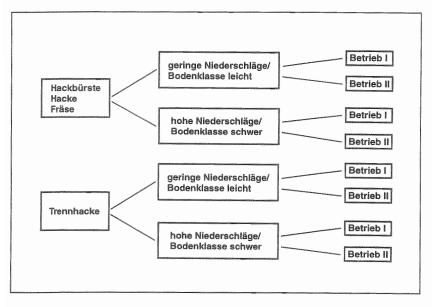


Abb. 8: Varianten für die Modellkalkulation

4.3.1 Beschreibung der Modellbetriebe

Aus den Daten der Befragung und nach der Einteilung in verschiedene Betriebsformen von FRITZ (1989) wurden 2 typische Modellbetriebe mit unterschiedlichen Anbauflächen und Intensitätsstufen konstruiert.

Der Betrieb I betreibt landwirtschaftlichen Feldgemüsebau auf 30 ha. Auf einer Fläche von 2,5 ha werden Nebenkulturen mit kurzen Standzeiten angebaut. Die durchschnittliche Schlaggröße beträgt 2 ha. Das Gemüse wird dreireihig bei einer Beetbreite von 1,5 m (von Spurmitte zu Spurmitte) kultiviert. Die Kulturarten, die Anzahl der Sätze und deren Verteilung über die Gesamtflache und die Kulturperiode sind in dem folgenden Flächenaufriß (Abb. 9) und in Tabelle 4 dargestellt.

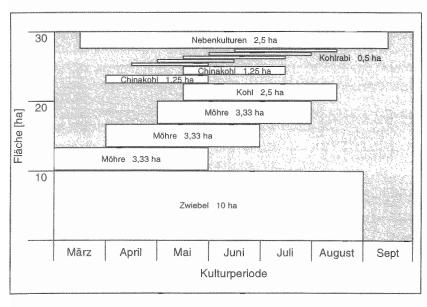


Abb. 9: Flächenaufriß für den Modellbetrieb I

Tab. 4: Angebaute Kulturen Betrieb I

Kulturen	Fläche/Kultur [ha]	Anzahl der Sätze	Fläche/Satz [ha]	Bearbeitun- gen/Satz
Zwiebel	10,0	1	10,00	4
Möhre	10,0	3	3,33	4
Kohl	2,5	1	2,50	3
Chinakohl	2,5	2	1,25	3
Kohlrabi	2,5	5	0,50	2
Nebenkultur	2,5	-	-	41)

¹⁾ Anzahl der Bearbeitungen für die Gesamtfläche der Nebenkulturen (2,5 ha)

Der **Betrieb II** ist ein gärtnerischer Freilandgemüsebaubetrieb mit 10 ha Anbaufläche. Die durchschnittliche Schlaggröße beträgt 0,5 ha. Es wird in Beeten mit 1,5 m Breite und dreireihig kultiviert (Abb. 10 und Tab. 10).

Die Nebenkulturen werden zwischen den Sätzen auf den freien Flächen auf insgesamt 2,5 ha angebaut. Daraus ergibt sich für den 10 ha großen Betrieb eine zu bearbeitende Gesamtfläche von 12,5 ha.

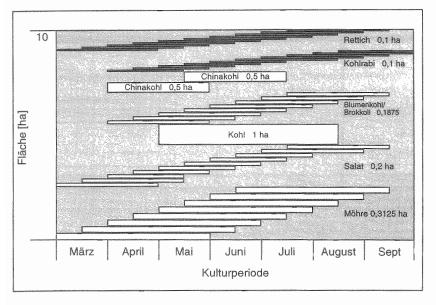


Abb. 10: Flächenaufriß für den Modellbetrieb II

Tab. 5: Angebaute Kulturen Betrieb II

Kulturen	Fläche/Kultur [ha]	Anzahl der Sätze	Fläche/Satz [ha]	Bearbeitun- gen/Satz
Möhre	2,5	8	0,3125	4
Salate	2,0	10	0,2000	2
Blumenkohl und Brokkoli	1,5	8	0,1875	2
Kohl	1,0	1	1,0000	3
Chinakohl	1,0	2	0,5000	2
Kohlrabi	1,0	10	0,1000	2
Rettich	1,0	10	0,1000	2
Nebenkultur	2,5		-	41)

¹⁾ Anzahl der Bearbeitungen für die Gesamtfläche der Nebenkulturen

Für die mechanische Unkrautregulierung zwischen den Reihen stehen beiden Betrieben ein Geräteträger mit einer Motorleistung von 33 kW, eine Gänsefußscharhacke im Zwischenachsanbau mit 1,5 m Arbeitsbreite, eine Hackbürste im Zwischenachsanbau mit 1,5 m Arbeitsbreite und eine Reihenfräse im Zwischenachsanbau mit 1,5 m Arbeitsbreite zur Verfügung.

Die Anzahl und Reihenfolge der Geräteeinsätze für Unkrautregulierung und die pro Halbmonat zu bearbeitenden Flächen für die jeweiligen Geräte über die gesamte Kulturperiode ergibt sich aus der Anzahl der Sätze und deren Verteilung (nach FRITZ 1989 und KTBL 1993)(Anhang, S. 197 und S. 198, Tab. A1 und A2).

Für die Einsatzstrategie der Geräte bei der Unkrautregulierung werden folgende Rahmenbedingungen vorgegeben:

Der Geräteeinsatz kann an 7 Tagen in der Woche erfolgen. Ein Arbeitstag dauert 8 Stunden. Es steht immer ein Schlepper mit Fahrer zur Verfügung.

4.3.2 Berechnung der benötigten Feldarbeitstage

Für die vergleichende Bewertung des neuen Gerätekonzeptes "Weihenstephaner Trennhacke" mit einem herkömmlichen, guten Gerätebesatz (Bürste/Hacke/Fräse) muß die Anzahl der in den Modellbetrieben tatsächlich benötigten Feldarbeitstage für die mechanische Unkrautregulierung zwischen den Reihen bekannt sein. Diese ist abhängig von:

- der kultivierten Fläche.
- den angebauten Kulturen,
- Anzahl und Verteilung der Sätze pro Kultur,
- die Anzahl und Verteilung der Bearbeitungen,
- den eingesetzten Verfahren zur Unkrautregulierung,
- der Kombination dieser Verfahren und
- der Schlagkraft der einzelnen Verfahren.

Für jede angebaute Kultur wurde der Umfang und der Zeitpunkt der durchzuführenden Regulierungsmaßnahmen bestimmt. Die benötigten Angaben über die Kulturführung werden von FRITZ (1989) und KTBL (1993) und die Anzahl der Durchgänge aus KESSLER (1996) und den Ergebnissen der Befragung entnommen (Anhang, S. 197 und 198, Tab. A1 und A2).

Für die Flächenleistungen der Geräte wurden die Mittelwerte aus den Daten von KTBL (1994 und 1996) und KESSLER (1996) übernommen; die Flächenleistungen für den Betrieb II werden aufgrund der geringeren Schlaggrößen und damit höheren Wendezeitanteils mit 25 % beaufschlagt (Tab. 6).

Tab. 6: Flächenleistungen der Unkrautregulierungsgeräte für die Modellbetriebe

	Bürste	Hacke	Fräse	Trennhacke ¹⁾
Betrieb I	0,18 ha/h	0,4 ha/h	0,27 ha/h	0,4 ha/h
Betrieb II	0,14 ha/h	0,3 ha/h	0,20 ha/h	0,3 ha/h

¹⁾ Optimiertes Gerätekonzept

Für das optimierte Gerätekonzept wird angenommen, daß die Wirkung unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit ist. Deshalb wird für die Trennhacke die gleiche Flächenleistung wie bei der Reihenhacke angenommen.

Da in den Kalkulationen eine herkömmliche Geräteausstattung mit einem optimierten Gerätekonzept verglichen werden soll, wird davon ausgegangen, daß die Geräte der herkömmlichen Geräteausstattung kombiniert eingesetzt werden.

4.3.3 Modell zur Berechnung der verfügbaren Feldarbeitstage

Für die Ausweitung der witterungsbedingten Einsatzgrenzen als Optimierungsansatz wird errechnet und diskutiert, inwieweit ein Gerät, das über die Grenzbereiche der herkömmlichen Geräte hinaus in der Lage ist wirkungsvoll Unkraut zu regulieren, eine verfahrenstechnische Verbesserung darstellt.

Daten über die zur Verfügung stehenden Feldarbeitstage sind für verschiedene Arbeiten und Geräteeinsätze in der landwirtschaftlichen Produktion vorhanden (KTBL 1996), jedoch nicht explizit für die mechanische Unkrautregulierung.

Die Berechnung der Feldarbeitstage und der Vergleich verschiedener Geräte für die mechanische Unkrautregulierung erfolgt daher mit Hilfe eines neuen Modells, das auf Modelle aus der Literatur, zur Ermittlung der allgemeinen Feldarbeitstage, basiert. Als Grundlage für die Entscheidung, ob ein Tag für einen Geräteeinsatz zur mechanischen Unkrautregulierung zur Verfügung steht, wird der Feuchtegehalt in der Bearbeitungszone als Entscheidungskriterium herangezogen.

Die Berechnung der Anzahl verfügbarer Feldarbeitstage für die mechanische Unkrautregulierung wird daher in 2 Hauptschritte gegliedert:

- Berechnung des Feuchtegehaltes der Bearbeitungszone,
- 2. Berechnung der verfügbaren Feldarbeitstage.

4.3.3.1 Berechnung des Bodenfeuchtegehalts

Zur Berechnung des Bodenfeuchtegehalts in der Bearbeitungszone werden Daten über das Klima und über die Beschaffenheit des Bodens benötigt.

Ausgangsdaten: Klima

Als Grundlage für die verwendeten Klimadaten dienen die vom Deutschen Wetterdienst veröffentlichten Test-Referenzjahre (DEUTSCHER WETTERDIENST 1984). In den Test-Referenzjahren wird für 12 unterschiedliche Klimaregionen der Bundesrepublik Deutschland der charakteristische Wetterverlauf wiedergegeben. Die Testreferenzjahre entsprechen weitgehend den langjährigen jahreszeitlichen Klimaverläufen der jeweiligen Region. Es werden stündlich 14 unterschiedliche meteorologische Parameter angegeben.

Folgende Einzeldaten werden im Berechnungszeitraum für jeden Tag benötigt:

- Niederschlag (Tagessumme), [mm]
- relative Luftfeuchte um 14.00 Uhr MOZ, [%]

- Lufttemperatur um 14.00 Uhr MOZ. [°C]

Ausgangsdaten: Boden

Die Böden der zu untersuchenden Flächen werden nach AUGTER (1990a) in drei Klassen (leicht, mittel, schwer) eingeteilt. In Tabelle 7 wird der Zusammenhang zwischen den drei verwendeten Bodenklassen und den gängigen Klassenzeichen hergestellt:

Tab. 7: Zuordnung der Bodenklassen zu den Bodenarten nach der Bodenschätzung und nach DIN 4220 (nach KTBL 1996)

Boden-	Klassenzeichen der	Bodenart der Krume nach DIN 4220 ¹⁾			
klasse	Bodenschätzung				
		D	Lö	Al	V
	S	S	_	S	S
	SI	S12	Ut2	S12	S12
leicht	1S	S13	Ut2	Slu	S13
	SL	S14	Ut2	Slu	S14
1	sL	Ls4	Ut3	Ut3	Ls4
mittel	L	Ls3	Ut3	Ut4	Ls3
1	lT	Lts	-	Tu4	Lts
schwer	Т	Tu2		Tu3	TI

¹⁾ Die Ziffern geben den Anteil der Nebenfraktionen an (1 = sehr gering)

Abkürzungen:

nach Bodenschätzung	nach Entstehungsart	nach DIN 4220
S: Sand S1: anlehmiger Sand IS: lehmiger Sand SL: stark sandiger Lehm sL: sandiger Lehm L: Lehm IT: lehmiger Ton T: Ton	Al : Alluvial D : Diluvial Lö : Löß V : Verwitterung	S: Sand Slu: schluffig-lehmiger Sand Sl: lehmiger Sand Ut: toniger Schluff Ls: sandiger Lehm Lts: tonig-sandiger Lehm Tl: lehmiger Ton Tu: schluffiger Ton

Rechenmodell für die Bodenfeuchte

Die aktuelle Bodenfeuchte ist von einer Vielzahl von Einflüssen abhängig (Abb. 11).

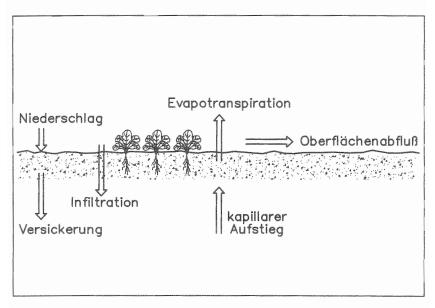


Abb. 11: Hauptkomponenten der Feuchtebewegung in der Bearbeitungszone (verändert nach AUGTER 1983)

Mit Hilfe der oben beschriebenen Ausgangsdaten Klima und Boden läßt sich der für die Bearbeitung relevante Feuchtegehalt der obersten Bodenschicht berechnen. Die Grundlage für das hier verwendete Modell liefert die Arbeit von BABEIR et al. (1986), die sich wiederum am Modell von DYER und BAIER (1979) orientiert. Es wird das pflanzenverfügbare Wasser in den beiden obersten Bodenschichten berechnet (Schicht 1: 0 - 10 cm Tiefe; Schicht 2: 10 - 60 cm Tiefe). Die Wasserbilanzgleichungen für das pflanzenverfügbare Wasser in den beiden Schichten lauten:

$$F10_i = F10_{i-1} + N_i - Vs1_i + Df_i - Ea_i - OW_i + OW_{i-1}$$
 (1)

$$F50_i = F50_{i-1} + Vs1_i - Df_i - Tr_i - Vs2_i$$
 (2)

Darin ist:

F1	0 :	pflanzenverfügbares Wasser in Schicht 1	[mm]
F5	0 :	pflanzenverfügbares Wasser in Schicht 2	[mm]
N	:	Tagesniederschlag	[mm]
Vs	1:	Wasser, das von Schicht 1 nach Schicht 2 versickert	[mm]
Df	:	Wasser, das zwischen den Schichten diffundiert	[mm]
Ea	:	Evapotranspiration aus Schicht 1	[mm]
O	W :	Oberflächenwasser	[mm]
Tr	:	Transpiration der in Schicht 2 wurzelnden Pflanzen	[mm]
Vs	2 :	Wasser, das aus Schicht 2 versickert	[mm]
i	:	aktueller Tag	

Die einzelnen in den Formeln verwendeten Größen lassen sich folgendermaßen errechnen:

Versickerung von Schicht 1 in Schicht 2 (Vs1):

Aus jeder Schicht versickert solange Wasser, bis der Bodenfeuchtegehalt gleich der Feldkapazität ist. Es gilt:

$$Vs1_i = (F10_{i-1} - FK10) \cdot VK$$
 (3)

Gültigkeitsbereich: $F10_{i-1} \ge FK10$, sonst gilt: $Vs1_i = 0$

Darin ist:

FK10: Feldkapazität der Schicht 1 [mm]

VK : Versickerungskoeffizient [-]

(nach DYER und BAIER 1979)

Diffusion zwischen den Schichten (Df):

Die Wassermenge und die Richtung, in der das Wasser zwischen Schicht 1 und Schicht 2 diffundiert, sind vom Wassergehalt und von der Feldkapazität beider Schichten abhängig:

$$Df_{i} = \left(\frac{F50_{i-1}}{FK50} - \frac{F10_{i-1}}{FK10}\right) \cdot DK \cdot FK10 \tag{4}$$

Darin ist:

DK : Diffusionskoeffizient [-] (nach DYER und BAIER 1979)

Evapotranspiration (Ea):

Die Evapotranspiration beinhaltet den Wasserverlust durch Verdunstung und Transpiration aus der Schicht 1. Neben der potentiellen Evapotranspiration werden die aktuelle Bodenfeuchte und das Abtrocknungsverhalten berücksichtigt:

$$Ea_{i} = \frac{Ep_{i} \cdot AF \cdot F10_{i}}{FK10} - Tr_{i}$$
 (5)

Darin ist:

Ep : potentielle Evapotranspiration [mm]

AF : Abtrocknungsfaktor [-]

(nach Dyer und BAIER 1979)

Die potentielle Evapotranspiration wird aus dem empirisch ermittelten HAUDE-Faktor, dem Sättigungsdampfdruck und der relativen Luftfeuchte nach folgender Formel berechnet:

$$Ep_i = HF_i \cdot E_i \cdot (1 - \frac{f_i}{100}) \tag{6}$$

Darin ist:

f

HF: Haude-Faktor (nach DIN 19685, 1977; in ACHTNICH 1980) [mm/hPa]

: Sättigungsdampfdruck [hPa] : relative Luftfeuchte um 14.00 Uhr MOZ

(nach HAUDE in ACHTNICH 1980)

[%]

Der Sättigungsdampfdruck läßt sich aus der Lufttemperatur berechnen:

$$E_i = k_1 \cdot e^{\frac{k_2 \cdot T_i}{(T_i + k_3)}}$$
 (7)

Gültigkeitsbereich: $0 \le T \le 100$ [°C]

Darin ist:

 k_1 : 6,107 [hPa] k₂: 17,26939 [-]

 k_3 : 237,3 [°C]

T: Lufttemperatur um 14.00 Uhr MOZ [°C]

(nach JANSSEN und SCHOEDDER 1980)

Oberflächenwasser (OW):

Das Oberflächenwasser des Tages i errechnet sich aus dem Tagesniederschlag abzüglich dem Wasser, das in Schicht 1 eindringt. Dabei kann die Schicht 1 solange Wasser aufnehmen bis sie gesättigt ist:

$$OW_i = N_i - (SW10 - F10_i)$$
 (8)

Gültigkeitsbereich: $(SW10 - F10_i) < Ni$, sonst gilt: $OW_i = 0$

Darin ist:

SW10 : Sättigungswassermenge der Schicht 1 [mm]

(nach AUGTER 1990a)

Transpiration der Schicht 2 (Tr):

Das Wasser, das die Pflanzen durch ihre Wurzeln aufnehmen und über oberirdische Pflanzenorgane an die Luft abgeben, ist als Transpiration der Schicht 2 definiert. Sie berechnet sich aus der aktuellen Bodenfeuchte, der potentiellen Evapotranspiration, der Feldkapazität des Bodens, einem Abtrocknungsfaktor und einem Pflanzenkoeffizient. Bei niedrigen Temperaturen nimmt die Aktivität der Pflanzen stark ab. Es wird davon ausgegangen, daß unter 5 °C keine Transpiration mehr stattfindet:

$$Tr_{i} = \frac{PK \cdot AF \cdot Ep_{i} \cdot F50_{i}}{FK50}$$
 (9)

Gültigkeitsbereich: T < 5 °C, sonst gilt: $Tr_i = 0$

Darin ist:

PK : Pflanzenkoeffizient [-] FK50 : Feldkapazität der Schicht 2 [mm]

(nach DYER und BAIER 1979 und AUGTER 1990a)

Versickerung aus Schicht 2 (Vs2):

Die Versickerung aus Schicht 2 wird mit der Versickerung aus Schicht 1 des Vortages gleichgesetzt, unter den Bedingungen, daß der aktuelle Gehalt an pflanzenverfügbarem Wasser der Schicht 2 (F50_i) größer oder gleich der Feldkapazität der Schicht 2 (FK50) ist und, daß die Versickerung aus Schicht 1 vom Vortag kleiner oder gleich der Differenz zwischen aktueller Feuchte der Schicht 2 (F50_i) und der Feldkapazität der Schicht 2 (FK50) ist:

$$Vs2_{i} = Vs1_{i-1}$$
 (10)

Gültigkeitsbereich: $Vs1_{i-1} \le F50_i$ und $F50_i \ge FK50$, sonst gilt: $Vs2_i = 0$ (nach Dyer und Baier 1979)

Um die Ursprungsformeln 1 und 2 mit Hilfe dieser Terme zu berechnen, ist die Durchführung einer Rekursion notwendig, da die aktuelle Feuchte (F10_i, bzw. F50_i) in den Formeln zur Berechnung der Evapotranspiration (Ea_i), des Oberflächenwassers (OW_i), der Transpiration (Tr_i) und der Versickerung aus der Schicht 2 (Vs2_i) benötigt wird. Zur Vereinfachung dieser Prozedur wurden Hilfsgrößen zum Berechnen der Bodenfeuchte der beiden Schichten eingeführt. Die Berechnung erfolgt in 2 Schritten, wobei zuerst ein "potentieller Feuchtegehalt" (pF10_i, bzw. pF50_i) ermittelt wird:

$$pF10_i = F10_{i-1} + N_i - Vs1_i + Df_i$$
 (11)

$$pF50_i = F50_{i-1} + Vs1_i - Df_i$$
 (12)

Darin ist:

pF10: potentielles, pflanzenverfügbares Wasser in Schicht 1 [mm] pF50: potentielles, pflanzenverfügbares Wasser in Schicht 2 [mm]

Der tatsächliche, aktuelle Feuchtegehalt (F10_i, bzw. F50_i) wird dann aus dem potentiellen Feuchtegehalt und den restlichen Faktoren errechnet:

$$F10_i = pF10_i - Ea_i - OW_i + OW_{i-1}$$
 (13)

$$F50_i = pF50_i - Tr_i - Vs2_i$$
 (14)

Der in den Gleichungen 5, 8, 9 und 10 zur Berechnung der einzelnen Faktoren benötigte aktuelle Feuchtegehalt (F10_i, bzw. F50_i) wird durch den potentiellen Feuchtegehalt (pF10_i, bzw. pF50_i) ersetzt. Folgende Gleichungen werden dementsprechend verändert:

Evapotranspiration (Ea):

$$Ea_i = \frac{Ep_i \cdot AF \cdot pF10_i}{FK10} - Tr_i \tag{15}$$

Oberflächenwasser (OW):

$$OW_i = N_i - (SW10 - pF10_i)$$
 (16)

Gültigkeitsbereich: $(SW10 - pF10_i) < N_i$, sonst gilt: $OW_i = 0$

Transpiration der Schicht 2 (Tr):

$$Tr_{i} = \frac{PK \cdot AF \cdot Ep_{i} \cdot pF50_{i}}{FK50} \tag{17}$$

Gültigkeitsbereich: $T_i > 5$ °C, sonst gilt: $Tr_i = 0$

Versickerung aus Schicht 2 (Vs2):

$$Vs2_i = Vs1_{i-1} \tag{18}$$

Gültigkeitsbereich: $Vs1_{i-1} \le pF50_i$ und $pF50_i \ge FK50$, sonst gilt: $Vs2_i = 0$

Im Modell wird Wasser, das durch kapillaren Aufstieg in Schicht 2 gelangt, nicht berücksichtigt. Es wird davon ausgegangen, daß gemüsebaulich genutzte Flächen ausreichend drainiert sind.

Beim Auftreten von Oberflächenwasser scheinen die vom Modell angegebenen Werte für die Feuchte der Schicht 1 am Tag des Niederschlags nicht dem tatsächlichen Wert zu entsprechen, da das auftretende Oberflächenwasser von der aktuellen Feuchte abgezogen und erst am darauffolgenden Tag wieder dazu addiert wird. Diese im Berechnungsmodell konstruierte, leicht verzögerte Aufnahme von Niederschlägen in den Boden ermöglicht eine wirklichkeitsgetreue Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Feuchte. Bei der Ermittlung der Eignung eines Tages als Feldarbeitstag wird daher auftretendes Oberflächenwasser zu der Feuchte 10 addiert, um eine Bearbeitbarkeit trotz auftretendem Bodenwasser zu negieren. In den Abbildungen 13, 14, 26, 29 und 43 ist der jeweilige Sättigungswassergehalt (Bodenklasse leicht: 45 mm, mittel: 45 mm, schwer: 40 mm) als durchgehende Horizontallinie hervorgehoben. Die Werte für den Feuchtegehalt der Schicht 1 für die Tage, die nach dem Auftreten von Ober-

flächenwasser folgen werden wieder korrekt angegeben.

Die verwendeten, bodenabhängigen Größen und Koeffizienten sowie deren Werte sind in Tabelle 8 dargestellt.

Tab. 8: Größen für die Berechnung des pflanzenverfügbaren Wassers (nach DYER 1980, DYER und BAIER 1979 und AUGTER 1990a)

Boden	FK10 [mm]	FK50 [mm]	SW10 [mm]	SW50 [mm]	VK [-]	AF [-]	DK [-]	PK [-]
leicht	15	80	45	205	0,95	1,67	0,2	0,1
mittel	25	125	45	205	0,80	1,43	0,2	0,1
schwer	25	125	40	185	0,70	1,25	0,2	0,1

FK10	:	Feldkapazität der Schicht 1	[mm]
FK50	:	Feldkapazität der Schicht 2	[mm]
SW10	:	Sättigungswassergehalt der Schicht 1	[mm]
SW50	:	Sättigungswassergehalt der Schicht 2	[mm]
VK	:	Versickerungskoeffizient	[-]
AF	:	Abtrocknungsfaktor	[-]
DK	:	Diffusionskoeffizient	[-]
PK	7	Pflanzenkoeffizient	[-]

Die einzelnen im Modell verwendeten Rechenschritte sind als Fließschema in Abbildung 12 veranschaulicht.

Wasser

Beispielhaft soll in Abbildung 13 für den Zeitraum vom 1. März bis 30. September die Tagessummen der Niederschläge und der Verlauf der Feuchte in der Schicht 1 (Feuchte 10) für die Klimaregion 5 (Test-Referenzjahr: Franken und nördliches Baden-Württemberg) bei schweren Böden gezeigt werden:

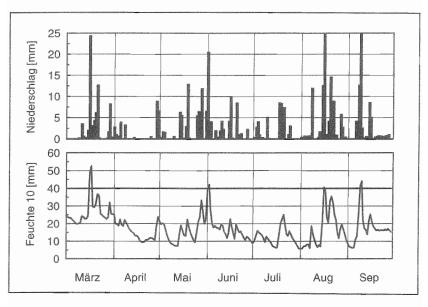


Abb. 13: Tagessummen der Niederschläge und Feuchtegehalt der Schicht 1 (Feuchte 10)

4.3.3.2 Berechnung der verfügbaren Feldarbeitstage

Zur Berechnung der verfügbaren Feldarbeitstage werden Angaben über die Feuchte in der Bearbeitungszone, die Bodenklasse und das verwendete Arbeitsgerät benötigt. Aus der Bodenklasse und den Einsatzgrenzen des Bearbeitungsgerätes ergeben sich die Ober- und Untergrenzen der Bodenfeuchte für die Bearbeitung.

Ausgangsdaten: Geräte

Im Modell stehen 3 Geräte zur mechanischen Unkrautregulierung wischen den Reihen zur Auswahl. Aufgrund der unterschiedlichen Einsatzgrenzen bezüglich des Bodenfeuchtegehaltes ergeben sich unterschiedlich große Witterungsfenster, in denen diese Geräte erfolgreich eingesetzt werden können:

- Gerät 1 ist gut auf trockenem Boden einsetzbar und reagiert auf feuchten Boden sensibel. Das entspricht den Einsatzprofilen der Reihenhacke und der Reihenfräse.
- Bei dem Gerät 2 ist der Einsatz auf trockenem Boden problematisch, während es feuchtem Boden gegenüber toleranter ist. Das entspricht dem Einsatzprofil der Reihenhackbürste.
- Gerät 3 ist ein optimiertes Gerät (Trennhacke), das die gute Toleranz gegenüber trockenen Böden von Gerät 1 (Reihenhacke) mit den guten Eigenschaften auf feuchten Böden von Gerät 2 (Reihenhackbürste) vereint.

Bestimmung der Bearbeitungsgrenzen

Die Bearbeitungsgrenzen für die verschiedenen Geräte sind vom Gerätetyp und von der Bodenart auf der die Geräte eingesetzt werden abhängig. In Tabelle 9 sind die Ober- und Untergrenzen des Feuchtegehalts der obersten Bodenschicht aufgeführt, innerhalb welcher die Geräte wirkungsvoll eingesetzt werden können. In Anlehnung an KTBL (1996) und AUGTER (1990b) wurde die Arbeitskategorie "Pflege" weiter differenziert, da sich die Einsatzgrenzen der einzelnen Geräte zum Teil stark unterscheiden und dies erheblichen Einfluß auf die Planung und den tatsächlichen Einsatz von Geräten zur mechanischen Unkrautregulierung hat.

Tab. 9: Ober- und Untergrenzen des pflanzenverfügbaren Wassers in der Bearbeitungszone (Feuchte 10) für die unterschiedlichen Unkrautregulierungsgeräte

	Obergrenze Feuchte 10 [mm]			Untergrenze Feuchte 10 [mm]		
Boden- klasse	Hacke/ Fräse	Bürste	Trenn- hacke	Hacke/ Fräse	Bürste	Trenn- hacke
leicht	10	15	15	0	0	0
mittel	17	22	22	5	8	5
schwer	16	21	21	8	11	8

Die in Tabelle 9 angegebenen Obergrenzen der Feuchte für die unterschiedlichen Unkrautregulierungsgeräte wurden in Anlehnung an die Obergrenzen für Feldarbeiten in AUGTER (1990a) festgelegt. Die Annahmen für die Untergrenzen der Feuchte beruhen auf Beobachtungen von WEBER (1992).

In Abbildung 14 werden beispielhaft der Feuchteverlauf von März bis September für die Klimaregion 5 auf schwerem Boden und die Einsatzgrenzen der Reihenhacke dargestellt. Die Summen der Tage innerhalb der Grenzen ergeben die für die Unkrautregulierung mit dem jeweiligen Gerät zur Verfügung stehenden Feldarbeitstage.

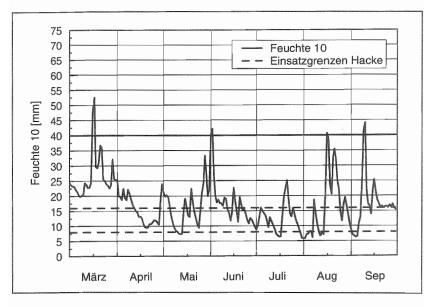


Abb. 14: Bodenfeuchte und Einsatzgrenzen am Beispiel der Klimaregion 5; Bodenklasse schwer und Bearbeitungsgerät Reihenhacke

Zu diesen Bearbeitungsgrenzen ist anzumerken, daß ein exaktes Festlegen von Grenzwerten nicht zwingend ist. Es gibt immer einen Bereich, bei dem die Bearbeitung nicht mehr ideal, aber eventuell noch sinnvoll ist. Beispielsweise kann es angebracht sein, einen noch nicht genügend abgetrockneten Boden zu bearbeiten, wenn die Witterung ansonsten überhaupt keine Bearbeitung zuläßt. Die angegebenen Grenzwerte sind also nur Richtwerte für eine Kalkulation, die sich bei mehr oder weniger bodenschonendem Geräteeinsatz nach oben oder unten verschieben können.

Rechenmodell für die verfügbaren Feldarbeitstage

Die für die mechanische Unkrautregulierung verfügbaren Feldarbeitstage lassen sich aus den Ober- und Untergrenzen der Geräte und aus dem Gehalt an pflanzenverfügbarem Wasser in der obersten Bodenschicht bestimmen. Die Berechnung wird für jeden Tag im Berechnungszeitraum durchgeführt. Ein Tag i ist für die Durchführung der mechanischen Unkrautregulierung geeignet, wenn:

$$F10_i < OG$$

und $F10_i > UG$
und $OW_i = 0$
und $T_i > -2 °C$.

Dabei ist:

F10 : pflanzenverfügbares Wasser in Schicht 1 [mm]

OG : Obergrenze für Feuchte 10 bei einer Bearbeitung

(abhängig von der Bodenklasse und dem Gerät) [mm]

UG: Untergrenze für Feuchte 10 bei einer Bearbeitung

(abhängig von der Bodenklasse und dem Gerät) [mm]

OW: Oberflächenwasser [mm]

T : Temperatur um 14.00 MOZ [°C]

Die Bedingung, daß kein Oberflächenwasser vorhanden sein darf, wurde eingeführt, weil das Berechnungsmodell den Feuchtegehalt der Schicht 1 beim Auftreten von Oberflächenwasser nicht wirklichkeitsgetreu angibt (siehe Kap 4.3.3.1). Ist an einem Tag soviel Niederschlag gefallen, daß Oberflächenwasser auftritt, wird davon ausgegangen, daß eine Bearbeitung des Bodens nicht möglich ist.

Liegt die Temperatur um 14.00 Uhr MOZ unter - 2 $^{\circ}$ C, so kann davon ausgegangen werden, daß der Boden gefroren ist und eine Unkrautregulierung somit weder möglich noch notwendig ist.

Das folgende Struktogramm (Abb. 15) veranschaulicht den Entscheidungsprozeß zur Bestimmung der verfügbaren Feldarbeitstage.

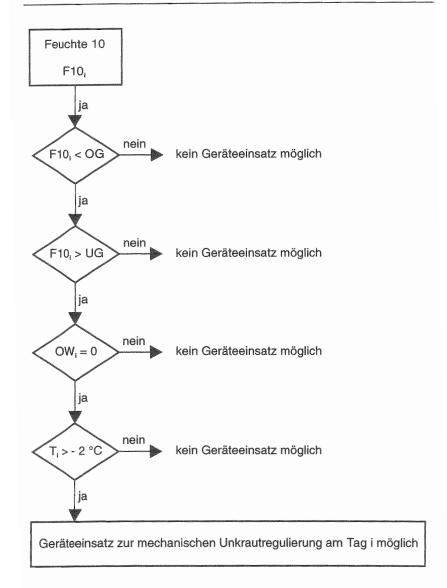


Abb. 15: Entscheidungsprozeß bei der Bestimmung der verfügbaren Feldarbeitstage für die mechanische Unkrautregulierung

4.3.3.3 Beschreibung der Rahmenbedingungen für die Berechnung der verfügbaren Feldarbeitstage

Das unter 4.3.2 vorgestellte Rechenmodell liefert die Grundlage für ein Simulationsprogramm, mit der die zur mechanischen Unkrautregulierung zur Verfügung stehenden Tage, abhängig von den Variablen Klimagebiet, Bodenart und Gerät, für die Zeit von Anfang März bis Ende September berechnet werden können.

Das Programm enthält die Klimadaten der entsprechenden Klimagebiete, das Berechnungsmodell für den Tageswert des Gehaltes an pflanzenverfügbarem Wasser in der oberen Bodenschicht und außerdem alle boden- und gerätespezifischen Variablen.

Berechnungszeitraum

Die Berechnung der verfügbaren Feldarbeitstage soll für die Zeit, in der das Unkraut reguliert werden soll, möglich sein. Dieser Zeitraum erstreckt sich in Deutschland von März bis September (siehe Kap. 5.1.2.1). Die Simulation benötigt eine gewisse Zeit zum einschwingen, deshalb beginnt die Berechnung des Wassergehaltes schon ab Anfang Februar. Für den ersten Berechnungstag i sind folgende Randbedingungen vorgegeben:

$$F10_{i-1} = FK10$$

und $F50_{i-1} = FK50$

Dabei ist:

F10 : pflanzenverfügbares Wasser in der Schicht 1 [mm]
F50 : pflanzenverfügbares Wasser in der Schicht 2 [mm]
FK10 : Feldkapazität der Schicht 1 [mm]
FK50 : Feldkapazität der Schicht 2 [mm]

Die Überprüfung aller Tage auf ihre Tauglichkeit für die mechanische Unkrautregulierung beginnt am 1. März und endet am 30. September.

Variable Faktoren

Um die Anpassung des Modells an verschiedene Umweltbedingungen zu ermöglichen, ist es notwendig, verschiedene Variablen einzuführen. Folgende Variablen können verändert werden:

- die Klimadaten.
- die Bodenart,
- das jeweilige Gerät.

Klima: Im Modul Klimadaten kann zwischen den verschiedenen Klimaregionen ausgewählt werden. Für die Simulation wurden folgende, für den Bereich Gemüsebau relevanten Klimaregionen ausgewählt:

- Franken und nördliches Baden-Württemberg (Klimaregion 5) als Klimaregion mit geringen Niederschlägen.
- Bodensee mit Umgebung (Klimaregion 12) als Klimaregion mit hohen Niederschlägen.

Für die Kalkulation der witterungsbedingten Einsatzgrenzen wurden die Klimaregion 5 (Franken und nördliches Baden-Württemberg) als trockene Klimaregion, und die Klimaregion 12 (Bodensee mit Umgebung) als feuchte Klimaregion ausgewählt.

<u>Boden</u>: Im Modul Boden ist eine Auswahl zwischen den 3 Bodenklassen leicht, mittel und schwer möglich (siehe Kap. 4.3.3.1). Die Kalkulation wurde mit den Bodenklassen leicht und schwer durchgeführt.

<u>Gerät</u>: Die Ermittlung der zur Verfügung stehenden Arbeitstage wurde für den Einsatz der Reihenhacke bzw.-fräse, der Reihenhackbürste und der Trennhacke (Kap. 4.3.3.2) vorgenommen.

Simulationsablauf

Die Berechnung der verfügbaren Feldarbeitstage mit Hilfe des Simulationsprogrammes läuft in 3 Schritten ab (Abb. 16):

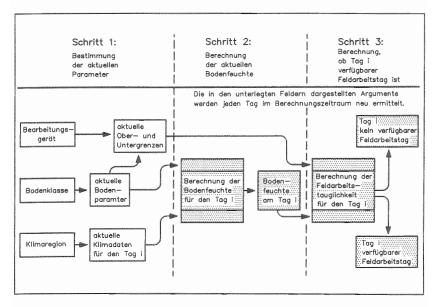


Abb. 16: Übersicht über den Simulationsablauf zur Berechnung der verfügbaren Feldarbeitstage

Zunächst werden entsprechend der eingegebenen Variablen die jeweils aktuellen Parameter bestimmt. Im zweiten Schritt wird die Feuchte 10 für den ersten Tag berechnet. Im dritten Schritt wird dann ermittelt, ob dieser Tag für die mechanische Unkrautregulierung geeignet ist oder nicht. Die Schritte 2 und 3 werden für jeden Tag im Berechnungszeitraum von Anfang Februar bis Ende September wiederholt.

Die aktuellen Parameter, die für die Berechnung der Bodenfeuchte und der möglichen Feldarbeitstage notwendig sind, werden aus den Datengrundlagen für die jeweils aktuellen Variablen Klimaregion, Bodenklasse und Bearbeitungsgerät ausgewählt.

4.3.4 Kostenkalkulation

Ein gerätetechnischer Optimierungsansatz läßt aufgrund eines eventuell höheren technischen Aufwandes Mehrkosten gegenüber den bisher eingesetzten Geräten erwarten. Deshalb ist eine ökonomische Bewertung notwendig. Für eine abschließende Bewertung werden die entstandenen Kosten der in Kapitel 6.1 durchgeführten Varianten ermittelt und miteinander verglichen.

Die Kosten für die Kalkulationsbeispiele der Standardvariante (Hacke/Bürste/Fräse) und der optimierten Variante (Trennhacke) werden nach KTBL (1994 und 1996) berechnet. Die Kosten setzen sich aus den fixen und variablen Kosten der Maschinen und der Geräte und den Arbeitskraftkosten aus der Dauer der Arbeitsgänge und der Anzahl und Entlohnung der Arbeitskräfte zusammen.

Die jährlichen Einsatzkosten pro Gerät errechnen sich nach:

$$K_{Jahr} = K_{FG} + K_{VG} \cdot A + (K_S + K_{AKh}) \cdot t_A \tag{19}$$

Darin ist:

t۵

K_{Ishr}: jährliche Einsatzkosten pro Gerät [DM] K_{FG}: Fixkosten Gerät [DM] Kvg : variable Kosten Gerät [DM/ha] Α : jährliche Einsatzfläche [ha] K_s: Schlepperkosten [DM/h] KAKh: Kosten für die Arbeitskraft [DM/AKh] Zeit für die Bearbeitung der jährlichen Einsatzfläche

h

4.3.4.1 Fixkosten

Die Fixkosten pro Jahr errechnen sich aus der linearen Abschreibung des Anschaffungspreises auf die Nutzungsdauer und einem Zinsanspruch in Höhe von 8 % des halben Anschaffungspreises. Falls Versicherungskosten anfallen (z.B. Pflegeschlepper) werden diese aufaddiert. Unterbringungskosten werden nicht berücksichtigt:

$$K_F = \frac{I_G}{D_M} + I_G \cdot 0.04$$
 (20)

Darin ist:

 K_F : Fixkosten (Gerät, Schlepper) [DM] I_G : Investitionskosten für das Gerät [DM] D_N : Nutzungsdauer nach Zeit [a]

Die Investitionskosten werden nach KTBL (1994 und 1996) und den Angaben von KESSLER (1996) festgelegt. Für die Reihenhackbürste wird von einem Anschaffungspreis von 8.000 DM (KESSLER 1996) ausgegangen. Für die Reihenhacke beträgt der angenommene Anschaffungspreis 5.900 DM (KESSLER 1996) und für die Reihenfräse 7.500 DM (KTBL 1996). Für das optimierte Gerät wird für die Kalkulation von einem Anschaffungspreis von 21.400 DM ausgegangen. Dabei wird angenommen, daß ein optimiertes Gerät, das die Vorzüge der herkömmlichen Geräte in sich vereint aufgrund des höheren technischen Aufwandes soviel kostet, wie die drei herkömmlichen Geräte zusammen. Als Pflegeschlepper wird ein Geräteträger mit einer Motorleistung von 30-45 kW angenommen. Der Anschaffungspreis liegt nach KTBL (1996) bei 70.000 DM.

Die Nutzungsdauer nach Zeit dient der Berechnung der jährlichen Abschreibung und drückt die voraussichtliche Lebensdauer eines Gerätes in Jahren aus. Die Abschreibungszeiträume werden nach KTBL (1994 und 1996) festgelegt; sie liegen im Bereich der Pflegegeräte zwischen 8 und 12 Jahren. Für den Vergleich der Varianten wurde von einer Nutzungsdauer von 10 Jahren für alle Geräte ausgegangen. Für den Pflegeschlepper beträgt der Abschreibungszeitraum 12 Jahre.

Der Zinsansatz für das eingesetzte Kapital beträgt nach KTBL (1996) für alle Geräte und den Pflegeschlepper 8 % des halben Anschaffungspreises.

Für den Pflegeschlepper (**Geräteträger**; 30 - 45 kW) mit einem Anschaffungspreis von 70.000 DM und einer Nutzungsdauer von 12 Jahren ergeben sich demnach folgende Fixkosten pro Jahr (nach KTBL 1996):

jährliche Abschreibungen	5.833 DM
Zinsansatz von 8 % des halben Anschaffungspreises	+ 2.800 DM
Versicherungskosten	+ 229 DM
	= 8.862 DM

Bei einer jährlichen Einsatzzeit von 800 h betragen die festen Kosten pro Stunde: 8.862 DM/a: 800 h/a = 11 DM/h

4.3.4.2 Variable Kosten

Die veränderlichen Kosten in DM/ha oder DM/h setzen sich aus den Reparatur- und Betriebsstoffkosten, dem Verschleiß, den Gesamteinsatzflächen und den Gesamteinsatzzeiten zusammen. Hinzu kommen noch die Anzahl und die Entlohnung der eingesetzten Arbeitskräfte.

Für die Berechnung der variablen Kosten wurde von folgenden Annahmen ausgegangen:

Schlepper: Fixe Kosten pro Stunde	11,00 DM/h
Veränderliche Kosten (KTBL 1996)	+ 7.94 DM/h
Betriebsstundenkosten	= 18,94 DM/h

Arbeitskosten: Die Kosten für eine Arbeitsstunde betragen nach Kessler (1996) und nach der Befragung zwischen 10 DM/AKh für Arbeiten, die nur eine geringe oder gar keine Qualifikation der Arbeitskraft erfordern, und 25 DM/AKh für gelernte und

hochqualifizierte Arbeitskräfte. Die Berechnung der Arbeitskosten für den Schlepperfahrer erfolgt auf den Betrieben nach den Sätzen der Maschinenringe, die über den tariflichen Löhnen (KTBL 1996) liegen. Da der optimale Einsatz von Geräten zur mechanischen Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen eine entsprechende Qualifikation benötigt, wird für die Berechnung von einem Kostenansatz von 18 DM/AKh (KURATORIUM BAYERISCHER MASCHINEN- UND BETRIEBSHILFSRINGE 1995) ausgegangen. Für die Berechnung der Kosten für die Handhacke wird nach KTBL (1996) und nach Angaben aus der Befragung von 10 DM/AKh ausgegangen.

Die variablen Kosten für die **Reihenhackbürste** betragen nach KTBL (1994) bei einer Nutzungsdauer nach Leistung von 1500 ha 3,48 DM/ha. Diese sind nach KESSLER (1996) völlig unterbewertet, da unter schwierigen Bodenbedingungen alle 60 ha der Bürstensatz à 1.200 DM erneuert werden muß. Daher ergeben sich als variable Kosten für die Reihenhackbürste 20 DM/ha. Dieser Wert wird in der Kalkulation angenommen.

Für die **Reihenhacke** werden nach KTBL (1996) die variable Kosten mit 3,60 DM/ha angesetzt.

Die variablen Kosten für die **Reihenfräse** werden nach KTBL (1996) mit 11,80 DM/ha angesetzt.

Für die Trennhacke werden aufgrund des höheren technischen Aufwandes ebenso hohe variablen Kosten wie bei der Reihenhackbürste, also 20 DM/ha angenommen.

Die Werte für die Dauer eines Arbeitsganges werden aus den Flächengrößen und der Flächenleistung der Geräte errechnet. Die Daten zu Fahrgeschwindigkeiten und Flächenleistung werden aus KTBL (1994 und 1996) und KESSLER (1996) entnommen.

5 Datenerhebung zur mechanischen Unkrautregulierung in der Praxis - Ergebnisse und Schlußfolgerungen -

Es wurden für die Befragung 54 Betriebe aus dem ökologischen Gemüsebau ausgewählt (Kap. 4.2.1). Dabei wurde zwischen gärtnerischem Freilandgemüsebau und Feldgemüsebau unterschieden. Die Einteilung in diese beiden Bereiche ist aufgrund ihrer unterschiedlichen Betriebsbedingungen und Wirtschaftsweisen, vor allem was den Vergleich der verschiedenen Unkrautregulierungsmaßnahmen betrifft, sinnvoll.

5.1 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Befragung gliedern sich in die Abschnitte Betriebsdaten, Verfahrenstechnik und Kosten. Alle aufgeführten Angaben sind Aussagen der jeweiligen Betriebsleiter.

5.1.1 Retriebsdaten

Zu den Betriebsdaten zählen die Standortbedingungen, die Flächengrößen, die Anzahl der Arbeitskräfte und der Gerätebesatz der Betriebe. Diese Daten haben erheblichen Einfluß auf das Unkrautmanagement der Betriebe.

5.1.1.1 Standortbedingungen

Es wurden die Standortbedingungen erfragt, die einen Einfluß auf die Unkrautregulierung haben. Dazu gehören bei den befragten Betrieben die klimatischen Bedingungen, die Bodenbeschaffenheit und die Art der Unkräuter.

Klimatische Bedingungen

Als nachteilig im Bezug auf die Unkrautregulierung wurden vor allem hohe Jahresniederschläge und geringe Jahresdurchschnittstemperaturen genannt. Unter kühlen Bedingungen wachsen nach Aussagen der Betriebsleiter die Unkräuter besser als die Kulturpflanzen. Bei gleichzeitig hohen Jahresniederschlägen sind die Böden oft nicht befahrbar.

Bodenbeschaffenheit

Es wurden überwiegend Punkte genannt, die die Bearbeitbarkeit der Böden vor allem negativ beeinflussen. Mit zunehmender Schwere der Bodenbearbeitbarkeit wird auch die Unkrautregulierung erheblich erschwert. Besonders häufig wurden Flächen mit undurchlässigem Untergrund, nasse Böden mit geringer Tragfähigkeit und steinige Böden oder Flächen mit Fremdkörpern genannt. Weitere Angaben waren schwere und inhomogene Böden. Verdichtung und andere Strukturschäden wurden bei einem Drittel der befragten Betriebe als Standortprobleme angegeben. Diese Schäden traten jedoch nie im ganzen Betrieb auf, sondern lediglich auf einzelnen Flächen oder punktuell. Sichtbar wurden sie vor allem durch verstärkten Distelbewuchs auf den verdichteten Flächen bzw. Teilflächen. Als Ursachen wurden Befahren des Bodens im feuchten Zustand, falsche Bearbeitung des Bodens oder im Feldgemüsebau ein zu hoher Hackfruchtanteil genannt.

Art der Unkräuter

In allen befragten Betrieben kamen spartenübergreifend in etwa die gleichen Unkräuter vor, so daß sie hier zusammengefaßt dargestellt werden. Kennzeichnend für die humosen Böden war der in der Regel wesentlich höhere Unkrautdruck. Als Hauptunkräuter wurden in den meisten Fällen *Galinsoga parviflora* Cav. (Franzosenkraut), *Stellaria media* (L.) Vill. (Vogelmiere), und *Agropyron repens* (L.) P. Beauv. (Quekke) genannt. Nach dem Problem-Zeitpunkt bzw. Zeitraum ihres Auftretens lassen sich die Unkräuter in verschiedene Gruppen zusammenfassen:

- ganzjährige Unkräuter: Agropyron repens (L.) P. Beauv.(Quecke), Stellaria media (L.) Vill. (Vogelmiere), Galingsoga parviflora Cav. (Franzosenkraut), Cirsium arvense (L.) Scop. (Ackerdistel), Sonchus oleraceus L. (Kohlgänsedistel), Rumex acetosa L. (Ampfer), Atriplex L. - f. (Melde-Arten), Galium aparine L. (Klettenlabkraut), Senecio vulgaris L. (Kreuzkraut), Urtica dioica L. (Brennessel), Urtica urens L. (kleine Brennessel), Symphytum officinale L. (Beinwell), Taraxacum officinale Web. (Löwenzahn), Alopecurus agrestis L. (Ackerfuchsschwanz),

Echinocloa crus-galli (L.) P. Beauv. (Hühnerhirse), Poa trivialis L. (Rispengras), Apera spica-venti (L.) P. Beauv. (Windhalm), Equisetum arvense L. (Schachtelhalm), Ranunculus repens L. (Hahnenfuß), Capsella bursa-pastoris (L.) Medic. (Hirtentäschel), Polygonum L. - f. (Knöterich-Arten), Veronica L. - f. (Ehrenpreis), Anthemis arvensis L. (Hundskammille), Chamomilla recutita (L.) Rauschert (Echte Kamille), Mentha piperita L. (Pfefferminze),

- <u>im Frühjahr</u>: Stellaria media (L.) Vill. (Vogelmiere), Veronica L. f. (Ehrenpreis), Thlapsi arvense L. (Ackerhellerkraut), Galeopsis ladanum L. (Ackerhohlzahn),
- ab Mai/Juni: Galingsoga parviflora Cav. (Franzosenkraut), Echinochloa crus-galli
 (L.) P. Beauv. (Hühnerhirse), Atriplex L. f. (Melde), Veronica L. f. (Ehrenpreis),
 Thlapsi arvense L. (Ackerhellerkraut), Polygonum L. f. (Knöterich-Arten),
 Amaranthus retroflexus L. (Amaranth), Viola tricolor L. (Ackerstiefmütterchen),
 Chamomilla recutita (EchteKamille),
- im Sommer: Galingsoga parviflora Cav. (Franzosenkraut), Capsella bursa-pastoris
 (L.) Medic. (Hirtentäschel), Sonchus oleraceus L. (Kohlgänsedistel), Amaranthus retroflexus L. (Amarant), Senecio vulgaris L. (Kreuzkraut), Solanum nigrum L. (schwarzer Nachtschatten),
- <u>im Herbst</u>: Stellaria media (L.) Vill. (Vogelmiere), Veronica L. f. (Ehrenpreis), Lamium album L. und Lamium purpureum L. (Taubnessel).

Zusätzlich zu den Standortbedingungen Klima, Boden und Unkraut wurden als für die Unkrautregulierung ungünstige Standortbedingungen kleine Schlaggrößen, die zu niedrigen Flächenleistungen führen und Hanglagen, auf denen vor allem die Führung der Geräte entlang der Kulturpflanzenreihen erschwert wird, angegeben.

5.1.1.2 Flächengröße und Anzahl der Arbeitskräfte

Die gärtnerischen Freilandgemüsebaubetriebe und die Feldgemüsebaubetriebe können nach der Größe der Gemüseanbaufläche in verschiedene Sparten unterteilt werden. Der Arbeitskräftebesatz der Betriebe hängt von der Betriebsform, der Betriebsgröße, der größe der Gemüseanbaufläche, dem Umfang des Kultursortiments und von dem Absatzweg der Produkte ab.

Vor allem die Größe der Gemüseanbaufläche wirkt sich auf die Anzahl der festangestellten Arbeitskräfte und den Gerätebesatz und damit auch auf das Unkrautmanagement aus (Abb. 17).

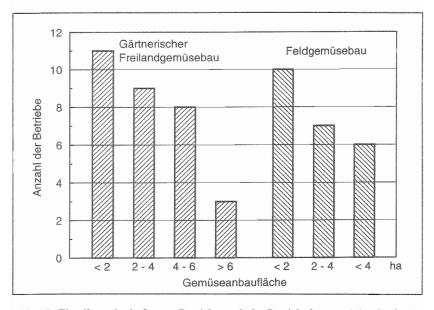


Abb. 17: Einteilung der befragten Betriebe nach der Betriebsform und der Größe der Gemüseanbaufläche

In den gärtnerischen Freilandgemüsebaubetrieben arbeiten je nach Größe der Anbaufläche 1,5 bis 27 festangestellte Arbeitskräfte (AK) (Tab. 10). Bis zu einer Größe der Anbaufläche von ca. 4 ha der steigt Besatz an festangestellten Arbeitskräften

proportional zu der Flächengröße; dabei bearbeitet eine Arbeitskraft eine Fläche von ca. 1 ha oder weniger. Ab mehr als 4 ha Gemüseanbaufläche sinkt der Arbeitskräftebesatz pro Hektar auf etwa 0,25 bis maximal 0,9 AK/ha. Im Durchschnitt beträgt der flächenbezogene Arbeitskräftebesatz 0,5 - 1 AK/ha.

Tab. 10: Arbeitskräftebesatz (festangestellt) der Betriebe mit gärtnerischem Freilandgemüsebau

Betriebsgröße [ha]	0,78 - 4,5	2,3 - 4	4,2 - 6	17 - 30
Anbaufläche [ha]	< 2	2 - 4	4 - 6	> 6
AK-Besatz [AK]	1,5 - 2	2 - 5	1,5 - 3	5,6 - 27

Zum Arbeitskräftebesatz im Feldgemüsebau können keine eindeutigen Angaben gemacht werden, da eine Betriebsgröße von bis zu 100 ha, mit 17 ha Gemüseanbaufläche, im Feldgemüsebau zum Teil von nur einer Arbeitskraft bearbeitet wird (Tab. 11).

Tab. 11: Arbeitskräftebesatz (festangestellt) der Betriebe mit Feldgemüsebau

Betriebsgröße [ha]	4 - 54	10 - 75	28 - 200
Anbaufläche [ha]	< 2	2 - 4	> 4
AK-Besatz [AK]	1 - 3	1 - 4	1 - 2,5

Der Arbeitskräftebesatz der Betriebe mit Feldgemüsebau liegt mit 1 - 4 Arbeitskräften pro Betrieb deutlich unter dem der Betriebe mit gärtnerischem Freilandgemüsebau. Mit zunehmender Größe der Gemüseanbaufläche wie auch der Betriebsgröße steigt im Feldgemüsebau der Arbeitskräftebesatz bis zu einer Gemüseanbaufläche von 2 - 4 ha. Mit weiter zunehmender Größe der Gemüseanbaufläche und der Betriebe nimmt der Arbeitskräftebesatz ab. Der Arbeitskräftebesatz im gärtnerische Freilandgemüsebau ist durch die höhere Belegung der Flächen und durch kürzere Kulturzeiten höher als im

Feldgemüsebau.

Eine weitere Einflußgröße auf den Arbeitskräftebesatz ist der Umfang des Kultursortimentes und der Absatzweg. Bei einer Gemüseanbaufläche bis zu 4 ha liegt bei beiden Betriebsformen der Anteil des Direktabsatzes im Privatverkauf bei 100 %. Je höher der Direktabsatz im Privatverkauf und je umfangreicher gleichzeitig das Kultursortiment ist, desto mehr Arbeitskräfte sind erforderlich. Dieses begründet auch den höheren Arbeitskräftebesatz dieser Betriebe. Die Betriebe mit über 4 ha Gemüseanbaufläche vermarkten maximal 20 % ihrer Ware im Direktabsatz.

Zusätzlich zu dem in den Tabellen 10 und 11 aufgeführten Besatz an festen Arbeitskräften werden bei allen Betriebsformen und -größen Saisonarbeitskräfte eingestellt (siehe Kap. 5.1.2.5). Der Beschäftigungszeitraum der Saisonarbeitskräfte beginnt im Mai und endet im September bzw. Oktober, abhängig vom Einsatzbereich. Die Saisonarbeitskräfte werden hauptsächlich zur Unkrautregulierung mit der Hand eingesetzt. Weitere Einsatzbereiche sind die Ernte und die Warenaufbereitung für den Direktabsatz. Zusätzlich zu den bereits genannten Einflußgrößen nehmen auch die jeweilige Infrastruktur, der Stundenlohn, die Betriebsführung und die Einstellung des Betriebsleiters Einfluß auf die Anzahl der eingestellten Saisonarbeitskräfte.

5.1.1.3 Gerätebesatz der Betriebe

Für die Unkrautregulierung zwischen den Reihen sind in den befragten Betrieben überwiegend Reihenhacken, Reihenhackbürsten und Reihenfräsen im Einsatz (Tab. 12).

Tab. 12: Art und Anzahl der eingesetzten Geräte zur Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen

	Gärtnerischer Freilandgemüsebau				Feldgemüsebau		
	< 2 ha (11)	2 - 4 ha (9)	4 - 6 ha (8)	> 6 ha (3)	< 2 ha (10)	2 - 4 ha (7)	> 4 ha (6)
Hacken	6	6	6	1+2·2	9	3+2-2	2+2·2 +2·3
Bürsten	1	4	3	1	1	2	5
Fräsen	0	1	3	1	3	1	0

^() Anzahl der Betriebe in der entsprechenden Sparte

Von allen befragten Betrieben sind insgesamt 92,6 % mit einer Reihenhacke ausgerüstet. Reihenhackbürsten sind im Durchschnitt in 31,5 % der Betriebe vorhanden, wobei mit zunehmender Größe der Gemüseanbaufläche dieser Anteil tendenziell steigt. Beim Einsatz von Fräsen zur Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen unterscheidet sich der gärtnerische Freilandgemüsebau vom Feldgemüsebau. Bei den Betrieben mit gärtnerischem Freilandgemüsebau sind zu 16,1 % und im Feldgemüsebau zu 17,4 % Reihenfräsen vertreten. Im gärtnerischen Freilandgemüsebau werden jedoch zusätzlich auf 38,7 % der Betriebe Einachs-Fräsen zur Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen eingesetzt.

Bei einem Vergleich des gärtnerischen Freilandgemüsebaues mit dem Feldgemüsebau ist erkennbar, daß der Mechanisierungsgrad der Feldgemüsebaubetriebe bei allen Betriebsgrößen höher liegt (Abb. 18).

^{3+2·2} Drei Betriebe besitzen das Gerät einmal und zwei Betriebe besitzen es zweimal

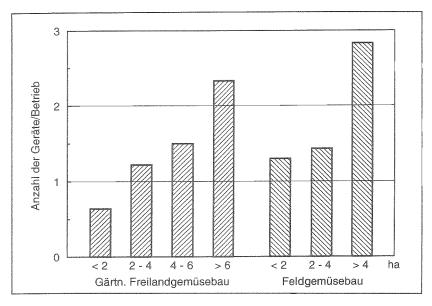


Abb. 18: Durchschnittliche Anzahl der Geräte zur Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen in Abhängigkeit von der Größe der Gemüseanbaufläche

Bei den befragten Betrieben mit weniger als 2 ha Gemüseanbaufläche besitzen die Feldgemüsebaubetriebe einen rund 50 % höheren, bei den Betrieben mit 2 - 4 ha Gemüseanbaufläche einen fast 15 % höheren und bei den Betrieben mit mehr als 4 ha Gemüseanbaufläche einen durchschnittlich 33 % höheren Gerätebesatz als die gärtnerischen Freilandgemüsebaubetriebe.

Dort, wo vor allem in Beetanbauweise produziert wird, haben die Geräte in der Regel eine Arbeitsbreite von 1,2 - 1,5 m. Erfolgt der Anbau nicht beetweise, schwankt die Gerätebreite zwischen 1,3 - 3 m.

In der Regel besitzen die Betriebe als Pflegeschlepper einen Geräteträger, so daß alle Geräte im Zwischenachsanbau betrieben werden. Im Gegensatz zum Heckanbau kann dadurch auf eine zusätzliche Arbeitskraft für die Feinsteuerung verzichtet werden.

Die Hacken und Fräsen werden in allen Gemüsekulturen eingesetzt, während die Hackbürste überwiegend in Säkulturen angewendet wird.

5.1.2 Verfahrenstechnik

Die Angaben zur Verfahrenstechnik gliedern sich in Angaben zum Geräteeinsatz, zum Regulierungserfolg, zu Fahrgeschwindigkeit und Flächenleistung, zum Handarbeitszeitaufwand und zu den Einsatzgrenzen der Geräte.

5.1.2.1 Geräteeinsatz

Einsatzzeitraum

Die Geräte zur mechanischen Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen werden im gärtnerischen Freilandgemüsebau von März/April bis Oktober und im Feldgemüsebau von April/Mai bis September eingesetzt; die Haupteinsatzzeit liegt im Mai bis Juni/Juli. Der Zeitraum, in dem die Unkrautregulierungsmaßnahmen durchgeführt werden, ist gebunden an die angebauten Kulturen, die Anzahl der Sätze und die Standzeiten allgemein. In der Regel finden ab der Aussaat bzw. 2 bis 3 Wochen nach der Pflanzung der Kultur bis zur Bodenbedeckung, also bis zum Bestandsschluß, was meist ca. 3 bis 4 Wochen vor der Ernte der Fall ist, die Unkrautregulierungsmaßnahmen statt.

Einsatzkriterien

Das wichtigste Einsatzkriterium für alle Betriebsleiter ist die Befahrbarkeit und Bearbeitbarkeit des Bodens. Im gärtnerischen Freilandgemüsebau gaben 90 % und im Feldgemüsebau 100 % an, den Boden nur im trockenen bzw. abgetrockneten Zustand zu befahren. Ein trockener Boden ist nach der Erfahrung der Betriebsleiter vor allem beim Einsatz der Hacken für den Regulierungserfolg entscheidend. 10 % der Betriebe mit gärtnerischem Freilandgemüsebau führen die mechanischen Unkrautregulierungsmaßnahmen auf leicht feuchtem Boden durch, wobei hier vor allem Bürsten und

Fräsen eingesetzt werden.

Dadurch, daß die Befahrbarkeit und Bearbeitbarkeit des Bodens in erster Linie von der Witterung abhängig ist, sehen alle Betriebsleiter in der Wahl des richtigen Einsatzzeitpunktes, der den größtmöglichen Regulierungserfolg garantiert, ein Problem. So stehen sie oft in dem Konflikt zwischen bodenschonender Regulierung auf abgetrockneten Böden und der Regulierung in einem möglichst kleinen Unkrautstadium. Vor allem auf Standorten mit schweren Böden fällt diese Entscheidung schwer, da der Boden meist lange braucht, um abzutrocknen und in dieser Zeit das Unkraut wachsen und zu groß für eine wirksame Bekämpfung werden kann. Diese Probleme treten auch in Betrieben mit sehr inhomogenen Böden auf, bei denen zudem die Wahl des bestmöglichen Unkrautregulierungsgerätes für die jeweiligen Betriebsbedingungen erschwert ist. In allen befragten Betrieben versuchen die Betriebsleiter immer, möglichst früh mit der Unkrautregulierung zu beginnen. Der Einsatzbeginn verschiebt sich jedoch häufig aufgrund nasser Witterung, der Bodenbeschaffenheit, aus Zeitmangel oder je nach Größe der Kultur.

Bei optimaler Witterung richtet sich der Einsatzbeginn nach der Größe und der Anzahl der bereits aufgelaufenen Unkräuter, wobei zu der Anzahl keine konkreten Angaben vorhanden sind. In beiden Betriebsformen wird angestrebt, die Unkräuter vor dem 2-Blattstadium zu bekämpfen, wobei 80,1 % der Betriebe mit gärtnerischem Freilandgemüsebau und 87 % der Betriebe mit Feldgemüsebau angeben, dieses Ziel zu erreichen. Die übrigen Betriebe fangen mit der Unkrautregulierung erst ab einer Unkrautgröße zwischen dem 2- und 4-Blattstadium an. Die Regulierung ist in der Regel jedoch nicht auf ein bestimmtes Unkrautstadium festgelegt, sondern erfaßt meist mehrere Stadien und wird teilweise aus Gründen des Zeitmangels und wegen ungünstiger Witterung nach dem 4-Blattstadium noch durchgeführt. Einheitlich wurde angegeben, daß ab dem 4-Blattstadium der Unkrautregulierungserfolg wesentlich geringer wird und hier, wenn überhaupt, nur der Einsatz der Fräse noch sinnvoll ist. Die Hacken werden, wenn möglich, vor dem 2-Blattstadium angewandt, um den größtmöglichen Erfolg erzielen zu können. Im 2- bis 4-Blattstadium kommen vor allem die Bürsten, aber auch noch die Hacken zum Einsatz.

Im Gegensatz zu den Pflanzkulturen spielt bei den Säkulturen auch die Kulturgröße im Hinblick auf den Einsatzbeginn eine Rolle. Bei 83,9 % der gärtnerischen Freilandgemüsebaubetriebe und bei 95,7 % der Feldgemüsebaubetriebe findet eine Regulierung im Vorauflauf statt. Nach dem Auflaufen der Kultur beginnt die Unkrautregulierung meist bei einer Kulturgröße zwischen dem 2- und 4-Blattstadium. 13 % der Betriebe mit gärtnerischem Freilandgemüsebau und ca. 40 % der Feldgemüsebaubetriebe fangen jedoch bereits vor dem 2-Blattstadium, also ab dem Keimblattstadium, mit der Regulierung an. Nach Meinung der Betriebsleiter ist die Größe der Kulturpflanze nach dem Auflaufen nur im Hinblick auf die Gefahr, daß die Kulturpflanzen verschüttet werden von Bedeutung.

Reihenfolge und Häufigkeit der Einsätze

Die Reihenfolge des Geräteeinsatzes ist unterschiedlich und ist abhängig von den vorhandenen Geräten im Betrieb und den angebauten Kulturen, die in Sä- und Pflanzkulturen unterteilt werden.

Als erste Maßnahme bei Säkulturen wird in beiden Betriebsformen im Vorauflauf abgeflammt, wobei der Einsatz in der Regel nach der Saat unmittelbar vor dem Auflaufen der Kultur erfolgt.

Bei 13 % der Betriebe mit gärtnerischem Freilandgemüsebau wird zweimal abgeflammt; das erste Mal unmittelbar vor der Saat und das zweite Mal unmittelbar bevor
die Kultur aufläuft. Nach den Abflammgeräten wird in der Regel als erstes Gerät zur
mechanischen Unkrautregulierung zwischen den Reihen die Hackbürste eingesetzt, da
damit dicht an der Kulturreihe gearbeitet werden kann, ohne daß Kulturschäden
entstehen. Nach der Reihenhackbürste wird die Reihenhacke eingesetzt. Die Reihenfräsen werden meist nur in Ausnahmefällen, wenn der Einsatz der Hacke nicht möglich ist, verwendet. Die typische Einsatzreihenfolge bei Säkulturen im gärtnerischen
Freilandgemüsebau ist einmal abflammen, ein- bis dreimal bürsten und/oder ein- bis
dreimal hacken oder fräsen. Wird nicht vor Auflauf der Kultur abgeflammt, werden
lediglich die Bürste und die Hacke zur Unkrautregulierung eingesetzt.

Die Einsatzreihenfolge der Unkrautregulierungsgeräte bei Säkulturen im Feldgemüsebau ist vergleichbar mit der im gärtnerischen Freilandgemüsebau. Auch hier wird nach dem Abflammen entweder die Bürste, die Hacke oder auch die Fräse eingesetzt. Nach dem Auflaufen der Kultur wird als erste und zweite Maßnahme häufig der Striegel eingesetzt. Ohne vorheriges Abflammen wird nach dem Auflaufen der Kultur meist zuerst die Hacke eingesetzt und in manchen Kulturen (Möhren, Lauch) anschließend abwechselnd gehäufelt und gehackt.

Bei gepflanzten Kulturen wird sowohl im gärtnerischen Freilandgemüsebau als auch im Feldgemüsebau in erster Linie gehackt. Wenn die Möglichkeit besteht, wird zudem noch die Bürste vor der Hacke verwendet. Ihr Einsatz ist meist abhängig von der Witterung und vom Bodenzustand. In einigen Betrieben wechseln Bürste und Hacke im Einsatz. Der kombinierte Einsatz ist nach Angaben der Betriebsleiter der entsprechenden Betriebe sehr erfolgreich, was an der guten gegenseitigen Ergänzung der beiden Geräte liegt. In einigen wenigen Fällen wird an Stelle der Hacke auch gefräst.

Die Häufigkeit des Maschineneinsatzes pro Kultur bzw. pro Jahr, schwankt zwischen den Betrieben. Die Anzahl ist besonders stark von der angebauten Kultur abhängig, aber auch der Unkrautdruck und die Witterung spielen eine Rolle.

Die Anzahl der Durchgänge je Kultur mit den Unkrautregulierungsgeräten ist im gärtnerischen Freilandgemüsebau und im Feldgemüsebau sehr unterschiedlich (Abb. 19). Zu beachten ist hierbei, daß es sich bei den Angaben immer um Streubereiche handelt.

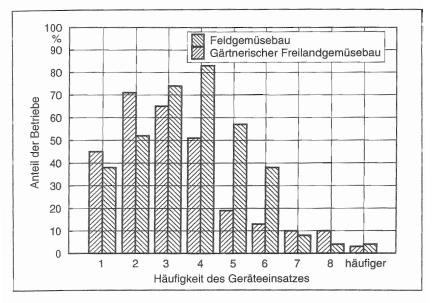


Abb. 19: Einsatzhäufigkeit der Unkrautregulierungsgeräte

Es wurden die Durchschnittswerte der Einsatzhäufigkeit pro Kultur angegeben. Die durchschnittliche Häufigkeit des Geräteeinsatzes zur mechanischen Unkrautregulierung liegt im gärtnerischen Freilandgemüsebau bei 1 bis 4 Durchgängen pro Kultur und im Feldgemüsebau bei 2 bis 6 Durchgängen. Das bedeutet, daß im Feldgemüsebau die durchschnittliche Einsatzhäufigkeit der Unkrautregulierungsgeräte höher liegt als im gärtnerischen Freilandgemüsebau.

Nicht berücksichtigt wird hier die kulturabhängige Häufigkeit des Geräteeinsatzes. So werden in Salat, Rettich und Radieschen die Geräte nur einmal pro Kultur eingesetzt; bei Salat auch zweimal. Bei Kohlrabi und den restlichen Kohlgewächsen werden 2 bis maximal 4 Gerätedurchgänge pro Kultur durchgeführt. Bei Zwiebeln wird in der Regel drei- bis fünfmal, in Ausnahmefällen auch bis zu sechsmal, mit Geräten durchgefahren. Die Angaben für Möhren und Porree schwanken je nach Betrieb z.T. erheblich. Bei diesen beiden Kulturen liegt die Häufigkeit der Geräteeinsätze pro Kultur zwischen mindestens 3 bis 4 und maximal 7 bis 8. In der Regel erfolgen jedoch 4 bis 6

Gerätedurchgänge.

Im Durchschnitt werden die Geräte in den Pflanzkulturen ein- bis dreimal pro Kultur eingesetzt und in den Säkulturen drei- bis sechsmal.

Die Einsatzhäufigkeit der Geräte steigt mit zunehmender Betriebsgröße. Während die gärtnerischen Freilandgemüsebaubetriebe mit weniger als 2 ha und mit 2 -4 ha Gemüseanbaufläche durchschnittlich zwei- bis dreimal pro Kultur ihre Unkrautregulierungsgeräte einsetzen, steigt die Anzahl der Durchgänge auf zwei- bis fünfmal bei den Betrieben mit 4 - 6 ha und mit mehr als 6 ha Gemüseanbaufläche. Im Vergleich dazu liegt die durchschnittliche Einsatzhäufigkeit der Unkrautregulierungsgeräte pro Kultur bei den Feldgemüsebaubetrieben höher: Betriebe mit weniger als 2 ha Gemüseanbaufläche 3 bis 4, Betriebe mit 2 - 4 ha Gemüseanbaufläche 3 bis 5 und Betriebe mit mehr als 4 ha Gemüseanbaufläche 3 bis 6 Gerätedurchgänge pro Kultur durch.

5.1.2.2 Einsatzgrenzen

Begrenzungen und Probleme beim Einsatz der Geräte zur mechanischen Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen treten in allen befragten Betrieben auf.

Als allgemeines Problem wurde von den Befragten immer nasse Witterung genannt, die beim Einsatz der Unkrautregulierungsgeräte oft erhebliche Schwierigkeiten verursacht und vielfach die Ursache für weitere Unkrautprobleme ist:

Auf schweren Böden muß nach nasser Witterung länger gewartet werden, bis der Boden abgetrocknet und wieder befahrbar ist, ohne daß Verdichtung entstehen. Währenddessen wächst das Unkraut weiter und kann teilweise sogar aussamen. Zu große Unkräuter begrenzen den Einsatz der Geräte. Die Schare, Bürsten oder Fräsmesser verstopfen; dadurch wird Erde aufgeschoben, die die Kulturpflanzen verschüttet oder mechanisch schädigt. Die Betriebsleiter müssen hier zwischen Bodenschonung oder notwendiger Unkrautregulierung entscheiden.

Als weitere witterungsbedingte Begrenzung wurden Einsatzschwierigkeiten auf zu trockenen, schweren Böden genannt. Die Unkrautregulierungsgeräte können nicht richtig in den Boden eindringen und aufgeworfene Erdschollen können die Kulturpflanzen schädigen.

Als Nachteil der Reihenhacken nannten die Betriebsleiter oft die ungenaue Tiefenführung und ungleichmäßige Bearbeitung bei Bodenunebenheiten. Als Problem beim Einsatz der Fräse wurde die Möglichkeit einer Vermehrung von Wurzelunkräutern durch das Teilen der Wurzelstöcke aufgeführt. Nachteilig an der Bürste fanden die Betriebsleiter, daß sie nur auf gut abgetrockneten Flächen eingesetzt werden kann, da die Borsten beim Einsatz auf nassen Böden mit Erde verkleben und verstopfen.

Daraus resultiert für alle Befragten das Problem, den richtigen Zeitpunkt für den Einsatz der Unkrautregulierungsgeräte zu finden, um einen optimalen Erfolg erzielen zu können. Die Auswahl der richtigen Geräte bei den jeweiligen Gegebenheiten wurde, vor allem auf inhomogenen Standorten, als schwierig bezeichnet.

Kulturbedingte Probleme treten allgemein bei Langzeitkulturen und vor allem bei Säkulturen auf, die aufgrund ihrer langsamen Entwicklung bei den ersten Geräteeinsätzen beschädigt werden können. Daher gehen die Betriebe verstärkt dazu über, bei geeigneten Kulturen statt der Aussaat Jungpflanzen zu verwenden.

Mangel an Zeit und Arbeitskräften ist nach Aussage der Befragten eine weitere Begrenzung bei der Unkrautregulierung. Oft ist der Arbeitskräftebesatz in den Betrieben so gering, daß termingebundene Arbeiten wie Pflanzen oder Ernte vorrangig erledigt werden müssen. Dies hat zur Folge, daß die Unkrautregulierung zu spät durchgeführt wird.

5.1.2.3 Regulierungserfolg

Der Anteil des durch eine Unkrautregulierungsmaßnahme reduzierten Unkrautbestandes im Vergleich zu vorher wird von den Befragten als Regulierungserfolg definiert (Abb. 20).

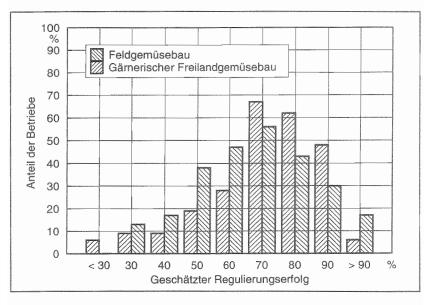


Abb. 20: Geschätzter Erfolg der Unkrautregulierung nach Angaben der Befragten

Für alle Befragten war es schwierig, den Regulierungserfolg der Geräte genau festzulegen, da er nicht gemessen, sondern immer nur geschätzt wurde. Der geschätzte durchschnittliche Regulierungserfolg liegt im gärtnerischen Freilandgemüsebau bei etwa 70 - 90 %. Der Erfolg im Feldgemüsebau wurde geringer eingeschätzt und liegt im Durchschnitt bei 60 - 80 %. Es ist hierbei keine Abweichung der Durchschnittswerte in Abhängigkeit von der Betriebsgröße erkennbar.

Ein erreichter Regulierungserfolg von 70 - 80 % wird von den meisten Befragten als zufriedenstellend bezeichnet. Liegt unter ungünstigen Bedingungen der Erfolg jedoch

bei 30 % oder weniger, wird die Wirtschaftlichkeit der Kultur aufgrund des höheren Arbeitsaufwandes in Frage gestellt. Bei einem Erfolg von nur 10 - 20 % entscheiden manche Betriebsleiter, die Kultur umzubrechen und die Fläche neu zu bestellen. Die Angaben zum Regulierungserfolg unter 40 % waren immer mit dem Zusatz "unter ungünstigen Bedingungen" versehen.

Der durchschnittliche Regulierungserfolg der einzelnen Unkrautregulierungsgeräte unter optimalen Bedingungen wurde für die Hacken mit 80 % und für die Bürsten und Fräsen mit ca. 90 % angegeben.

Der Regulierungserfolg schwankt nach Angaben der Befragten auch in Abhängigkeit von der Kultur. So liegt in Kulturen mit langen Standzeiten, wie Säkulturen, der durchschnittliche Erfolg bei etwa 60 - 70 %, während in kurzen Pflanzkulturen ein 80 - 90 %iger Erfolg angegeben wurde.

Weiterhin wurden Schwankungen des Regulierungserfolges in Abhängigkeit von der Jahreszeit genannt. Im Frühjahr liegt, nach Angabe der Betriebsleiter, der Erfolg um ca. 20 % bis 40 % höher als im Sommer, wo nur noch Erfolge von 40 - 50 % erzielt werden.

5.1.2.4 Fahrgeschwindigkeit und Flächenleistung

Bei den Angaben zu Fahrgeschwindigkeit und Flächenleistung handelt es sich meist um Schätzwerte. Zur besseren Vergleichbarkeit werden die Rüstzeiten nicht berücksichtigt. Letztere sind von Betrieb zu Betrieb sehr unterschiedlich und schwanken mit dem Geräte- und Schlepperbesatz und den Entfernungen der Flächen vom Betrieb.

Bei den Angaben zu Fahrgeschwindigkeit und Flächenleistung traten große Spannweiten auf (Tab. 13).

102

Tab. 13: Angaben zu Fahrgeschwindigkeit und Flächenleistung der Unkrautregulierungsgeräte

Geräte	Fahrgeschwindigkeit [km/h]	Flächenleistung [ha/h]	
Reihenhacke	3 - 8 (1 - 20)	0,2 - 0,5 (0,06 - 1)	
Reihenhackbürste	2 - 4 (2 - 8)	0,2 - 0,3 (0,01 - 0,5)	
Reihenfräse	4 - 6 (2 - 10)	0,5 - 0,7 (0,2 - 1,0)	

() Minima und Maxima bei den Angaben

Die Schwankungen sind nach Angaben der Befragten abhängig von der Schlaggröße und Beetlänge, von der Bodenart und dem Bodenzustand und von den Kulturpflanzen. Betriebe mit großen Schlägen gaben meist höhere Flächenleistungen an als Betriebe mit kleinen Schlaggrößen.

Bei der Fahrgeschwindigkeit spielt die Größe und die Stabilität der Kultur und der Reihenabstand eine Rolle. In Säkulturen, wie z.B. Möhren, wird langsamer gefahren als z.B. in Lauch und Zuckermais. Je größer der Reihenabstand ist desto schneller kann gefahren werden.

5.1.2.5 Handarbeitszeitaufwand

Der Handarbeitsaufwand für die Unkrautregulierung in den befragten Betrieben schwankt zwischen den Angaben "erheblich mehr Arbeitskraftstunden, doch keine Neueinstellungen nötig" und "es müssen Saisonarbeitskräfte eingestellt werden" (Abb. 21).

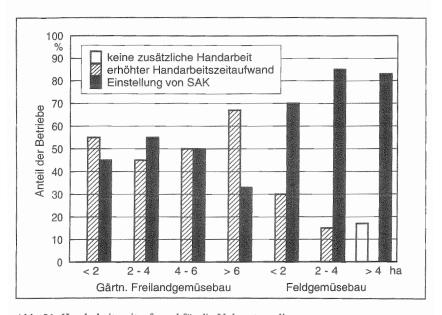


Abb. 21: Handarbeitszeitaufwand für die Unkrautregulierung

Bei ca. 48 % der Betriebe mit gärtnerischem Freilandgemüsebau müssen zusätzliche Saisonarbeitskräfte (SAK) zur Unkrautregulierung eingestellt werden, während die anderen 52 % zwar einen wesentlich höheren Arbeitsaufwand durch die Unkrautregulierung haben, aber keine zusätzlichen Arbeitskräfte einstellen.

Trotz des höheren Gerätebesatzes und des häufigeren Geräteeinsatzes werden im Feldgemüsebau bei ca. 78 % der Betriebe Saisonarbeitskräfte zur Unkrautregulierung eingestellt, da der durchschnittliche Besatz an festangestellten Arbeitskräften geringer

ist. Die restlichen Betriebe haben zu 17,6 % einen höheren Arbeitszeitaufwand, doch keine Neueinstellungen; 4,4 % der Befragten gaben an, keinen erhöhten Handarbeitszeitaufwand durch die Unkrautregulierung zu haben. Die Betriebe mit einem höheren Arbeitszeitbedarf, aber ohne zusätzliche Einstellungen von Saisonarbeitskräften, bewältigen ihre Arbeit durch Überstunden und die Einbeziehung von Familienangehörigen.

Die Angaben zur Arbeitszeit der Saisonarbeitskräfte schwankt zwischen 5 und 80 Stunden pro Woche bei einem Beschäftigungszeitraum zwischen zwei und fünf Monaten. Die Hauptbeschäftigungsmonate sind Mai, Juni, Juli und im Einzelfall auch noch August und September. Die Arbeitskraftstunden der Saisonarbeitskräfte variiert zwischen 100 und 1500 Stunden pro Jahr (entspricht ca. 30 - 500 h/ha a im Durchschnitt), wobei im gärtnerischen Freilandgemüsebau maximal 1000 SAKh/Jahr eingesetzt werden. Insgesamt steigt der Arbeitszeitaufwand mit der Größe der Gemüseanbaufläche.

5.1.3 Kosten

Die Kosten für die Unkrautregulierung lassen sich grob in fixe und variable Maschinenkosten und in Arbeitskosten unterteilen.

5.1.3.1 Maschinenkosten

Die Fixkosten für die Unkrautregulierungsgeräte werden von den Befragten im Vergleich zu den variablen Kosten geringer eingeschätzt. Da der Arbeitszeitbedarf in der Regel hoch ist, werden die Arbeitskraftkosten im Vergleich zu den Maschinenkosten als "wesentlich höher" bis "sehr hoch" bewertet. Die Maschinenkosten erscheinen vor allem in den kleineren Betrieben nicht in der Buchführung, so daß es sich meist um Schätzwerte handelt.

Im gärtnerischen Freilandgemüsebau lagen die Investitionskosten bei den befragten

Betrieben zwischen 900 DM und 6.000 DM. Die Investitionskosten nehmen mit steigender Betriebsgröße und steigendem Gerätebesatz zu. Kleinere Betriebe kaufen mehr gebrauchte Geräte, so daß für alle Geräte zusammen Investitionskosten um durchschnittlich 3.000 DM entstehen. Die Abschreibungen für die Unkrautregulierungsgeräte sind daher relativ gering und zum Teil sind die Geräte bereits abgeschrieben. Demgegenüber reicht die Bandbreite der jährlichen Reparaturkosten von gering (ab ca. 100 DM/a) bis hoch (bis 1000 DM/a); letzteres vor allem in Betrieben mit sehr alten Geräten oder in Betrieben mit einem hohen Geräteverschleiß aufgrund steiniger Böden. Die Betriebsmittelkosten wurden allgemein als gering eingestuft.

Die Abschreibungen liegen im Feldgemüsebau vereinzelt höher als im gärtnerischen Freilandgemüsebau; so gab ein Betriebsleiter mit 2 - 4 ha Gemüseanbaufläche 4.000 - 5.000 DM pro Jahr an. Insgesamt werden jedoch wie im gärtnerischen Freilandgemüsebau vor allem bei kleineren Betrieben überwiegend gebrauchte Geräte gekauft, so daß die Abschreibungskosten nicht allzu stark ins Gewicht fallen. Die Betriebe unter 2 ha Gemüseanbaufläche gaben vor allem Betriebsmittel- und Reparaturkosten an, wobei weitere konkrete Angaben nicht gemacht wurden. Es zeigte sich, daß die höheren und steigenden Investitionskosten in erster Linie mit dem zunehmenden Gerätebesatz bei steigender Betriebsgröße zusammenhängen.

Die jährlichen Maschinenkosten im Feldgemüsebau sind vergleichbar mit den jährlichen Maschinenkosten im gärtnerischen Freilandgemüsebau. Sie schwanken in den Feldgemüsebaubetrieben zwischen 1.500 DM/a (< 2 ha Gemüseanbaufläche) und 15.000 DM/a (> 4 ha Gemüseanbaufläche) und bei den gärtnerischen Freilandgemüsebaubetrieben zwischen 2.800 DM/a (< 2 ha) und 15.000 DM/a (4 - 6 ha).

Die Kosten für die Schlepper, wie Investitionskosten, Abschreibungen, Reparaturen und Einsatzkosten liegen nach Angaben der Befragten weit über den Gerätekosten. Es wurden Abschreibungskosten von bis zu 5.000 DM pro Jahr und Reparaturkosten von bis zu 3.000 - 4.000 DM pro Jahr genannt. In kleinen Betrieben mit gärtnerischem Freilandgemüsebau werden überwiegend gebrauchte Schlepper gekauft; hier sind die Abschreibungskosten geringer. Zur Berechnung der Einsatzkosten für einen Schlepper mit Fahrer und Unkrautregulierungsgerät verwenden sowohl die Betriebe mit gärtneri-

schem Freilandgemüsebau als auch die Betriebe mit Feldgemüsebau meist Maschinenringsätze, die zwischen 40 und 60 DM pro Stunde liegen.

Insgesamt schätzten die Betriebsleiter den Anteil der Maschinenkosten auf 20 bis 40 % der Arbeitskraftkosten.

5.1.3.2 Arbeitskosten

Die Arbeitskraftkosten setzen sich aus den Lohnkosten für die festangestellten Arbeitskräfte und für die Saisonarbeitskräfte zusammen. Für eine festangestellte Arbeitskraft werden Löhne zwischen 16 und 25 DM/AKh und für eine Saisonarbeitskraft meist 10 oder 12 DM/AKh, in Ausnahmefällen bis maximal 20 DM/AKh, bezahlt. Die Angaben für die gesamten Arbeitskraftkosten für die Unkrautregulierung pro Jahr liegen in allen Betrieben mit weniger als 2 ha Gemüseanbaufläche um etwa 5.000 DM. In größeren Betrieben steigen die Arbeitskraftkosten um ein Vielfaches; so gab ein befragter Betriebsleiter eines Feldgemüsebaubetriebes mit mehr als 4 ha Gemüseanbaufläche Arbeitskraftkosten von insgesamt 160.000 DM pro Jahr an. Davon entfallen nach seinen Angaben ca. 40 %, also 60.000 - 70.000 DM pro Jahr, auf die Unkrautregulierung. Demgegenüber betragen in diesem Fall die gesamten Maschinenkosten nur 20 % dieser Arbeitskraftkosten.

5.2 Schlußfolgerungen

Die Ergebnisse und Angaben aus der Befragung bestätigen und ergänzen größtenteils die Angaben in der Literatur. Die großen Abweichungen zwischen den Betrieben lassen auf ein sehr komplexes System mit vielen verschiedenen Einflußfaktoren schließen, die sich standort- und betriebsspezifisch sehr stark unterscheiden können. Deshalb werden im folgenden die Ergebnisse der Befragung anhand des Gesamtsystems dargestellt und die Handlungsspielräume bei der geräte- und verfahrenstechnischen Optimierung aufgezeigt. Anhand der Ergebnisse wird die Einsatzstrategie für die Geräte bei der Anwendung des in Kapitel 4.3 beschriebenen Modells zur Be-

wertung eines optimierten Gerätekonzeptes festgelegt.

5.2.1 Darstellung des Systems "Mechanische Unkrautregulierung"

Aus den Ergebnissen der Befragung und dem Stand des Wissens aus der Literatur, lassen sich die Rahmenbedingungen bei der mechanischen Unkrautregulierung zu einem Gesamtsystem zusammenfügen (Abb. 22).

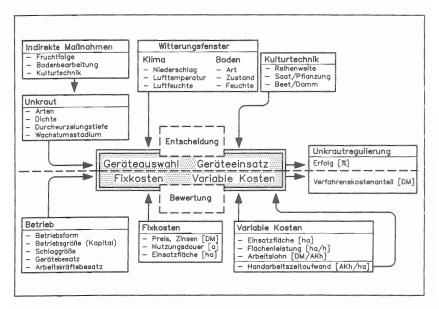


Abb. 22: Schematische Darstellung des Systems "Mechanische Unkrautregulierung"

Es besteht aus verschiedenen, sich gegenseitig beeinflussenden Komponenten:

Indirekte Maßnahmen zur Unkrautregulierung werden genutzt, um den Unkrautdruck auf den Flächen zu verringern, wobei die Wirkung dieser Maßnahmen nicht gezielt zu planen ist (ESTLER 1991); sie werden jedoch vor der Kultur oder kulturbegleitend eingesetzt.

Mechanische Unkrautregulierung wird in den unterschiedlichsten Betriebsformen und -größen angewendet. Bei den Geräten zur mechanischen Unkrautregulierung herrschen vor allem Hacken, Bürsten und Fräsen vor. Die Größe der Betriebe beeinflußt die Anzahl der vorhandenen Geräte. Mit zunehmender Größe der Betriebe nimmt der Mechanisierungsgrad zu. Betriebe mit einer Gemüseanbaufläche unter 2 ha besitzen meist nur Reihenhacken, obwohl diese in der Befragung und in der Literatur (GEYER et al. 1991, WALTER 1994) im Bezug auf die Regulierungswirkung verglichen mit der Reihenhackbürste oder der Reihenfräse als schlechter bezeichnet werden. Dies kann daran liegen, daß Reihenhacken im Anschaffungspreis niedriger sind (KTBL 1994 und 1996) und eine höhere Schlagkraft besitzen. Hacke, Bürste und Fräse zusammen besitzen meist nur Betriebe mit einer Gemüseanbaufläche von mehr als 4 ha. Diese Betriebe verfügen über ein größeres Kapital und mit dem Einsatz auf größeren Flächen sinkt der flächenbezogene Fixkostenanteil und somit steigt die Wirtschaftlichkeit der Geräte. Demnach wird vermutet, daß größere Betriebe mit mehr Geräten kostengünstiger Unkraut regulieren können als kleine Betriebe. Wenn einem Betrieb mehrere unterschiedliche Unkrautregulierungsgeräte zur Verfügung stehen, ist er zudem in der Lage, sich den jeweiligen Bedürfnissen der Kultur, dem Unkrautdruck und den Standortbedingungen besser anzupassen. Als Tendenz ist erkennbar, daß die Maschinenkosten pro Jahr insgesamt mit einem zunehmenden Gerätebesatz steigen. Diese werden zusätzlich durch niedrige Fahrgeschwindigkeiten und dadurch niedrige Flächenleistungen erhöht.

Der Regulierungserfolg wird unter optimalen Einsatzbedingungen als gut bis sehr gut angegeben, wobei vor allem bei großen Unkräutern die Fräse als wirkungsvollstes Gerät bezeichnet wird. Diese Aussagen stimmen auch mit den von GEYER et al. (1991) in Versuchen gewonnenen Ergebnissen überein. Bei ungünstigen Witterungs- und Bodenverhältnissen kann der Regulierungserfolg vermindert werden oder der Geräteeinsatz verhindert werden. Allgemein haben alle Geräte vor allem unter zu feuchten, und z.T. auch unter zu trockenen Bodenverhältnissen Schwierigkeiten beim Einsatz. Zu der Empfindlichkeit der Geräte gegenüber feuchten Bedingungen sind die Angaben in der Befragung widersprüchlich, während die Aussagen zu der Wirksamkeit der Geräte unter feuchten oder trockenen Bedingungen in der Literatur (GEYER et al. 1991, KRESS 1987a,b, WEBER 1992) weitgehend einheitlich sind.

Die variablen Kosten der mechanischen Unkrautregulierung dominieren die Gesamtkosten. Sie hängen vor allem von der Einsatzfläche, der Flächenleistung der Geräte, dem Handarbeitszeitaufwand und dem Arbeitslohn ab. In der Regel zeigte sich bei der Befragung, daß die Kosten der Geräte geringer sind als die Arbeitskraftkosten. Bei den Angaben zu der Flächenleistung der Geräte existieren in der Literatur ebenso wie in der Befragung sehr große Bandbreiten. Die am häufigsten genannten Angaben aus der Befragung decken sich jedoch weitgehend mit dem Durchschnitt der Angaben aus GEYER et al. (1991), KTBL (1994 und 1996) und KESSLER (1996).

Das Entfernen nicht regulierter oder zu großer, nicht mehr bekämpfbarer Unkräuter geschieht mit der Handhacke. Dies bedeutet einen höheren Handarbeitszeitaufwand, zusätzlich zu der Handhacke zur Unkrautregulierung in den Kulturpflanzenreihen, und somit höhere variable Kosten. Die Angaben zum Handarbeitszeitaufwand bei der Befragung stimmen nicht mit den Angaben zu den Arbeitskosten überein. Die genannten Kosten für die Handarbeit lassen auf einen wesentlich höheren Arbeitsaufwand schließen und stimmen mit den Angaben zum Arbeitszeitaufwand für die Handhacke von KTBL (1994) und KESSLER (1996) überein. Ein sicherer Regulierungserfolg ist unter diesem Gesichtspunkt besonders wichtig.

Die Einsatzplanung stellt aufgrund der großen Abhängigkeit der Verfahren von der Witterung und den Bodenbedingungen für die Betriebsleiter das größte Problem dar. Dies wird auch von AUST (1987), LINDNER (1987) und SCHULZ (1987) so dargestellt. Der Regulierungserfolg in hohem Maße von der Fähigkeit des Betriebsleiters ab, den richtigen Einsatzzeitpunkt der Unkrautregulierungsgeräte, der einen optimalen Erfolg garantiert, zu treffen.

Die wichtigsten Einflußfaktoren auf die Durchführbarkeit und den Erfolg der Unkrautregulierungsmaßnahmen, wie sie sich aus der Befragung und dem Stand des Wissens ergeben, sind:

Das Klima und der Bodenzustand: die Feuchte der zu bearbeitenden Bodenschicht bestimmt, abhängig von der Bodenart und dem Funktionsprinzip des Gerätes, ob ein Gerät eingesetzt werden kann und wie stark die Wirkung des

Gerätes eingeschränkt wird. Das Klima und der Bodenzustand bestimmen somit das Witterungsfenster, in dem ein Gerät zur Unkrautregulierung eingesetzt werden kann.

- Die Unkräuter: der Erfolg einer Regulierungsmaßnahme hängt vom Wachstumsstadium der Unkräuter ab. Große, tief verwurzelte Unkräuter werden selbst unter optimalen Bedingungen nicht mehr ausreichend reguliert.
- Die Geräte: die Einsatzgrenzen eines Gerätes werden von dem Funktionsprinzip und den äußeren Bedingungen bestimmt. Ob Unkräuter in verschiedenen Wachstumsstadien unter feuchten oder trockenen Bedingungen reguliert werden können, hängt von den Werkzeugen und somit von der Art und Weise ab, wie das Gerät die Unkräuter bekämpft.

Diese Einflußfaktoren sind die Ursache für die Probleme der mechanischen Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen. Daraus ergeben sich die Handlungsspielräume für die geräte- und verfahrenstechnische Optimierung.

5.2.2 Darstellung der Handlungsspielräume bei der geräte- und verfahrenstechnischen Optimierung

Für die Optimierung der mechanischen Unkrautregulierung bieten sich für die Regulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen die im folgenden dargestellten Handlungsspielräume.

5.2.2.1 Sicherstellung der Regulierungswirkung

Die Regulierungswirkung der Geräte kann nur unter den für das jeweilige Gerät optimalen Bedingungen sichergestellt werden. Durch die geringe Flächenleistung und enge Witterungsfenster kann es dazu kommen, daß die Unkräuter so groß werden, daß sie nicht mehr ausreichend reguliert werden können. Die Reihenhacke kann große Unkräuter nicht verschütten und deren Wurzeln nicht enterden; die Reihenhackbürste kann tiefer und fester verwurzelte Unkräuter nicht mehr herausbürsten. Daher muß die Regulierungswirkung, auch bei großen Unkräutern, unter unterschiedlichsten Bedin-

gungen sichergestellt werden. Dadurch können Arbeitsspitzen vermieden und die Einsatzplanung erleichtert werden, da die Unkrautregulierung auch zu einem späteren Zeitpunkt, oder insgesamt mit weniger Durchgängen durchgeführt werden kann. Zusätzlich können der Handarbeitszeitaufwand für die manuelle Entfernung nichtregulierter Unkräuter vermindert und die Arbeitskosten gesenkt werden.

5.2.2.2 Erhöhung der Flächenleistung

Die Flächenleistung der Geräte ist zu gering. Die Fahrgeschwindigkeit wird durch die Führung entlang der Kulturpflanzenreihen und, z.B. bei der Reihenhackbürste, durch das Arbeitsprinzip der Geräte begrenzt. Dies führt zum einen zu hohen Arbeitskosten und zum anderen dazu, daß zum Teil in der zur Verfügung stehenden Zeit die zu bearbeitende Fläche nicht vollständig bewältigt werden kann. Aus diesen Gründen muß die Flächenleistung der Geräte erhöht werden. Dadurch könnten zum einen die Arbeitskosten gesenkt werden und zu anderen wäre ein Gerät mit einer hohen Flächenleistung eher in der Lage, die zu bearbeitende Fläche in der oft knappen Zeit vollständig zu bearbeiten.

Die Flächenleistung hängt im allgemeinen von der Arbeitsbreite der Geräte, der Fahrgeschwindigkeit und von der Größe und Form der Schläge und der Vorgewende ab. Eine Erhöhung der Flächenleistung führt zu niedrigeren variablen Kosten und somit insgesamt zu einer Senkung der Verfahrenskosten.

Die Erhöhung der Flächenleistung durch größere Arbeitsbreiten der Geräte setzt einen großflächigen Anbau mit gleichen Gemüsearten und Sätzen auf mehreren Beeten nebeneinander voraus. Die Sä- und Pflanztechnik muß dabei auf die gleichen Arbeitsbreiten abgestimmt werden, damit alle Kulturpflanzenreihen innerhalb der Gerätearbeitsbreite parallel laufen um eine befriedigende Führung entlang der Reihen zu gewährleisten. Im Feldgemüsebau herrscht jedoch der kleinflächige beetweise Anbau, bei dem verschieden Kulturen und Sätze auf nebeneinanderliegenden Beeten kultiviert werden, vor. Die Ergebnisse der Befragung zeigen, daß im Beetanbau, mit Ausnahme der Striegel und Netzeggen, ausschließlich Geräte in einer Arbeitsbreite von 1,5 m

vorhanden sind. Das entspricht dem Abstand von Spurmitte zu Spurmitte. Eine Erhöhung der Flächenleistung durch größere Arbeitsbreiten der Geräte schließt sich somit zum gegenwärtigen Zeitpunkt für den Gemüsebau mit seinem großen Anteil kleinflächiger Betriebe aus (Abb. 23).

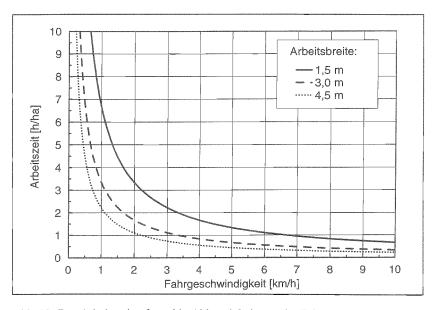


Abb. 23: Der Arbeitszeitaufwand in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit und der Arbeitsbreite

Der Arbeitszeitaufwand für die Bearbeitung einer Fläche wird somit nur noch von der veränderlichen Fahrgeschwindigkeit und den Wendezeiten bestimmt. Der Anteil der Wendezeiten an der Gesamtarbeitszeit für einen Schlag wird von der Schlaggröße, der Größe der Vorgewende und den Wendemanövern bestimmt. KESSLER (1996) erfaßte Anteile an Wendezeiten zwischen 6 % (Beetlänge 200 m, großes Vorgewende, Einfahrt in 2. - 4. Beet neben dem zuletzt bearbeiteten) und 36 % (Beetlänge 50 m, enges Vorgewende, Einfahrt in nebenliegendes Beet). Die Länge der Beete und die Größe der Vorgewende sind jedoch nur bedingt wählbar.

Eine Erhöhung der Flächenleistung läßt sich somit vor allem durch die Erhöhung der Fahrgeschwindigkeiten erreichen. Die Fahrgeschwindigkeit wird durch zwei Einflußfaktoren begrenzt: durch das Arbeitsprinzip des Gerätes und die Führung des Gerätes entlang der Kulturpflanzenreihe. Bei der Reihenhackbürste wird die Fahrgeschwindigkeit vor allem durch das Arbeitsprinzip und die unzureichende Tiefenführung begrenzt (WEBER 1992), bei der Reihenhacke durch den Reihenabstand und die Führung entlang der Reihe; niedrige Fahrgeschwindigkeiten verschlechtern hier die Wirkung (GEYER et al. 1991).

Der Reihenabstand im Beetanbau beträgt durchschnittlich 30 - 40 cm, bei 4 bzw. 3 Reihen pro Beet. Nach GEYER et al. (1991) liegt im Feldgemüsebau die Obergrenze für die Fahrgeschwindigkeit bei ca. 3 km/h. Bei einer Verbesserung der Reihenführung, z.B. durch Automatisierung, könnten jedoch auch höhere Fahrgeschwindigkeiten erreicht werden. Wichtigste Voraussetzung dafür ist jedoch, daß die Wirkungsweise beziehungsweise die Wirksicherheit der Geräte unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit erhalten bleibt.

5.2.2.3 Ausweitung der gerätespezifischen, witterungsbedingten Einsatzgrenzen

Die gerätespezifischen, witterungsbedingten Einsatzgrenzen sind aufgrund der festgelegten Funktionsprinzipien zu eng; dadurch verringert sich der Zeitraum, in dem unter für das jeweilige Gerät optimalen Bedingungen erfolgreich Unkraut reguliert werden kann. Diese Einsatzgrenzen müssen ausgeweitet werden. Dadurch würde der Zeitraum, in dem Unkraut wirkungsvoll reguliert werden kann vergrößert. Wie bei der Erhöhung der Flächenleistung würde dies dazu beitragen, die zu bearbeitenden Flächen vollständig und fristgerecht zu bearbeiten.

5.2.3 Einsatzstrategie für die Geräte bei der Modellanwendung

Als Optimierungsmaßnahmen werden gerätetechnische Veränderungen vorgeschlagen. die dazu führen, daß das optimierte Gerät schneller und unempfindlicher gegenüber den äußeren Einflüssen (Abb. 24) sicher Unkraut regulieren kann indem es die dargestellten Handlungsspielräume weitestgehend ausnützt. Diese zu Beginn der Arbeit bereits ansatzweise aufgestellte Hypothese wird im weiteren Verlauf der Arbeit (Kap. 6) mit Hilfe des in Kapitel 4.3 beschriebenen Modells untersucht.

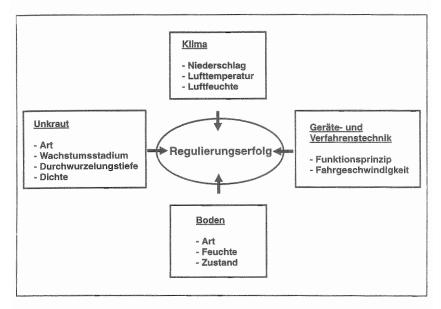


Abb. 24: Einflußfaktoren auf den Regulierungserfolg

Mit diesem Modell ist es möglich, die dargestellten Einflußgrößen als Rahmenbedingungen definiert vorzugeben (siehe Kap. 4.3.3.3):

- Um den Einfluß des Klimas auf den Erfolg der Unkrautregulierung in der gesamten Bandbreite darzustellen, wurde eine Klimaregion mit geringen Niederschlägen und eine Klimaregion mit hohen Niederschlägen ausgewählt.

- Um die Bandbreite des Einflusses des Bodens darzustellen wurden als Eingangsgrößen für das Modell ein Boden der Bodenklasse "leicht" und ein Boden der Bodenklasse "schwer" (nach DIN 4220) ausgewählt.
- Um die Auswirkung der Gerätetechnik darzustellen werden das optimierte Gerätekonzept "Weihenstephaner Trennhacke" und die Geräteausstattung "Bürste/Hacke/Fräse als Eingangsgrößen miteinander verglichen. Die Geräte entsprechen den in Kap. 4.3.3.2 beschrieben Einsatzprofilen. Die Trennhacke soll als optimiertes Gerät die toleranten Eigenschaften gegenüber trockenen Bedingungen mit den toleranten Eigenschaften gegenüber feuchten Bedingungen in sich vereinen. Es wird davon ausgegangen, daß die Regulierungswirkung der Trennhacke nicht von der Fahrgeschwindigkeit abhängig ist; deshalb wird bei der Kalkulation dieselbe Flächenleistung wie bei der Reihenhacke angenommen.
- Die Eingangsgröße Unkraut wird in dem Modell dahingehend berücksichtigt, daß es nicht möglich ist, die Geräteeinsätze beliebig oft zu verschieben, da die Unkräuter sonst zu groß werden und mit Hilfe der Handhacke reguliert werden müssen. Bei den folgenden Kalkulationen wird deshalb immer von einem Einsatz der Geräte unter optimalen Bedingungen und ausreichendem Regulierungserfolg ausgegangen. Bei dem Einsatz des optimierten Gerätes wird davon ausgegangen, daß es, wie die Fräse, in der Lage ist, auch noch große Unkräuter erfolgreich zu regulieren.

Aus den Ergebnissen der Befragung und den Angaben aus der Literatur (KTBL 1994 und KESSLER 1996) ergibt sich für die Modellanwendung folgende Strategie für den Einsatz der Geräte:

Es wird immer mit dem Einsatz der Hackbürste (1 - 2 mal) 2 Wochen nach der Aussaat oder Pflanzung begonnen, gefolgt von der Reihenhacke (1 - 2 mal). Die Unkrautregulierung wird jeweils nur bis 2 Wochen vor dem Kulturende durchgeführt (Abb. 25, Anhang, S.197 und S. 198).

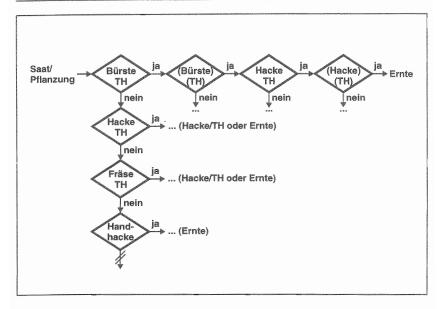


Abb. 25: Einsatzstrategie f
ür die Ger
ätekombination "B
ürste/Hacke/Fr
äse" und f
ür die Trennhacke

Bei einer Überschneidung der zur Verfügung stehenden Feldarbeitstage für die Bürste und die Hacke hat die Bürste als erste Maßnahme dicht an der Kulturpflanzenreihe immer den Vorrang.

Reichen die zur Verfügung stehenden Arbeitstage für eine vollständige Bearbeitung mit der Bürste nicht aus, so muß die übriggebliebene Fläche im darauffolgenden Halbmonat zusätzlich zu der geplanten Bearbeitung mit der Hacke bearbeitet werden, da die Unkräuter für eine ausreichende Regulierung mit der Bürste zu groß sind. Dabei hat die geplante Unkrautregulierung immer Vorrang vor der zusätzlichen, um das Problem auf der entsprechenden Fläche zu halten und nicht die gesamte Planung zu stören.

Reichen die Arbeitstage für eine vollständige Bearbeitung mit der Hacke nicht aus, so muß die übriggebliebene Fläche im nächsten Halbmonat mit der Fräse bearbeitet werden, da die Unkräuter für eine ausreichende Regulierung mit der Reihenhacke zu

groß sind. Die Einsatzgrenzen der Fräse entsprechen denen der Reihenhacke. Deshalb tritt sie bei den zur Verfügung stehenden Feldarbeitstagen in Konkurrenz mit der Reihenhacke. Dabei hat der Einsatz mit der Reihenhacke immer Vorrang vor dem Einsatz der Fräse.

Bei Überschneidungen der Arbeitstage gilt die Rangfolge Bürste vor Hacke, Hacke vor Fräse.

Die Trennhacke wird analog zu dem herkömmlichen Gerätebesatz eingesetzt. Der Einsatz der Trennhacke kann zweimal verschoben werden, da ihre Wirksamkeit gegenüber großen Unkräutern der der Fräse gleichgesetzt wird.

Auf der Fläche, die aufgrund mangelnder Feldarbeitstage nicht mit der Reihenfräse, bzw. mit der Trennhacke, bearbeitet werden kann, muß die Unkrautregulierung von Hand durchgeführt werden. Für die Flächenleistung bei der Handhacke werden nach KTBL 1994 und KESSLER 1996 Werte zwischen 250 AKh/ha und 750 AKh/ha angegeben. Für die Kalkulation des manuellen Hackens und Jätens eines durchgewachsenen Bestandes werden 250 AKh/ha angenommen, da nur die Handhacke, die zusätzlich zu der Unkrautregulierung in der Reihe anfällt kalkuliert werden soll.

Eine zusätzliche Handarbeit wird nur für die Flächen kalkuliert, auf denen die jeweils angewandte Strategie nicht zum Erfolg führt. Der zusätzliche Handarbeitszeitaufwand dient somit als Maß für den Erfolg und als Kriterium für die Bewertung einer Strategie.

Aus den Einsatzstrategien und den Kultur- und Arbeitsplänen (Kap. 4.3.1, Kap. 4.3.2 und Anhang, S. 197 und S. 198) ergeben sich für die Halbmonate von März bis September die Flächen, auf denen Unkrautregulierungsmaßnahmen durchgeführt werden müssen (Tab. 14).

Tab. 14: Summen der Flächen, auf denen Unkrautregulierungsmaßnahmen durchgeführt werden müssen

		Fläche Betrieb I [ha]		Fläch	e Betrieb I	I [ha]	
Halbmonat		Bürste	Hacke	Trennh.	Bürste	Hacke	Trennh.
März	1	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
März	2	8,3	0,0	8,3	0,61	0,00	0,61
April	1	10,6	0,0	10,6	2,73	0,30	3,03
April	2	8,8	5,6	14,4	1,21	2,41	3,62
Mai	1	9,8	5,0	14,8	2,21	1,71	3,92
Mai	2	7,1	9,8	16,9	2,71	2,21	4,92
Juni	1	4,8	9,6	14,4	2,21	2,71	4,92
Juni	2	0,5	13,6	14,1	1,11	2,71	3,82
Juli	1	1,5	8,8	10,3	2,01	2,11	4,12
Juli	2	0,0	4,0	4,0	0,90	2,01	2,91
August	1	1,0	0,0	1,0	1,59	1,21	2,80
August	2	0,0	1,0	1,0	0,10	1,90	2,00
September	1	0,0	0,0	0,0	0,10	0,10	0,20
September	2	0,0	0,0	0,0	0,00	0,10	0,10
Summe		52,4	57,4	109,8	17,49	19,50	36,99

Die errechneten verfügbaren Feldarbeitstage von 1. März bis einschließlich 30. September werden den von den Modellbetrieben theoretisch in diesem Zeitraum benötigten Feldarbeitstagen gegenübergestellt.

Aus den in Tabelle 6 angegebenen Flächenleistungen der Unkrautregulierungsgeräte und den in Tabelle 14 halbmonatlich aufgelisteten Flächen, auf denen das Unkraut reguliert werden muß, ergibt sich die Zeit, die in jedem der beiden Betriebe zur mechanischen Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen aufgewendet

werden muß:

$$t_A = \frac{A}{P_A} \tag{21}$$

Darin ist:

 t_A : notwendige Zeit für die Bearbeitung [h] A: die zu bearbeitende Fläche [ha] P_A Flächenleistung der Geräte [ha/h]

Es hängt von den in den jeweiligen Halbmonaten zur Verfügung stehenden Arbeitstagen ab, ob und wieweit die geplanten Flächen bearbeitet werden können. Die für die jeweiligen Geräte zur Verfügung stehenden Arbeitstage (à 8 h) werden über die Flächenleistung der Geräte in die Flächen, die innerhalb eines Halbmonats von dem jeweiligen Gerät bearbeitet werden können umgerechnet:

$$A_{m\ddot{o}a} = t_{m\ddot{o}a} \cdot P_A \tag{22}$$

Darin ist:

 $A_{m \bar{o}g}$: in der zur Verfügung stehenden Zeit bearbeitbare Fläche [ha]

 t_{mog} : zur Verfügung stehende Zeit (1 Arbeitstag = 8 h) [h]

6 Modellanwendung zur Bewertung eines optimierten Gerätekonzeptes

- Ergebnisse und Schlußfolgerungen -

Mit Hilfe des in Kapitel 4.3 dargestellten Modells wird ein optimiertes Gerätekonzept ("Weihenstephaner Trennhacke") mit einer herkömmlichen, guten Geräteausstattung (Bürste/Hacke/Fräse) verglichen. Die Modellkalkulation wird für die Varianten "geringe Niederschläge/Bodenklasse leicht" und "hohe Niederschläge/Bodenklasse schwer" mit beiden Geräteausstattungen und den zwei in Kapitel 4.3.1 beschriebenen Betriebsformen durchgeführt.

6.1 Ergebnisse

Im ersten Teil wird die Planung und die Durchführbarkeit der Geräteeinsätze in den verschiedenen Varianten gegenübergestellt. Im zweiten Teil wird der Arbeitszeitaufwand zur Durchführung der Verfahren kalkuliert und im dritten Teil werden die Kosten der Verfahren für die veschiedenen Varianten kalkuliert.

6.1.1 Einsatzplanung und Durchführbarkeit der Verfahren

6.1.1.1 Variante "Geringe Niederschläge/Bodenklasse leicht" (Einsatzplanung und Durchführung)

Klimabedingungen mit geringen Niederschlägen und leichten Böden führen dazu, daß die Bodenfeuchte immer auf einem relativ geringen Niveau gehalten wird (Abb. 26).

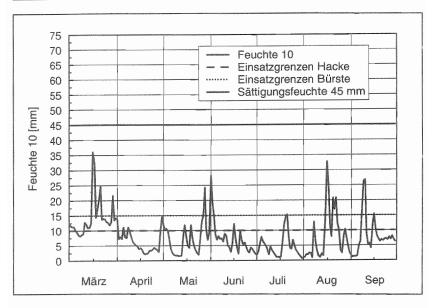


Abb. 26: Pflanzenverfügbares Wasser in der obersten Bodenschicht (Feuchte 10) und Einsatzgrenzen der Geräte; geringe Niederschläge/Bodenklasse leicht

Die Einsatzgrenzen für den Geräteeinsatz werden nur selten überschritten, das heißt, daß fast alle Tage (90,65 %) als Feldarbeitstage für die Unkrautregulierung zur Verfügung stehen (Tab. 15).

Tab. 15: Summen der Feldarbeitstage (FAT), die in dem Zeitraum von 1. März bis 30. September (214 Tage) in der Variante "geringe Niederschläge/Bodenklasse leicht" für den Einsatz der Geräte zur Verfügung stehen

	Bürste	TIMOREO I IMBO	Bür./Hack./Fr.	Trennhacke
FAT	43	0	151	194

Dabei stehen 43 Feldarbeitstage ausschließlich für die Bürste zur Verfügung; 151 Feldarbeitstage stehen für die Bürste, die Hacke oder die Fräse gemeinsam zur Verfügung. Hier entscheidet die Einsatzstrategie, welches Gerät zum Einsatz kommt. Für die

Fräse gelten die Einsatzgrenzen der Hacke, für die Trennhacke gelten die Obergrenze der Bürste und die Untergrenze der Hacke.

Es stehen jeden Halbmonat ausreichend viele Feldarbeitstage für die Unkrautregulierung mit dem jeweiligen Gerät zur Verfügung. Es muß weder die Fräse eingesetzt werden, noch mit der Hand gehackt werden (Abb. 27).

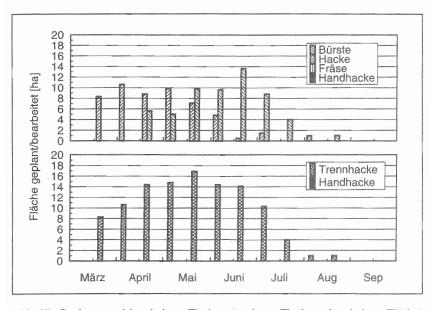


Abb. 27: Geplante und bearbeitete Flächen (geplante Fläche = bearbeitete Fläche)
Betrieb I; Varianten "Bürste/Hacke/Fräse" und "Trennhacke"; geringe
Niederschläge/Bodenklasse leicht

Betrieb I muß bei planmäßigem Einsatz der Reihenhackbürste und der Reihenhacke gemäß des Flächenaufrisses und der beschriebenen Einsatzstrategie (Kap. 4.3.1 und Kap. 6.1.3) von 1. März bis 30. September 52,4 ha mit der Reihenhackbürste und 57,4 ha mit der Reihenhacke bearbeiten.

Für die Geräteausstattung "Trennhacke" steht bei Betrieb I eine zu bearbeitende Gesamtfläche von 109,8 ha an. Aufgrund der zur Verfügung stehenden Feldarbeitstage

und einer Flächenleistung von 0,4 ha/h kann diese Fläche vollständig bearbeitet werden.

Auf Betrieb II müssen insgesamt 37 ha mit den Gerätevarianten "Bürste/Hacke/Fräse beziehungsweise mit der Trennhacke bearbeitet werden. Für die Durchführung stehen insgesamt 194 Feldarbeitstage zur Verfügung (Abb. 28).

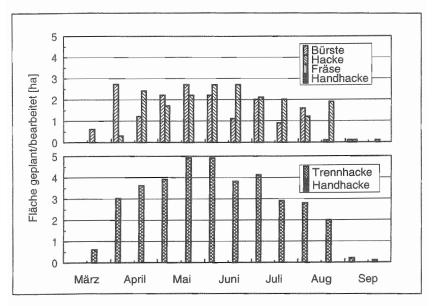


Abb. 28: Geplante und bearbeitete Flächen (geplante Fläche = bearbeitete Fläche)
Betrieb II; Varianten "Bürste/Hacke/Fräse" und "Trennhacke"; geringe
Niederschläge/Bodenklasse leicht

Auf Betrieb II müssen bei der Geräteausstattung Bürste/Hacke/Fräse insgesamt 17,5 ha mit der Bürste und 19,5 ha mit der Hacke bearbeitet werden. Auch hier können die geplanten Bearbeitungen mit Hacke und Bürste ohne Schwierigkeiten durchgeführt werden.

6.1.1.2 Variante "Hohe Niederschläge/Bodenklasse schwer" (Einsatzplanung und Durchführung)

Im Gegensatz zu den für die mechanische Unkrautregulierung optimalen Bedingungen im vorhergehenden Kapitel 6.1.1.1 werden die folgenden ungünstigen Rahmenbedingungen angenommen.

Für die Kalkulation wurde eine Klimaregion mit hohen Jahresniederschlägen und die Bodenklasse schwer ausgewählt. Der Gehalt an pflanzenverfügbarem Wasser in der oberen Bodenschicht von 10 cm ist über die gesamte Kulturperiode sehr hoch (Abb. 29).

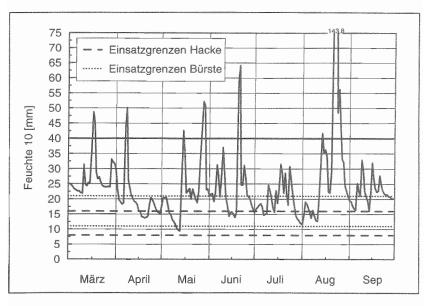


Abb. 29: Pflanzenverfügbares Wasser in der obersten Bodenschicht (Feuchte 10) und Einsatzgrenzen der Geräte; hohe Niederschläge/Bodenklasse schwer

Die Einsatzgrenzen der Fräse entsprechen denen der Hacke. Für die Trennhacke gilt die Obergrenze der Bürste und die Untergrenze der Hacke. Der durchweg hohe Gehalt an Wasser in der oberen Bodenschicht führt dazu, daß nur sehr wenige Arbeitstage für

die mechanische Unkrautregulierung zur Verfügung stehen (Tab. 16).

Tab. 16: Summen der Feldarbeitstage (FAT), die in dem Zeitraum von 1. März bis 30. September (214 Tage) in der Variante "hohe Niederschläge/Bodenklasse schwer" für den Einsatz der Geräte zur Verfügung stehen

	Bürste	Hacke/Fräse		Trennhacke
FAT	57	3	36	86

Durch die Überschneidung von zur Verfügung stehenden Feldarbeitstagen für die Bürste und Hacke kommt es vor allem beim Einsatz der Hacke zu Engpässen, da die Bürste Vorrang vor der Hacke hat und nur eine Arbeitskraft und ein Schlepper zur Verfügung stehen. Unter den Bedingungen von Kapitel 6.1.1.1 wirkte sich dieses Problem nicht aus, da die Anzahl der gemeinsam zur Verfügung stehenden Arbeitstage insgesamt sehr hoch war.

Betrieb I

Auf Betrieb I müssen bei planmäßigem Einsatz der Reihenhackbürste und der Reihenhacke gemäß des Flächenaufrisses und der beschriebenen Einsatzstrategie (Kap. 4.3.1, Kap. 5.2.3 und Anhang, S. 197, Tab. A1) 52,4 ha mit der Bürste und 57,4 ha mit der Reihenhacke bearbeitet werden.

Aufgrund der geringen Anzahl verfügbarer Feldarbeitstage können die Unkrautregulierungsmaßnahmen nicht in allen Halbmonaten wie geplant durchgeführt werden (Abb. 30).

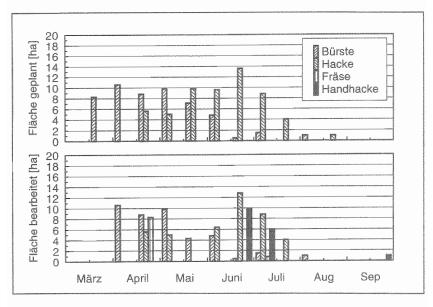


Abb. 30: Flächen der geplanten und tatsächlich durchgeführten Unkrautregulierungsmaßnahmen mit der Gerätekombination Bürste/Hacke/Fräse; Betrieb I; hohe Niederschläge/Bodenklasse schwer

In der zweiten Märzhälfte ist geplant, 8,3 ha Fläche mit der Reihenhackbürste zu bearbeiten. Da keine Feldarbeitstage zur Verfügung stehen, wird die Bearbeitung dieser Fläche, die dann mit der Reihenhacke erfolgen muß, in die erste Aprilhälfte verschoben. Da in der ersten Aprilhälfte keine Feldarbeitstage für die Reihenhacke zur Verfügung stehen, muß diese Fläche in der zweiten Aprilhälfte mit der Reihenfräse bearbeitet werden. In der zweiten Aprilhälfte stehen ausreichend viele Feldarbeitstage für alle Geräte zur Verfügung.

In der zweiten Maihälfte können von den geplanten 7,1 ha nur 4,3 ha mit der Bürste bearbeitet werden; 2,8 ha müssen in der ersten Junihälfte mit der Reihenhacke bearbeitet werden. 9,8 ha Fläche sind in der zweiten Maihälfte für die Bearbeitung mit der Reihenhacke geplant; es stehen jedoch keine Feldarbeitstage für die Reihenhacke zur Verfügung.

In der ersten Junihälfte müssen daher statt der geplanten 9,6 ha 12,4 ha mit der Reihenhacke bearbeitet werden. Hinzu kommen noch 9,8 ha, die mit der Reihenfräse bearbeitet werden müssen. Hacke und Fräse konkurrieren hier um die zur Verfügung stehenden Feldarbeitstage. Es stehen jedoch nur 2 Feldarbeitstage zur Verfügung. Da die Reihenhacke Vorrang vor der Reihenfräse hat, werden 6,4 von 12,4 ha mit der Reihenhacke bearbeitet. Es bleiben 6 ha unbearbeitet übrig, die in der zweiten Junihälfte mit der Fräse bearbeitet werden müssen. Da die bereits von Mai 2 auf Juni 2 verschobenen 9,8 ha nicht mit der Fräse bearbeitet werden können, muß diese Fläche mit der Hand gehackt werden.

In der zweiten Junihälfte muß 13,6 ha Fläche mit der Reihenhacke und 6 ha mit der Reihenfräse bearbeitet werden. Dadurch, daß nur 4 Feldarbeitstage zur Verfügung stehen, kann nur eine Fläche von 12,8 ha mit der Reihenhacke bearbeitet werden; die restlichen 0,8 ha müssen in der ersten Julihälfte mit der Fräse bearbeitet werden. Die Fläche von 6 ha, die mit der Fräse nicht bearbeitet werden kann, muß mit der Hand gehackt werden.

In der zweiten Augusthälfte bleibt 1 ha Fläche, die für die Bearbeitung mit der Reihenhacke geplant war, übrig. Da für den Rest der Kulturperiode keine Feldarbeitstage für Geräte zur Verfügung stehen, muß auf dieser Fläche die Unkrautregulierung mit der Handhacke erfolgen.

In dem Kalkulationsbeispiel wird davon ausgegangen, daß jede geplante, aber nicht durchgeführte Unkrautregulierungsmaßnahme, im darauffolgenden Halbmonat zusätzlich zu den geplanten Bearbeitungen durchgeführt werden muß. Der Fall, daß auf der im darauffolgenden Halbmonat zu bearbeitenden Fläche bereits eine Unkrautregulierungsmaßnahme vorgesehen ist (Anhang, S. 197 und S. 198, Tab. A1 und A2) und durch diese Überschneidung keine zusätzliche Arbeit entsteht, ist möglich, wird aber in den Kalkulationen nicht berücksichtigt (Tab. 17).

Tab. 17: Jahressummen der Flächen für geplante und tatsächlich durchgeführte Unkrautregulierungsmaßnahmen; Betrieb I; hohe Niederschlägen/Bodenklasse schwer

Fläche [ha]	Bürste	Hacke	Fräse	Handhacke	Σ
geplant	52,4	57,4	0	0	109,8
durchgeführt	41,3	42,6	9,1	16,8	109,8
durchgeführt ¹⁾	25,2	36,2	9,1	9,2	79,7

bei Überschneidung von verschobenen und geplanten Unkrautregulierungsmaßnahmen zu bearbeitende Flächen

Mit der Reihenhackbürste können unter den vorgegebenen Bedingungen 78,8 % und mit der Reihenhacke, trotz der mehr als doppelten Schlagkraft nur 74,2 % der geplanten Flächen bearbeitet werden. Etwas mehr als ein Drittel der übrigen Fläche kann durch die Fräse abgefangen werden, die jedoch mit der Reihenhacke um die zur Verfügung stehenden Feldarbeitstage konkurriert. 14,3 % der zu bearbeitenden Fläche müssen mit der Hand gehackt werden.

Auch bei dem Einsatz der Trennhacke auf Betrieb I können unter diesen Rahmenbedingungen die Unkrautregulierungsmaßnahmen nicht in allen Halbmonaten wie geplant durchgeführt werden (Abb. 31).

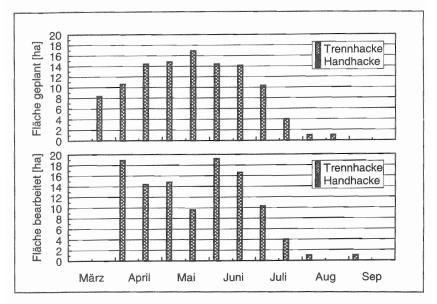


Abb. 31: Flächen der geplanten und tatsächlich durchgeführten Unkrautregulierungsmaßnahmen mit der Trennhacke; Betrieb I; hohe Niederschläge/Bodenklasse schwer

In der zweiten Märzhälfte ist geplant, auf einer Fläche von 8,3 ha Unkrautregulierung mit der Trennhacke durchzuführen. Da keine Feldarbeitstage zur Verfügung stehen, muß die Bearbeitung dieser Fläche in der ersten Aprilhälfte erfolgen. In der ersten Aprilhälfte stehen ausreichend viele Feldarbeitstage zur Verfügung, so daß die geplanten und die verschobenen Bearbeitungen durchgeführt werden können.

In der zweiten Maihälfte können von den geplanten 16,9 ha nur 9,6 ha bearbeitet werden. Die restlichen 7,3 ha müssen in der ersten Junihälfte zusätzlich zu den dort geplanten Bearbeitungen durchgeführt werden.

In der ersten Junihälfte müssen mit der übertragenen Fläche zusammen 21,7 ha bearbeitet werden. Die geplanten 14,4 ha können bearbeitet werden. Von den übertragenen 7,3 ha können in den restlichen zur Verfügung stehenden Arbeitstagen nur 4,8 ha bearbeitet werden. Die Bearbeitung der restlichen 2,5 ha muß in den darauffol-

genden Halbmonat verschoben werden. Eine zweimalige Verschiebung einer Bearbeitung ist bei der Trennhacke möglich, da die Trennhacke analog zur Fräse auch noch große Unkräuter bekämpfen kann.

In der zweiten Junihälfte stehen für die Bearbeitung der geplanten 14,1 ha und der zusätzlichen 2,5 ha genügend Feldarbeitstage zur Verfügung.

Da in der zweiten Augusthälfte keine Feldarbeitstage zur Verfügung stehen, muß die hier geplante Bearbeitung von 1 ha Fläche in der ersten Septemberhälfte durchgeführt werden.

Durch die weiteren Einsatzgrenzen und die im Vergleich zu dem Gerätebesatz Bürste/Hacke/Fräse höhere Schlagkraft ist es möglich, die gesamte Fläche von 109,8 ha ohne zusätzliche Handarbeit zu bewältigen. Durch die Möglichkeit, mit der Trennhacke auch große Unkräuter zu bekämpfen, muß kein zusätzliches Gerät eingesetzt werden.

Retrieb II

Betrieb II muß bei einem planmäßigen Einsatz der Reihenhackbürste und der Reihenhacke gemäß des Flächenaufrisses und der beschriebenen Einsatzstrategie (Kap. 4.3.1, Kap. 5.2.3 und Anhang, S. 198, Tab. A2) 17,5 ha mit der Reihenhackbürste und 19,5 ha mit der Reihenhacke bearbeitet werden. Aufgrund der geringen Anzahl an verfügbaren Feldarbeitstagen können auch bei Betrieb II nicht alle Unkrautregulierungsmaßnahmen in den jeweiligen Halbmonaten wie geplant durchgeführt werden (Abb. 32).

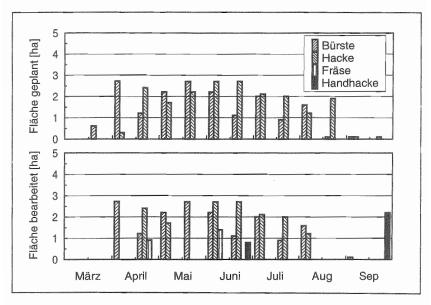


Abb. 32: Flächen der geplanten und tatsächlich durchgeführten Unkrautregulierungsmaßnahmen mit der Gerätekombination Bürste/Hacke/Fräse; Betrieb II; hohe Niederschläge/Bodenklasse schwer

Es kommt auch bei Betrieb II zu Verschiebungen der zu bearbeitenden Flächen in darauffolgende Halbmonate und zum Einsatz der Reihenhacke und zu Flächen, die mit der Hand gehackt werden müssen (Tab. 18).

Tab. 18: Jahressummen der Flächen für geplante und tatsächlich durchgeführte Unkrautregulierungsmaßnahmen; Betrieb II; hohe Niederschlägen/Bodenklasse schwer

Fläche [ha]	Bürste	Hacke	Fräse	Handhacke	Σ
geplant	17,5	19,5	0	0	37,0
durchgeführt	16,8	14,9	2,3	3,0	37,0
durchgeführt ¹⁾	16,4	14,3	2,5	2,0	35,2

¹⁾ bei Überschneidung von verschobenen und geplanten Regulierungsmaßnahmen bearbeitete Flächen

132

Mit der Reihenhackbürste können unter den vorgegebenen Bedingungen 96 % und mit der Reihenhacke 76 % der geplanten Flächen bearbeitet werden. Etwas mehr als 43 % der übrigen Fläche kann mit der Reihenfräse bearbeitet werden. 8,1 % der Fläche, auf der Unkrautregulierungsmaßnahmen geplant sind, müssen mit der Hand gehackt werden.

Bei dem Einsatz der Trennhacke auf Betrieb II unter denselben Rahmenbedingungen können nicht in allen Halbmonaten die Unkrautregulierungsmaßnahmen wie geplant durchgeführt werden; es kommt auch hier zu Verschiebungen (Abb. 33).

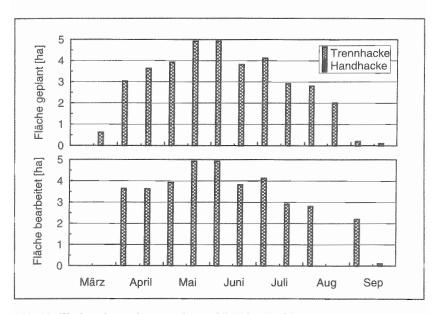


Abb. 33: Flächen der geplanten und tatsächlich durchgeführten Unkrautregulierungsmaßnahmen mit der Trennhacke; Betrieb II; hohe Niederschläge/Bodenklasse schwer

Es müssen einmal 0,6125 ha und einmal 2,0 ha zur Bearbeitung auf einen nachfolgenden Halbmonat verschoben werden.

Die weiteren Einsatzgrenzen, die höhere Schlagkraft und die Fähigkeit auch große

Unkräuter ausreichend zu regulieren ermöglichen es, die gesamte Fläche von 37 ha ohne zusätzliche Handarbeit zu regulieren.

6.1.2 Arbeitszeitaufwand

Der Arbeitszeitaufwand und speziell der Zeitaufwand für die zusätzliche Handhacke dient als Maß für die Bewertung der eingesetzten Verfahren. Immer dort, wo zusätzliche Handarbeit erscheint, war es nicht möglich, mit den zur Verfügung stehenden Geräten die Regulierungsmaßnahmen erfolgreich durchzuführen.

6.1.2.1 Variante "Geringe Niederschläge/Bodenklasse leicht" (Arbeitszeitaufwand)

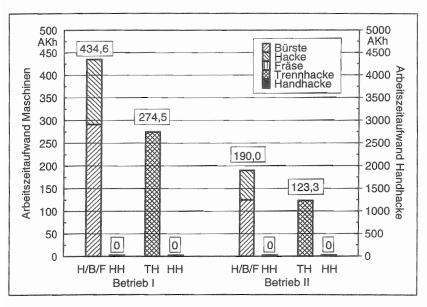


Abb. 34: Gesamtarbeitszeitaufwand [AKh] für die Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen; geringe Niederschläge/Bodenklasse leicht

134

Bei beiden Gerätevarianten konnten aufgrund der günstigen Rahmenbedingungen die für jeden Halbmonat geplanten Geräteeinsätze immer durchgeführt werden (Abb. 34). Der Vorteil der Trennhacke besteht hier vor allem in der höheren Schlagkraft.

Zusätzlich zu der höheren Sicherheit im Bezug auf die zur Verfügung stehenden Arbeitstage werden beim Einsatz der Trennhacke in Betrieb I eine Arbeitskraft und der Pflegeschlepper ca. 160 Stunden weniger eingesetzt als beim Einsatz von Bürste, Hacke, und Fräse. In Betrieb II beträgt die Differenz zwischen dem Gerätebesatz "Bürste/Hacke/Fräse" und "Trennhacke" ca. 63 Stunden.

6.1.2.2 Variante "Hohe Niederschläge/Bodenklasse schwer" (Arbeitszeitaufwand)

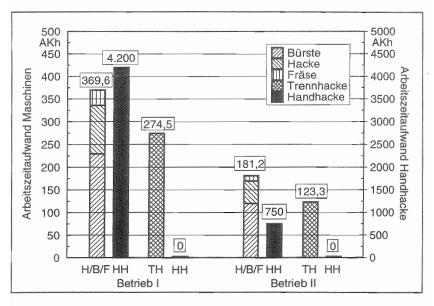


Abb. 35: Gesamtarbeitszeitaufwand [AKh] für die Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen; hohe Niederschläge/Bodenklasse schwer

Die Trennhacke benötigt durch die höhere Schlagkraft weniger Arbeitszeit (Abb. 35).

Durch die weiteren Einsatzgrenzen und die Fähigkeit, große Unkräuter zu regulieren, wird im Vergleich zu dem Gerätebesatz Hacke/Bürste/Fräse der unter den ungünstigen Bedingungen sehr hohe Handarbeitszeitaufwand vermieden.

Vor allem bei Betrieb I wirkt sich die geringe Anzahl der zur Verfügung stehenden Feldarbeitstage aus. Für die Handhacke werden für die Fläche von 16,8 ha 4.200 Arbeitskraftstunden (bei 250 AKh/ha, Kap. 5.2.3) benötigt. Auf Betrieb II werden für die Handhacke noch 750 Arbeitskraftstunden benötigt.

Dies bedeutet für Betrieb I sehr hohe Arbeitsspitzen in den Monaten Juni und Juli (Abb. 31), da fast die gesamte Handhacke in diesem Monat anfällt. Bei der angenommenen Flächenleistung für die Handhacke benötigen 10 Arbeitskräfte für die anfallende Fläche von 16,8 ha rund 53 Arbeitstage. Auf Betrieb II werden für die für die Handhacke anfallende Fläche von 3 ha bei 10 Arbeitskräften rund 9 Arbeitstage benötigt.

Der Einsatz einer zweiten Reihenhacke auf Modellbetrieb I würde durch eine damit verbundene Erhöhung der Schlagkraft 4 ha Handhacke einsparen. Dabei muß jedoch berücksichtigt werden, daß eine zweite Arbeitskraft und ein zweiter Pflegeschlepper zur Verfügung stehen muß.

Bei einem Vergleich des Arbeitszeitaufwandes für den Geräteeinsatz benötigt die Trennhacke auf Betrieb I 95,1 Arbeitskraftstunden weniger für die maschinelle Unkrautregulierung zwischen den Reihen und auf Betrieb II beträgt die Differenz 57,9 Arbeitskraftstunden.

6.1.3 Kostenkalkulation

Für die ökonomische Einordnung der gerätetechnischen Maßnahmen zur Optimierung der mechanischen Unkrautregulierung werden die Kosten der in Kapitel 6.1.1 durchgeführten Kalkulationsbeispiele verglichen. Dabei werden die Unterschiede zwischen den beiden Betriebsformen und zwischen den Gerätevarianten für die Rahmenbedingungen "geringe Niederschläge/Bodenklasse leicht" und "hohe Niederschläge/Bodenklasse schwer" dargestellt.

Die jährlichen Einsatzkosten für die Verfahren setzen sich aus den fixen und variablen Kosten der eingesetzten Geräte, der Einsatzfläche der Geräte und den Kosten der für die Bearbeitung notwendigen Arbeitskraftstunden und Schlepperstunden zusammen (Tab. 19).

Tab. 19: Fixe (K_F) und variable (K_V) Kosten der eingesetzten Geräte und Verfahren

		Bürste	Hacke	Fräse	Trennhacke	Handhacke	Schlepper
	K _F	1.120 DM	708 DM	900 DM	2.996 DM	40	_1>
- Company	K _v	20 DM/ha	3,6 DM/ha	11,8 DM/ha	20 DM/ha	10 DM/h	37 DM/h ¹⁾

¹⁾ incl. Fahrer à 18 DM/h und Festkostenanteil bezogen auf Einsatzstunde

6.1.3.1 Variante "Geringe Niederschläge/Bodenklasse leicht" (Kostenkalkulation)

Unter optimalen Bedingungen können auch große Flächen mit der Gerätekombination Bürste/Hacke/Fräse vollständig bearbeitet werden. Es fällt keine zusätzliche Handarbeit für die Unkrautregulierung zwischen den Reihen an. Dadurch ergeben sich unter diesen Bedingungen nur Einsatzkosten für die Geräte (Abb. 36).

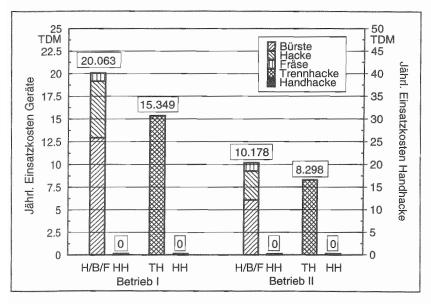


Abb. 36: Jährliche Einsatzkosten für die mechanische Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen; geringe Niederschläge/Bodenklasse leicht

Die jährlichen Einsatzkosten der Geräte unter optimalen Klima- und Bodenbedingungen sind für Betrieb I höher als unter extremen Bedingungen, da unter diesen Bedingungen keine Handarbeit anfällt, daher mehr Fläche mit den Geräten bearbeitet wird und sich dadurch die variablen Kosten erhöhen. Bei Betrieb II sind die Unterschiede der Kosten zwischen optimalen und extremen Bedingungen nicht so groß, da sich auf kleineren Flächen der höhere Fixkostenanteil stärker auswirkt. Unter optimalen Bedingungen wird der Einsatz der Fräse nicht benötigt; hierfür fallen ausschließlich

die Fixkosten an. Dies wirkt sich auch bei einem Vergleich der jährlichen Einsatzkosten bezogen auf die Anbaufläche aus (Tab.20).

Tab. 20: Flächenbezogener Verfahrenskostenanteil der mechanischen Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen [DM/ha a]; geringe Niederschläge/Bodenklasse leicht

	Bürste/Hacke/Fräse	Trennhacke
Betrieb I (30 ha)	668,8 DM/ha a	511,6 DM/ha a
Betrieb II (10 ha)	1.017,8 DM/ha a	829,8 DM/ha a

Bei einem Vergleich der flächenbezogenen Einsatzkosten zwischen der Geräteausstattung Bürste/Hacke Fräse und der Trennhacke zeigt sich, daß die flächenbezogene Einsparung durch den Einsatz der Trennhacke bezogen auf die Kosten der Gerätekombination Bürste/Hacke/Fräse auf Betrieb I 23,5 % und auf Betrieb II 18,5 % beträgt.

Die jährlichen Einsatzkosten für die Trennhacke sind in beiden Betriebsformen geringer als die Einsatzkosten der Gerätekombination Bürste/Hacke/Fräse.

Die Kosten der Verfahren werden weniger durch die Gerätekosten sondern vor allem durch die Arbeits- und Schlepperkosten bestimmt. Den größten Anteil an den jährlichen Einsatzkosten der Verfahren haben die Kosten für den Pflegeschlepper und den Fahrer. Die flächenbezogenen Arbeits- und Schlepperkosten sind abhängig von der Flächenleistung der Verfahren. Sie werden in Abbildung 37 zusammen mit den oberen und unteren Werten der Flächenleistung der Geräte, mit denen in der Modellanwendung kalkuliert wurde dargestellt.

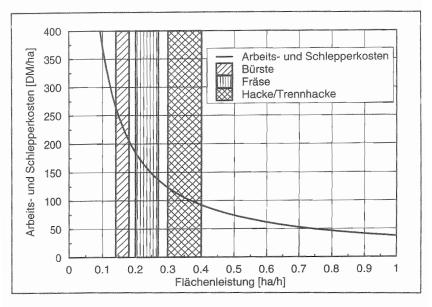


Abb. 37: Flächenbezogene Arbeits- und Schlepperkosten in Abhängigkeit von der Flächenleistung der Geräte; Bandbreiten der Flächenleistungen von Bürste, Hacke, Fräse und Trennhacke

Der hohe Anteil der Reihenhackbürste (Geräteausstattung Bürste/Hacke/Fräse) am Gesamtverfahren erhöht durch ihre geringe Flächenleistung die Einsatzzeiten der kombinierten Gerätevariante im Vergleich zu der Trennhacke. Dadurch sind die jährlichen Gesamtkosten der kombinierten Verfahren höher als die der Trennhacke.

Der Vorteil der höheren Flächenleistung der Trennhacke wirkt sich durch die größeren Einsatzflächen auf Betrieb I stärker aus. Hinzu kommt noch, daß der Fixkostenanteil der Trennhacke auf Betrieb I nur geringfügig höher ist als der der Reihenhackbürste, da die Trennhacke auf einer ungefähr doppelt so großen Fläche eingesetzt wird.

140

6.1.3.2 Variante "Hohe Niederschläge/Bodenklasse schwer" (Kostenkalkulation)

Die jährlichen Einsatzkosten setzen sich bei dieser Variante aus den Einsatzkosten für die Geräte und den zusätzlichen Kosten für die Handhacke zusammen (Abb. 38).

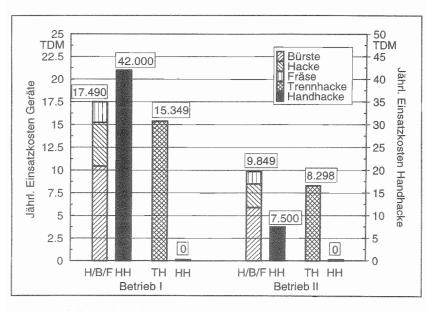


Abb. 38: Jährliche Einsatzkosten für die mechanische Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen; hohe Niederschläge/Bodenklasse schwer

Die extremen Rahmenbedingungen führen bei der Gerätekombination Bürste/Hacke/Fräse zu einem hohen Handarbeitsaufwand. Der Anteil der Kosten für die Unkrautregulierung mit der Handhacke überwiegt auf beiden Betrieben.

Die jährlichen Gesamtkosten für die Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen betragen auf Betrieb I für die Variante "Bürste/Hacke/Fräse" 59.490 DM. Davon entfallen 71 % auf die Handhacke. Bei Betrieb II beträgt der Kostenanteil der Handhacke mit 7.500 DM 43 % der jährlichen Gesamtkosten.

Die Kosten der Variante "Trennhacke" liegen dadurch, daß keine zusätzliche Handarbeit benötigt wird, weit unter den Kosten der Variante "Bürste/Hacke/Fräse". Durch den Einsatz der Fräse auf einer Fläche von 9,1 ha mit Einsatzkosten von 2.254 DM können in Betrieb I weitere 22.750 DM für die Handhacke eingespart werden. In Betrieb II können durch den Einsatz der Fräse auf einer Fläche von 2,3 ha Handarbeitskosten von 5.750 DM vermieden werden. Selbst bei geringen jährlichen Einsatzflächen und dadurch hohem Fixkostenanteil lohnt sich für dieses Kalkulationsbeispiel die Anschaffung einer Fräse, da bereits in einer Kulturperiode durch das Vermeiden von zusätzlicher Handarbeit ein mehrfaches des Anschaffungspreises eingespart werden kann.

Auch bei einem Vergleich der jährlichen auf die Anbaufläche bezogenen Verfahrenskostenanteile dominieren die hohen Handarbeitskosten (Tab. 21).

Tab. 21: Flächenbezogener Verfahrenskostenanteil der mechanischen Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen [DM/ha a]; hohe Niederschläge/Bodenklasse schwer

	Bürste/Hacke/Fräse	Trennhacke
Betrieb I (30 ha)	1.983,0 DM/ha a	511,6 DM/ha a
Betrieb II (10 ha)	1.734,9 DM/ha a	829,8 DM/ha a

Das Einsparungspotential der Trennhacke liegt hier bei Betrieb I bei ca. 75 % und bei Betrieb II bei ca. 50 %. Der Unterschied zwischen den beiden Betrieben liegt an den geringeren Handarbeitskosten und an der kleineren Einsatzfläche auf Betrieb II.

6.2 Schlußfolgerungen

Die Einsatzbedingungen Bodenklasse und Witterung der Modellkalkulation umfassen die gesamte Bandbreite von optimal bis extrem ungünstig.

Auf Standorten mit geringen Niederschlägen und leichten Böden können die notwendigen Geräteeinsätze fristgerecht durchgeführt werden. Ein herkömmlicher Gerätebesatz mit Reihenhackbürste und Reihenhacke reicht unter optimalen Bedingungen aus. Die Anschaffung einer Fräse hängt hier vom Sicherheitsdenken des Betriebsleiters ab. Vor allem auf großen Flächen ist die Einsparung von zusätzlicher Handarbeit im Extremfall ausschlaggebend bei der Entscheidung für die Reihenfräse. Betrieben, die unter optimalen Standortbedingungen arbeiten bietet sich die Möglichkeit, eine Fräse gemeinsam oder leihweise zu benutzen um die Fixkosten, die auch ohne einen Einsatz anfallen zu verringern.

Unter optimalen Bedingungen bietet ein Gerät mit einer höheren Flächenleistung und einer höheren Wirksicherheit auch bei großen Unkräutern vor allem die Möglichkeit Arbeitszeit einzusparen. Zum einen wird, bedingt durch eine höhere Flächenleistung, weniger Zeit für den Geräteeinsatz benötigt und zum anderen könnte durch die höhere Wirksicherheit bei großen Unkräutern mit anderen Einsatzstrategien geplant werden. Der Geräteeinsatz kann in einem späteren Wachstumsstadium der Unkräuter erfolgen. Dies führt zu insgesamt weniger Geräteeinsätzen und somit zu geringeren variablen Kosten und zu einer Vermeidung von Arbeitsspitzen, da der Zeitpunkt des Geräteeinsatzes nicht mehr ausschlaggebend für den Erfolg der Maßnahme ist. Unter ökologischen Gesichtspunkten bieten sich folgende Vorteile:

- Der Zeitpunkt des Einsatzes kann sich nach der Befahrbarkeit und nach dem Bodenzustand richten. Dadurch werden vor allem Verdichtungen im Spurbereich vermieden.
- Durch weniger Geräteeinsätze wird die Bodenstruktur in der Bearbeitungszone weniger stark beansprucht.
- Dadurch, daß auch große Unkräuter noch bekämpft werden können, kann ein Unkrautbesatz bis zu einer Größe, die den Kulturpflanzen nicht schadet toleriert werden. Ein Bewuchs des Bodens zwischen den Kulturpflanzenreihen kann die

Erosion vermindern.

Ungünstige Standorte mit hohen Niederschlägen und schweren Böden erfordern selbst bei einem guten Gerätebesatz aus Bürste, Hacke und Fräse eine sorgfältige Abschätzung und Planung der zu erwartenden Arbeiten zur Unkrautregulierung. Als Hauptproblem beim Einsatz von Bürsten, Hacken und Fräsen erwiesen sich bei der Modellkalkulation ebenso wie in der Literatur und in der Befragung die Einsatzgrenzen der Geräte im Bezug auf die Witterungsbedingungen und den Bodenzustand. Dabei ist es weniger die geringe Schlagkraft der Geräte, die eine Bearbeitung der gesamten Fläche in der zur Verfügung stehenden Zeit verhindert, sondern die Tatsache, daß aufgrund der hohen Niederschläge der Boden zu feucht ist und somit über einen längeren Zeitraum die notwendigen Geräte nicht eingesetzt werden können. Dabei können die Unkräuter so groß werden, daß sie mit den Geräten nicht mehr abgetötet werden können. Als "Notbremse" kann zum Teil noch die Fräse eingesetzt werden, die jedoch aufgrund ähnlicher Einsatzgrenzen im Bezug auf die Bodenfeuchte mit der Reihenhakke in Konkurrenz um die zur Verfügung stehende Zeit steht.

Die Anschaffung von mehreren Geräten zur Erhöhung der Schlagkraft mit dem Ziel, die wenige zur Verfügung stehende Zeit besser auszunutzen, kann vorteilhaft sein. Es müssen dann jedoch auch zusätzliche Schlepper und Arbeitskräfte zur Verfügung stehen.

Die Einsatzgrenzen der Geräte führen häufig zu einem Mißerfolg der maschinellen Unkrautregulierungsmaßnahmen und somit zu einem sehr hohen Handarbeitszeitaufwand. Vor allem auf großen Betrieben kann die mit der Handhacke zu bearbeitende Fläche so groß werden, daß sie mit den zur Verfügung stehenden Arbeitskräften nicht mehr zu bewältigen ist. Dabei muß beachtet werden, daß die Flächenleistung für die Handhacke je nach dem Grad der Verunkrautung weit unter oder über der in der Modellkalkulation angenommenen Flächenleistung liegen kann (KTBL 1994). In diesem Fall liegt es im Ermessen des Betriebsleiters, ob eine Unkrautregulierungsmaßnahme von Hand mit den daraus resultierenden hohen Kosten und Engpässen in der Arbeitsplanung durchgeführt, oder ob darauf verzichtet wird und dafür ein eventueller Verlust an Qualität und Quantität des Kulturertrags in Kauf genommen wird. Große

Betriebe haben somit ein höheres Anbaurisiko als kleinere, die in der zur Verfügung stehenden Zeit mit den Geräten die zu bearbeitende Fläche leichter bewältigen können und somit insgesamt weniger Handarbeit für die Unkrautregulierung anfällt.

Das größte Einsparungspotential bei der mechanischen Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen liegt in dem Vermeiden von zusätzlicher Handarbeit und den damit verbundenen Kosten.

Für ein optimiertes Gerät mit hoher Schlagkraft, hoher Wirksicherheit und hoher Toleranz gegenüber den Rahmenbedingungen ergeben sich demnach unter extremen Einsatzbedingungen folgende Vorteile:

- Weitere Einsatzgrenzen erhöhen die Anzahl der zur Verfügung stehenden Feldarbeitstage und führen zu einer flexibleren und einfacheren Einsatzplanung.
- Hohe Flächenleistungen führen zu geringen variablen Kosten.
- Eine sichere Wirkung auch bei großen Unkräutern vermeidet eine zusätzliche Handhacke und damit hohe Gesamtkosten.

Die Modellkalkulation bestätigt somit die in der Zielsetzung aufgestellte Hypothese, daß ein Gerät, das über die Kulturperiode an mehr Tagen eingesetzt werden kann als herkömmliche Geräte und das auch große Unkräuter schlagkräftig und wirkungsvoll bekämpfen kann selbst unter optimalen Bedingungen den Planungs- und Arbeitsaufwand und die Kosten für die Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen senkt.

Daher kann die Entwicklung eines neuen Gerätes mit obigen Eigenschaften als Lösungskonzept zur Optimierung der mechanischen Unkrautregulierung angenommen werden.

7 Bau und Überprüfung eines neuartigen Gerätes zur mechanischen Unkrautregulierung zwischen den Reihen

Für die Überprüfung der vorgeschlagenen Optimierungsmaßnahmen und des entwikkelten Gerätekonzeptes wurde dieses als Prototyp "Weihenstephaner Trennhacke" gebaut und in ersten Feldversuchen auf Regulierungserfolg, Fahrgeschwindigkeit und Einsatzgrenzen überprüft.

7.1 Konstruktion und Bau des Prototyps

Bei der Entwicklung des neuartigen Gerätekonzeptes sollten die drei diskutierten Optimierungsmaßnahmen angewendet werden:

- 1. Sicherstellung des Regulierungserfolges,
- 2. Erhöhung der Flächenleistung und
- 3. Ausweitung der witterungsbedingten Einsatzgrenzen.

Im ersten Schritt wurde das Anforderungsprofil für das neue Gerätekonzept konkretisiert. Im zweiten Schritt wurde das Funktionsprinzip und die gerätetechnische Umsetzung festgelegt und im dritten Schritt wurde das Gerätekonzept als Prototyp ("Weihenstephaner Trennhacke") gebaut.

7.1.1 Anforderungsprofil für das Gerätekonzept

Gemäß den oben genannten Optimierungsmaßnahmen muß das Gerätekonzept folgende Anforderungen erfüllen:

 Ein sicherer Regulierungserfolg muß gewährleistet sein. Vor allem große Unkräuter müssen noch sicher bekämpfbar sein, damit die Planung der Geräteeinsätze besser in den gesamten Betriebsablauf eingepaßt werden kann und nicht die Größe der Unkräuter den Einsatztermin dominiert.

- Eine hohe Flächenleistung, mindestens in der Größenordnung der Reihenhacke sollte erreicht werden. Dazu muß die Wirkung des Gerätes unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit oder besser adaptiv zu der Fahrgeschwindigkeit einstellbar sein. Letzteres gilt auch für niedrige Fahrgeschwindigkeiten.
- Das Gerät muß tolerant gegenüber den klimatischen Rahmenbedingungen sein.
 Dabei sollte weitestgehend unabhängig von der Bodenart und dem Feuchtezustand des Bodens eine sichere Regulierungswirkung gewährleistet sein. Dies würde zu einer Ausweitung der witterungsbedingten Einsatzgrenzen führen.

7.1.2 Festlegung des Funktionsprinzips

Um das Anforderungsprofil gerätetechnisch umzusetzen, mußte geklärt werden, mit welchen Arbeitswerkzeugen die geforderten Eigenschaften erzielt werden können. Für die Ausführung des Gerätekonzeptes wurden gezogene Werkzeuge mit angetriebenen Werkzeugen kombiniert. Die Auswahl und die Anordnung der Arbeitswerkzeuge wird im folgenden begründet und für jeden Anforderungspunkt einzeln diskutiert.

7.1.2.1 Sicherstellung des Regulierungserfolges

Bei den herkömmlichen Geräten zur mechanischen Unkrautregulierung zwischen den Reihen sollen die Unkräuter entweder unterschnitten und verschüttet (Reihenhacke) oder ausgegraben und enterdet (Reihenhackbürste) werden. Die Reihenhacke kann zwar große Unkräuter entwurzeln und teilweise ausgraben, für eine vollständige Verschüttung großer Unkräuter reicht jedoch die Menge der aufgeworfenen Erde nicht aus. Nicht verschüttete Unkräuter wachsen jedoch wieder an, wenn die Wurzeln Kontakt mit der Erde haben (GEYER et al. 1991). Eine Enterdung der Pflanzenwurzeln findet bei der Reihenhacke nicht statt. Die Reihenhackbürste ist in der Lage, herausgebürstete Unkrautpflanzen mit Hilfe der rotierenden Borsten zu enterden aber große und fester verwurzelte Pflanzen können nicht ausgeraben werden. Bei großen Unkräutern muß tief und mit hohen Bürstendrehzahlen gearbeitet werden, was zu einer

hohen Beanspruchung der Bodenstruktur führt (Weber 1992).

Um große Pflanzen vollständig zu verschütten muß entsprechend viel Erde aufgeworfen werden. Dies bedeutet, daß der Boden tief bearbeitet werden muß. Dies führt jedoch zu einer ungewollt starken Beanspruchung der Bodenstruktur. Das Arbeitsprinzip des optimierten Gerätes soll daher in der Entwurzelung und Enterdung der Unkrautpflanzen bestehen.

Bei einer Kombination von gezogenen mit angetriebenen Werkzeugen sollen die Vorteile beider Prinzipien genutzt werden um den erwünschten Effekt zu erzielen. Flach durch den Boden gezogene Gänsefußschare sollen die Unkrautpflanzen entwurzeln, große Wurzeln abschneiden und die bearbeitete Erde lockern und aufwerfen. Die angetriebenen rotierenden Werkzeuge wurden so über den Gänsefußscharen angeordnet, daß sie in die aufgeworfene Erde mit den darin vorhandenen Unkrautpflanzen von vorne eingreifen und Erde und Unkrautpflanzen nach hinten werfen können. Dabei sollen die Werkzeuge die an den Wurzeln anhaftenden Erdkrümel zerschlagen. Die Wurzeln der Unkrautpflanzen werden enterdet.

Da nur wenig Erde intensiv bearbeitet wird, wird erwartet, daß die Bodenstruktur insgesamt weniger beeinträchtigt wird als bei der Reihenhackbürste oder der Reihenfräse. Gleichzeitig kommen die Unkrautpflanzen auf der Beetoberfläche zu liegen und können so leichter austrocknen.

7.1.2.2 Erhöhung der Flächenleistung

Die Erhöhung der Flächenleistung muß bei einem beetweisen Anbau der Kulturen über eine Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit erfolgen. Die Wirkung von durch den Boden gezogenen Scharen nimmt bei höheren Fahrgeschwindigkeiten zu (KOCH 1964, KOOLEN und KUIPERS 1983 und GEYER et al. 1991).

Bei engen Reihenabständen und empfindlichen Kulturpflanzen muß aber unter Umständen langsam gefahren werden. Bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten sind an-

getriebene Geräte gegenüber der Reihenhacke im Vorteil (GEYER et al. 1991). Um die Wirksicherheit bei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten zu erhalten wurden deshalb gezogene mit angetriebenen Werkzeugen kombiniert.

Durch einen stufenlosen Antrieb kann unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit und der Motordrehzahl des Schleppers die notwendige Intensität der Bearbeitung entsprechend an die Art und Größe der Unkrautpflanzen und die Art und Feuchte des Bodens angepaßt werden.

7.1.2.3 Ausweitung der witterungsbedingten Einsatzgrenzen

Unter feuchten Bodenbedingungen nimmt die Wirkung der Reihenhacke ab, da die Erde nicht mehr aufgeworfen, sondern hauptsächlich verformt wird. Bei einer Kombination von gezogenen mit angetriebenen, rotierenden Werkzeugen müssen die gezogenen Werkzeuge keine Erde aufwerfen. Die Unkrautpflanzen müssen nur flach unterschnitten werden. Die unterschnittenen Unkrautpflanzen sollen von den angetriebenen Werkzeugen aufgenommen und durch den Aufprall der Werkzeuge enterdet und mechanisch geschädigt werden.

Unter trockenen Bodenbedingungen muß bei der Bearbeitung mit der Reihenhackbürste mit niedrigen Fahrgeschwindigkeiten und hohen Bürstengeschwindigkeiten gearbeitet werden, da die Borsten unter diesen Bedingungen schwerer in den Boden eindringen. Bei einer Kombination von gezogenen und angetriebenen Werkzeugen arbeiten die gezogenen Werkzeuge im Boden und die angetriebenen Werkzeuge durchkämmen und bearbeiten die aufgeworfene und gelockerte Erde mit den darin vorhandenen Unkrautpflanzen.

Je nach Bodenart und Feuchtegehalt kann unter feuchten Bedingungen die angetriebene Komponente und unter trockenen Bedingungen die gezogene Komponente überwiegen.

7.1.3 Bau des Prototyps der "Weihenstephaner Trennhacke"

Der Prototyp der Trennhacke wurde gemäß den Vorgaben aus Kapitel 7.1.2 konzipiert und von der Werkstatt der Bayerischen Landesanstalt für Landtechnik gebaut (Abb. 39).

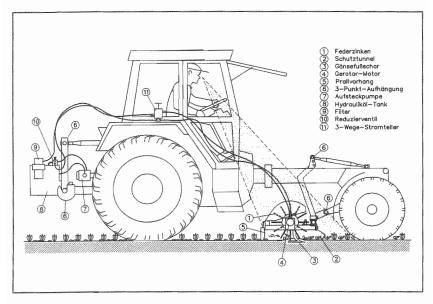


Abb. 39: Prototyp der Weihenstephaner Trennhacke im Zwischenachsanbau mit Antriebsaggregat

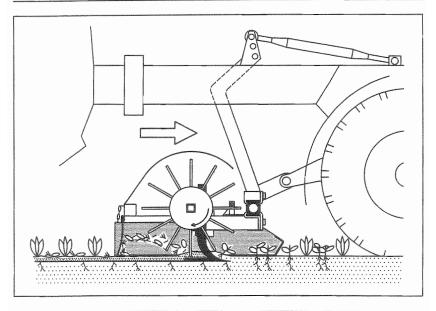
An eine Accord-Profilschiene ist ein Rahmen geklemmt auf dem mit Stehlagern die Werkzeugwelle befestigt ist. Auf der durchgehenden Werkzeugwelle sind Klemmprofilscheiben mit je 12 Federstahlzinken pro Scheibe aufgeschoben. Der Durchmesser der Zinken beträgt 6 mm, der Gesamtdurchmesser der mit den Zinken bestückten Scheiben beträgt 50 cm. Die Drehrichtung wird so festgelegt, daß die Federzinken am Boden entgegen der Fahrtrichtung, also nach hinten arbeiten. Der Antrieb der Werkzeugwelle erfolgt über einen Gerotor-Motor mit einem Schluckvolumen von 100 cm³/U und einem Regelbereich von 80 - 100 U/min. Die Regelung erfolgt über einen 3-Wege-Stromteiler, der eine druckunabhängige, stufenlose Drehzahlregelung

über den gesamten Regelbereich erlaubt. Direkt vor der Werkzeugwelle sind mit Scharhaltern an der Accord-Profilschiene Gänsefußschare befestigt. Der vertikale Abstand der Schare vom unteren Scheitelpunkt des Zinkenrotors beträgt ca. 3 cm.

Die Kulturpflanzen werden von 80 cm langen und 10 cm breiten Schutztunnels aus Stahlblech vor den rotierenden Federzinken und der durch die Gänsefußschare aufgeworfenen Erde geschützt. Die Schutztunnel sind mit Parallelogrammen an der Accord-Profilschiene befestigt und gleiten auf Kufen, um eine gute Bodenanpassung zu gewährleisten und ein seitliches Verschieben von Erdkrusten zu verhindern.

Als Antriebs- und Zugmaschine für die Trennhacke diente ein Geräteträger (F 360 GT) der Firma FENDT. Eine Aufsteckpumpe auf der Heckzapfwelle mit einem Fördervolumen von 85 cm³/U diente als Antriebsaggregat für den Hydraulikmotor der Trennhacke. Der Prototyp wurde für den Zwischenachsanbau in einer Arbeitsbreite von 1,50 m gebaut.

Der Prototyp der Weihenstephaner Trennhacke arbeitet nach dem in Kapitel 7.1.2 festgelegten Funktionsprinzip (Abb. 40 und 41 und Anhang, S. 201, Abb A1 und A2).



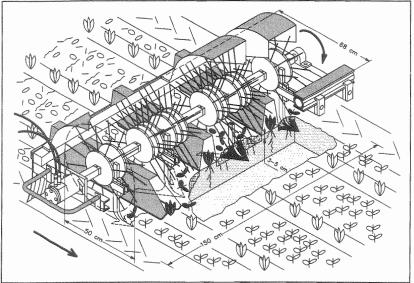


Abb. 40 und 41: Seitenansicht und Funktionsschnitt der Weihenstephaner Trennhacke

Die Gänsefußschare unterschneiden die Unkrautpflanzen in der eingestellten Tiefe von ca. 3 cm und werfen den Boden auf. Die rotierenden Federzinken durchkämmen die aufgeworfene Erde und werfen sie mitsamt den Unkrautpflanzen nach hinten. Durch den Aufprall der Federzinken wird die an den Unkrautwurzeln haftende Erde abgelöst. Dadurch, daß nur wenig Erde nach hinten geworfen wird, wird der größte Teil der Unkrautpflanzen auf der Beetoberfläche abgelegt und vertrocknet.

Es wurde erwartet, daß dieses Gerätekonzept dem aufgestellten Anforderungsprofil entspricht. Daher sollten sich die Auswirkung der gerätetechnischen Optimierung im Rahmen der Modellkalkulation bewegen. Für eine genauere Einordnung wurden Versuche mit einem Prototypen des Gerätes durchgeführt.

7.2 Überprüfung des ausgeführten Gerätekonzeptes

In ersten Versuchen sollte geklärt werden, ob die Anforderungen bezüglich Regulierungserfolg, Fahrgeschwindigkeit und den witterungbedingten Einsatzgrenzen mit dem neuen Gerätekonzept erfüllt werden können. Als weiteres Bewertungskriterium wurde die Beeinträchtigung der Bodenstruktur im Bearbeitungshorizont untersucht.

Die Ergebnisse stellen Tendenzen dar, die für eine erste Einordnung der Trennhacke und für eine exakte Planung von weiteren Versuchen unerläßlich sind.

7.2.1 Material und Methoden

7.2.1.1 Versuchsanordnung und -durchführung

Es wurden insgesamt zwei Versuchsläufe durchgeführt. Das Versuchsfeld war 50 m lang und 12 m breit. Dies ergab bei einer Spurbreite von 1,5 m eine Anzahl von 8 Beeten mit einer Länge von 50 m.

Versuch 1 (Untersuchungen zum Einfluß der Intensität der Bearbeitung, am

19.06.1996) und Versuch 2 (Untersuchung zum Einfluß der Bodenfeuchte, am 09. und 10.08.1996) wurden auf demselben Versuchsfeld durchgeführt. Die Bodenart auf dem Versuchsfeld war sandiger Lehm (sL). Nach DIN 4220 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 1996) (Tab. 6) wird diese Bodenart der Bodenklasse "mittel" zugeordnet.

Bei der Geräteeinstellung vor der Bearbeitung waren die Gänsefußschare 3 cm tief im Boden und die Federzinken berührten im Stand gerade die Beetoberfläche. Es wurden von Beetrand zu Beetrand (1,25 m) je 2 Streifen mit einer Breite von 35 cm und 2 Streifen mit einer Breite von 12,5 cm bearbeitet. Die 3 Schutztunnels ließen jeweils einen Streifen mit einer Breite von 10 cm unbearbeitet.

Versuch 1

Bei dem ersten Versuchsdurchgang (19.06.1996) sollte die Arbeitsweise der Trennhacke und die Auswirkung auf die Bodenstruktur bei einer Fahrgeschwindigkeit von 3 km/h und verschiedenen Intensitätsstufen (Bissenlänge und Aufprallgeschwindigkeit der Zinken auf den Boden) der Bearbeitung untersucht werden. Dabei wurde die Wellendrehzahl bei gleichbleibender Fahrgeschwindigkeit in 3 Stufen erhöht, was zu einer Steigerung der Intensität führt (Tab. 22).

Tab. 22: Versuchsparameter (Intensitätsstufen) bei Versuch 1

	n _{Welle}	$l_{ m Biss}$	V _U	$v_A = v_U - v_F$
Stufe 1	4,67 s ⁻¹	1,5 cm	7,3 m s ⁻¹	6,5 m s ⁻¹
Stufe 2	6,50 s ⁻¹	1,1 cm	10,2 m s ⁻¹	9,4 m s ⁻¹
Stufe 3	8,33 s ⁻¹	0,8 cm	13,1 m s ⁻¹	12,3 m s ⁻¹

n_{Welle}	:	Drehzahl der Werkzeugwelle	$[s^{-1}]$
l_{Biss}	:	Bissenlänge	[cm]
v_U	:	Umfangsgeschwindigkeit an den Zinkenspitzen	$[m s^{-1}]$
v_A	:	Aufprallgeschwindigkeit der Zinken auf den Boden	$[m s^{-1}]$
V_{F}	:	Fahrgeschwindigkeit	$[m s^{-1}]$

Die Bissenlänge ist der Abstand, in dem die Zinken auf den Boden auftreffen und beschreibt das Verhältnis von Fahrgeschwindigkeit zur Umfangsgeschwindigkeit an den Zinkenspitzen.

$$I_{Biss} = \frac{V_F}{n_{Welle} \cdot i_{Zinken}} \cdot 100 \tag{21}$$

Darin ist:

izinken : Anzahl der Zinken pro Umdrehung der Werkzeugwelle [-]

Die Differenz aus der Umfangsgeschwindigkeit (v_U) an den Zinkenspitzen und der Fahrgeschwindigkeit (v_F) beschreibt die Geschwindigkeit, mit der die Zinkenspitzen am unteren Scheitelpunkt auf den Boden auftreffen (v_A).

Pro Variante wurden je 2 Beete bearbeitet. Zur Überprüfung der Gerätevoreinstellung wurden auf zwei weiteren Beeten Testläufe durchgeführt.

Versuch 2

Beim zweiten Versuchsdurchgang (09./10.08.1996) sollte die Regulierungswirkung der Trennhacke bei hohen und bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten unter Beibehaltung der Bissenlänge, unter trockenen und feuchten Bodenverhältnissen und bei großen und bei kleinen Unkräutern untersucht werden. Daraus ergaben sich 8 Versuchsvarianten mit folgender Versuchsanordnung (Abb. 42):

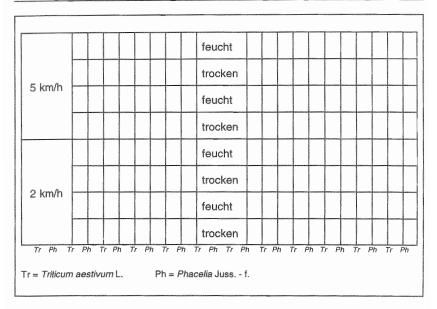


Abb. 42: Versuchsfeld mit Varianten der Vorversuche (09./10.08.1996)

Um ein möglichst gleichmäßiges Wuchsstadium der Unkräuter zu erhalten wurden Testpflanzen als Unkräuter angesät. Als Testpflanze für ein großes und schwer bekämpfbares Unkraut wurde *Triticum aestivum* L. (Saatweizen) und als Testpflanze für ein kleines, leicht bekämpfbares Unkraut wurde *Phacelia* Juss. - f. (Phacelia) gewählt. Die Modellpflanzen wurden auf dem Versuchsfeld abwechselnd in Streifen quer zur Fahrtrichtung in Abständen von 2 m angesät. Diese Anordnung vereinfachte die Erfassung des Regulierungserfolges nach der Bearbeitung und ermöglichte die Beobachtung der Verlagerung der Modellpflanzen in Fahrtrichtung.

Die Varianten wurden an zwei verschiedenen Terminen durchgeführt. Die erste Variante (feucht) erfolgte nach Niederschlägen, die zweite (trocken) erfolgte am darauffolgenden Tag nach einer Abtrocknungsphase.

Als hohe Fahrgeschwindigkeit wurde 5 km/h gewählt und als niedrige Fahrgeschwindigkeit 2 km/h. Die Drehzahl der Werkzeugwelle wurde so gewählt, daß bei beiden

Geschwindigkeitsstufen die Federzinken mit einer Bissenlänge von 2 cm auf den Boden auftrafen (Tab. 23).

Tab. 23: Versuchsparameter (Drehzahlen und Geschwindigkeiten) bei Versuch 2

V _F	n _{Welle}	$1_{ m Biss}$	v _U	V _A
2 km/h	2,3 s ⁻¹	2 cm	3,6 m s ⁻¹	3,0 m s ⁻¹
5 km/h	5,8 s ⁻¹	2 cm	9,1 m s ⁻¹	7,7 m s ⁻¹

Bei gleicher Bissenlänge erhöht sich bei einer Steigerung der Fahrgeschwindigkeit die Umfangsgeschwindigkeit und somit auch die Geschwindigkeit, mit der die Federstahlzinken auf den Boden auftreffen.

7.2.1.2 Erfassung des Regulierungserfolges

Durch die Aussaat der Testpflanzen in Streifen quer zur Fahrtrichtung blieben von jedem Streifen über die Breite der Beete jeweils 3 · 10 cm durch die Schutztunnel unbearbeitet. Nach der Bearbeitung wurde die Anzahl der nicht bekämpften Pflanzen auf den bearbeiteten Streifen mit der Anzahl der Pflanzen auf den nicht bearbeiteten Streifen verrechnet und die Reduzierung in Prozent als Regulierungserfolg angegeben.

7.2.1.3 Erfassung der Fahrgeschwindigkeit

Für die Fahrgeschwindigkeiten von 2, 3 und 5 km/h wurden in Testfahrten vor den Versuchen die entsprechenden Gänge und Motordrehzahlen ausgewählt. Die Messung der Fahrgeschwindigkeit erfolgte über den Tachometer des Geräteträgers.

7.2.1.4 Ermittlung der witterungsbedingten Einsatzgrenzen

Für jede Versuchsdurchführung wurde der Wassergehalt des Bodens im Bearbeitungshorizont nach den Vorgaben von ACHTNICH (1980) gravimetrisch bestimmt. Der Wassergehalt wird dabei durch Trocknung der Bodenprobe ermittelt und in Gewichtsprozent, bezogen auf den bei 105 °C 16 Stunden lang getrockneten Boden angegeben. Es wurden jeweils vier Bodenproben pro Beet entnommen.

Um einen Bezug zu den in Kapitel 4.3.3.2 (Tab. 8) angegebenen Ober- und Untergrenzen für die Unkrautregulierungsgeräte zu schaffen, muß der Wassergehalt in pflanzenverfügbares Wasser (Feuchte 10) umgerechnet werden:

$$F10 = F_G \cdot \varrho_B - F_W \tag{22}$$

Darin ist:

F10 : pflanzenverfügbares Wasser in der obersten Bodenschicht

(Schichtdicke: 10 cm) [mm]

 $\begin{array}{lll} F_G & : & Wassergehalt \, der \, Bodenprobe & [Gew.-\%] \\ \varrho_B & : & mittlere \, Dichte \, mineralischer \, B\"{o}den & [g/cm^3] \\ F_W & : & Welkefeuchte & [Vol.-\%] \end{array}$

Zuerst wird der Wassergehalt der Bodenprobe von Gewichtsanteilen in Volumenanteile umgerechnet. Nach ACHTNICH (1980) kann dafür bei mineralischen Böden mit allgemein ausreichender Genauigkeit für die Dichte der Mittelwert von 1,5 g/cm³ (HÜTTE 1967: 1,3 ··· 1,8 g/cm³) verwendet werden. Der Gehalt an pflanzenverfügbarem Wasser errechnet sich nach ACHTNICH (1980) aus der Differenz der ermittelten aktuellen Bodenfeuchte (Vol.-%) und der Welkefeuchte (Vol.-%). Die Welkefeuchte für sandigen Lehm beträgt 14 Vol.-%.

Dabei ist: 1 Vol.-% = 1 mm/dm Bodentiefe = 1 mm der Feuchte 10.

Der ermittelte Wert wird mit den angenommenen Werten für die Ober- und Unter-

grenzen auf mittleren Böden (Kap. 4.3.3.2, Tab. 9) verglichen.

7.2.1.5 Ermittlung der Auswirkung auf die Bodenstruktur

Zur Ermittlung der Beeinträchtigung der Bodenstruktur durch die Bearbeitung wurden jeweils vier Bodenproben aus einer Versuchsvariante entnommen und einer Siebanalyse (nach Söhne 1954) unterzogen. Die Entnahmetiefe entsprach dabei der Bearbeitungstiefe. Die Bodenproben für die Kontrollvariante wurden an der gleichen Stelle und in der gleichen Tiefe aus einem unbearbeiteten Streifen unter den Schutztunnels entnommen.

Die Proben wurden analog zu Kapitel 7.2.1.4 bei 105 °C 16 Stunden lang getrocknet und anschließend gewogen. Die getrockneten Proben wurden ausgesiebt. Die Siebgrößen betrugen 20 mm, 10 mm, 2,5 mm und 1,25 mm. Die Gewichtsanteile der Fraktionen wurden im Verhältnis zum Gesamtgewicht der Proben angegeben.

Eine Verschiebung der Fraktionsanteile in Richtung der kleinen Korngrößen läßt nach SÖHNE (1954) auf eine stärkere Zerkrümelung und damit auf eine stärkere Beeinträchtigung der Bodenstruktur durch die Bearbeitung schließen.

7.2.2 Ergebnisse

In den durchgeführten Versuchen entsprach die Arbeitsweise der Trennhacke dem Arbeitsprinzip, wie es in Kapitel 7.1.2 festgelegt wurde (Anhang, S. 201, Abb. A1 und A2).

7.2.2.1 Regulierungserfolg

Versuch 1

Bei den Versuchen am ersten Termin (19.06.1996, Witterung: warm und trocken) bestand die Unkrautflora hauptsächlich aus *Cirsium arvense* (L.) Scop. (Ackerdistel) mit einem Wuchsstadium von 4 bis 6 Blättern. Die Unkrautpflanzen lagen nach der Bearbeitung auf der Beetoberfläche. Die Wurzeln an den Pflanzen waren in einer Länge von 3 - 5 cm abgeschnitten oder abgerissen und enterdet (Anhang, S. 201, Abb. A2). Ein Wiederanwachsen der Pflanzen nach einem Zeitraum von einer Woche konnte nicht beobachtet werden. Der Regulierungserfolg in allen Versuchsvarianten war 100 %.

Versuch 2

An den Terminen zwei und drei (09. und 10.08.1996) wurde die Regulierungswirkung der Trennhacke an den angesäten Modellunkräutern *Triticum aestivum* L. und *Phacelia* Juss. - f. untersucht. Der Saatweizen hatte zum Zeitpunkt der Bearbeitung eine Wuchshöhe von ca. 15 - 20 cm. Die Phacelia-Pflanzen waren 5 - 8 cm hoch (2 - 6 Blätter). Durch die dichte Ansaat in den Streifen hatte vor allem der Saatweizen dichte Horste mit stark ineinander verzweigten Wurzeln gebildet.

Die Modellunkräuter lagen nach der Bearbeitung mit der Trennhacke mit enterdeten Wurzeln auf der Beetoberfläche. Die Verlagerung der Pflanzen durch die Bearbeitung beträgt ca. 20 - 30 cm entgegen der Fahrtrichtung. Dies entspricht dem Abstand von der Welle zum hinteren Prallschutz. Die Unkräuter werden nach hinten gegen den Prallschutz geworfen und fallen von dort auf den Boden. Bei der Versuchsdurchführung an Termin 2 (09.08.1996) war regnerisches Wetter und bedeckter Himmel, bei mäßig warmen Temperaturen. Bei der Versuchsdurchführung an Termin 3 (10.08.1996) war es hochsommerlich warm und trocken. An den Tagen nach den Versuchsdurchführungen war es warm mit vereinzelten Niederschlägen. Es konnte im Zeitraum von einer Woche kein Wiederanwachsen der Modellunkräuter beobachtet werden. Der Regulierungserfolg war unter beiden Versuchsbedingungen (feuchter Boden, trockener Boden) bei *Triticum aestivum* (L.) Scop. und bei *Phacelia* Juss. - f. 100 %.

7.2.2.2 Fahrgeschwindigkeit und Flächenleistung

Für die Fahrgeschwindigkeiten von 2, 3 und 5 km/h konnten keine Unterschiede in der Regulierungswirkung festgestellt werden. Die Arbeitsqualität der Trennhacke war bei einer Fahrgeschwindigkeit von 2 km/h die in etwa der Fahrgeschwindigkeit der Reihenhackbürste unter guten Bedingungen entspricht, gleich gut wie bei einer Fahrgeschwindigkeit von 5 km/h, die höher liegt als die von KESSLER (1996) gemessene Fahrgeschwindigkeit von 3,8 km/h der Reihenhacke.

7.2.2.3 Witterungsbedingte Einsatzgrenzen

Zum Zeitpunkt der Versuchsdurchführung wurde bei allen drei Terminen unterschiedliche Feuchtegehalte in der Bearbeitungszone gemessen (Tab. 24).

Tab. 24: Wassergehalt und Feuchte 10 in der Bearbeitungszone am 19.06.1996 und am 09. und 10.08.1996; Bodenart Versuchsfeld: sandiger Lehm (sL)

	Wassergehalt [Gew%]	Wassergehalt [Vol%]	Feuchte 10 [mm]
Versuch 1	9,6	14,4	0,4
X71-0	28,2	42,3	28,3
Versuch 2	19,0	28,5	14,5

Die Bodenart auf dem Versuchsfeld (sL) wird nach DIN 4220 (1996) in die Bodenklasse "mittel" eingestuft. Die Obergrenzen für die Bearbeitung liegen hier bei der Reihenhackbürste bei 22 mm und die Untergrenzen liegen für die Reihenhacke bei 5 mm. Die Untergrenze für die Reihenhacke wurde bei dem Versuchsdurchgang am 19.06.1996 deutlich unterschritten und die Obergrenze für die Reihenhackbürste wurde bei dem Versuchsdurchgang am 09.08.1996 deutlich überschritten.

Bei beiden Terminen konnte beim Einsatz der Trennhacke kein Unterschied im

Regulierungserfolg im Vergleich zu dem Versuchsdurchgang am 10.06.1996, bei dem der Gehalt an pflanzenverfügbarem Wasser in der oberen Bodenschicht (10 cm Dicke) ungefähr in der Mitte zwischen den Ober- und den Untergrenzen lag, festgestellt werden.

Die tatsächlichen Einsatzgrenzen der Trennhacke zeigten sich somit noch weiter als in der Modellkalkulation (Kap. 4.3.3.2) angenommen wurde. Bei einem Vergleich mit Hilfe des Simulationsprogramms stehen für die Arbeit mit der Trennhacke durch die erweiterten Einsatzgrenzen noch mehr Feldarbeitstage zur Verfügung (Abb. 43).

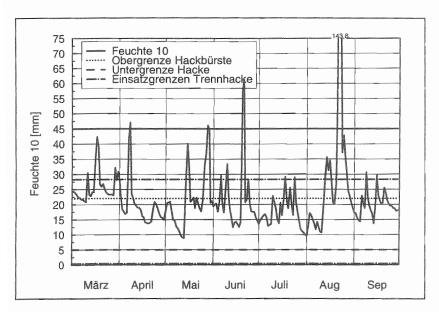


Abb. 43: Pflanzenverfügbares Wasser in der obersten Bodenschicht (Feuchte 10) und Einsatzgrenzen der Geräte; hohe Niederschläge/Bodenklasse mittel

Für die Gerätekombination aus Reihenhackbürste und Reihenhacke stehen unter den Rahmenbedingungen "hohe Niederschläge/Bodenklasse mittel" über den Zeitraum vom 1. März bis 30. September (214 Tage) 139 Feldarbeitstage zur Verfügung; davon 69 Tage für die Reihenhacke. Für die Trennhacke mit einer Einsatzobergrenze von 28,3 mm pflanzenverfügbarem Wasser in der obersten Bodenschicht (Versuchsdurch-

führung 09.08.1996) und einer Untergrenze von 0,4 mm (Versuchsdurchführung 19.06.1997) stehen im gleichen Zeitraum 181 Tage zur Verfügung.

7.2.2.4 Auswirkung auf die Bodenstruktur

Die Verteilung der Gewichtsanteile der Bodenfraktionen vor und nach der Bearbeitung werden für die einzelnen Versuche getrennt dargestellt (Abb. 44 und 45).

Versuch 1

Bei allen drei Intensitätsstufen (Bissenlänge 1,5 cm, 1,1 cm und 0,8 cm) nimmt der Anteil der Bodenkrümel mit einem Durchmesser über 20 mm im Vergleich zur Kontrolle ab. Die Gewichtsanteile in den anderen Fraktionen nehmen im Vergleich zur Kontrolle zu (Abb. 44).

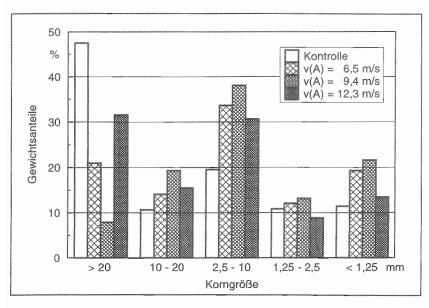


Abb. 44: Verteilung der Gewichtsanteile der Bodenfraktionen vor und nach der Bearbeitung mit verschiedenen Intensitäten; Feuchte 10 = 0.4 mm

Am stärksten ist die Zunahme in der Fraktion 2,5 - 10 mm Durchmesser. In der Fraktion 1,25 - 2,5 mm Durchmesser kann keine Tendenz festgestellt werden. Insgesamt konnte bei allen Intensitätsstufen eine eindeutige Abnahme der groben Bodenanteile (> 20 mm) im Vergleich zur Kontrolle festgestellt werden. Ein tendenzieller Zusammenhang zwischen Intensität der Bearbeitung der Verteilung der Bodenfraktionen konnte nicht beobachtet werden.

Versuch 2 Die Auswirkung der Bearbeitung auf die Bodenstruktur bei unterschiedlichen Feuchtegehalten läßt keine eindeutigen Tendenzen erkennen (Abb. 45).

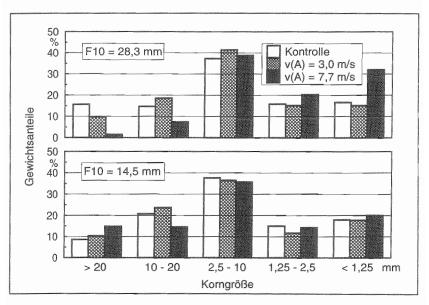


Abb. 45: Verteilung der Gewichtsanteile der Bodenfraktionen vor und nach der Bearbeitung bei unterschiedlichem Gehalt an pflanzenverfügbarem Wasser (Feuchte 10)

Auf feuchtem Boden und bei einer Aufprallgeschwindigkeit von 7,7 m s⁻¹ kam es zu einer Abnahme der Bodenfraktion mit einer Korngröße von mehr als 20 mm und einer Zunahme der Fraktion mit einer Korngröße von weniger als 1,25 mm.

Bei einer mittleren Bodenfeuchte (pflanzenverfügbares Wasser in der obersten Bodenschicht: 14,5 mm; Schichtdicke: 10 cm) konnten keine wesentlichen Veränderungen der Bodenstruktur beobachtet werden.

8 Diskussion

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, das Risiko und die Kosten bei der Anwendung der mechanischen Unkrautregulierung in Beetkulturen zu verringern. Zu Beginn der Arbeit wurde die Hypothese aufgestellt, daß ein optimiertes Gerät als Lösungskonzept in der Lage ist, dieses Ziel weitgehend zu erreichen. Mit Hilfe der Modellierung wurde eine Methode entwickelt, mit der es möglich ist, eine gerätetechnische Optimierung als Lösungsansatz zu bewerten. Im folgenden werden die Ergebnisse aus der Befragung, der Modellkalkulation und aus den Versuchen unter Einbeziehung des Wissensstandes im Hinblick auf die Zielsetzung diskutiert.

Die Diskussion gliedert sich in vier Abschnitte:

- Im ersten Abschnitt werden die Begrenzungen bei der mechanischen Unkrautregulierung und die Handlungsspielräume bei der Optimierung, wie sie sich aus den Ergebnissen der Befragung und im Stand des Wissens darstellen, diskutiert.
- Im zweiten Abschnitt wird diskutiert, inwieweit die Ergebnisse der Modellkalkulation die zu Beginn aufgestellte Hypothese erhärten und in welchen Größenordnungen sich die Optimierungsmaßnahmen auswirken. Ein besonderer Schwerpunkt liegt dabei auf der Darstellung und Bewertung der Möglichkeiten und Grenzen des angewandten Modells.
- Im dritten Abschnitt wird anhand der Ergebnisse aus den Versuchen diskutiert, ob das ausgeführte Gerätekonzept "Weihenstephaner Trennhacke" dem aufgestellten Anforderungsprofil entspricht und wie die Ergebnisse in den Rahmen der Modellkalkulation einzuordnen sind.
- Im letzten Abschnitt werden in einem Ausblick weiterführende Arbeiten diskutiert.

8.1 Begrenzungen und Handlungsspielräume bei der geräte- und verfahrenstechnischen Optimierung

Für die mechanische Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen liegt aus der Literatur zu den Bereichen Regulierungserfolg, Fahrgeschwindigkeit und Flächenleistung, Einsatzplanung, Arbeitszeitaufwand und Kosten eine große Bandbreite an lückenhaften und zum Teil widersprüchlichen Aussagen vor. Aus der Datenerhebung mit Hilfe der Befragung ergab sich eine ähnliche Bandbreite an unterschiedlichen und lückenhaften Aussagen. Die Befragung lieferte jedoch zusätzliche Informationen über die Rahmenbedingungen zu den jeweiligen Aussagen und damit eine Erklärungsgrundlage für die Widersprüche in den Einzelaussagen. Mit diesem Hintergrund lassen sich auch die Einzelaussagen aus der Literatur einordnen und ergeben zusammen mit den Ergebnissen aus der Befragung ein umfassendes Gesamtbild der mechanischen Unkrautregulierung in der Praxis.

Dabei muß beachtet werden, daß auch die Ergebnisse der durchgeführten Befragung in ihrer Vielfältigkeit zunächst nicht allgemein, sondern nur auf Betriebe mit ähnlichen Standortbedingungen übertragbar sind, da die Auswahl und der Umfang der Stichproben begrenzt ist. Mit der Begrenzung auf den bayerischen Raum mit einer Mehrzahl an kleinflächigen Betrieben ist auch eine Übertragbarkeit auf Betriebe mit großflächigem Anbau nicht sicher gewährleistet. Eine Ausweitung der Datengrundlage unter Einbeziehung weiterer Betriebsformen ist für zukünftige Arbeiten anzustreben.

Um eine Vergleichbarkeit von Daten und Ergebnissen in der Literatur zu gewährleisten, muß gefordert werden, die Aussagen immer im Zusammenhang mit einer Beschreibung der Rahmenbedingungen zu treffen. Dabei sind die Angaben zu den jeweils vorherrschenden Einsatzbedingungen wie Flächengröße und -zuschnitt, Kulturart und -größe, Art und Größe der Unkräuter, Reihenabstand, Bodenart, Bodenzustand und vor allem Bodenfeuchte, Witterung und nicht zuletzt zu der Fahrgeschwindigkeit während des Geräteeinsatzes von großer Bedeutung.

Die Ergebnisse der Befragung zeigten, daß ein großer Handlungsbedarf für die Optimierung der Geräte und Verfahren besteht. Der Erfolg der Maßnahmen zur mechanischen Unkrautregulierung hängt sehr stark von den Einsatzbedingungen ab. Dieser Einfluß liegt in den Funktionsprinzipien der Geräte begründet. Eine gerätetechnische Optimierung wird deshalb als wichtiger Schritt zur Optimierung der Gesamtverfahren angesehen. Dies deckt sich mit den Aussagen von GEYER et al. (1991) und ORTH (1993).

Die Einsatzplanung erhält durch die witterungsbedingt z.T. sehr engen Einsatzgrenzen der Geräte einen besonders hohen Stellenwert. ORTH (1993) sieht eine Vorausplanung des zeitlichen Anfalls von Arbeitsspitzen vor allem im Hinblick auf die schlechte Verfügbarkeit von Saisonarbeitskräften als unbedingt notwendig an. Der bei einem Mißerfolg der angewandten Verfahren anfallende hohe Arbeitszeitbedarf für die Handhacke macht eine gezielte und durchführbare Einsatzplanung, die auch eine Risikoabschätzung beinhaltet, unverzichtbar.

Die Ergebnisse der Befragung zeigen, daß die Betriebsleiter in der Praxis von Einsatz zu Einsatz je nach Größe der Unkräuter und je nach Witterung jedesmal aufs Neue entscheiden, da ihnen die Datengrundlage für eine umfassende Einsatzplanung fehlt. Nur wenige der Befragten konnten exakte Angaben zum Arbeitszeitbedarf der mechanischen Unkrautregulierung auf ihren Betrieben machen. Für eine exakte Planung ist es notwendig, daß die Geräte immer dann eingesetzt werden können, wenn ein Einsatz aufgrund der Verunkrautung notwendig ist. In der Praxis entscheiden jedoch meist die Einsatzbedingungen und hier vor allem die Witterung und die Bodenfeuchte in Verbindung mit den Einsatzgrenzen der Geräte, ob ein Einsatz möglich ist.

Große Betriebe versuchen durch einen hohen Mechanisierungsgrad eine höhere Flexibilität zu erreichen, indem sie mehrere, sich in ihren Funktionsprinzipien und Einsatzgrenzen ergänzende Geräte einsetzen. Sie sind aufgrund des geringeren flächenbezogenen Besatzes an festangestellten Arbeitskräften bei einem Mißerfolg der Maßnahmen ganz besonders auf die Verfügbarkeit von Saisonarbeitskräften angewiesen. Kleinere Betriebe sind meist schlechter mechanisiert und begründen dies mit den zu hohen Investitionskosten. In diesem Fall ist eine standort- und betriebsspezifische Geräteauswahl wie sie auch ESTLER (1991) fordert, besonders wichtig. In diesem Bereich herrscht weiterhin ein hoher Informationsbedarf. Der Modellansatz kann hier, bei definierten Standortbedingungen, Informationen über den zu erwartenden Arbeits-

168 Diskussion

zeitbedarf und zur Bewertung von Einsatzstrategien zur Verfügung stellen.

Die Einsatzplanung kann zusätzlich durch den Einsatz eines gegenüber äußeren Einflüssen unempfindlichen Gerätes erheblich erleichtert werden. Dieses kann nach Bedarf eingesetzt werden und ermöglicht so eine kulturspezifische (Standzeiten, Reihenschluß, etc.) Vorausplanung des anfallenden Arbeitszeitbedarfs. Durch höhere Flächenleistungen und die Fähigkeit, auch noch größere Unkräuter zu regulieren kann zudem noch der Arbeitszeitbedarf gesenkt werden. Eine Voraussetzung für die Entwicklung sicherer und kostengünstiger Verfahren ist daher eine gerätetechnische Optimierung.

8.2 Modellanwendung

Die Ergebnisse der Modellanwendung stellen exemplarisch den zu erwartenden Arbeitszeitaufwand und die Kosten für unterschiedliche Betriebe bei der Anwendung von zwei unterschiedlichen Verfahren zur mechanischen Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen dar. Durch die Auswahl der Einsatzbedingungen von optimal bis sehr ungünstig wurde versucht, die gesamte Bandbreite der unterschiedlichsten Standortbedingungen in der Praxis darzustellen. Eine weitere Aufgliederung der Modellannahmen wäre prinzipiell möglich gewesen und ist für spezifische Fragestellungen auch notwendig, aber zur Darstellung der gesamten Bandbreite der Ergebnisse wurden im Rahmen dieser Arbeit die Eckpunkte der möglichen Einsatzbedingungen gewählt. Die Ergebnisse der Modellkalkulation decken sich mit der Bandbreite der Aussagen in der Befragung und in der Literatur und bestätigen die Aussagen bezüglich des großen Einflusses der Rahmenbedingungen auf den Erfolg der mechanischen Verfahren (AUST 1987, LINDNER 1987, PETERS 1987, SCHULZ et al. 1987 und GEYER et al. 1991).

Als unterschiedliche Verfahren wurden eine Geräteausstattung aus Reihenhackbürste, Reihenhacke und Reihenfräse, die der von sehr gut ausgestatteten Betrieben aus der Umfrage entspricht, mit einem optimierten Gerätekonzept, das die Vorzüge der einzelnen Geräte in sich vereint, verglichen.

Dabei zeigten sich vor allem die Schwachstellen der herkömmlichen Verfahren im Vergleich mit dem optimierten Gerätekonzept. Unter ungünstigen Einsatzbedingungen kann die mechanische Unkrautregulierung mit herkömmlichen Geräten nicht mit Erfolg durchgeführt werden. Vor allem auf großen Flächen führt ein Mißerfolg der Verfahren zu einem sehr hohen Handarbeitszeitaufwand und somit zu hohen Kosten.

Der für den integrierten Anbau zulässige Einsatz von Herbiziden als Notwehrmaßnahme bei einem Mißerfolg der physikalischen Verfahren wurde in der Modell-kalkulation nicht zugelassen, da die Datenbasis für die Einsatzstrategien im Modell aus der Befragung von Betriebsleitern, die nach den Richtlinien ökologischer Anbauverbände produzieren erstellt wurde. Für eine Anwendung von Strategien des integrierten Pflanzenschutzes im Modell muß daher die Datenbasis durch Hinzufügen von Kenndaten der chemischen Verfahren erweitert werden (siehe Kap. 8.4). Dort wo kein Einsatz von Herbiziden möglich ist (z.B. fehlende Zulassung) bleibt die Vermeidung von Handarbeit als Hauptkostenfaktor die wichtigste Forderung, die an die Verfahren der mechanischen Unkrautregulierung zu stellen ist.

Die Modellkalkulation zeigt hier den Vorteil eines optimierten Gerätes auf, das auch unter sehr ungünstigen Einsatzbedingungen in der Lage ist, alle notwendigen Einsätze durchzuführen und dabei auch große Unkräuter zu regulieren und somit Handarbeit zur Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen zu vermeiden.

Unter optimalen Einsatzbedingungen ergeben sich für die Durchführung der notwendigen Geräteeinsätze mit einer Geräteausstattung, die aus Bürste, Hacke und Fräse besteht, keine Probleme. Hier besteht das Einsparungspotential eines optimierten Gerätes zum einen in der höheren Flächenleistung, durch die die variablen Kosten gesenkt werden können und zum anderen in der Verringerung des Fixkostenanteils durch eine höhere Flächenauslastung, da nur noch ein Gerät eingesetzt wird.

Es wurden bei der Modellanwendung im Rahmen dieser Arbeit nicht alle Möglichkeiten des Modells genutzt. Hier muß vor allem an eine einzelkulturbezogene Kostenanalyse gedacht werden. Diese muß für eine ökonomische Betrachtung bei der Kulturplanung eines Betriebes gefordert werden. Vor allem Betriebe, die integrierten Pflan170 Diskussion

zenschutz betreiben, benötigen bei der Entscheidung für ein Verfahren zur Unkrautregulierung ohne Herbizide eine klare Einschätzung des zu erwartenden finanziellen Aufwandes bei der Anwendung von Alternativen. Dasselbe gilt für eine einzelkulturbezogene Kalkulation des zu erwartenden Arbeitszeitaufwandes, die ORTH (1993) besonders hervorhebt.

Durch den modularen Aufbau des Modells (tägliche Berechnung der Bodenfeuchte, Ermittlung der zur Verfügung stehenden Feldarbeitstage, halbmonatiger Vergleich der Summe der zur Verfügung stehenden Feldarbeitstage mit der Summe der durch die Einsatzstrategie vorgegebenen benötigten Feldarbeitstage) ist eine Erweiterung im Hinblick auf eine einzelkulturbezogene Kalkulation möglich.

Bei umfassend definierten Einsatzbedingungen (aus Literaturrecherche und Befragung) ist die Methode der Modellierung und Modellkalkulation mit anschließender Überprüfung unter genau definierten Bedingungen effizienter als langjährige Praxisversuche unter ständig schwankenden Einsatzbedingungen. Die Erfragung von Einsatzbedingungen eines Vorgangs und die Bandbreiten, in denen sich dieser Vorgang bewegt, liefert vor allem bei Vorgängen, die standort- und situationsspezifisch starken Schwankungen unterworfen sind, ein wirklichkeitsgetreueres Bild als punktuelle Messungen. Die Schwankungen der Einsatzbedingungen können bei einer exakten Modellierung durch die Auswahl der Varianten und der entsprechenden Variablen bei der Modellkalkulation simuliert werden. Dadurch können die Extrembereiche abgedeckt werden. Durch die Rückkopplung von Versuchsergebnissen mit dem Modell kann dieses als Erklärungsmodul verwendet und gleichzeitig evaluiert werden.

Die in dem Modell angenommenen Eingangsgrößen, insbesondere die Flächenleistung und die Einsatzgrenzen der Geräte müssen noch genauer überprüft werden, da sie maßgeblich für die Qualität der Ergebnisse sind. Dazu muß die durch die Befragung erstellte Datensammlung fortgeführt und erweitert werden. Vor allem die Vielzahl der unterschiedlichen Betriebsformen und Betriebsgrößen verlangt nach einer individuellen Definition der Einsatzstrategien bei der Anwendung mechanischer Verfahren, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit im Bezug auf die Auswahl der unterschiedlichen Betriebsformen nur in begrenztem Umfang durchgeführt werden konnte. Weiterhin

sind die im Modell verwendeten Testreferenzjahre (DEUTSCHER WETTERDIENST 1984) als Datenbasis für den Witterungsverlauf bei der Übertragung der Modellergebnisse auf Einzelbetriebe auf spezifischen Standorten problematisch. Wenn die Klimadaten eines Betriebsstandortes zur Verfügung stehen, sollten diese im Modell verwendet werden. Dabei kann anhand aktueller Klimadaten, bei bekannten Bodeneigenschaften, das Modell zur Berechnung der aktuellen Bodenfeuchte überprüft und bei Bedarf angepaßt werden. Die vorgegebenen Einsatzbedingungen sind variabel und können innerhalb des Kalkulationsprogramms an den neuesten Erkenntnisstand angepaßt werden. Dazu können z.B. Meßergebnisse unterschiedlichster Herkunft verwendet werden, sofern sie unter definierten Bedingungen entstanden sind. Dies bestätigt sich dadurch, daß sich die Ergebnisse der Modellkalkulation und der Versuche innerhalb der Bandbreiten der Angaben in der Literatur und der Befragung bewegen.

8.3 Versuchsergebnisse

In den Messungen zur Überprüfung des optimierten Gerätekonzeptes konnte ein umfassender Eindruck von der Arbeitsweise und Wirkung der Weihenstephaner Trennhacke gewonnen werden. Durch die Auswahl definierter Versuchsparameter aus dem Modell (Bodenfeuchte, Unkrautgröße) wurde eine Rückkopplung mit dem Modell zur Überprüfung und Einordnung der ermittelten Daten in Bezug auf den Regulierungserfolg, die Fahrgeschwindigkeit und die witterungsbedingten Einsatzgrenzen ermöglicht.

Die Versuchsergebnisse, die auf einem Standort mit Böden, die der Bodenklasse "mittel" zuzuordnen sind ermittelt wurden, sollten durch Versuche auf Standorten mit Böden der Bodenklasse "schwer" ergänzt werden. Der Kulturverlauf auf dem ausgewählten Praxisbetrieb hat dies jedoch verhindert. Trotz des verringerten Meßaufwandes ist jedoch aus der Kombination des Modells mit Versuchen eine aussagekräftigere Datenbasis zu erreichen als allein durch umfangreiche Versuche.

Ein gegenüber den äußeren Einsatzbedingungen (Witterung, Bodenzustand, Fahrgeschwindigkeit) unempfindliches Funktionsprinzip hat sowohl technische als auch

172 Diskussion

ökonomische (arbeitswirtschaftliche) Vorteile.

Wenn auch noch bei großen Unkräutern ein sicherer Regulierungserfolg gewährleistet werden kann, reichen im Vergleich zu den herkömmlichen Verfahren weniger Bearbeitungen aus. Die ökonomischen Vorteile entstehen dabei vor allem durch die Senkung der variablen Kosten.

In dem überprüften Fahrgeschwindigkeitsbereich von 2 - 5 km/h konnte kein negativer Einfluß erhöhter Fahrgeschwindigkeit auf die Qualität der Regulierungswirkung festgestellt werden. Dies bedeutet, daß dort, wo die Beschaffenheit der Kulturpflanzen und die Reihenabstände eine höhere Fahrgeschwindigkeit zulassen, schnell gefahren werden kann und gleichzeitig ein sicherer Regulierungserfolg erreicht wird. Dies führt im Vergleich zu den bisher eingesetzten Verfahren zu einer Erhöhung der Flächenleistung. Damit wird, neben der Verringerung der variablen Kosten, auch die fristgerechte Bearbeitung großer Flächen eher möglich, was im Vergleich zu der aktuellen Situation für allem für Betriebe mit großen Anbauflächen eine wichtige Verbesserung darstellt. Dieses ist insbesondere für den Einsatz von mechanischen Verfahren im integrierten Anbau mit größeren Flächen von Bedeutung. Untersuchungen in diesem Bereich sind notwendig (siehe Kap. 8.4).

Eine von der Fahrgeschwindigkeit unabhängige Regulierungswirkung erhöht die Flexibilität beim Einsatz des Gerätes. Auch bei engen Reihenabständen und daraus resultierenden langsamen Fahrgeschwindigkeiten kann im Gegensatz zu der Reihenhacke die Regulierungswirkung aufrechterhalten werden. Diese Eigenschaft entspricht der Forderung einer bestmöglichen Anpaßbarkeit, die ESTLER (1991) stellt.

Der arbeitswirtschaftliche Vorteil besteht zum einen darin, daß die Trennhacke im Hinblick auf die Einsatzplanung flexibler eingesetzt werden kann, da auch noch große Unkräuter reguliert werden können und zum anderen darin, daß bei weniger Einsätzen die entsprechende Arbeitskraft und der Pflegeschlepper für andere Arbeiten zur Verfügung stehen.

In den Untersuchungen bestätigte sich die Annahme, daß mit dem optimierten Geräte-

konzept eine Ausweitung der witterungsbedingten Einsatzgrenzen erzielt werden kann. Dabei zeigte sich, daß die Einsatzgrenzen der Trennhacke noch weiter sind, als in den Modellkalkulationen angenommen wurde. Die im Modell berechneten Ergebnisse können daher als gesichert betrachtet werden; die Versuchsergebnisse lassen hier einen Spielraum nach oben vermuten. Dabei muß darauf hingewiesen werden, daß auch die Einsatzgrenzen der Reihenhackbürste, der Reihenhacke und der Reihenfräse nur aus zum Teil ungesicherten Literaturdaten entnommen wurden und einer weiteren Überprüfung bedürfen.

Es konnten bei den Messungen zur Überprüfung der Trennhacke keine eindeutigen Tendenzen in Bezug auf die Auswirkung der Bearbeitung auf die Bodenstruktur beobachtet werden. Eine Veränderung der Bodenstruktur durch die Bearbeitung mit angetriebenen Werkzeugen, wie sie bei der Reihenhackbürste (WEBER 1994a) oder bei der Reihenfräse (GALLWITZ und BREITFUSS 1953, FEUERLEIN 1957 und SAACKE 1995) festgestellt wurde, konnte in den Versuchen nicht nachgewiesen werden. Dies könnte an der Auswahl des Versuchsstandortes mit einem eher unproblematischen Boden liegen und stellt die Aussagen in der Literatur nicht in Frage. Die Annahme, daß eine höhere Aufprallgeschwindigkeit und eine geringere Bissenlänge zu einer stärkeren Beeinträchtigung der Struktur des bearbeiteten Bodens führen ist daher trotzdem gerechtfertigt.

Die Intensität der Bearbeitung muß deshalb an die jeweiligen Bedingungen angepaßt werden. Vor allem bei mehrmaligen Bearbeitungen und bei zu Verschlämmung, Verkrustung und Erosion neigenden Böden ist der bodenschonende Aspekt des Funktionsprinzps wichtig. Daher ist die Möglichkeit einer Anpassung der Intensität der Bearbeitung an die entsprechenden Bodenverhältnisse ein wichtiger Vorteil des optimierten Gerätekonzeptes, auch wenn dies in den Versuchen nicht eindeutig belegt werden konnte.

Die Hypothese, daß ein Gerät, mit dem weitgehend unabhängig von den äußeren Rahmenbedingungen sicher und schlagkräftig Unkraut reguliert werden kann, das Risiko und die Kosten bei der mechanischen Unkrautregulierung in Beetkulturen drastisch senkt und somit einen wichtigen Beitrag bei der Optimierung des Gesamt-

174 Diskussion

verfahrens darstellt, konnte durch die Ergebnisse der Versuche und deren anschließende Einordnung durch die Rückkopplung mit dem Modell somit mit befriedigender Genauigkeit belegt werden.

Die Trennhacke muß nun unter einer möglichst großen Bandbreite der Einsatzbedingungen in Praxisversuchen untersucht werden, um die Aussagen und Tendenzen aus der Modellkalkulation und den Versuchen abschließend zu bewerten, die Nachteile und Schwächen des Gerätes zu überprüfen und weitere Optimierungsmaßnahmen zu entwickeln.

8.4 Ausblick

Die Ergebnisse der Modellkalkulation zeigen, daß eine detaillierte und einzuhaltende Einsatzplanung als fester Bestandteil der gesamten Planung des Kulturablaufs notwendig ist. Die individuelle Anpaßbarkeit an verschiedene Einsatzbedingungen in dem benutzten Kalkulationsprogramm ist gegeben. Für eine Evaluierung und weitere Verbesserung des Programms ist eine Fortführung der Datensammlung in Verbindung mit Praxisversuchen notwendig. Zur Erhöhung der Qualität der erfaßten Daten wird eine Automatisierung der Erfassung vor allem im Bereich der Arbeitswirtschaft und der Erfassung von Klima- und Bodendaten angestrebt. Die Notwendigkeit einer Automatisierung wird insbesondere auch durch Erfahrungen aus Praxisuntersuchungen belegt, die nicht Gegenstand dieser Arbeit waren.

Um eine umfassende standort- und betriebsspezifische Planung von der Geräteausstattung bis zur Einsatzplanung durchführen zu können, ist eine Kopplung der Verfahren zur mechanischen Unkrautregulierung mit allen anderen Verfahren zur Unkrautregulierung (thermische Verfahren, chemische Verfahren, indirekte Verfahren) und eine Einbindung in die gesamte Kulturführung zwingend notwendig. Dies erfordert eine exakte Formulierung und Steuerung des Gesamtprozesses der Pflanzenproduktion und eine Erweiterung der Datenbasis des Modells durch die Ergänzung mit Kenndaten aller anzuwendenden Verfahren.

Ein besonderer Handlungsbedarf liegt dabei in der Erforschung und Entwicklung von physikalischen Verfahren zur Unkrautregulierung in der Kulturpflanzenreihe und der Entwicklung von Standardverfahren, die im integrierten Anbau in der Lage sind, Indikationslücken zu schließen und eine Reduzierung des Herbizideinsatzes in einem wirtschaftlich vertretbaren Rahmen zulassen.

Eine weitere Verbesserung und Nutzung des Modells zur standort- und betriebsspezifischen Planung und Vorhersage von anfallendem Arbeitszeit- und Gerätebedarf ist geplant. Dabei ist insbesondere auch an die Bewertung der Einzelsätze von Kulturen zu denken.

Um die Ergebnisse und Aussagen der vorliegenden Arbeit zu evaluieren und die Übertragbarkeit zu gewährleisten wird das neuentwickelte Gerät weiter unter möglichst vielfältigen Bedingungen in der Praxis eingesetzt und überprüft werden.

9 Zusammenfassung

Die Zahl der Gemüsebaubetriebe, die nach den Richtlinien des integrierten Anbaus oder des ökologischen Anbaus produzieren, nimmt ständig zu. Damit steigt die Zahl der Betriebe, die zur Unkrautregulierung physikalische Verfahren verwenden. Zur Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen werden bevorzugt mechanische Verfahren angewendet. Die Nachteile dieser Verfahren liegen in den niedrigen Flächenleistungen, den engen Einsatzgrenzen und in dem unsicheren Regulierungserfolg der eingesetzten Geräte. Dies führt zu einem hohen Arbeitszeitbedarf und damit zu hohen Kosten.

Für die zielgerichtete Entwicklung eines neuen Gerätes im Rahmen einer Optimierung der Verfahren zur mechanischen Unkrautregulierung in Beetkulturen müssen die Anforderungen und die Rahmenbedingungen für dessen Einsatz möglichst umfassend definiert sein. Dies erfordert eine Gesamtbetrachtung des Systems. Daher wurde die Systemtechnik als methodischer Ansatz gewählt. Im Rahmen einer Befragung wurde eine Zustandsanalyse durchgeführt, die die Darstellung des Gesamtsystems "Mechanische Unkrautregulierung" und eine Einordnung von z.T. widersprüchlichen Einzeldaten aus der Literatur ermöglichte und die Grundlage für die Erarbeitung eines Lösungskonzeptes bildete. Die Bewertung und Einordnung einer gerätetechnischen Optimierung als Lösungkonzept erfolgte auf der Basis einer Systemmodellierung. Gemäß des methodischen Ansatzes erfolgte anschließend die meßtechnische Überprüfung des ausgeführten Gerätekonzeptes.

Für die Zustandsanalyse wurde auf Gemüsebaubetrieben, die nach ökologischen Anbaurichtlinien wirtschaften, eine Datenerhebung durchgeführt. Es wurde erwartet, daß hier aufgrund der langjährigen Praxis ein großer Erfahrungsschatz im Bereich der mechanischen Unkrautregulierung vorliegt. Die Betriebsleiter wurden u.a. zu den Standortbedingungen, dem Gerätebesatz, der Verfahrenstechnik und zu den Problemen bei der Anwendung von Verfahren der mechanischen Unkrautregulierung befragt.

Für die mechanische Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen werden in der Praxis hauptsächlich Reihenhackbürsten, Reihenhacken und Reihenfräsen

eingesetzt. Der Mechanisierungsgrad der Betriebe ist von der Größe der Anbaufläche abhängig. Für eine bessere Anpassung an wechselnde Einsatzbedingungen benötigen auch kleinere Betriebe mehrere unterschiedliche Geräte. Ab einer Größe der Gemüseanbaufläche von mehr als 4 ha besitzen fast alle Betriebe eine Reihenhackbürste, eine Reihenhacke und z.T. zusätzlich noch eine Reihenfräse.

Im Verlauf einer Kultur erfolgen im Durchschnitt zwei Einsätze der Reihenhackbürste und zwei Einsätze der Reihenhacke. Die Reihenfräse wird vor allem bei größeren Unkräutern eingesetzt. Es wird dabei angestrebt, im Idealfall die Unkräuter vor dem Erreichen des 4-Blatt-Stadiums zu regulieren. Meistens bestimmen jedoch der Witterungsverlauf und die Bodenfeuchte den Einsatzzeitpunkt der Geräte. Wenn ein notwendiger Geräteeinsatz aufgrund widriger Einsatzbedingungen nicht durchgeführt werden kann, können die Unkrautpflanzen so groß werden, daß sie nur noch manuell entfernt werden können. Dies führt vor allem auf großflächigen Betrieben zu einem hohen Handarbeitszeitaufwand und damit verbunden zu einem hohen Bedarf an Saisonarbeitskräften und zu hohen Kosten.

Die wichtigsten Einflußfaktoren auf die Durchführbarkeit und den Erfolg der mechanischen Unkrautregulierungsmaßnahmen sind die Witterung und der Bodenzustand, die Größe der Unkräuter sowie das Funktionsprinzip und die Einsatzgrenzen der Geräte.

Eine gerätetechnische Optimierung, die dazu führt, daß das eingesetzte Gerät schneller und unempfindlicher gegenüber den äußeren Einflüssen sicher Unkraut regulieren kann, versetzt den Anwender in die Lage, die zu bearbeitenden Flächen vollständig und fristgerecht zu bearbeiten.

Für die Bewertung einer gerätetechnischen Optimierung wurde ein mathematisches Modell entwickelt, mit dessen Hilfe der zu erwartende Arbeitszeitaufwand und die Kosten für unterschiedliche Betriebe bei der Anwendung von zwei unterschiedlichen Verfahren zur mechanischen Unkrautregulierung zwischen den Kulturpflanzenreihen kalkuliert wurden. Die arbeits- und betriebswirtschaftlichen Rahmenbedingungen und die standortspezifischen Einsatzbedingungen können exakt definiert vorgegeben

werden.

Es wurde eine Geräteausstattung bestehend aus einer Reihenhackbürste, einer Reihenhacke und einer Reihenfräse mit einem optimierten Gerätekonzept, das die Vorzüge der einzelnen Geräte vereint, unter sehr ungünstigen und unter optimalen Einsatzbedingungen verglichen. Die Einsatzstrategien der Geräte wurden aus Ergebnissen der Datenerhebung und aus Literaturdaten entnommen.

Die Einsatzgrenzen der herkömmlichen Geräte erweisen sich als zentrales Problem. Unter ungünstigen Einsatzbedingungen können die Geräte nicht fristgerecht eingesetzt werden und sind aufgrund der niedrigen Fahrgeschwindigkeiten nicht in der Lage, die Flächen vollständig zu bearbeiten. Auf den nicht bearbeiteten Flächen muß die Unkrautregulierung von Hand durchgeführt werden. Dadurch entstehen sehr hohe Arbeitskosten. Die Gesamtkosten des Geräteeinsatzes werden aufgrund der geringen Flächenleistung der Geräte von den variablen Kosten dominiert.

Ein optimiertes Gerätekonzept, das die unterschiedliche Toleranz gegenüber äußeren Einflüssen der einzelnen Geräte in sich vereint, kann diese Geräte ersetzen und den Regulierungserfolg auch unter ungünstigen Einsatzbedingungen ohne zusätzlichen Handarbeitszeitaufwand sicherstellen. Die aufgweiteten Einsatzgrenzen ermöglichen einen fristgerechten Einsatz und somit eine durchführbare Einsatzplanung.

Unter optimalen Einsatzbedingungen ergeben sich für die Durchführung der notwendigen Geräteeinsätze mit einer Geräteausstattung, die aus einer Reihenhackbürste, einer Reihenhacke und einer Reihenfräse besteht, keine Probleme. Unter diesen Einsatzbedingungen besteht der Vorteil eines optimierten Gerätekonzeptes darin, daß durch den Einsatz von nur einem Gerät auf der gesamten Fläche der Fixkostenanteil verringert wird und durch die höhere Flächenleistung die variablen Kosten gesenkt werden.

Die Ergebnisse der Modellanwendung führten zu einer Konkretisierung des Anforderungsprofils für ein optimiertes Gerätekonzept. Das Ziel bei der gerätetechnischen Optimierung war es, ein Gerät für die mechanische Unkrautregulierung zwischen den Reihen zu entwickeln, das auch in den Grenzbereichen - zu naß, zu

trocken, große Unkräuter, hohe und niedrige Fahrgeschwindigkeiten - wirkungsvoll arbeitet, und somit in der Lage ist, die Zeit, die für eine erfolgreiche Unkrautregulierung zur Verfügung steht optimal zu nützen.

Gemäß dem Anforderungsprofil wurde das Gerätekonzept skizziert und in einen Prototypen umgesetzt. Das Gerät besteht aus einer Kombination von unterschneidenden, grabenden Werkzeugen mit rotierenden Werkzeugen. Breite Gänsefußschare unterschneiden die Unkrautpflanzen und werfen die Erde auf. Rotierende Federzinken greifen in den aufgeworfenen Erdstrom ein und trennen die Erde von den Wurzeln.

Der Prototyp wurde in Versuchen einer Überprüfung unterzogen. Durch die gewählte Werkzeugkombination ist es möglich, einen negativen Einfluß erhöhter Fahrgeschwindigkeiten auf die Regulierungswirkung auszuschließen. Die Einsatzgrenzen des optimierten Gerätekonzeptes sind weiter, als die der herkömmlichen Geräte. Die Ergebnisse überschreiten in den Untersuchungen z.T. die Erwartungen aus der Modellkalkulation. Es wurden auch unter ungünstigen Einsatzbedingungen größere Unkräuter vollständig reguliert.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit belegen, daß durch eine gerätetechnische Neuentwicklung mit einer höheren Flächenleistung und einem gegenüber äußeren Rahmenbedingungen unempfindlichen Funktionsprinzip, das Risiko und die Kosten bei der Anwendung mechanischer Verfahren der Unkrautregulierung drastisch verringert werden können.

Durch die Anwendung der Systemtechnik konnte die Auswirkung einer Geräteneuentwicklung zur Optimierung des Gesamtverfahrens quantifiziert und eingeordnet werden. Die Methode der Modellierung und der Modellkalkulation führt darüber hinaus zu einem besseren Verständnis für die Zusammenhänge innerhalb des Gesamtsystems "Mechanische Unkrautregulierung" und bietet Ansätze für weitere Maßnahmen zur geräte- und verfahrenstechnischen Optimierung der mechanischen Unkrautregulierung in Beetkulturen.

10 Summary

The number of vegetable farms that produce according to the guidelines of integrated or organic farming is steadily increasing. This means also an increase of the use of physical methods for weed control. For inter-row weed control mechanical methods are preferred. The disadvantages of these methods are the low working capacity and the operation limitations of the implements. This leads to a high labour requirement and therefore to high costs.

For the systematic development of new implements for the optimization of mechanical weed control in bedding cultivation the requirements and limits for its use have to be defined in detail. This requires a general view on the system. Therefore system engineering was used as a research method. Based on a survey, an analysis of the current situation of mechanical weed control was worked out. This analysis shows the system "mechanical weed control" and was the basis for the elaboration of a development concept. The evaluation of a technical optimization of implements was made on the basis of a system-model. According to the methodical approach the concept of a new implement was verified in field investigations.

The basis of the analysis of the current situation was a survey in vegetable farms that produce according to the guidelines of organic farming. The farmers were asked for data concerning the climate and soil conditions, the weed control machinery, the weed control strategies and the problems of the use of mechanical weed control techniques.

For the mechanical inter-row weed control mainly row brush hoes, row hoes and rotary hoes are used. The degree of mechanisation depends on the size of the crop area. In order to be able to react on changing conditions, even on smaller farms several different implements are needed. Almost all farms that have a crop area of more than 4 ha use a row brush hoe, a row hoe and sometimes in addition to that a rotary hoe.

There are on average two applications of the row brush hoe and two applications of the row hoe during the cultivation of a crop. The rotary hoe is especially used to control large weeds. The weed control should be carried out before the weeds reach a growing

stage of 4 leaves. However, in most cases the weather and the moisture of the soil define the time of an application. If there is no chance to control the weeds because of bad weather conditions it is possible that the weeds get so big that they can only be controlled manually. Especially in farms with large crop areas this leads to a high labour requirement and therefore to a high demand for seasonal labour and to high costs.

The main influence on the feasibility and success of mechanical weed control are weather, soil conditions, size of the weeds and the function principles and the operation limitations of the implements.

For the evaluation of a technical optimization a mathematical model was developed which helps to set working-, economical and location-specific conditions. Supported by this model, the expected labour requirement and cost for different farms that are using two different methods to control the weeds mechanically were calculated.

An equipment consisting of a row brush hoe, a row hoe and a rotary hoe was compared to an optimized implement concept that combines the advantages of these implements. This comparison was carried out in very disadvantageous and in optimal conditions. The strategies of the applications are based on the results of the survey and on literature data.

The operation limitations of the conventional implements proved to be the major problem. In given disadvantageous conditions, the implements cannot be used within the given time schedule and are not able to treat the complete aera because of their low driving velocity. On the areas that are left out, the weed control has to be done manually. This leads to very high labour costs. The costs of the applications are dominated by the variable costs because of the low working capacity.

An optimized implement concept that combines the tolerance towards exterior influences of the brush, the hoe and the rotary hoe can substitute theese implements and grant for success of the weed control even in disadvantageous conditions without additional hand work requirement. The extended possibilities allow the application due

to a time schedule and therefore a practicable working plan.

In given optimal conditions, there are no problems for the application with an equipment consisting of a row brush hoe, a row hoe and a row cultivator. In these conditions, the advantages of an optimized implement concept are: only one implement for the complete area reduces the fix costs and - because of a higher working capacity - the variable costs are reduced as well.

The results of the use of the model lead to a concrete formulation of the requirements for an optimized implement concept. The aim of the technical optimization was to develop an implement for mechanical inter-row weed control. This implement should also work efficiently and uninfluenced by driving velocity, soil moisture or size of the weeds. Therefore, it should be able to use the given time for a successful weed control as efficient as possible.

According to the requirements the implement concept was outlined and transferred into a prototype. The design of the implement is a combination of cutting and digging tools with rotating tools. Wide duckfoot shares cut the weed roots and throw up the soil; rotating spring times remove the soil from the weed roots.

The prototype was investigated in experiments. It could be proved that by means of the combination of tools it is possible to exclude the negative influence of high driving velocity on the weed control. The limitations of the optimized implement are less than the the limitations of the conventional implements. The results are to some extent even better than expected in the model calculation. Even in worse conditions bigger weeds were regulated completely.

The results of this work show that the risk and the cost of mechanical weed control can be drastically reduced by the development of implements with a higher working capacity and a function principle that is tolerant towards exterior influences.

By using system engineering the consequence of the design of a new implement for the optimization of the whole process was quantified and evaluated. The method of

modelling and model calculation leads also to a better understanding of the context within the whole system "mechanical weed control" and shows an approach for further steps in the technical optimization of the mechanical weed control in bedding cultivation.

11 Literaturverzeichnis

- ACHTNICH, W. 1980: Bewässerungslandbau. Agrotechnische Grundlagen der Bewässerungswirtschaft. Ulmer, Stuttgart.
- ASCARD, J. 1993: Inter-Row Cultivation in Carrots: The Effect on Yield of Hoeing and Brush Weeding. In: Communications of the Fourth International Conference I.F.O.A.M.: Non Chemical Weed Control, Dijon, France, 5th 9th July 1993, 321-325.
- ASCARD, J. 1995: Thermal weed control by flaming:Biological and technical aspects. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Agricultural Engineering, Report 200.
- AUGTER, G. 1983: Ein agrarmeteorologisches Modell zur Ableitung planungswürdiger Feldarbeitszeiten in der Frühjahrsbestellung. Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen.
- AUGTER, G. 1990a: Ermittlung verfügbarer Feldarbeitstage aus Klimabeobachtungen. KTBL, Darmstadt
- AUGTER, G. 1990b: Neue Daten zu verfügbaren Feldarbeitstagen. Landtechnik 45, 305-307.
- AUST, D. 1987: Bewertung des biologisch-dynamischen Anbaus von Obst und Gemüse aus betriebs- und arbeitswirtschaftlicher Sicht. Biologisch und dynamischer Land- und Gartenbau 44, Forschung und Beratung, Reihe C, 343-355.
- BABEIR, A.S., T.S. COLVIN und S.J. MARLEY 1986: Predicting Field Tractability with a Simulation Modell. Transactions of the ASAE 29, 1520-1525.
- BEREKHOVEN, L., W. ECKERT und P. ELLENRIEDER 1991: Marktforschung 5. Aufl., Verlag Dr. Th. Gabler GmbH, Wiesbaden.
- BERTRAM, A. 1994: Wärmeübergang und Pflanzenschädigung bei der thermischen Unkrautbekämpfung. Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. XIV, Beiträge zur 17. Deutschen Arbeitsbesprechung der Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. 24. Februar 1994, Stuttgart-Hohenheim, Ulmer, Stuttgart, 273-280.

- Bertram, A. 1996: Geräte- und verfahrenstechnische Optimierung der thermischen Unkrautbekämpfung. Forschungsbericht Agrartechnik des Arbeitskreises Forschung und Lehre der Max-Eyth-Gesellschaft Agrartechnik im VDI (MEG) 284, Dissertation, Institut für Landtechnik, Weihenstephan.
- BOKERMANN, R. und H.-G. HASSENPFLUG 1984: Analyse von Feldarbeitszeiten für ausgewählte Klimaregionen. Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch 61, 1101-1110.
- DEUTSCHER WETTERDIENST 1984: Test-Referenzjahre. Deutscher Wetterdienst, Frankfurt am Main.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 1977: DIN 19685: Klimatologische Standortuntersuchung im landwirtschaftlichen Wasserbau. Beuth-Vetrieb, Berlin, Köln.
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 1996: DIN 4220: Bodenkundliche Standortbeurteilung, Kennzeichnung, Klassifizierung und Ableitung von Bodenkennwerten (Normative und Nominale Skalierungen). Beuth-Vertrieb, Berlin, Köln.
- DIERAUER, H.-U. und H. STÖPPLER-ZIMMER 1994: Unkrautregulierung ohne Chemie. Ulmer, Stuttgart.
- DYER, J.A. und W. BAIER 1979: Weather-based Estimation of Field Workdays in Fall. Canadian Agricultural Engineering 21, 119-122.
- DYER, J.A. 1980: Fall Field Workdays in Canada. Tecn. Bull. 92, Agrometeorology Section, Land Resource Research Institute, Research Branch Agriculture Canada, Ottawa, Ontario.
- ENGLERT, G. 1997: Stoff-, Energie- und Informationsströme Anwendung der Systemtechnik in der landwirtschaftlichen Verfahrenstechnik. Landtechnik-Bericht 27, Landtechnischer Verein in Bayern e.V., Freising.
- ESTLER, M. 1989: Aktuelle landtechnische Aspekte der Unkrautbekämpfung. Vorträge zur Jahrestagung der Landtechnik Weihenstephan, 47-55.
- ESTLER, M. 1991: Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung von physikalischen Maßnahmen. KTBL-Arbeitspapier 150, 39-57.
- FEUERLEIN, W. 1957: Die Fräse im landwirschaftlichen Einsatz, Versuchsergebnisse und Bodenmessungen. Grundlagen der Landtechnik Heft 1-10, 1951-1958, Heft 9, 88-98.

- FRITZ, D. 1989: Gemüsebau. Handbuch des Erwerbsgärtners. Ulmer, Stuttgart.
- GALLWITZ, K. und J. BREITFUSS 1953: Vergleichende Untersuchungen an Bodenfräswerkzeugen in zwei Modellböden. Landtechnische Forschung 6, 125-129.
- GEYER, M., J. WITTROCK und J. MEYER 1991: Mechanische Unkrautbekämpfung im Gemüsebau. Deutscher Gartenbau 45, 1, 942-945.
- HABEL, W. 1954: Über die Wirkungsweise der Eggen gegen Samenunkräuter sowie deren Empfindlichkeit gegen den Eggvorgang. Zeitung für Acker- und Pflanzenbau 104, 39-70.
- HAMPL, U., M. HOFFMANN, Barbara KAISER-HEYDENREICH, W. KRESS und Julia MARKL 1995: Ökologische Bodenbearbeitung und Beikrautregulierung. SÖL-Sonderausgabe 56, Stiftung Ökologie und Landbau, Bad Dürkheim.
- HANKS, R.J. und G.L. ASHCROFT 1980: Applied Soil Physics. Advanced Series in Agricultural Sciences 8, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- HAUDE, W. 1958: Über die Verwendung verschiedener Klimafaktoren zur Berechnung der potentiellen Evapotranspiration. Meteorol. Rundschau 11, 96-99.
- HERRMANN, G. und G. PLAKOLM 1993: Ökologischer Landbau Grundwissen für die Praxis. Verlagsunion Agrar, München.
- HURLE, K. und A. KEMMER 1987: Wiederbelebung von Hacke und Striegel? Möglichkeiten und Grenzen der mechanischen Unkrautbekämpfung. Pflanzenschutz-Praxis xx, 2, 36-41.
- HÜTTE 1967: Taschenbuch der Werkstoffkunde (Stoffhütte) 4. Aufl., Akademischer Verein Hütte e.V., Verlag Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin, München.
- JANSSEN, J. und F. SCHOEDDER 1980: Ableitung von Luftzustandsgrößen aus meteorologischen Daten. Grundlagen der Landtechnik 30, 81-90.
- JOAS, A. 1992: Integrierte Marketingfunktionen 3. Aufl., MEYER, P. W. (Hrsg.), Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart.
- KESSLER, Chr. 1996: Ermittlung und Bewertung von arbeitswirtschaftlichen Daten der mechanischen Unkrautregulierung im ökologischen Gemüsebau. Diplomarbeit: Institut für Landtechnik, TU München-Weihenstephan.

- KOCH, W. 1964: Unkrautbekämpfung durch Eggen, Hacken und Meißeln in Getreide. Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau 4, 369-382.
- KOOLEN, A. J., und H. KUIPERS 1983: Agricultural Soil Mechanics. Advanced Series in Agricultural Sciences 13, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, NewYork, Tokio.
- KRESS, W. 1987a: Die Reihenhackbürste eine neue Entwicklung in der mechanischen Beikrautregulierung. In: HOFFMANN, M. und B. GEIER: Beikrautregulierung statt Unkrautbekämpfung. Alternative Konzepte 58, 2. Aufl., C. F. Müller, Karlsruhe, 83-88.
- KRESS, W. 1987b: Reihenhackbürste Bärtschi. Hackfruchtpflege Praxistest. dlz 38, 245-247.
- KRESS, W. 1994: Unkrautmanagement im Gemüsebau. Gemüse 30, 240-242.
- KURATORIUM BAYERISCHER MASCHINEN- UND BETRIEBSHILFSRINGE 1995: Verrechnungssätze für Maschinen- und Betriebshilfsringe.
- KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT e.V. KTBL 1993: Datensammlung Feldgemüsebau 5. Aufl., KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup.
- KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT e.V. KTBL 1994: KTBL-Taschenbuch Gartenbau. Daten für die Betriebskalkulation im Gartenbau 4. Aufl., KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup.
- KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT e.V. KTBL 1996: KTBL-Taschenbuch Landwirtschaft. Daten für die Betriebskalkulation in der Landwirtschaft 18. Aufl., KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup.
- LAMPKIN, N. 1990: Organic Farming. Farming Press, UK.
- LINDNER, U. 1987: Ergebnisse des 8jährigen Vergleichsversuches zwischen biologisch-dynamischem und konventionellem Gemüsebau. Biologisch-dynamischer Land- und Gartenbau 44, Forschung und Beratung, Reihe C, 283-288.
- LOHUIS, H. 1990: Mechanische Unkrautbekämpfung kommt wieder. Pflanzenschutz-Praxis, Heft 2, 14-16.

- MEYER, J. 1997: Pflanzenschutz und Unkrautregulierung. In: SCHÖN (Hrsg.): Landtechnik Bauwesen. Die Landwirtschaft, Reihe 3, 9. Aufl. (in Bearbeitung), BLV München.
- MÜHLBACH, J. 1990: Betriebsvergleich zwischen biologisch und konventionell geführten Betrieben. Landwirtsch. Schweiz 3, 629-633.
- NIEMANN, P. 1990: Unkräuter und Ungräser. In: HAUG, G., G. SCHUMANN und G. FISCHBECK: Pflanzenproduktion im Wandel Neue Aspekte in den Agrarwissenschaften. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim.
- ORTH, U.1993: Betriebswirtschaftliche Folgen umweltschonender Pflanzenschutzverfahren im Gemüsebau. Forschungsberichte zur Ökonomie im Gartenbau 74, Hrsg.: Institut für Gartenbauökonomie der Universität Hannover, Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Gartenbaues der TU München.
- PAHL, G. und W. BEITZ 1986: Konstruktionslehre. Springer-Verlag, Berlin.
- PARISH, S. 1990: A Review of Non-Chemical Weed Control Techniques. Biological Agriculture and Horticulture 7, 117-137.
- PEDERSEN, Brigitte Tønnes 1990: Test of the multiple row brush hoe. Veröffentlichungen der Bundesanstalt für Agrarbiologie Linz/Donau 20, 109-125.
- Peters, D. 1987: Positive Wirkung der Wildkräuter auf Nutzpflanze und Boden. In: Hoffmann, M. und B. Geier: Beikrautregulierung statt Unkrautbekämpfung. Alternative Konzepte 58, 2. Aufl., C. F. Müller, Karlsruhe, 99-112.
- PRIEBE, H. 1990: Ergebnisse ökologischer Wirtschaftweise. Lebendige Erde 3, 162-167.
- SAACKE, J. 1995: Untersuchungen zur mechanischen Unkrautregulierung in Körner-Amarant und Entwicklung eines Konzeptes für ein unkrautkontrollierendes Kulturmanagement ohne Chemie. Diplomarbeit: Institut für Landtechnik, TU München-Weihenstephan.
- SCHLÜTER, Claudia 1985: Arbeits- und betriebswirtschaftliche Verhältnisse in Betrieben des alternativen Landbaus. Agrar- und Umweltforschung in Baden-Württemberg 10, Stuttgart.

- SCHMID, O. und N. STEINER 1987: Erfahrungen mit der mechanischen Unkrautregulierung in Getreide auf Betrieben des biologischen Landbaus. In: HOFFMANN, M. und B. GEIER: Beikrautregulierung statt Unkrautbekämpfung. Alternative Konzepte 58, 2. Aufl., C. F. Müller, Karlsruhe.
- SCHULZ, T., H. HACHMANN und W. KÜHBACH 1987: Unkrautwachstum und Unkrautbekämpfung in einem biologisch-dynamisch und einem konventionell geführten Betrieb im mehrjährigen Vergleich. Biologisch-dynamischer Land- und Gartenbau 44, Forschung und Beratung, Reihe C, 140-146.
- SÖHNE, W. 1954: Krümel- und Schollensiebanalyse als ein Mittel zur Beurteilung der Güte der Bodenbearbeitung. Landtechnische Forschung 4, 79-81.
- TERPSTRA, R. und J. K. KOUWENHOVEN 1981: Inter-row and Intra-row Weed Control with a Hoe-ridger. J. agric. Engng. Res. 26, 127-134.
- WALTER, Sabine 1995: Nicht-chemische Unkrautregulierung. SÖL-Sonderausgabe 27, 2. Aufl., Stiftung Ökologie und Landbau, Bad Dürkheim.
- WEBER, H. 1992: Mechanische Unkrautbekämpfung: Untersuchungen zur Arbeitsweise und Wirkung der Reihenhackbürste. Diplomarbeit: Institut für Landtechnik, TU München-Weihenstephan.
- WEBER, H. 1994a: Unkrautbekämpfung mit Reihenhackbürsten Bekämpfungserfolg kontra Bodenschonung? Z. PflKrankh. PflSchutz., Sonderh. XIV, Beiträge zur 17.
 Deutschen Arbeitsbesprechung zur Unkrautbiologie und -bekämpfung, 22. - 24.
 Februar 1994, Stuttgart-Hohenheim, Ulmer, Stuttgart, 281-288.
- WEBER, H. 1994b: Mechanical Weed Control with a Row Brush Hoe. Acta Horticulturae 372, Symposium on Engineering as a Tool to reduce Pesticide Consumption and Operator Hazards in Horticulture, Ulvik, Norway, 10th 12th August 1993, Hrsg.: ISHS, 253-260.
- WILDFELLNER 1990: Mechanische Unkrautbekämpfung mit Marktübersicht der Geräte. Österreichisches Kuratorium für Landtechnik, Wien.
- WITNEY, B. 1988: Choosing and using Farm Machines. Agricultural Machinery. Longman Group UK Limited, Essex, England.
- ZOHREN, E. und F. MERZ 1997: Pflanzenschutztabellen für den Erwerbsgemüsebau 1997. Gemüse 33, Sonderbeilage.

ZHULAMANOV, K. R. 1978: Methode zur Bestimmung der Arbeitsbreite von Bodenfräsen. Kurzfassung. Landwirtschaftliches Zentralblatt 1-78/01-0168.

Anha	ing	
	Frag	gebogen
I Fı	agen zum Betrieb	
1.a)	Wie groß ist Ihr Betrieb?	
	ha Arbeitskräfte	
1 %	Walaha Cuëla und Farm hahan In	vo Cohliggo
1.b)		ha
		ha
	- durchschnittliche Schläggröße:	
	- rorm der Schlage:	
1.c)	Seit wann betreiben Sie mechanisc	che Unkrautbekämpfung?
2. W	o befindet sich Ihr Betrieb und mi	t welchen besonderen Standortbedingungen
ha	ben Sie es dort zu tun?	
	Ort:	
	☐ nasse Böden mit geringer Tragi	fähigkeit
	☐ Hänge und Böschungen	
	☐ Flächen mit Hindernissen	
	☐ kleine Schlaggrößen	
	☐ steinige Böden oder Flächen m	it Fremdkörpern
	□ sonstiges	

3.		Bodenart handelt es sich bei den von Ihnen bearbeiteten Flächen und Bodenstruktur aus?
	Bodenart:	□ sandiger Boden □ sandig-lehmiger Boden □ lehmiger Boden □ toniger Boden
		□ schluffiger Boden □ sonstiges
	Bodenstrukt	ur:
4.8	abstand?) - Hauptku	Kulturen bauen Sie an? (Wieviele Reihen pro Beet, welcher Reihen- ulturen (Anzahl der Sätze): ulturen (Anzahl der Sätze):

2.c)	Wieviele Durchgageführt?	inge mit den	Geräten werden in	den einzelnen	Kulturen durch-
	☐ einmal pro Ku	lturperiode			
	☐ zweimal pro K	Culturperiod	e		
	☐ dreimal pro K	ulturperiode			
	□ viermal pro K	ulturperiode			
	☐ mehrmals; An	zahl:			
2.d)	Wie hoch ist in et	wa der Erfo	lg der Regulierung	smaßnahmen	?
	□ 10 % □	20 %	□ 30 %	□ 40 %	□ 50 %
	□ 60 % □	1 70 %	□ 80 %	□ 90 %	□ 100 %
2.e)	Gibt es bei der U	nkrautreguli	erung Probleme? (Geräte, Kultur	ren,)
3. W	ie groß ist der Arb	eitszeitbedai	f für die einzelnen	Geräte?	
	Geräte	Anzah	ıl der Arbeitskräfte		szeitbedarf Kh/ha]
		_			
t I		11			

196		Anhang	THE RESIDENCE OF THE PROPERTY
4.a)	-	hwindigkeit werden die einze wie groß ist die Flächenleisti	
	Geräte	Fahrgeschwindigkeit [km/h]	Flächenleistung [ha/h]
4.b)	□ nein	den einzelnen Kulturen?	
4.c)	 □ nicht wesentlich □ erheblich mehr Ankräften notwendig □ es mußten zusätzlig 	eren Handarbeitsaufwand dur rbeitsaufwand aber keine Eir ch Saisonarbeitskräfte einges	stellung von Saisonarbeits-
	Velche Schlepper setzer Standardschlepper Systemschlepper Geräteträger Sonderbauarten:	n Sie zur mechanischen Unkr	autregulierung ein?
	osten, sonstiges)	n für die Unkrautregulierung?	

197

Kultur	Sätze	A(C)	^	://	М	ārz	A	oril	M	ai	Ju	ıni	Ji	uli	Α	ug		Sep
Nunui	Salze	A(S)	Α	i(A)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Zwiebel	1	10	10	4		B5	B5	B5	B5	H5	H5	H5	H5					
						B3,3	B3,3	Н3,3	H3,3									
Möhre	3	3,333	10	4				В3,3	B3,3	Н3,3	H3,3							
										B3,3	B3,3	H3,3	H3,3	1				
Kohl	1	2,5	2,5	3						B2,5		H2,5		H2,5				
Chinakohi	2	1,25	2,5	3			B1,25	H1,25	H1,25									
Offinakoffi		1,23	2,5	3						B1,25	H1,25	H1,25	1.00					
								B0,5	H0,5									
									B0,5	H0,5								
Kohlrabi	5	0,5	2,5	2							B0,5	H0,5						
												B0,5	H0,5					
													B0,5	H0,5				
Nebenkit.	Х	Х	2,5	4			B1	H1	B1	H1	B1	Н1	B1	H1	B1	H1		
Bürste [ha]						8,3	10,6	8,8	9,8	7,1	4,8	0,5	1,5	0	1	0		52,4
Hacke [ha]								5,6	5	9,8	9,6	13,6	8,8	4	0	1		57,4
Σ [ha]						8,3	10,6	14,4	14,8	16,9	14,4	14,1	10,3	4	1	1		109,8

A(S) Fläche pro Satz

Fläche pro Kultur

i(A) Anzahl der Bearbeitungen für die Gesamtfläche

B1 Bearbeitung mit der Reihenhackbürste; bearbeitete Fläche: 1 ha

Н Bearbeitung mit der Reihenhacke

Kulturdauer von Saat/Pflanzung bis Ernte

Tab. A2: Flächenbelegung und Einsatzplanung für den Modellbetrieb II (10 ha gärtnerischer Freilandgemüsebau; durchschnittliche Schlaggröße: 0,5 ha)

111111111111111111111111111111111111111	0	18		3	Σ	März	April	ril	Mai	je.	Juni	ic.	J.	Juli	At	Aug	0,	Sep
Malitai	24125	A(0)	٤.	(X)	-	2	-	2	-	2	-	2	-	2	-	2	+	2
						B0,31	B0,31 H0,31	H0,31	H0,31									
							80,31	80,31	B0,31 H0,31 H0,31	H0,31								
								B0,31	B0,31 B0,31 H0,31 H0,31	H0,31	H0,31							
100	C.	Č		-					B0,31	B0,31 H0,31		H0,31						
200	0	5,0	ς, Ω	4						B0,31	B0,31	H0,31	H0,31					
								h.,,,,,,,,			B0,31	B0,31	H0,31	H0,31				
								***********	Lormon			B0,31	B0,31	H0,31	H0,31			
													B0,31	B0,31	H0,31	H0,31		valence
ON HER DEPARTMENT OF THE PROPERTY OF THE PROPE						B0,2	H0,2											
							B0,2	140,2										
Oncore							B0,2	H0,2										
								B0,2	H0,2									
4	ç	0	((80,2	H0,2								
Salat	2	ν,	N	N		- Contraction	***************************************	b		B0,2	H0,2							
											B0,2	H0,2	11					
										L		B0,2	H0,2					
														B0,2	5,01			
															80,2	H0,2		
- de sido		L	,	(80,5	H0,5	H0,5									
Cillianorii	7	6,0	-	2					and all	B0,5 H0,5		H0,5						

Fortsetzung Tab. A2:

		1								TRUPS.		100.52			-							
Sep	2											H0,1										
O)	-									9	Ī	B0,1		***************************************								
Aug	2								F.0H	1 68												H0 4
Au								H.,	B0.1												H0,1	B0.1 H0.1
	2						HO,1	B0,1												H0,1	-	-
Juli							B0,1												H,GH	88		
'n	2					F. 9												F, 6H	B0,1			3
Juni					H.,	B0,1											H0,1	1,08			-	
Mai	2			H0,1	B0,1											H0,1	B0,1					
Ž	-		F,0H	B0,1											H0,1	B0,1				-		
-	2	£,	B0,1					-						F, 0, H	B0,1							
April	-	B0,1											H0,1	B0,1						-		
172	2		-										B0,1								-	
März	-,-								-													
(8)	3				202110	C	N						***************************************				(N				
	<					,		CO									,					
(Q) V	W(0)					7	- 5		***************************************		-					Marin Co., Laurence						
Căt70	Salze					ç	2				-						9	2		***************************************		
Kulfter			SEPT VANCE AND			Z Z Z Z Z Z Z Z	Norman											Hellich				

200

Kultur	Cätes	A(C)		.,,,	М	ärz	A	oril	M	lai	Ju	ıni	J۱	uli	A	ug	,	Sep
Kultui	Sätze	A(S)	Α	i(A)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
								B0,19	H0,19									
									B0,19	H0,19								
										B0,19	H0,19							
Blumen-		0.40									B0,19	H0,19						
kohl/ Brokkoli	8	0,19	1,5	2						Avenue		B0,19	H0,19					
													B0,19	H0,19				
														B0,19	H0,19			
															B0,19	H0,19		
Kohl	1	1	1	3						B1	H1		Н1					
Nebenklt.	Х	Х	2,5	4			B1	H1	B1	H1	B1	H1	B1	H1	B1	Н1		
Bürste [ha]						0,613	2,725	1,213	2,21	2,71	2,21	1,11	2,01	0,9	1,59	0,1	0,1	0
Hacke [ha]						0	0,300	2,410	1,71	2,21	2,71	2,71	2,11	2,01	1,21	1,9	0,1	0,1
Σ [ha]						0,613	3,025	3,623	3,92	4,92	4,92	3,82	4,12	2,91	2,80	2,0	0,2	0,1

 Σ Bürste [ha] = 17,5 ha Σ Hacke [ha] = 19,5 ha

 Σ insgesamt [ha] = 37,0 ha

A(S) = Fläche pro Satz

= Fläche pro Kultur

i(A) = Anzahl der Bearbeitungen für die Gesamtfläche

B1 = Bearbeitung mit der Reihenhackbürste; bearbeitete Fläche: 1 ha

H = Bearbeitung mit der Reihenhacke

Kulturdauer von Saat/Pflanzung bis Ernte

Anhang 201

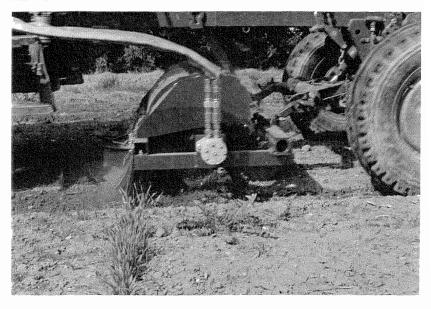




Abb. A1 und A2: Die Weihenstephaner Trennhacke im Einsatz