

**Effizienz mechanischer Unkrautregulations-  
maßnahmen im Freilandgemüsebau**

Vom Fachbereich Gartenbau  
der Universität Hannover  
zur Erlangung des akademischen Grades eines

**Doktors der Gartenbauwissenschaften**

- Dr. rer. hort. -

genehmigte  
Dissertation

von

Dipl.-Ing. agr. Hermann Laber  
geboren am 29.09.1962, in Borghorst

1999

Referent: Prof. Dr. H. Stützel

Korreferent: Prof. Dr. P. Zwerger

Tag der Promotion: 22. Juli 1999

## Kurzfassung

### Hermann Laber: Effizienz mechanischer Unkrautregulationsmaßnahmen im Freilandgemüsebau

#### Schlagwörter: Bekämpfungserfolg, Unkrautkonkurrenz, Kulturpflanzenschäden

Im Rahmen einer über zwei Vegetationsperioden laufenden Untersuchung wurde die Effizienz mechanischer Unkrautregulationsmaßnahmen als Funktion des Bekämpfungserfolges und der Nebenwirkung in Möhren (*Daucus carota* L. ssp. *sativus* (Hoffm.) Schübl. et G. Martens), Sälzwiebeln (*Allium cepa* L. var. *cepa*) und Blumenkohl (*Brassica oleracea* L. convar. *botrytis* (L.) Alef. var. *botrytis*) untersucht.

Es erfolgte eine Quantifizierung des Bekämpfungserfolges in Abhängigkeit von technischen, ökologischen bzw. pflanzenbaulichen Rahmenbedingungen und eine Erfassung der durch die Maßnahmen auftretenden Nebenwirkungen in Hinblick auf Bestandesentwicklung und Ertrag der Kulturen. Neben Erhebungen auf mehreren ökologisch bewirtschafteten Praxisschlägen, die eine Variation verschiedener Einflußgrößen versprachen, wurden Versuche durchgeführt, bei denen die Ausprägung bestimmter Faktoren systematisch variiert wurde.

Mit der Hacktiefe, der Bodenfeuchte und der klimatischen Wasserbilanz des Hacktages konnten wesentliche Einflußfaktoren auf den Bekämpfungserfolg beim Hacken quantitativ bestimmt werden. Modellrechnungen verdeutlichten, daß die Bedeutung dieser Faktoren für den Bekämpfungserfolg auf die für die Unkräuter nach einem Hackgang weiterhin verfügbare Wassermenge im bearbeiteten Bodenhorizont zurückzuführen ist. Mit zunehmender Unkrautgröße nahm darüber hinaus der Bekämpfungserfolg im allgemeinen ab. In einem Modellversuch mit Phacelia (*P. tanacetifolia* Benth.) deutete sich allerdings auch an, daß, zumindest im direkten Arbeitsbereich von Gänsefußscharen, dieser Wirkungsabfall nicht zwangsläufig auftreten muß.

Schar- und Rollhacke erwiesen sich unter trockenen Witterungsbedingungen als gleichermaßen wirksame Hackgeräte. Bei simulierten Niederschlägen zeigte die Rollhacke durch ihre verschüttende Wirkungskomponente Vorteile bei der Bekämpfung von Unkrautkeimlingen. Dagegen erfaßte die Scharhacke größere Unkräuter sicherer als die Rollhacke. Die in der Literatur beschriebene Verbesserung des Hackerfolges durch einen nachlaufenden Striegel konnte bestätigt werden.

Dem hochgesteckten Ziel, den Bekämpfungserfolg in der Reihe zu verbessern, konnte bei Möhren und Sälzweibeln mit ihrer sehr langsamen Jugendentwicklung nur ein kleiner Schritt näher gekommen werden. Es zeigte sich, daß hier mit der Striegel- und der Häufeltechnik Verbesserungen bei der Unkrautregulation erzielt werden können. Da bei diesen Kulturen aber bereits wenige überlebende Unkräuter pro m<sup>2</sup> massive Ertragsverluste zur Folge haben können, führt eine derartige Verbesserung des Bekämpfungserfolges im allgemeinen nur zu einer Verminderung, nicht aber zur Vermeidung des Handarbeitsaufwandes bei rein thermisch/mechanischer Unkrautregulation.

Mit Mindererträgen von zum Teil über 20% gegenüber unkrautfreien Beständen waren bei betriebsüblicher Unkrautregulation überraschend hohe Ertragseinbußen auf den ökologisch bewirtschafteten Praxisschlägen zu verzeichnen. Diese sind auf ein zu spätes und auch nicht immer ausreichendes Jäten zurückzuführen.

Größere Kulturpflanzenschäden traten, auch bei den Striegel- und Häufelvarianten, im allgemeinen nicht auf. Bei durchschnittlich 3% Pflanzenverlusten waren geringfügige Ertragsverluste durch die Bearbeitungen zu verzeichnen. Die positiven Nebeneffekte einer mechanischen Unkrautregulation in Folge der Bodenlockerung führten nur in zwei Versuchen zu absicherbaren Mehrerträgen. Herauszustellen ist, daß dieses nur bei einem Anhäufeln von Möhren auftrat, einem Verfahren, bei dem eher eine geringe Schädigung der Kultur erwartet wurde.

## **Abstract**

### **Hermann Laber: Efficiency of mechanical weed control measures in field vegetable production**

#### **Keywords: weed control, weed competition, crop damages**

Within the scope of investigations over two growing seasons, the efficiency of mechanical weed control measures as a function of the weed reduction and their side effects were investigated in carrots (*Daucus carota* L. ssp. *sativus* (Hoffm.) Schübl. et G. Martens), seeded onions (*Allium cepa* L. var. *cepa*) and cauliflower (*Brassica oleracea* L. convar. *botrytis* (L.) Alef. var. *botrytis*).

The rate of weed control was quantified as depending on technical and ecological or agronomic conditions. Side effects of the control measures were recorded with regard to stand development and crop yield. In addition to investigations on several biologically managed production fields, which promised a variation of various parameters of influence, field trials with a systematic variation of specific factors were conducted.

The depth of the hoeing, the soil water content and the climatic water balance proved to be the main factors of influence in the weed control by hoeing. Model calculations showed, that the importance of these factors for the weed control was due to the availability of water to the weeds in the cultivated soil layer. Furthermore, the rate of weed control generally decreased with increasing weed size. However, results from a model experiment with phacelia (*P. tanacetifolia* Benth.) suggested that this decrease could be avoided at least in the direct working area of a duck-foot share.

In case of dry weather conditions, the conventional share hoe and the rolling cultivator proved to be equally effective. Under simulated precipitation, the rolling cultivator showed a better control of weed seedlings due to the burying mode of action. On the other hand, the share hoe was more effective against bigger weeds than the rolling cultivator. Literature reports on the improvement of the rate of weed control of hoeing with subsequent harrowing as can be confirmed.

The high aim to improve the weed control in the rows of carrots and seeded onions with their extremely slow juvenile growth could only be approached in a small step. It was shown that harrowing or ridging up could increase the weed control. Only a few surviving weeds per m<sup>2</sup> could result in extreme yield losses of these crops. Therefore, such improvements could only reduce but not avoid the expenditure of hand weeding in variants where weeds were controlled by thermal and mechanical measures only.

With more than 20% in comparison to weedfree crops, the yield reductions were unexpectedly high on the biologically managed fields, where normal weed control was practiced. They could be attributed to conducting hand weeding too late and not sufficiently.

Generally, harrowing and ridging up did not result in higher crop damages. With an average of 3% plant losses, only insignificant yield losses were found. The positive side effects of mechanical weed control measures such as soil loosening led to significant yield increases in two experiments only. It is to be pointed out, that increasing yields only occurred after ridging up carrots, where little crop damages were expected.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1	Problemstellung.....	1
1.2	Zielsetzung und Arbeitsprogramm .....	4
<b>2</b>	<b>Material und Methoden .....</b>	<b>7</b>
2.1	Versuchsaufbau und -durchführung .....	7
2.1.1	Erhebungen auf Praxisschlägen .....	7
2.1.2	Feldversuche auf den Versuchsstationen Ruthe und Herrenhausen .....	11
2.1.3	Modellversuche auf der Versuchsstation Ruthe .....	16
2.1.4	Gefäßversuch zum Anhäufeln von Möhren.....	18
2.2	Datenerfassung.....	19
2.2.1	Bekämpfungserfolg .....	19
2.2.2	Standorts- und Witterungsparameter.....	20
2.2.3	Kulturpflanzenparameter.....	22
2.3	Verrechnung und statistische Auswertung .....	23
2.4	Methodenentwicklung und -überprüfung .....	24
2.4.1	Erfassung der Bodenumlagerung beim Striegeln .....	24
2.4.2	Bestimmung der Bearbeitungstiefe .....	26
<b>3</b>	<b>Einfluß der Hacktiefe auf den Bekämpfungserfolg .....</b>	<b>28</b>
3.1	Einführung.....	28
3.1.1	Modellvorstellungen zur verschüttenden Wirkungskomponente .....	28
3.1.2	Modellvorstellungen zur schneidend/herausreißenden Wirkung.....	31
3.2	Ergebnisse .....	37
3.3	Diskussion.....	43
<b>4</b>	<b>Bekämpfungserfolg bei mechanischer Unkrautregulation .....</b>	<b>49</b>
4.1	Einführung.....	49
4.2	Ergebnisse .....	56
4.2.1	Bekämpfungserfolge auf Praxisschlägen.....	56
4.2.2	Bekämpfungserfolge auf der Versuchsstation Ruthe.....	60

---

<b>4.3</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>64</b>
4.3.1	Bekämpfungserfolg im Zwischenreihenbereich.....	64
4.3.2	Bekämpfungserfolg im Reihenbereich.....	71
<b>5</b>	<b>Ertragswirksamkeit der Restverunkrautung</b> .....	<b>76</b>
<b>5.1</b>	<b>Einführung</b> .....	<b>76</b>
<b>5.2</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>81</b>
5.2.1	Unkrautkonkurrenz auf Praxisschlägen.....	81
5.2.2	Unkrautkonkurrenz auf den Versuchstationen.....	85
<b>5.3</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>89</b>
<b>6</b>	<b>Kulturpflanzen- und Standortwirkungen</b> .....	<b>92</b>
<b>6.1</b>	<b>Einführung</b> .....	<b>92</b>
6.1.1	Schädigung der Kulturpflanzen durch die Regulationsmaßnahmen .....	92
6.1.2	Wirkungen mechanischer Regulationsmaßnahmen auf den Standort ...	97
<b>6.2</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>103</b>
<b>6.3</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>110</b>
<b>7</b>	<b>Schlußbetrachtung und Ausblick</b> .....	<b>114</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>116</b>
<b>9</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>126</b>

## Verzeichnis der benutzten Abkürzungen und Bezeichnungen

### Abkürzungen:

Akh	Arbeitskraftstunde
betrieb.	betriebsübliches Jäten
BKE	Bekämpfungserfolg gegen Unkräuter [%]
$b_0$	Regressionskonstante
$ET_{pot}$	Referenzverdunstung [mm/d]
EV	Ertragsverlust [%]
GD	Grenzdifferenz (t-Test, $\alpha < 0,05$ )
Gew.-%	massebezogene Prozentangabe
HT	Hacktiefe [cm]
i.d.R.	in den Kulturpflanzenreihen = Reihenbereich
KWB	klimatische Wasserbilanz des Hacktages [mm/d]
lfd. m	laufender Meter
n	Anzahl Beobachtungen (Wiederholungen)
NA	nach Auflauf der Kultur
nS	nach der Saat
n.s.	nicht signifikant ( $\alpha \geq 0,05$ )
o. Jäten	ohne Jäten (keine manuelle Unkrautbekämpfung)
$R^2$	Bestimmtheitsmaß einer Korrelation
Roll(+)	Rollhacke (anhäufelnde)
SH(+)	Scharhacke (plus Häufelkörper)
sig.	signifikant (zum Niveau $\alpha < 0,05$ )
Str	Striegel
TM	Trockenmasse [g]
u-frei	unkrautfrei (durch regelmäßiges Jäten)
VA	vor Auflauf der Kultur
Vol.-%	volumenbezogene Prozentangabe
$W_{gw}$	gravimetrischer Bodenwassergehalt [Gew.-%]
z.d.R.	zwischen den Kulturpflanzenreihen = Zwischenreihenbereich
*	in Verbindung mit $R^2$ : signifikant von 0 abweichend ( $\alpha < 0,05$ )

**Geräte zur mechanischen Unkrautregulation:**

(Hersteller laut Angabe der zitierten Autoren)

**a) Hackgeräte:**

- Bügelhacke: abrollende Rundstahlbügel; Hersteller: Kress (D)
- Rollhacke: auch als Sternhacke bezeichnet; Hersteller: Hatzenbichler (A), Howard (D), Becker (D)
- Scharhacke: auch als Vielfachgerät bezeichnet, Sonderform: Teleskophacke (Hersteller: Kress), meist mit Gänsefußscharen, zum Teil mit Winkelmessern ausgestattet; diverse Hersteller
- Nasenschar: Sonderform eines Winkelmessers (vgl. ISENSEE 1966)

**b) Striegel:** (Beschreibung in Anlehnung an DIERAUER und STÖPPLER-ZIMMER 1994)

- Eggen: je nach Zinkengewicht Feinegge, Saatbettegge, Unkrautstriegel oder Schwere Egge: kurze, starre Zinken (vgl. HABEL 1954, KOCH 1959, MÜLLVERSTEDT 1961); diverse Hersteller
- Federzahnhackegege: flexible, angewinkelte Federstahlzinken; Hersteller: Einböck (A), Hatzenbichler (A), Haruwy (CH), Lelly (NL); ähnliche, ältere Geräte: Hackegege, Gruse-Saatstriegel (vgl. BERTRAM 1966)
- Hackstriegel: Flachstahlzinken; Hersteller: Rabe-Werk (D)  
ähnliches, älteres Gerät: Ackerbürste (vgl. STANNEK 1960b)
- Netzgege: flexibel aufgehängte, kurze Zinken;  
Hersteller: Schönberger / Kress (D)

**c) zapfwellen- bzw. ölmotorgetriebene Geräte:**

- Paul-Hackbürste: horizontal rotierende Federzinken (oder Kunststoffborsten) (vgl. ESTLER 1992); Hersteller: Paul-Agrar-System (D)
- Reihenfräse: senkrecht rotierende abgewinkelte Messer; diverse Hersteller
- Reihenhackbürste: senkrecht rotierende Kunststoffborsten;  
Hersteller: Bärtschi (CH)
- Tellerhackbürste: horizontal rotierende Kunststoffborsten;  
Hersteller: Svensk Ekologimaskin AB (S)
- Trennhacke: Kombination aus Scharhacke und senkrecht rotierenden Federzinken (vgl. WEBER 1997)

**d) sonstige Geräte:**

- Fingerhacke: (eng.: "rubber finger weeder") rotierende, von den Seiten in den Reihbereich hineingreifende fingerartige Gummizinken (vgl. MÜLLER et al. 1997); deutscher Hersteller: Kress (D)
- Pneumat: mit Hilfe turbulierender Druckluftstrahlen aus seitlich der Reihe geführter Düsen werden Unkrauter mitgerissen und aus dem Boden 'herausgespült' (vgl. LÜTKEMEYER 1998)
- Torsionshacke: (original: "torsions weeder") abgekröpfte Enden von Federzinken (ähnlich der von Federzahnhackeggen) werden horizontal in den Reihbereich hineingeführt (vgl. ASCARD und BELLINDER 1996); Hersteller: Bezzerides (USA)

**Unkrautarten** (einschließlich Ungräser):

(nach HANF 1990 und ZANDER 1994):

Ackersenf	<i>Sinapis arvensis</i> L.
Brennessel, Kleine	<i>Urtica urens</i> L.
Ehrenpreis, Efeublättriger	<i>Veronica hederifolia</i> L.
Ehrenpreis, Persischer	<i>Veronica persica</i> Poiret
Erdrauch, Gemeiner	<i>Fumaria officinalis</i> L.
Flughafer	<i>Avena fatua</i> L.
Franzosenkraut, Kleinblütiges	<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.
Fuchsschwanz, Acker-	<i>Alopecurus myosuroides</i> Huds.
Gänsefuß, Weißer	<i>Chenopodium album</i> L.
Hahnenfuß, Acker-	<i>Ranunculus arvensis</i> L.
Hellerkraut, Acker-	<i>Thlaspi arvense</i> L.
Hirtentäschelkraut	<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medicus
Hohlzahn, Gemeiner	<i>Galeopsis tetrahit</i> L.
Hühnerhirse	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. Beauv.
Hundskamille, Stinkende	<i>Anthemis cotula</i> L.
Kamille, Echte	<i>Chamomilla recutita</i> (L.) Rauschert
Knöterich, Ampfer-	<i>Polygonum lapathifolium</i> L.
Knöterich, Vogel-	<i>Polygonum aviculare</i> L.
Knöterich, Winden-	<i>Bilderdykia [Polygonum] convolvulus</i> (L.) Dumort.
Labkraut, Kletten-	<i>Galium aparine</i> L.
Nachtschatten, Schwarzer	<i>Solanum nigrum</i> L.
Ochsenzunge, Kleine	<i>Anchusa arvensis</i> (L.) Bieb.
Rispengras, Einjähriges	<i>Poa annua</i> L.
Rittersporn, Acker-	<i>Consolida regalis</i> S.F. Gray
Steinsame, Acker-	<i>Buglossoides arvensis</i> (L.) I.M. Johnston
Stiefmütterchen, Acker-	<i>Viola arvensis</i> Murray
Taubnessel, (Rote)	<i>Lamium purpureum</i> L., teils <i>L. amplexicaule</i> L.
Teufelsauge, Sommer-	<i>Adonis aestivalis</i> L.
Vogelmiere	<i>Stellaria media</i> (L.) Vill.
Windhalm	<i>Apera spica-venti</i> (L.) P. Beauv.
Wicke, Rauhaarige	<i>Vicia hirsuta</i> (L.) S.F. Gray

**Verzeichnis der botanischen Namen der Kulturpflanzen:** (nach ZANDER 1994)

Blumenkohl	<i>Brassica oleracea</i> L. convar. <i>botrytis</i> (L.) Alef. var. <i>botrytis</i>
Buschbohne	<i>Phaseolus vulgaris</i> L. ssp. <i>vulgaris</i> var. <i>nanus</i> (L.) Aschers.
Chicorée	<i>Cichorium intybus</i> L. var. <i>foliosum</i> Hegi
Dill	<i>Anethum graveolens</i> L. var. <i>hortorum</i> Alef.
Erbse	<i>Pisum sativum</i> L.
Feuerbohne	<i>Phaseolus coccineus</i> L.
Gartenkresse	<i>Lepidium sativum</i> L.
Gelbsenf	(= Weißer Senf) <i>Sinapsis alba</i> L.
Gurke	<i>Cucumis sativus</i> L.
Grünkohl	<i>Brassica oleracea</i> L. convar. <i>acephala</i> (DC.) Alef. var. <i>sabellica</i> L.
Kartoffel	<i>Solanum tuberosum</i> L.
Kerbel	<i>Anthriscus cerefolium</i> (L.) Hoffm. ssp. <i>cerefolium</i>
Kohlrabi	<i>Brassica oleracea</i> L. convar. <i>caulorapa</i> (DC.) Alef. var. <i>gongylodes</i> L.
Kopfkohl	<i>Brassica oleracea</i> L. convar. <i>capitata</i> (L.) Alef. var. <i>capitata</i>
Mais (Zucker-)	<i>Zea mays</i> L. (convar. <i>saccharata</i> Koern.)
Möhre	<i>Daucus carota</i> L. ssp. <i>sativus</i> (Hoffm.) Schübl. et G. Martens
Phacelia	<i>Phacelia tanacetifolia</i> Benth.
Petersilie	<i>Petroselinum crispum</i> (Mill.) Nym. ex A.W. Hill convar. <i>crispum</i>
Porree	<i>Allium porrum</i> L. var. <i>porrum</i>
Puffbohne	<i>Vicia faba</i> L.
Raps	<i>Brassica napus</i> L. ssp. <i>napus</i>
Rosenkohl	<i>B. oleracea</i> L. convar. <i>fruticosa</i> (Metzg.) Alef. var. <i>gemmifera</i> DC.
Rote Bete	<i>Beta vulgaris</i> L. ssp. <i>vulgaris</i> convar. <i>vulgaris</i> var. <i>vulgaris</i>
Salat (Kopf-)	<i>Lactuca sativa</i> L. (var. <i>capitata</i> L.)
Sellerie	<i>Apium graveolens</i> L. var. <i>rapaceum</i> (Mill.) Gaud.
Sojabohne	<i>Glycine max</i> (L.) Merr.
Sonnenblume	<i>Helianthus annuus</i> L.
Spinat	<i>Spinacia oleracea</i> L.
Tomate	<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill. nom. cons. var. <i>esculentum</i>
Weizen	<i>Triticum aestivum</i> L.
Zuckerrübe	<i>Beta vulgaris</i> L. ssp. <i>vulgaris</i> convar. <i>vulgaris</i> var. <i>altissima</i> Döll
Zwiebel	<i>Allium cepa</i> L. var. <i>cepa</i>

## **Vorbemerkung**

In den nachfolgenden Ausführungen werden vielfach nicht rezensierte Tagungsbeiträge, Veröffentlichungen in praxisnahen Fachzeitschriften sowie nicht allgemein zugängliche Diplomarbeiten zitiert bzw. Daten aus diesen verwendet. Ebenso wurden Dissertationen, wenngleich inhaltlich zum Teil in wissenschaftlichen Zeitschriften veröffentlicht, als Originalquelle herangezogen.

Diese Vorgehensweise mußte gewählt werden, da viele Versuchsergebnisse zur Effizienz mechanischer Unkrautregulationsmaßnahmen nur in solchen Medien publiziert wurden. Eine rein auf rezensierte Veröffentlichungen beruhende Literaturübersicht hätte zu einer deutlich schmaleren Daten- und Erkenntnisbasis geführt.

# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung

Ein zielgerichteter Pflanzenbau ist ohne eine Regulation der jeweils unerwünschten Flora, der Unkräuter, nicht denkbar. Auch nach der üblichen Pflugfurche als im weitesten Sinne wohl radikalste mechanische Unkrautbekämpfungsmaßnahme und anschließender Saat- bzw. Pflanzbettbereitung kurz vor Beginn der Bestandesgründung kommt es durch die sich parallel zu den Kulturpflanzen entwickelnden Unkräuter zu quantitativen und qualitativen Ertragsverlusten. Wachstumsbegrenzend wirken insbesondere die Konkurrenz um Licht, Wasser und Nährstoffe (BÖRNER 1995), zum Teil werden auch allelopathische Effekte diskutiert (Zusammenfassung bei DIAS und MOREIRA 1986). Unkräuter oder Teile von ihnen können darüber hinaus die Ernte erschweren und das Erntegut verunreinigen (BÖRNER 1995).

In Gemüsekulturen sind, insbesondere bei Direktsaat, extrem hohe Ertragseinbußen durch Unkräuter zu verzeichnen, die durch die geringe Konkurrenzkraft vieler Kulturen, aber auch durch die hohen Qualitätsanforderungen des Marktes begründet sind (Abb. 1.1 und Tab. 9.1, Anhang).

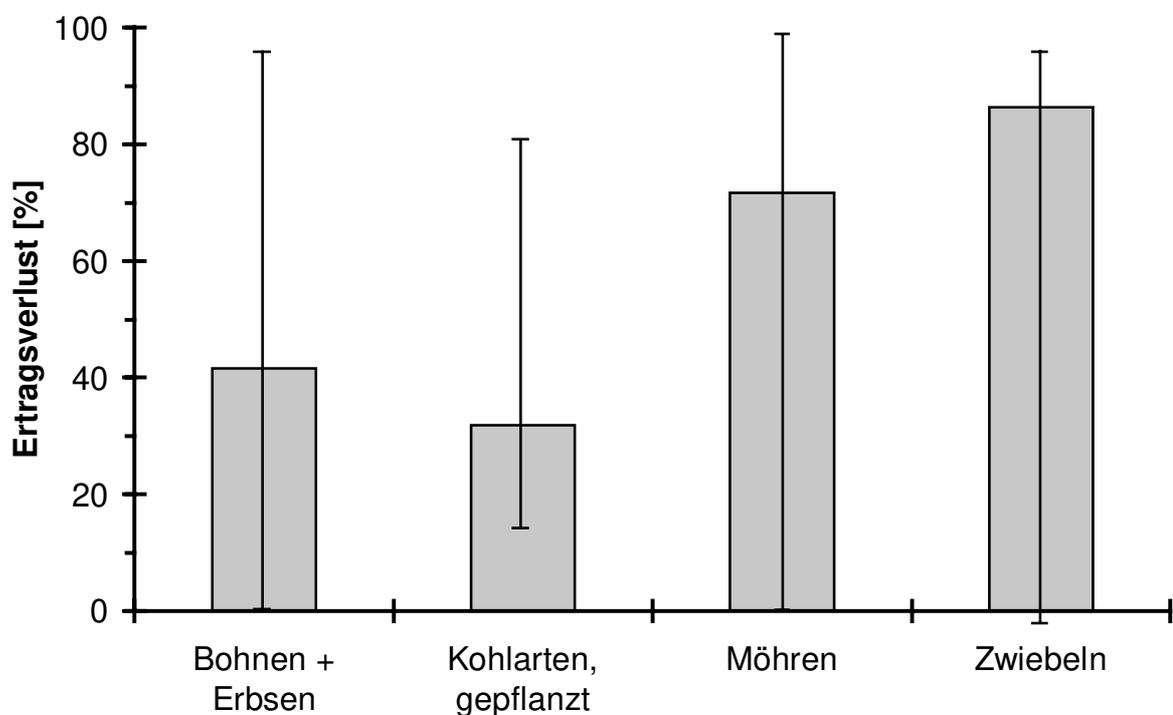


Abb. 1.1: Ertragsverluste verschiedener Gemüsearten bei unterlassener Unkrautbekämpfung (Daten nach Tab. 9.1, Anhang); I: Variationsbreite.

Da zudem die Kosten für die Bestandesgründung und -pflege bei Gemüsekulturen vergleichsweise hoch sind, erfolgt die Unkrautbekämpfung (im folgenden verwendeten Sinne: Maßnahmen nach der Bestandesgründung) zur Vermeidung finanzieller Risiken im allgemeinen sehr intensiv. Anders als in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion verloren aber im Gemüsebau mechanische Unkrautbekämpfungsmaßnahmen mit dem Aufkommen der Herbizide nicht gänzlich an Bedeutung. Gründe hierfür sind u.a. die geringere Verfügbarkeit geeigneter Herbizide (BÖRNER 1995) und die angestrebte Bodenlockerung beim Hacken, der man insbesondere bei länger stehenden Kulturen eine größere Bedeutung zumißt.

Mit der Forderung des Gesetzgebers nach einer Integration biotechnischer und kulturtechnischer Verfahren im Bereich des Pflanzenschutzes (PflSchG 1998) und einer zunehmenden Bedeutung des ökologischen Anbaus rückte die mechanische "Unkrautregulation" (wohl als Synthese aus der Wortschöpfung "Beikrautregulierung" [HOFFMANN und GEIER 1989] und dem üblichen Begriff der Unkrautbekämpfung entstanden) in den letzten Jahren wieder stärker in die Diskussion.

So war der Bekämpfungserfolg (BKE) mechanischer Unkrautregulationsmaßnahmen Gegenstand zahlreicher Untersuchungen, die zumeist in landwirtschaftlichen, in den letzten Jahren auch vermehrt in gemüsebaulichen Kulturen durchgeführt wurden. Die große Spanne der dabei ermittelten BKE kann aber nur vereinzelt in Zusammenhang mit gerätetechnischen (Art des Gerätes, Einstellung etc.) und ökologischen Rahmenbedingungen (Bodenart und -zustand, Witterung) sowie Größe und Art der Unkräuter gebracht werden, so daß die Maßnahmen-Wirkungs-Beziehung insbesondere hinsichtlich ihrer quantitativen Ausprägung noch vielfach unbekannt sind. Die Kenntnis solcher Beziehungen ist aber Voraussetzung für die Wahl des unter den jeweiligen Bedingungen am besten geeigneten Verfahrens.

Da im Gemüsebau aus Qualitätsgründen in der Regel Unkrautfreiheit angestrebt wird, wirkt sich der Erfolg einer mechanischen Bekämpfungsmaßnahme in praxi weniger auf den Kulturpflanzenertrag als vielmehr auf den Aufwand zur Beseitigung der Restverunkrautung aus. Bei einem Verzicht auf Herbizide, wie im ökologischen Anbau, geschieht diese zumeist in Handarbeit, wozu bei Säukulturen häufig mehrere hundert Akh/ha nötig sind (Tab. 1.1). Jede Erhöhung des BKE würde zu einer Verringerung des Jätaufwandes führen, was die Produktionskosten des ökologischen

Gemüsebaus senken und die Akzeptanz mechanischer Unkrautregulationsmaßnahmen zumindest für konkurrenzstärkere Pflanzkulturen allgemein erhöhen könnte.

Tab. 1.1: Arbeitsaufwand für manuelle Unkrautregulierung als Ergänzung zu mechanisch/thermischen Maßnahmen.

Kultur	Verfahren	Akh/ha	Datenbasis	Quelle
Möhren	thermisch (VA) + mechanisch	110-350 211 172-625 198-321	6 Versuche 1 Versuch 5 Versuche 2 Versuche	MERZ 1975 GEIER 1989 WONNEBERGER u. BEUERMANN '86 PETZOLD 1999
Spinat	mechanisch	28		WITTROCK 1991 <sup>1</sup>
Zwiebeln, gesät	mechanisch thermisch <sup>3</sup> + mechanisch	ca. 800 183-615 57-404	1 Versuch 3 Versuche 1 Versuch	LABER et al. 1999 ASCARD 1989 LABER et al. 1999
gesteckt		648/422	2 Versuche	ASCARD 1989
Kräuter <sup>2</sup>	mechanisch	97-202		WITTROCK 1991 <sup>1</sup>

1: zit. in GEYER et al. 1991; 2: Dill, Kerbel, Petersilie; 3: VA oder früher NA

Neben der Bekämpfungswirkung wird die Effizienz einer Regulationsmaßnahme auch durch deren Nebenwirkungen wie Kulturpflanzenschäden bzw. -verluste bestimmt, die gerade bei denjenigen Verfahren, die auch im Reihbereich wirksam werden, zu beachten sind. Hierzu liegen für Gemüsekulturen erst einzelne Ergebnisse vor (vgl. Tab. 9.10, Anhang). Dagegen waren Ertragseffekte mechanischer Unkrautregulationsmaßnahmen, die unabhängig von der Bekämpfungswirkung auftreten können, Gegenstand zahlreicher Versuche mit verschiedenen Kohllarten, Möhren, Zwiebeln und anderen Kulturen (vgl. Tab. 9.10). Inwieweit die zum Teil beschriebenen, insbesondere auf die Bodenlockerung bzw. die daraus resultierenden Effekte zurückgeführten Mehrerträge in der Praxis auch tatsächlich realisiert werden, ist offen.

## 1.2 Zielsetzung und Arbeitsprogramm

Ziel der Untersuchungen war es, die Effizienz mechanischer Unkrautregulationsverfahren als Funktion von BKE und Nebenwirkungen insbesondere in konkurrenzschwachen Gemüsearten zu erfassen und, daraus abgeleitet, zu einer Verfahrensoptimierung im Hinblick auf eine Verringerung des Jätaufwandes zu gelangen. Dies erforderte:

- die Quantifizierung des BKE in Abhängigkeit von den technischen, ökologischen bzw. pflanzenbaulichen Rahmenbedingungen und
- die Erfassung der durch die Maßnahmen auftretenden Nebenwirkungen im Hinblick auf Bestandesentwicklung und Ertrag der Gemüsekulturen.

Faktoren, die die Effizienz mechanischer Unkrautregulationsmaßnahmen beeinflussen (Abb. 1.2), mußten erfaßt und ihr Einfluß quantifiziert werden. Dazu waren neben Erhebungen auf mehreren Praxisschlägen, die eine Variation verschiedener Einflußgrößen versprachen, Versuche notwendig, bei denen die Ausprägung bestimmter Faktoren systematisch variiert werden konnte (Tab. 1.2).

Wenngleich in der Praxis angestrebt wird, Ertragsverluste durch Unkräuter zu vermeiden, liegen keine Daten vor, inwieweit dieses Ziel bei nicht-chemischer Unkrautregulation auch tatsächlich erreicht wird. Ebenso sind die Ertragseffekte der bei thermisch/mechanischer Unkrautregulation verbleibenden Restverunkrautung in Gemüsekulturen nur vereinzelt quantifiziert worden. Aus diesen Gründen mußten die nicht bekämpften Unkräuter in der vorliegenden Studie in den Beständen verbleiben; der erforderliche Jätaufwand bei den untersuchten Unkrautregulationsmaßnahmen kann aber aus deren BKE und der Ausgangsverunkrautung abgeleitet werden, da der Jätaufwand nahezu proportional mit der Unkrautdichte zunimmt (Abb. 1.3).

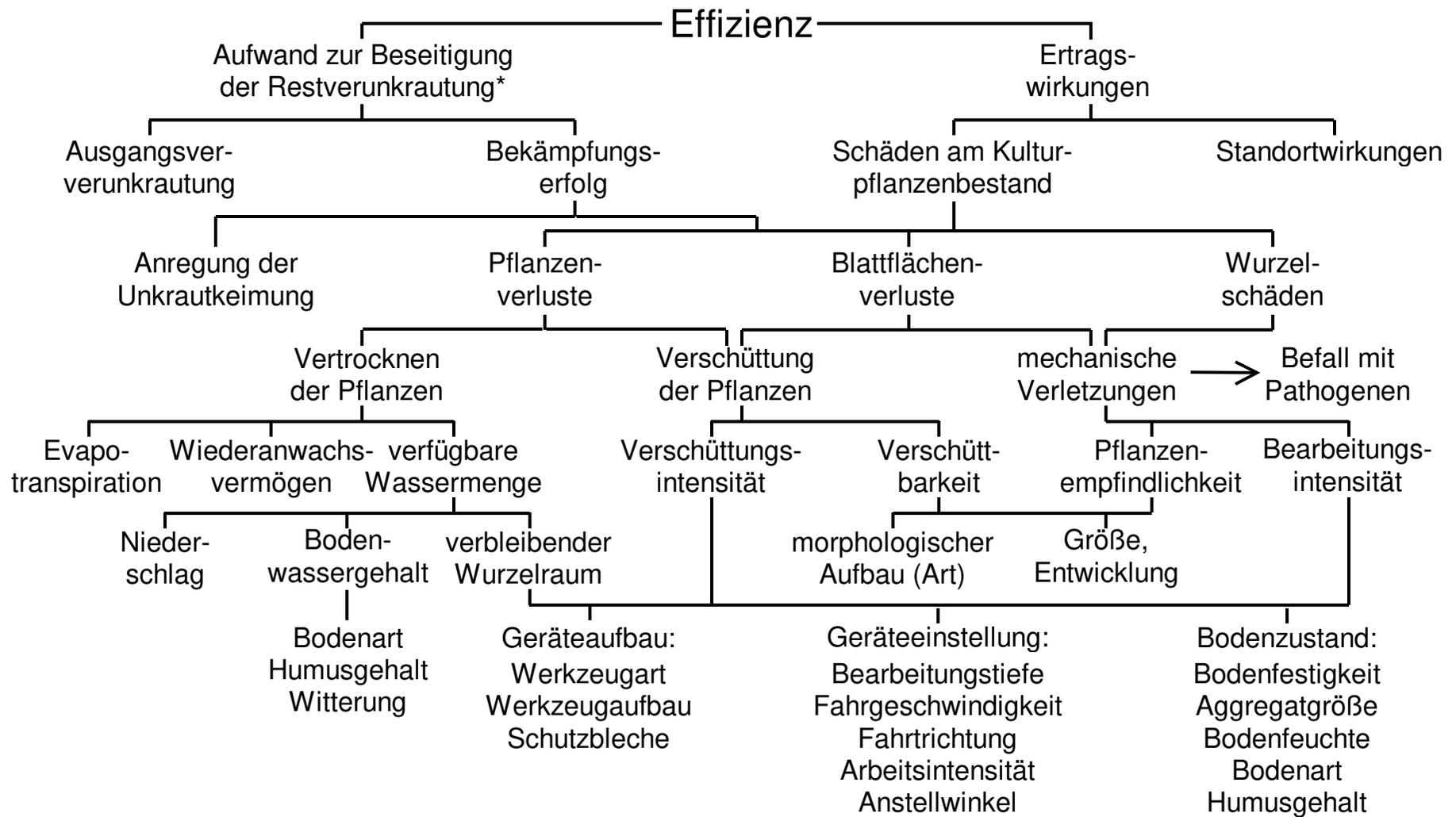


Abb. 1.2: Faktoren der Effizienz mechanischer Unkrautregulationsmaßnahmen.

\*: unter der Prämisse, daß eine weitgehende Unkrautfreiheit angestrebt wird

Tab. 1.2: Versuchsprogramm und dessen Zielsetzung.

Bezeichnung des Versuchs	eingesetzte Geräte	Zielsetzung
Erhebungen auf Praxisschlägen	Scharhacke bzw. Rollhacke	Quantifizierung der Wirkungen von Hackmaßnahmen unter Praxisbedingungen
Gerätevergleich in Möhren	Scharhacke Rollhacke	Quantifizierung der Wirkungen der eingesetzten Geräte unter gleichen ökologischen Rahmenbedingungen
Häufel- und Striegelbehandlungen in Möhren und Sälzwiebeln	Scharhacke Häufelkörper Striegel	w.o., insbesondere unter dem Gesichtspunkt der Verbesserung des Bekämpfungserfolges im Reihbereich
Gerätevergleich in Blumenkohl	Scharhacke Rollhacke	w.o., zusätzlich Variation der Witterungsbedingungen durch simulierte Niederschläge
Häufelversuch in Möhren	Häufelkörper	Quantifizierung der Nebenwirkungen unterschiedlich intensiver Häufelbehandlungen
Hacktiefenversuch mit Phacelia	Scharhacke	Quantifizierung des Einflusses der Hacktiefe, der Unkrautgröße sowie Boden- und Witterungsfaktoren auf den Bekämpfungserfolg im Modellversuch
Nebenwirkungen differenzierter Hacktiefen	Scharhacke	Quantifizierung der Wirkungen unterschiedlich tiefer Hackmaßnahmen auf Blumenkohl und Bodenparameter
Gefäßversuch zum Anhäufeln von Möhren	(Simulation von Häufelbehandlungen)	Quantifizierung der Nebenwirkungen unterschiedlich intensiver Häufelbehandlungen im Modellversuch

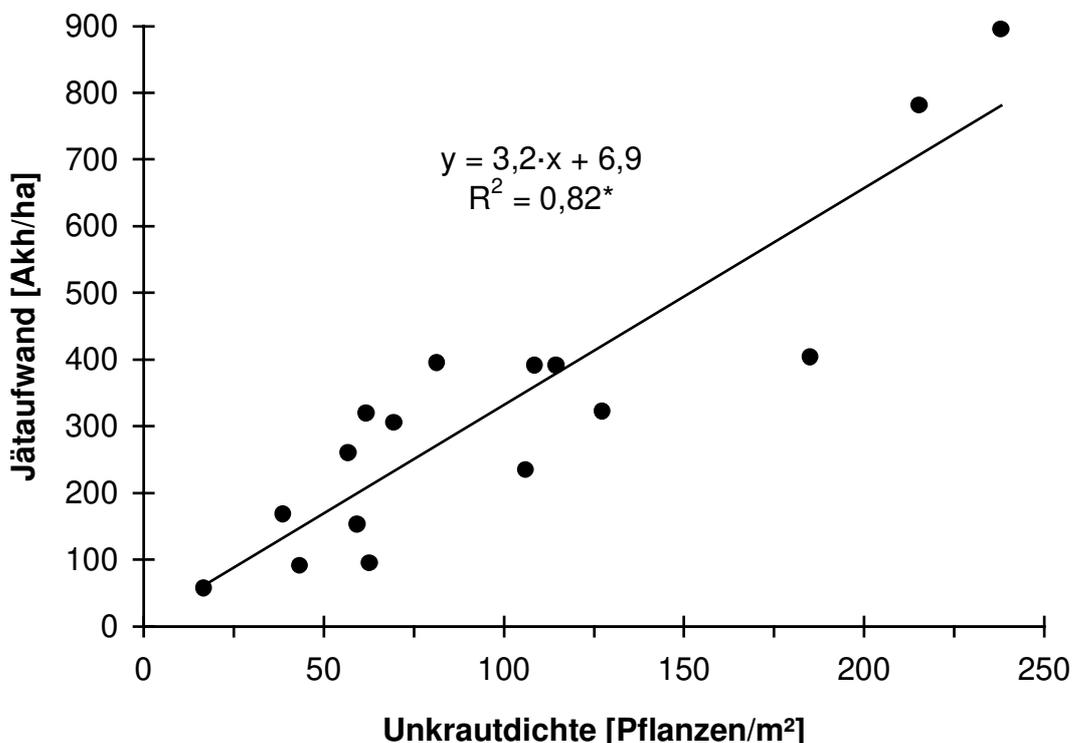


Abb. 1.3: Beziehung zwischen der Unkrautdichte und dem Arbeitsaufwand zum Jäten des Reihbereichs (Daten nach LABER 1990 und BAUMGARTEN 1998).

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Versuchsaufbau und -durchführung

#### 2.1.1 Erhebungen auf Praxisschlägen

Die Versuche wurden auf drei ökologisch wirtschaftenden Betrieben (Tab. 2.1) in jeweils bestehenden Möhren- und Sälzweibelschlägen angelegt. Die Kulturen waren in einer landwirtschaftlich geprägten Fruchtfolge integriert und wurden, von den Versuchsfaktoren abgesehen, betriebsüblich geführt. Bei den Landwirten handelte es sich um erfahrene Anwender mechanischer Unkrautregulationsverfahren.

Tab. 2.1: Standort der Betriebe und eingesetzte Hackgeräte im Versuchsjahr 1995 und 1996.

	<b>Betrieb A<sup>1</sup></b>	<b>Betrieb B</b>	<b>Betrieb C</b>
Standort	nördlich Nienburg	nördlich Burgdorf	süd-westl. Nienburg
eingesetzte Hackgeräte	Rollhacke + Gänsefußschare, Hohlschutzscheiben <sup>2;3</sup> (Frontanbau)	Scharhacken mit Gänsefußscharen, Hohlschutzscheiben <sup>3</sup> (Front- bzw. Zwischenachsenanbau)	

1: nur im Versuchsjahr 1995

2: die Hohlschutzscheiben dienten hier insbesondere zum Abschneiden des von der Rollhacke nicht sauber erfaßten Bereichs rechts und links einer Reihe

3: nur bei den ersten Hackgängen

Die thermische und mechanische Unkrautregulierung erfolgte ausschließlich mit Schlepperanbaugeräten (Tab. 2.1). Die Fahrgeschwindigkeit variierte nach Angaben der Landwirte im Bereich von 1,7-4,5 km/h (erster Hackgang) bis maximal 6,0 km/h (spätere Hackgänge). Alle Flächen wurden bei Bedarf beregnet, Pflanzenschutzmaßnahmen wurden nicht durchgeführt.

#### Versuchsjahr 1995

In der Vegetationsperiode 1995 wurden auf insgesamt 6 Schlägen die in Tab. 2.2 genannten Varianten in dreifacher Wiederholung angelegt. Auf eine Variante ohne eine weitere Unkrautbekämpfung nach dem Abflammen wurde verzichtet, da derartige Parzellen für die Landwirte wegen der Aussamung der Unkräuter schwer akzeptabel waren.

Tab. 2.2: Versuchsvarianten auf den Praxisschlägen im Versuchsjahr 1995.

<b>Bezeichnung</b>	<b>Beschreibung</b>
betriebsüblich	thermisch → mechanisch → betriebsübliches Jäten etc.
betriebsüblich ohne Jäten	betriebsüblich, jedoch ohne Jäten
betriebsüblich unkrautfrei	betriebsüblich, jedoch beständig durch Versuchsansteller von Hand unkrautfrei gejätet
Kontrolle (unkrautfrei)	thermisch → beständig durch Versuchsansteller unkrautfrei gejätet (keine mechanische Bearbeitung)

Zur Untersuchung von mechanischen Maßnahmen, die von der betriebsüblichen Regulation abweichen (stärkeres Anhäufeln, Striegeln), wurden entsprechende Parzellen aufgenommen und die Versuche als zweifaktorielle, nichtorthogonale Spaltanlagen angelegt. Haupteinheiten waren die Regulationsverfahren (betriebsüblich, keine mechanische Bearbeitung, Anhäufeln bzw. Striegeln), Untereinheiten die verschiedenen Jätstufen (betriebsüblich, ohne Jäten, unkrautfrei). Auf Grund der wechselhaften Witterung im Frühjahr 1995 konnten die mechanischen Zusatzmaßnahmen von den Landwirten allerdings nicht ausgeführt werden.

Die Parzellen hatten eine Länge von 4,5 m und entsprechend der Schlepperspur eine Breite von 1,50 m. Unter Abzug von jeweils 50 cm Rand an beiden Parzellenenden betrug die Größe der Kernparzelle 5,25 m<sup>2</sup> (vgl. Abb. 2.1, Seite 19). Die Versuchspartellen wurden wenige Tage nach den Abflammbehandlungen gemessen. Farbige Markierungen dienten als Signal, die Hackgeräte auszuheben, bzw. das betriebsübliche Jäten zu unterlassen. Auf dem Möhrenschatz des Betrieb C kam es dennoch zu Verwechslungen, die entsprechenden Parzellen wurden verworfen.

Mit dem Jäten der Unkräuter in den unkrautfreien Varianten wurde nach dem ersten Hackgang begonnen und bis zur Ernte konsequent fortgefahren. Dadurch entwickelten sich die Unkräuter praktisch nie über das 1-2-Nodistadium hinaus, so daß eine Ertragswirksamkeit der Unkrautpopulation ausgeschlossen werden kann. Von Seiten der Landwirte wurde das Jäten der Schläge ebenfalls im Anschluß an den ersten oder zweiten Hackgang ausgeführt und zumeist ein- bis zweimal nach folgenden Hackgängen wiederholt. Weitere Kultur- und Versuchsdaten siehe Tab. 2.3.

Tab. 2.3: Kultur- und Versuchsdaten der Erhebungen auf Praxisschlägen 1995.

	Betrieb A	Betrieb B	Betrieb C
<b>Möhren</b>			
Bodenart, Humus <sup>1</sup> Vorkultur	SI2, 2-3% Wickroggen	S, 2-3% Ölrettich + Wicken	S, 5-6% Spätkartoffeln
Pflugfurche mit Packer Saatbettbereitung	21. April —	Frühjahr 22. April	14. März 5. April
Einzelkornsaat, Sorte Bandabflammung (VA)	1. Mai, 'Typ Nord' 10. Mai	26. April, 'Cubic' 4. Mai	6. April, 'Presto' F <sub>1</sub> 1. Mai
Reihenabstand Bestandesdichte <sup>2</sup>	50 cm 67 Pflanzen/m <sup>2</sup>	50 cm 51 Pflanzen/m <sup>2</sup>	33 cm (Beetanbau) 131 Pflanzen/m <sup>2</sup>
Leitunkräuter	Winden-Knöterich, Franzosenkraut, Weißer Gänsefuß	Weißer Gänsefuß, Franzosenkraut, Ampfer-Knöterich	Winden-Knöterich, Ampfer-Knöterich, Weißer Gänsefuß
1. Hackmaßnahme	26. Mai (Keimblattstadium) <sup>4</sup>	22. Mai <sup>3</sup> (Keimblattstadium)	15. Mai <sup>3</sup> (1. Laubblatt 2 cm)
2. Hackmaßnahme	25. Juni (4-Battstadium)	2. Juni (2-Battstadium)	2. Juni (3-Battstadium)
3. Hackmaßnahme	11. Juli (Ø Möhre 1 cm)	9. Juni (2-Battstadium)	19. Juni <sup>3</sup> (4-Battstadium)
4. Hackmaßnahme	—	23. Juni (4-Battstadium)	—
Parzellenernte	4. Oktober	11. Oktober	— <sup>5</sup>
<b>Zwiebeln</b>			
Bodenart, Humus <sup>1</sup> Vorkultur	I'S, 3-4% Kleegras	S, 2-3% Möhren	S, 2-3% Winterroggen
Pflugfurche mit Packer Saatbettbereitung	8. April —	Frühjahr —	Frühjahr 5. April
Einzelkornsaat, Sorte Bandabflammung (NA)	16. April, 'Polo' F <sub>1</sub> 3. Mai	7. Apr., 'Marathon' F <sub>1</sub> 24. April	6. April, 'Sherpa' F <sub>1</sub> 27. April
Reihenabstand Bestandesdichte <sup>2</sup> organische N-Düngung	50 cm 72 Pflanzen/m <sup>2</sup> 30 m <sup>3</sup> Gülle/ha	33 cm (Beetanbau) 102 Pflanzen/m <sup>2</sup> 60 kg N/ha	33 cm (Beetanbau) 97 Pflanzen/m <sup>2</sup> 60 kg N/ha
Leitunkräuter	Franzosenkraut, Stiefmütterchen, Nachtschatten	Winden-Knöterich, Franzosenkraut, Weißer Gänsefuß	Weißer Gänsefuß, Hirtentäschelkraut, Stiefmütterchen
1. Hackmaßnahme	16. Mai (1. Laubblatt 2 cm)	23. Mai (1. Laubblatt 3 cm)	15. Mai <sup>3</sup> (1. Laubblatt 3 cm)
2. Hackmaßnahme	13. Juni (2. Laubblatt 5 cm)	2. Juni <sup>3</sup> (2. Laubblatt 5 cm)	2. Juni <sup>3</sup> (2. Laubblatt 5 cm)
3. Hackmaßnahme	25. Juni <sup>6</sup> (3. Laubblatt 5 cm)	24. Juni (4. Laubbl. 10 cm)	20. Juni (4. Laubbl. 10 cm)
Parzellenernte	13. September	11. September	22. August

1: die Bestimmung erfolgte freundlicherweise durch das Institut für Bodenkunde der Univ. Hannover

2: vor der ersten Hackmaßnahme, bei Beetanbau bezogen auf Netto-m<sup>2</sup>

3: Hackmaßnahme erfolgte nach 16 Uhr

4: Entwicklungsstadium der Kulturpflanze (in Anlehnung an VOGEL 1996)

5: die Versuchspartellen wurden seitens des Betriebs versehentlich vor der Auswertung beerntet

6: am 14. und 25. Juli weitere Hackgänge; es erfolgte aber keine Bestimmung des Bekämpfungserfolges, da kaum noch bekämpfbare Unkräuter vorhanden waren

## Versuchsjahr 1996

Die Versuche wurden analog denen des Jahres 1995 angelegt. Auf die Variante 'betriebsüblich ohne Jäten' wurde verzichtet, da die Ertragsreaktionen aus dem Vorjahr bekannt waren und die Landwirte entsprechend verunkrautete Parzellen nur ungern ein zweites Mal duldeten. Aus Kapazitätsgründen wurden die Versuche nur noch an 2 Standorten durchgeführt (Tab. 2.4).

Tab. 2.4: Kultur- und Versuchsdaten auf den Praxisschlägen 1996.

	Betrieb B		Betrieb C	
	Möhren	Zwiebeln	Möhren	Zwiebeln
Bodenart, Humus	S, 2-3%	S, 2-3%	S, 1-2%	S, 1-2%
Vorkultur	Roggen	Möhren	Lupinen	Möhren
Pflugfurche (Packer)	Frühjahr	Frühjahr	März	Herbst
Saatbettbereitung	13. April	—	—	24. März
Einzelkornsaat	20. April	15. April	26. März	25. März
Sorte	'Tino'	'Maraton' F <sub>1</sub>	'Presto' F <sub>1</sub>	'Gold. Bear' F <sub>1</sub>
Bandabflammung	28. April	28. April	keine	22. April (NA)
Reihenabstand	50 cm	33 cm (Beet)	33 cm (Beet)	33 cm (Beet)
Bestandesdichte	56 Pflanzen/m <sup>2</sup>	93 Pflanzen/m <sup>2</sup>	125 Pfl./m <sup>2</sup>	78 Pflanzen/m <sup>2</sup>
org. N-Düngung	—	60 kg N/ha	—	60 kg N/ha
Leitunkräuter	Stiefmütterch., W.-Knöterich, Hirtentäschel, Hühnerhirse	W. Gänsefuß, W.-Knöterich	W.-Knöterich, W. Gänsefuß, Hirtentäschel, Taubnessel	Stiefmütterch., W. Gänsefuß
1. Hackmaßnahme	29. Mai <sup>1</sup> (1. Blatt 3 cm)	7. Mai (Bügelstadium)	3. Mai <sup>1</sup> (Keimblattsta.)	6. Mai <sup>1</sup> (1. Blatt 1 cm)
2. Hackmaßnahme	12. Juni <sup>1</sup> (2. Blatt 4 cm)	21. Mai (1. Blatt 3 cm)	28. Mai (2. Blatt 4 cm)	29. Mai (3. Blatt 5 cm)
3. Hackmaßnahme	—	12. Juni (4. Blatt 10 cm)	—	6. Juni <sup>2</sup>
Parzellenernte	27. August	13. September	12. Juli	30. August

1: Hackmaßnahme erfolgte nach 16 Uhr

2: keine Bestimmung des Bekämpfungserfolges, da kaum Unkräuter vorhanden

Auf Grund der Erfahrungen aus dem Versuchsjahr 1995 wurden keine Zusatzvarianten (Anhäufeln, Striegeln) mehr vorgesehen, so daß die Versuche als Blockanlage mit drei Wiederholungen angelegt werden konnten. Die Länge der Kernparzelle wurde, unter Beibehaltung jeweils 50 cm langer Ränder, auf 4 m vergrößert, so daß 6,0 m<sup>2</sup> ausgewertet werden konnten.

### 2.1.2 Feldversuche auf den Versuchstationen Ruthe und Herrenhausen

Die Versuchstation Ruthe liegt im Bereich der Leinemittelterrasse ca. 3 km nordwestlich von Sarstedt. Die mittlere Höhe über NN beträgt 73 m. Bei dem Boden handelt es sich um einen schwach tonigen Schluff (80% Schluff, 10% Ton) mit ca. 2% organischer Substanz. Der Bodentyp ist als eine Parabraunerde aus Löß über fluvatilem Sand und Kies anzusprechen. Der Wassergehalt bei Feldkapazität beträgt 30 Vol.-%, der Totwassergehalt 9 Vol.-%. Die Versuchsfelder Herrenhausen liegen im Stadtgebiet von Hannover. Die Höhe über NN beträgt 54 m. Beim Bodentyp handelt es sich um eine Braunerde aus anlehmigen Sand, der Gehalt an organischer Substanz beträgt 3-5% (INSTITUT FÜR GEMÜSEBAU 1996).

Bei allen Versuchen wurden die Kulturen in einem 2-m-Beetanbausystem etabliert, wobei die jeweils äußeren Kulturpflanzenreihen benachbarter Beete bzw. Parzellen 80 cm auseinander lagen. Die Größe der Kernparzellen betrug 6,0 m<sup>2</sup> (siehe Abb. 2.1, Seite 19).

Die Möhren- und Zwiebelbestände wurden mit Hilfe eines tragbaren Abflamngeräts mit Stabbrenner bei mäßiger Schrittgeschwindigkeit im Voraufbau abgeflammt. Die mechanische Unkrautregulierung erfolgte mit Schlepperanbaugeräten, nur beim Häufelversuch in Möhren (Herrenhausen 1996) wurde der Zwischenreihenbereich mit einer Radhacke gehackt (Tab. 2.5). Zum Anhäufeln des Reihenbereichs mit Häufelkörpern wurden die entsprechenden Parzellen nach dem Hackgang erneut überfahren. Auch Kombinationen aus Scharhacke und Striegel konnten nur durch zweimaliges Überfahren erreicht werden.

Tab. 2.5: Geräte und Geräteeinstellung bei den Feldversuchen in Ruthe.

	<b>Scharhacke</b>	<b>Rollhacke</b>	<b>Striegel</b>
Typ	Teleskophacke	Sternhacke	Federzahnhackegege
Hersteller	Kress	Hatzenbichler/Kress	Hatzenbichler
Werkzeuge	Gänsefußschare <sup>1</sup>	Hacksterne	6 mm Zinken
Werkzeugbreite	16,5 / 18,5 cm	2×2 Sterne/Reihe	—
Werkzeugstellung	ca. 2 cm tief	je nach Variante <sup>2</sup>	senkrecht
Kulturschutz	Pflanzenschutzbleche <sup>3</sup>	—	—
Sicherheitsstreifen	12 cm <sup>4</sup>	12 cm <sup>4</sup>	—
Geschwindigkeit	1,3-3,0 km/h	1,8-2,1 km/h	2,0-5,6 km/h
Anbau	Zwischenachsenanbau		Heckanbau

1: zum Anhäufeln: Häufelkörper mit einer Breite von 26 cm

2: Einstellung je nach gewünschter Häufelwirkung

3: Breite ca. 10 cm

4: lichte Weite zwischen den Arbeitswerkzeugen bei den Versuchen in Blumenkohl 16 cm

Die Einstellung der Geräte erfolgte im Vorfeld der eigentlichen Behandlungen in den Randbeeten der Versuchsfläche. Dadurch konnte der notwendige Gerätewechsel am Schlepper sehr schnell erfolgen, so daß alle Bearbeitungsvarianten eines Versuchs innerhalb von rund zwei Stunden durchgeführt werden konnten. Alle Kulturen wurden nach Bedarf bzw. nach Versuchsplan beregnet, die N-Düngung erfolgte nach dem KNS-Sollwertesystem (LORENZ et al. 1989) mit Kalkammonsalpeter. In den unkrautfreien Varianten wurde das Jäten wie in Kap. 2.1.1 beschrieben durchgeführt. Pflanzenschutzmaßnahmen erfolgten nach Bedarf.

### Gerätevergleich in Möhren

Bei dem im Versuchsjahr 1995 durchgeführten Gerätevergleich wurden die Varianten (Tab. 2.6) in Form einer zweifaktoriellen Spaltanlage in drei Blöcken angeordnet. Weitere Kultur- und Versuchsdaten sind Tab. 2.7 zu entnehmen.

Tab. 2.6: Varianten beim Gerätevergleich in Möhren, Ruthe 1995.

Faktor	Stufen		Kürzel
	1. Hacktermin	2. Hacktermin	
Regulation (Haupteinheit)	Scharhacke <sup>1;2</sup>	Scharhacke <sup>1</sup>	SH / SH
	Scharhacke <sup>1;2</sup>	Scharhacke <sup>1</sup> + Häufelkörper	SH / SH+
	Rollhacke	Rollhacke	Roll / Roll
	Rollhacke	anhäufende Rollhacke	Roll / Roll+
	Striegel <sup>3</sup>	Striegel	Str / Str
	keine mechanische Bearbeitung		Kontrolle
Jäten (Untereinheit)	ständiges Jäten (unkrautfrei)		unkrautfrei
	Unterlassung des Jätens		ohne Jäten

1: zwei 16,5 cm-Gänsefußschare je Zwischenreihenbereich

2: mit Pflanzenschutzblechen

3: Zinken im Bereich der Kulturenpflanzenreihen auf einer Breite von 19 cm abgebaut, da der Möhrenbestand für ein flächiges Striegeln noch zu klein erschien

Tab. 2.7: Kultur- und Versuchsdaten des Gerätevergleichs in Möhren, Ruthe 1995.

Vorkultur	Weizen, Zwischenfrucht Gelbsenf
Pflugfurche mit Packer letzte Saatbettbereitung	Frühjahr 29. Juni
Einzelkornsaat, Sorte Abflammung	29. Juni, 'Starca' F <sub>1</sub> —*
Reihenabstand, Bestandesdichte	40 cm, 102 Pflanzen/m <sup>2</sup>
Leitunkräuter	Rote Taubnessel, Acker-Stiefmütterchen, Persischer Ehrenpreis
1. Hackmaßnahme	24. Juli (2. Laubblatt 4 cm)
2. Hackmaßnahme	8. August (Beginn Möhrenbildung)
Ernte	17./18. Oktober

\* das Abflammen wurde versäumt, da die Möhren bereits nach einer Woche aufgelaufen waren

## Häufel- und Striegelbehandlungen in Möhren und Sälzweibeln

Diese, 1996 durchgeführten Versuche, waren für beide Kulturen inhaltlich gleich aufgebaut und als Blockanlage mit vier Wiederholungen konzipiert. Nach einer frühen Hacke setzte mit dem zweiten Hacktermin eine Differenzierung durch Striegel- und Anhäufelbehandlung ein (Tab. 2.8). Zum dritten Hacktermin war ein Einsatz des Striegels insbesondere bei den Zwiebeln nicht mehr möglich, so daß zur Unkrautbekämpfung im Reihbereich nur noch angehäufelt werden konnte. Die Kultur- und Versuchsdaten der beiden Versuche sind Tab. 2.9 zu entnehmen.

Tab. 2.8: Varianten der Häufel- und Striegelversuche mit Möhren und Sälzweibeln, Ruthe 1996.

Faktor	Stufen			Kürzel
	1. Hacktermin	2. Hacktermin	3. Hacktermin	
Regulation	Scharhacke <sup>1</sup>	Scharhacke	Scharhacke	SH / SH
	Scharhacke <sup>1</sup>	Scharhacke	SH + Häufelkörper	SH / SH+
	Scharhacke <sup>1</sup>	SH + Häufelkörper <sup>2</sup>	SH + Häufelkörper	SH+/SH+
	Scharhacke <sup>1</sup>	SH + Striegel	Scharhacke	SH-Str/SH
	Scharhacke <sup>1</sup>	SH + Striegel	SH + Häufelkörper	SH-Str/SH+
	Scharhacke <sup>1</sup>	Striegel	Scharhacke	Str / SH
	keine mechanische Bearbeitung			Kontrolle
Jäten	ständiges zusätzliches Jäten (unkrautfrei) Unterlassung des zusätzlichen Jätens			unkrautfrei ohne Jäten

1: mit Pflanzenschutzblechen

2: bei den Zwiebeln wurde zu diesem Termin nur der Häufelkörper eingesetzt

Tab. 2.9: Kultur- und Versuchsdaten der Häufel- und Striegelversuche mit Möhren und Sälzweibeln, Ruthe 1996.

	Möhren	Zwiebeln
Vorkultur	Winterweizen, Zwischenfrucht Phacelia	
Pflugfurche mit Packer	Frühjahr	Frühjahr
Saatbettbereitung	17. Juni	11. April
Einzelkornsaat, Sorte	25. Juni, 'Starca' F <sub>1</sub>	19. April, 'Alamo' F <sub>1</sub>
Bandabflammung (VA)	5. Juli	1. Mai
Reihenabstand	30 cm	30 cm
Bestandesdichte <sup>1</sup>	111 Pflanzen/m <sup>2</sup>	123 Pflanzen/m <sup>2</sup>
N-Düngung	—	12. April / 28. Mai <sup>2</sup>
Leitunkräuter	Einj. Rispengras, Rote Taubnessel, Kleine Brennnessel	Kleine Brennnessel, Rote Taubnessel, Vogelmiere
1. Hackmaßnahme	19. Juli (1. Laubblatt 1 cm)	15. Mai (Bügelstadium)
2. Hackmaßnahme	6. August (4. Laubblatt 5 cm)	4. Juni (2. Laubblatt 2 cm)
3. Hackmaßnahme	19. August (Ø Möhre 1 cm)	18. Juni (3. Laubblatt 5 cm)
Ernte	7.-9. Oktober	19./20. August

1: vor der ersten Hackmaßnahme, bezogen auf Netto-m<sup>2</sup>

2: versehentlich wurde die zu erwartende N-Mineralisation von ca. 80 kg N/ha nicht angerechnet

Um bei den Zwiebeln einen Totalausfall in der Variante 'ohne Jäten' zu vermeiden, wurde ein praxisübliches Jäten nach dem zweiten Hackgang erwogen. Da es sich bei den verbliebenen Unkräutern vor allem aber um vermeintlich kleiner bleibende Arten handelte, wurde am 7. Juni nur der in geringen Mengen vorkommende Gemeine Erdrauch entfernt, da von ihm auf Grund seines stark verzweigten Wuchscharakters die größten Ertragseffekte erwartet wurden.

### Gerätevergleich in Blumenkohl

Der Versuch wurde als dreifaktorielle, zweistufige Spaltanlage in vier Blöcken angelegt. Der ursprüngliche geplante Vergleich von Scharhacke, Rollhacke, Striegel und Häufelkörper an zwei Hackterminen mußte verworfen werden, da in dem Blumenkohlbestand die Unkräuter erst sehr spät aufliefen und folglich der Hacktermin verschoben werden mußte. In dem fortgeschrittenen Entwicklungsstadium konnte der Kohl jedoch nicht mehr gestriegelt werden. Es kamen die in Tab. 2.10 genannten Regulationsmaßnahmen zur Anwendung.

Tab. 2.10: Varianten beim Gerätevergleich in Blumenkohl, Ruthe 1996.

Faktor	Stufen	Kürzel
Beregnung (Haupteinheit)	Beregnung nach dem Hacken Beregnung 2 Tage nach den Hacken	direkt später
Regulation (Untereinheit)	Scharhacke <sup>1</sup> Scharhacke <sup>1</sup> + Anhäufeln (mit Rollhacke <sup>2</sup> ) anhäufelnde Rollhacke keine mechanische Bearbeitung	Scharhacke Scharhacke+ Rollhacke+ Kontrolle
Jäten (Untereinheit)	ständiges zusätzliches Jäten (unkrautfrei) Unterlassung des zusätzlichen Jätens	unkrautfrei ohne Jäten

1: drei im Verband angeordnete 16,5 cm-Gänsefußschare je Zwischenreihenbereich

2: die Einstellung wie bei 'anhäufelnde Rollhacke', jedoch mit nur 2x1 Hackstern/Reihe

Der Faktor Beregnung bildete dabei aus technischen Gründen die Haupteinheit. Die Beregnung der Parzellen erfolgte mit einem Beregnungswagen, der mit Fünflochdüsen ('Lechner FL') im Abstand von 50 cm ausgestattet war. Diese zeigten ein dem natürlichen Niederschlag sehr ähnliches Beregnungsbild. Mit der Beregnung in der Stufe 'direkte Beregnung' wurde unmittelbar nach der mechanischen Regulation (ca. 15 Uhr) begonnen. Die Parzellen wurden bis 17<sup>30</sup> Uhr viermal von dem Beregnungswagen überfahren, so daß insgesamt 8 mm ausgebracht wurden. In den nicht unmittelbar beregneten Varianten ('später') wurde die Regengabe nach zwei Tagen nachgeholt. Weitere Kultur- und Versuchsdaten siehe Tab. 2.11.

Tab. 2.11: Kultur- und Versuchsdaten beim Gerätevergleich in Blumenkohl, Ruthe 1996.

Vorkultur	Winterweizen, Zwischenfrucht Phacelia
Pflugfurche mit Packer	Frühjahr
Saattermin (4er Presstopf), Sorte	23. Mai, 'Fremont' F <sub>1</sub>
Pflanzbettbereitung / Pflanzung	17. Juni / 18. Juni
Abstand / Bestandesdichte	60 cm × 50 cm / 3,3 Pflanzen/m <sup>2</sup>
N-Düngung	17. Juni / 19. Juli
Leitunkräuter	Kleine Brennessel, Hirtentäschelkraut, Franzosenkraut, Einjähriges Rispengras
Hackmaßnahme	6. August (7-8-Blattstadium)
1. Ernte / 2. Ernte / 3. Ernte	22. August / 26. August / 29. August

### Häufelversuch in Möhren

Der Versuch wurde 1996 auf der Versuchsstation in Herrenhausen durchgeführt. Konzipiert war er als zweifaktorielle Spaltanlage mit vier Blöcken. Der Zwischenreihenbereich wurde in allen Varianten (Tab. 2.12) durch mehrmaliges Bearbeiten mit einer Radhacke unkrautfrei gehalten. Die Häufelbehandlungen wurden ohne vorheriges Hacken direkt mit Häufelkörpern durchgeführt. Weitere Kultur- und Versuchsdaten siehe Tab. 2.13.

Tab. 2.12: Varianten beim Häufelversuch in Möhren, Herrenhausen 1996.

Faktor	Stufen	Kürzel
Häufeltermin/ Häufelhöhe (Haupteinheit)	1. Termin, 3 cm Häufelhöhe 2. Termin, 3 cm Häufelhöhe 2. Termin, 6 cm Häufelhöhe keine Häufelbehandlung	1. Termin, 3 cm 2. Termin, 3 cm 2. Termin, 6 cm Kontrolle
Jäten (Untereinheit)	ständiges zusätzliches Jäten (unkrautfrei) Unterlassung des zusätzlichen Jätens	unkrautfrei ohne Jäten

Tab. 2.13: Kultur- und Versuchsdaten beim Häufelversuch in Möhren, Herrenhausen 1996.

Vorkultur	Porree
Pflugfurche / Saatbettbereitung	Frühjahr / 28. März
Einzelkornsaat, Sorte	2. April, 'Damco' F <sub>1</sub>
Bandabflämmung (VA)	19. April
Reihenabstand / Bestandesdichte	30 cm / 169 Pflanzen/m <sup>2</sup>
Leitunkräuter	Hirtentäschelkraut, Kl. Brennessel, Vogelmiere
1. Häufelmaßnahme	29. Mai (4. Laubblatt 5 cm, Höhe 8-11 cm)
2. Häufelmaßnahme	6. Juni (5. Laubblatt 5 cm, Höhe 13-17 cm)
Ernte	4. Juli

### 2.1.3 Modellversuche auf der Versuchsstation Ruthe

Die im Rahmen einer Diplomarbeit (BECKMANN 1996) durchgeführten Untersuchungen gliederten sich in einen Modellversuch zur Untersuchung des Einflusses der Hacktiefe, der Unkrautgröße und der Witterung auf den BKE gegen Unkräuter sowie einen Versuchsteil zur Erfassung der Nebenwirkungen differenzierter Hacktiefen in einer Blumenkohlkultur bzw. auf einer brach gehaltenen Fläche. Die Versuche wurden 1996 durchgeführt.

#### Hacktiefenversuch mit Phacelia

Der Versuch wurde als dreifaktorielle, zweistufige Spaltanlage in drei Blöcken angelegt und als Serie an drei Terminen mit möglichst unterschiedlichen Witterungsbedingungen wiederholt (Tab. 2.14). Die Beregnung bildete wiederum die Haupteinheit. Da nur der BKE ermittelt werden sollte, betrug die Länge der Kernparzelle nur 1 m.

Um zu den Hackterminen Pflanzen in den angestrebten Größen vorzufinden, wurde Phacelia als Modellunkraut jeweils um rund drei Wochen versetzt angesät (Tab. 2.14). Mit einer Tausendkornmasse von ca. 1,8 g war eine ähnliche Verschüttungsempfindlichkeit wie bei vielen Ackerunkräutern zu erwarten (vgl. Abb. 3.2, Seite 31). Die Aussaat erfolgte breitwürfig mit einer Saatstärke von 0,9 g/m<sup>2</sup>, so daß im Mittel ca. 300 Pflanzen/m<sup>2</sup> zu den Hackterminen vorhanden waren. Kulturpflanzen waren nicht vorhanden.

Tab. 2.14: Varianten und Versuchsdaten des Hacktiefenversuchs mit Phacelia, Ruthe 1996.

Faktor	Stufen
Hacktermin (Versuchsserie)	16. Juli 25. Juli 6. August
Beregnung (Haupteinheit)	Beregnung nach dem Hacken keine Beregnung
Hacktiefe <sup>1</sup> (Untereinheit)	1,9 cm 3,8 cm 5,7 cm <sup>(2)</sup>
Unkrautgröße (Untereinheit)	1-2 Nodi (Aussaat am 5. / 15. / 29. Juli) 5-7 Nodi (Aussaat am 13./25. Juni / 12. Juli)

1: die Einstellung der Hacktiefe erfolgte durch Unterlegen von Holzbrettern (1,9 cm stark) unter das Tastrad jedes Hackaggregates und Herablassen des Schares bis auf den ebenen Untergrund

2: im weiteren werden die Hacktiefen mit 2 cm, 4 cm und 6 cm bezeichnet

Die Hackmaßnahmen erfolgten mit einer Teleskophacke, wobei je drei im Verband angeordnete Gänsefußschare mit je 16,5 cm Breite einen 44 cm breiten Bereich erfaßten. Gehackt wurde an den Terminen jeweils in der Zeit von 9<sup>30</sup> bis 10<sup>30</sup> Uhr. Die Arbeitsgeschwindigkeit betrug 1,7-2 km/h. Beregnet wurden die Parzellen mit einem Beregnungswagen (vgl. Gerätevergleich in Blumenkohl), der allerdings am ersten Termin versagte, so daß die entsprechenden Varianten verworfen werden mußten. Der Zeitraum und die Höhe der Beregnungsgaben sind Tab. 2.15 zu entnehmen.

Tab. 2.15: Beregnungsdaten im Hacktiefenversuch mit Phacelia, Ruthe 1996.

2. Termin		3. Termin	
Zeitraum	Beregnungsmenge	Zeitraum	Beregnungsmenge
10 <sup>40</sup> bis 10 <sup>50</sup> Uhr	1,2 mm	10 <sup>45</sup> bis 11 <sup>00</sup> Uhr	2,4 mm
11 <sup>30</sup> bis 11 <sup>40</sup> Uhr	1,2 mm	12 <sup>00</sup> bis 12 <sup>15</sup> Uhr	2,4 mm
12 <sup>30</sup> bis 12 <sup>40</sup> Uhr	1,2 mm	13 <sup>00</sup> bis 13 <sup>15</sup> Uhr	2,4 mm
13 <sup>30</sup> bis 13 <sup>40</sup> Uhr	1,2 mm	14 <sup>00</sup> bis 14 <sup>15</sup> Uhr	2,4 mm
15 <sup>00</sup> bis 15 <sup>10</sup> Uhr	1,2 mm	15 <sup>00</sup> bis 15 <sup>15</sup> Uhr	2,4 mm
	Σ 6,0 mm		Σ 12,0 mm

### Nebenwirkungen differenzierter Hacktiefen

Der Hacktiefenversuch mit Blumenkohl wurde als einfaktorielle Blockanlagen mit vier Wiederholungen mit den in Tab. 2.16 genannten Varianten konzipiert. Parallel dazu wurden auf einer brach gehaltenen und ebenfalls unterschiedlich tief gehackten Fläche N<sub>min</sub>- und Bodenwasseruntersuchungen durchgeführt. Die Parzellen wurden durch Jäten ständig unkrautfrei gehalten.

Tab. 2.16: Varianten beim Hacktiefenversuch mit Blumenkohl und beim Bracheversuch, Ruthe 1996.

Faktor	Stufen	Kürzel
Hacktiefe	1,9 cm Hacktiefe	2 cm
	5,7 cm Hacktiefe	6 cm
	keine mechanische Bearbeitung	Kontrolle

Die Flächen wurden an drei Terminen mit der Teleskophacke gehackt (Tab. 2.17). Die Werkzeugbreite und -anordnung entsprachen der Einstellung des Hacktiefenversuchs mit Phacelia. Bei notwendigen Beregnungsmaßnahmen im Blumenkohl wurde die Brachefläche in gleicher Höhe mit beregnet. Gegen Ende der Kulturzeit

zeigte der Kohl Stickstoffmangelsymptome, die auf größere Mengen von eingearbeitetem Stroh der Vorfrucht zurückgeführt werden konnten. Weitere Kulturdaten siehe Tab. 2.17. Eine N-Düngung der Brachefläche erfolgte nicht. Auf den Bracheparzellen wurden jeweils zwei bis drei Wochen nach den Hackmaßnahmen (11./27. Juni und 16. Juli)  $N_{\min}$ -Proben mit je sechs Einstichen pro Parzelle entnommen.

Tab. 2.17: Kultur- und Versuchsdaten des Hacktiefenversuchs mit Blumenkohl, Ruthe 1996.

Vorkultur	Winterweizen, Zwischenfrucht Phacelia
Pflugfurche mit Packer	Frühjahr
Saattermin / Sorte	26. März / 'Fremont' F <sub>1</sub>
Pflanzung / Abstand	24. April / 60 × 50 cm (3,3 Pflanzen/m <sup>2</sup> )
N-Düngung (auf 300 kg $N_{\min}$ /ha) <sup>1</sup>	30. April
1. Hackmaßnahme <sup>2</sup>	29. Mai (6-Blattstadium)
2. Hackmaßnahme <sup>2</sup>	11. Juni (8-10-Blattstadium)
3. Hackmaßnahme <sup>2</sup>	25. Juni (10-12-Blattstadium)
Ernte (5 Erntegänge)	19. Juli bis 1. August

1: die N-Düngung erfolgte in diesem Versuch nach der  $N_{\min}$ -Methode

2: an diesen Terminen erfolgte auch das Hacken im Bracheversuch

#### 2.1.4 Gefäßversuch zum Anhäufeln von Möhren

Für diesen im Herbst 1994 im Vorfeld der Feldversuche im Gewächshaus durchgeführten Gefäßversuch wurden Möhren in Schalen ausgesät. Durch eine Assimilationsbeleuchtung hatten die Pflanzen einen ähnlichen Habitus wie Freilandpflanzen. Je 20 cm Möhrenreihe (ca. neun Pflanzen) wurden zu unterschiedlichen Entwicklungsstadien angehäufelt (Tab. 2.18). Dazu wurden zunächst seitlich der Möhrenreihen unter Zuhilfenahme von Brettchen entsprechende Bodenmengen aufgebracht und dann die Brettchen nach oben herausgezogen, so daß der Boden an die Pflanzen sackte. Der Versuch wurde zu jedem Entwicklungsstadium als zweifaktorielle Spaltanlage in dreifacher Wiederholung angelegt.

Tab. 2.18: Varianten beim Gefäßversuch zum Anhäufeln von Möhren, 1994.

Faktor	Stufen
Entwicklungsstadium der Möhren	1-Blattstadium, ca. 4 cm hoch 2-Blattstadium, 6-7 cm hoch 3-Blattstadium, 10-12 cm hoch
Bodenart (Haupteinheit)	Lößboden (Ruthe) Sandboden (Herrenhausen)
Häufelhöhe (Untereinheit)	0 bis 6 cm (je nach Häufeltermin)

## 2.2 Datenerfassung

### 2.2.1 Bekämpfungserfolg

Die Bestimmung des BKE einer mechanischen Regulationsmaßnahme erfolgte durch größendifferenziertes Auszählen der Unkräuter vor und zwei bis drei Tage nach den Behandlungen. Dabei wurde nach Unkräutern im Reihen- bzw. Zwischenreihenbereich unterschieden. Der Reihenbereich wurde bei den Säkulturen Möhren und Zwiebeln mit 10 cm Breite (5 cm rechts und links einer Reihe), bei Blumenkohl entsprechend der Einstellung der Hackgeräte mit 15 cm Breite definiert. Die Zählbereiche hatten eine Länge von 0,5 lfd. m und schlossen zwei Reihenbereiche und den entsprechenden Zwischenreihenbereich ein. Jeweils drei solcher Zählbereiche wurden zufällig auf einer Parzelle verteilt (Abb. 2.1) und mit Kunststoffstäben kurz nach dem Abflammen bzw. der Pflanzung des Blumenkohls markiert.

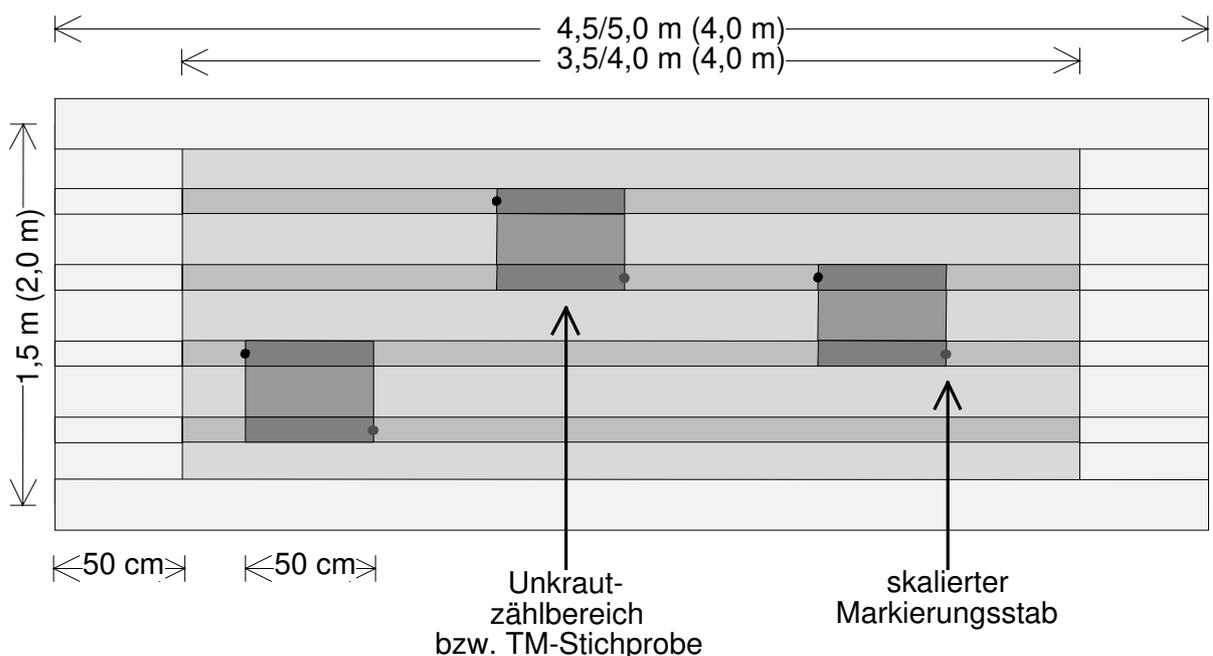


Abb. 2.1: Schematischer Aufbau der Versuchsparzellen (im Klammern: Größe der Parzellen auf den Versuchsstationen Ruthe und Herrenhausen).

Die Einteilung der Unkräuter erfolgte nach deren Nodienzahl in die Klassen 'bis 1 Nodus', '2-4 Nodi' und '> 4 Nodi'. Im Versuchsjahr 1995 erfolgte darüber hinaus ein separates Auszählen der Leitunkrautarten. Die Unkräuter der Zählbereiche einer Parzelle wurden entsprechend der Klassen- und Bereichseinteilung aufsummiert. Bei sehr hoher Unkrautdichte (zum Teil über 1000 Pflanzen/m<sup>2</sup>) wurden nur zwei Bereiche erfaßt. Beim Hacktiefenversuch mit Phacelia wurden je Parzelle zwei

Flächen mit einer Größe von jeweils 40 × 50 cm ausgezählt. In diesem Versuch wurde darüber hinaus in den unberechneten Varianten eine zusätzliche Auszählung unmittelbar nach dem Hacken zur Ermittlung der Verschüttungsintensität vorgenommen.

Der BKE und die Verschüttungsintensität errechnet sich aus der Differenz der Unkrautdichte vor und nach einer Bearbeitung im Verhältnis zur Dichte vor der Bearbeitung. Eine Korrektur des BKE um die in dem entsprechenden Zeitraum eingetretene Dichteänderung in einer unbearbeiteten Variante konnte nicht erfolgen, da die Aufnahme entsprechender 'Kontrollen' für jeden Bearbeitungsgang die Parzellenanzahl unverhältnismäßig erhöht hätte. In Anbetracht der relativ kurzen Zeitspanne zwischen den Zählungen vor/nach einer Bearbeitung scheint diese Vorgehensweise aber akzeptabel.

Um eine Mittelwertbildung aus der Relativzahl 'Bekämpfungserfolg' zu vermeiden, wurde der BKE im allgemeinen aus der Summe der Unkräuter aller Blöcke einer Variante errechnet. Dabei wurden nur Varianten berücksichtigt, die vor der Bearbeitung je Größenklasse und Auszählungsbereich mindestens zehn Unkräuter enthielten. Nur zur varianzanalytischen Auswertung verschiedener Regulationsverfahren innerhalb eines Versuches erfolgte die Berechnung des BKE für jede Parzelle getrennt (im Ergebnisteil gekennzeichnet durch 'Mittelwert über die Blöcke'). Hier betrug die Mindestmenge zur Berechnung des BKE fünf Unkräuter.

Zur Ernte wurden die Unkräuter der drei Zählbereiche einer Parzelle getrennt nach deren ursprünglichen Standort herausgeschnitten und deren Trockenmasse nach Trocknung bei 105°C bestimmt. In dem Häufel- und Striegelversuch mit Zwiebeln erfolgte sieben Wochen nach der Aussaat eine entsprechende Bestimmung in einem separaten Teil der Parzellen.

### **2.2.2 Standorts- und Witterungsparameter**

Bei den Versuchen auf der Versuchsstation Ruthe wurde unmittelbar vor jedem Hackgang der Wassergehalt der obersten Bodenschicht bestimmt. Hierzu wurden mit Hilfe eines handelsüblichen Blumenzwiebelpflanzers Stichproben der obersten 5 cm aus den Randbereichen der Parzellen entnommen und deren gravimetrischer Wassergehalt durch Trocknung bei 105°C bestimmt. Auf den Praxisschlägen konnten entsprechende Beprobungen nicht durchgeführt werden.

Die Bestimmung der Hack- bzw. Bearbeitungstiefe erfolgte mit Hilfe von in den Boden eingebauter Wachsplatten (vgl. Kap. 2.4.2, Seite 26). Jeweils drei der insgesamt sechs zur Markierung der Unkraut-Auszählungsbereiche verwendeten Kunststoffstäbe (vgl. Abb. 2.1) waren skaliert, so daß die erreichte Häufelhöhe bestimmt werden konnte. Dieses geschah auf den Versuchstationen unmittelbar nach Abschluß der Bearbeitungsmaßnahmen, auf den Praxis schlägen zum Auszählungstermin der Unkräuter. Generell wurden alle erhobenen Standortparameter über die Parzellen und Wiederholungen gemittelt.

Als Maß für die Feuchte der Witterung nach den Bearbeitungsgängen wurde die klimatische Wasserbilanz des Tages der Hackmaßnahme ('Hacktag') und des folgenden Tages ('2. Tag') herangezogen. Wurde von den Landwirten nach 16 Uhr gehackt, wurde die Wasserbilanz des nächsten Tages als die des 'Hacktages' angenommen. Zur Berechnung der klimatischen Wasserbilanz konnte bei den Praxiserhebungen nur auf Tageswerte für Niederschlag und Referenzverdunstung ( $ET_{pot}$ ) der jeweils nächstgelegenen Wetterstationen des DEUTSCHEN WETTERDIENSTES (1995, 1996) zurückgegriffen werden. Betrieb A erfaßte die Tagesniederschläge vor Ort, auf dem Betrieb B konnten 1996 Niederschlagswerte und die zur Verdunstungsberechnung notwendigen Daten mit Hilfe einer mobilen Wetterstation ('Unidata Europe') in stündlicher Auflösung erfaßt werden.

Für die Versuchsbetriebe lagen ebenfalls vor Ort erfaßte Witterungsdaten in stündlicher Auflösung vor, aus denen mit Hilfe der PENMAN-MONTEITH-Gleichung (MONTEITH und UNSWORTH 1990)  $ET_{pot}$  einer "zusammenhängenden, niedrigen Grasdecke" (WENDLING 1991) berechnet werden konnte. Dabei wurde der Stomatawiderstand mit 50 s/m und die Bestandeshöhe mit 5 cm angenommen. Mit diesen Werten konnte eine relativ gute Übereinstimmung (Regressionskoeffizient = 1, Regressionskonstante  $\cong$  0) zu der vom Deutschen Wetterdienst verwendeten leicht modifizierten Verdunstungsberechnung nach HAUDE (WENDLING et al. 1991) erzielt werden (Abb. 2.2).

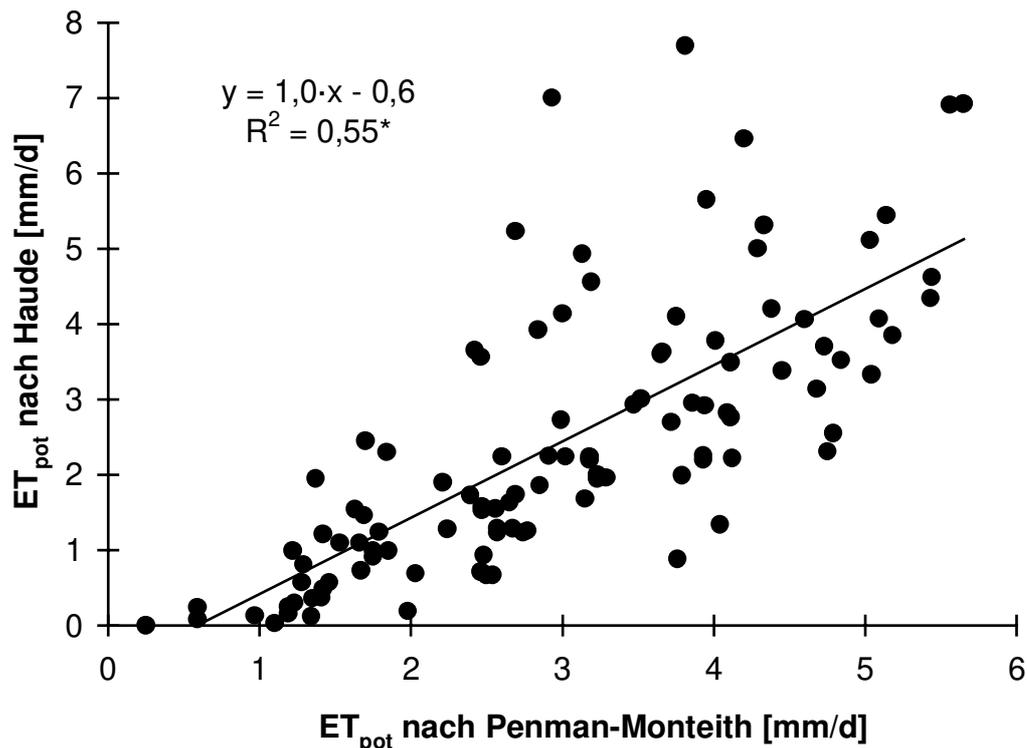


Abb. 2.2: Beziehung zwischen der nach PENMAN-MONTEITH berechneten Referenzverdunstung ( $ET_{pot}$ ) zu der nach der modifizierten HAUDE-Methode berechnete  $ET_{pot}$  (berechnet aus Daten der Wetterstation Ruthe für den Zeitraum Anfang Mai bis Mitte August 1995).

### 2.2.3 Kulturpflanzenparameter

Vor der ersten Bearbeitungsmaßnahme und bei der Ernte wurden die Kulturpflanzen der unkrautfreien Varianten auf der gesamten Kernparzelle ausgezählt. Die während der Kulturzeit aufgetretenen Pflanzenverluste wurden analog der Berechnung des BKE ermittelt, wobei allerdings die Werte um die Veränderung in der unbearbeiteten Kontrolle bereinigt wurden. Für eine varianzanalytische Verrechnung erfolgte diese Bereinigung um die Veränderung in der unbearbeiteten Kontrolle des jeweiligen Blocks. Nach jeder Bearbeitungsmaßnahme wurde eine Bonitur der oberirdischen Pflanzenschäden durchgeführt.

Die Ernte erfolgte auf den Praxisschlägen jeweils wenige Tage vor dem betrieblichen Erntetermin, auf den Versuchstationen wurde zu praxisüblichen Entwicklungsstadien geerntet. Lediglich die Zwiebeln wurden ca. zwei Wochen verfrüht gerodet, da sich in dem mastigen Bestand Mitte August nesterweise Befall mit Falschem Mehltau (*Peronospora destructor*) zeigte und hierdurch bedingte Versuchsfehler vermieden werden sollten. Bei den Möhren wurden das Laub entfernt

und die Rüben weitestgehend von anhaftendem Boden befreit. Zwiebeln wurden im Schwad bzw. unter Dach getrocknet. Bei Blumenkohl wurden an mehreren Ernteterminen jeweils die Köpfe geschnitten, die die notwendige Größe eines 6er Kopfes erreicht hatten, bzw. erste Anzeichen einer Qualitätsminderung durch Lockerwerden zeigten (BUNDESSORTENAMT 1995).

Bei allen Feldversuchen wurden die Frischmasseerträge erfaßt. Beim Häufelversuch wurde zusätzlich die oberirdische Laubtrockenmasse der Möhren knapp zwei Wochen nach einer Häufelmaßnahme von  $5 \times 0,6$  lfd. m Reihe pro Parzelle ermittelt. Zum Kulturende wurde die Laubfrischmasse der gesamten Parzelle erfaßt und mittels des an einem Aliquot ermittelten Trockensubstanzgehalts die Laubtrockenmasse berechnet. Beim Gefäßversuch zum Anhäufeln von Möhren erfolgte drei Wochen nach dem Anhäufeln eine Bestimmung der oberirdischen Laubtrockenmasse sowie der Pflanzenanzahl. In Blumenkohl wurde neben der Kopfmasse die Frischmasse des gesamten Aufwuchses bestimmt.

Im Versuchsjahr 1995 erfolgte eine Sortierung der Möhren und Zwiebeln. Je  $6 \times 0,5$  lfd. m Möhren einer Parzelle wurden mit Langlochsieben nach dem größten Querdurchmesser in die Klassen  $< 18$  mm, 18-38 mm und  $> 38$  mm sortiert. Beinige Rüben wurden separat erfaßt. Diese Ergebnisse wurde jeweils auf die gesamte Parzelle hochgerechnet. Bei Zwiebeln konnten die Bulben der ganzen Parzelle mittels 'schwingender Siebe' in die Klassen  $< 40$  mm, 40-60 mm und  $> 60$  mm eingeteilt werden. Zusätzlich wurden hier aufgetretene Dickhäuse erfaßt. Blumenkohl wurde praxisüblich in 6er, 8er und sonstige Köpfe klassifiziert.

### **2.3 Verrechnung und statistische Auswertung**

Die ermittelten Frischmasseerträge wurden jeweils auf eine Fläche von 1 ha hochgerechnet, wobei bei Beetanbau, wie in der Praxis üblich, die Fahrspur mit in die Fläche einbezogen wurde (Bruttofläche). Die Laubtrockenmasse von Unkräutern bzw. Kulturpflanzen wurde, um eine Vergleichbarkeit zwischen den verschiedenen Erhebungen und Versuchen zu gewährleisten, für einen Netto- $m^2$  des Kulturpflanzenbestandes berechnet. Dabei wurde bei Unkräutern der Anteil des Reihen- bzw. Zwischenreihenbereichs an der Gesamtfläche berücksichtigt.

Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe des Statistik-Softwarepaket SAS (SAS INSTITUTE 1995) in Anlehnung an Modelle von GOMEZ und GOMEZ (1984), MUNZERT (1992) und DUFNER et al. (1992). Die Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha$  wurde auf  $< 0,05$  festgelegt. Mittelwertvergleiche wurden mit Hilfe des t-Tests ausgeführt.

Bei regressionsanalytischen Auswertungen wurden mit Hilfe der Option 'SELECTION = MAXR' der SAS-Prozedur 'REG' jeweils die unabhängigen Variablen in die Modellgleichungen aufgenommen, die das 'beste' Modell mit 1, 2, 3 ... Faktoren lieferten (GOGOLOK et al. 1992). Ausgewählt wurden diejenigen Modelle, deren Parameter mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha < 0,05$  signifikant unterschiedlich von null waren (Ausnahme: Absolutglied) und ein möglichst hohes Bestimmtheitsmaß zeigten.

## **2.4 Methodenentwicklung und -überprüfung**

### **2.4.1 Erfassung der Bodenumlagerung beim Striegeln**

Wie in Kap. 4.1, Seite 52 näher erläutert, ergibt sich der BKE des Striegels aus der Intensität der Bodenumlagerung und der Verschüttungsempfindlichkeit der Unkräuter. Damit sind die gerätetechnischen und pedogenen Einflußfaktoren (vgl. Tab. 4.1, Seite 52) auf ihre Bedeutung hinsichtlich der Intensität der Bodenumlagerung zu reduzieren. Hierfür wurde ein reproduzierbares Maß gesucht.

Die von BÖHRNSEN und BRÄUTIGAM (1990) beschriebene Bestimmung der "bewegten Erde" durch Absaugen des losen Bodens nach einer Behandlung stellte sich in Vorversuchen als ungeeignet heraus, da die Grenze zwischen dem vom Striegel gelockerten Bereich und den durch die vorherige Saatbettbereitung noch lockeren, darunterliegenden Bodenschichten nicht zu erkennen war.

Als eine andere Methode zur Erfassung der Verschüttungsintensität beim Striegeln wurde das Auslegen von Glaskugeln vor der Behandlung und späteres Erfassen des verschütteten Anteils auf dem Lößstandort Ruthe getestet. Hierzu wurden 50 Glaskugeln ( $\varnothing$  8 mm) auf einer Fläche von 50 × 50 cm verteilt und leicht in den Boden gedrückt. Durch eine Variation der Schleppergeschwindigkeit und der Bodendichte durch vorheriges Walzen wurde eine unterschiedlich starke Verschüttung bei dem Modellunkraut Phacelia beim Striegeln erreicht (Abb. 2.3).

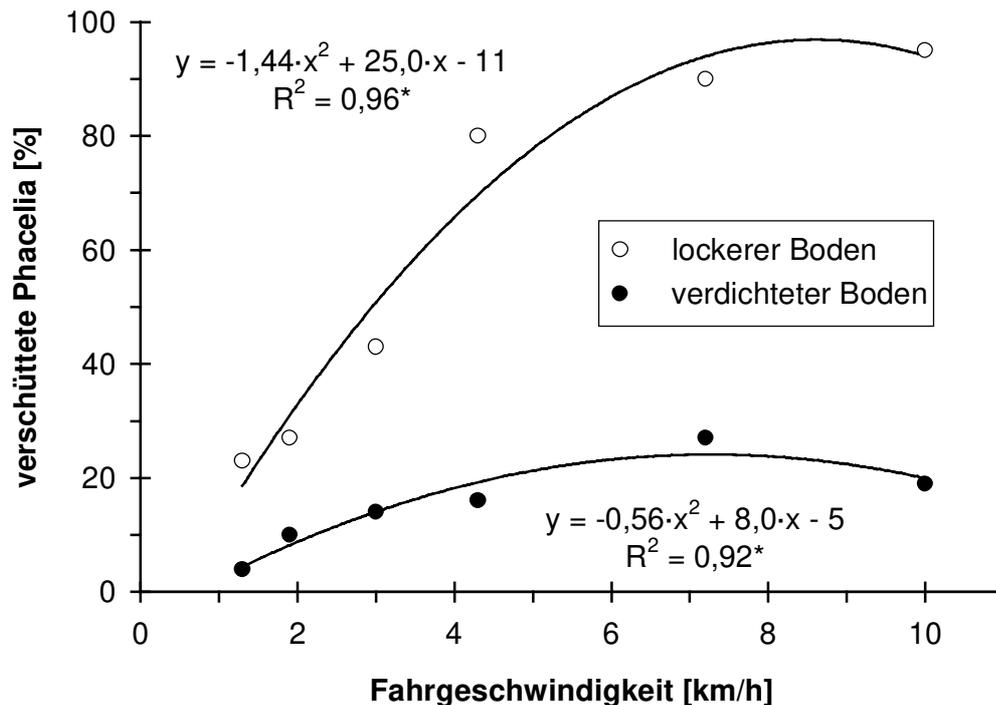


Abb. 2.3: Einfluß der Fahrgeschwindigkeit beim Striegeln auf die Verschüttung von Phacelia-Keimlingen, Ruthe 1994 (Mittelwerte über 4 Wiederholungen).

Der Anteil verschütteter Glaskugeln stieg mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit nur bei dem lockeren Boden geringfügig an. Der Zusammenhang zwischen der Kugel- und Pflanzenverschüttung zeigte daher nur eine geringe Spreizung (Abb. 2.4), so daß auch diese Methode verworfen werden mußte.

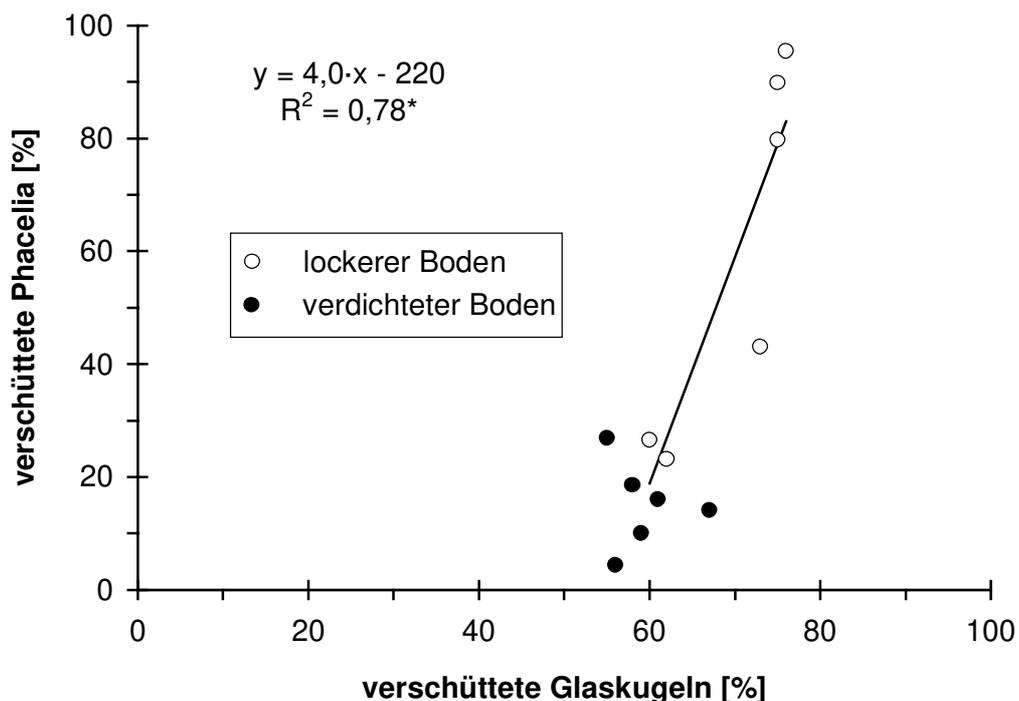


Abb. 2.4: Zusammenhang zwischen verschütteten Glaskugeln und verschütteten Phacelia-Keimlingen, Ruthe 1994 (Mittelwerte über 4 Wiederholungen; Regressionsbeziehung nur für den lockeren Boden).

Da viele gerätetechnische und pedogene Einflußfaktoren auf den BKE mit der erreichten Bearbeitungstiefe beim Striegeln korrelieren dürften, bot sich die Bearbeitungstiefe als Maß für die Intensität der Bodenumlagerung an. Im genannten Versuch erfolgte bei drei der untersuchten Fahrgeschwindigkeiten die Bestimmung der Arbeitstiefe durch vertikale Installation von Wachsplatten in den Boden (genaue Beschreibung siehe Kap. 2.4.2.) Dabei zeichnete sich ein positiver Zusammenhang zwischen dem Verschüttungsgrad der Phacelia-Keimlinge und der mittleren Beschädigungstiefe der Wachsplatten ab (Abb. 2.5).

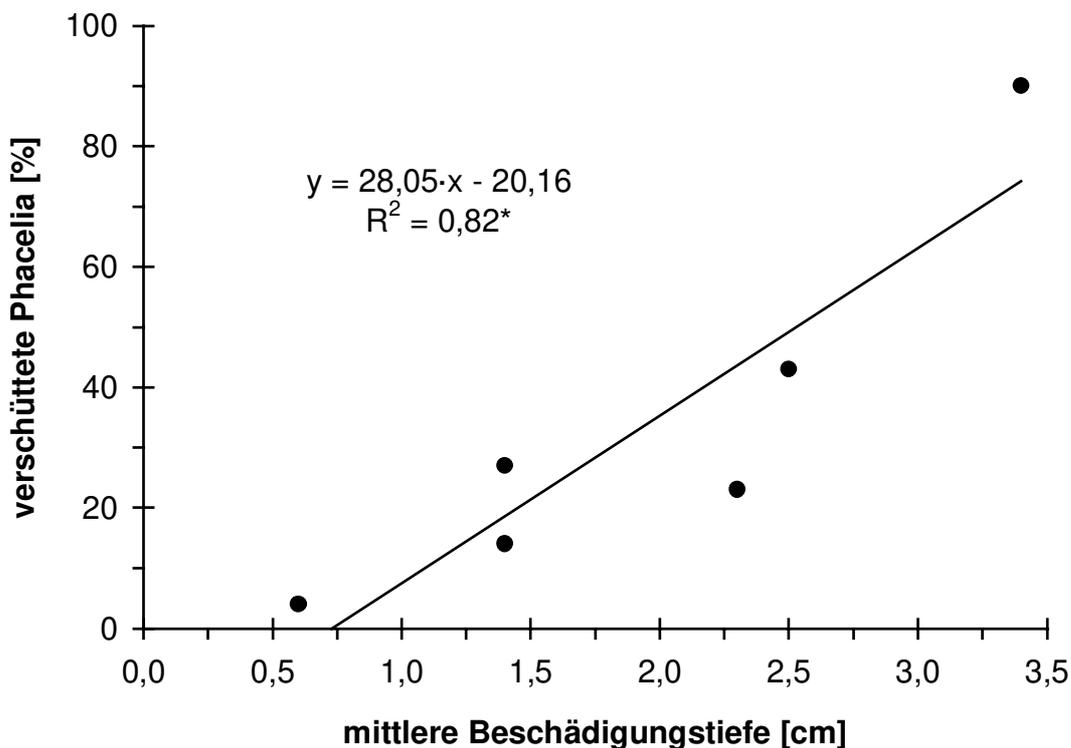


Abb. 2.5: Zusammenhang zwischen der mittleren Beschädigungstiefe von Wachsplatten und dem Verschüttungsgrad von Phacelia-Keimlingen, Ruthe 1994.

### 2.4.2 Bestimmung der Bearbeitungstiefe

Auf Grund der oben geschilderten Ergebnisse mit den im Boden eingebauten Wachsplatten wurden bei allen durchgeführten Feldversuchen entsprechende Platten verwendet. Hierzu wurden vor jeder Bearbeitungsmaßnahme zwei Bienenwachsplatten (handelsübliche Mittelwände, ca. 2 mm stark) quer zur Bearbeitungsrichtung senkrecht im Randbereich der Parzellen in den Boden eingebaut. Mit Hilfe einer Kunststoffplatte wurde ein Spalt in den Boden getrieben, die Wachsplatten in diesen Spalt gestellt und die Erde wieder angedrückt. Die Oberkanten der Platten schlossen mit der Bodenoberfläche ab.

Nach jeder Regulationsmaßnahme wurden die beschädigten Platten entnommen, später die verbliebenen Wachsfläche photometrisch mit einem Blattflächenmeßgerät ('LiCor 3100') bestimmt und daraus die mittlere Beschädigungstiefe der Wachsplatten berechnet (Abb. 2.6). Bei den Versuchen im Jahre 1996 wurde darüber hinaus die größte Beschädigungstiefe direkt ausgemessen.

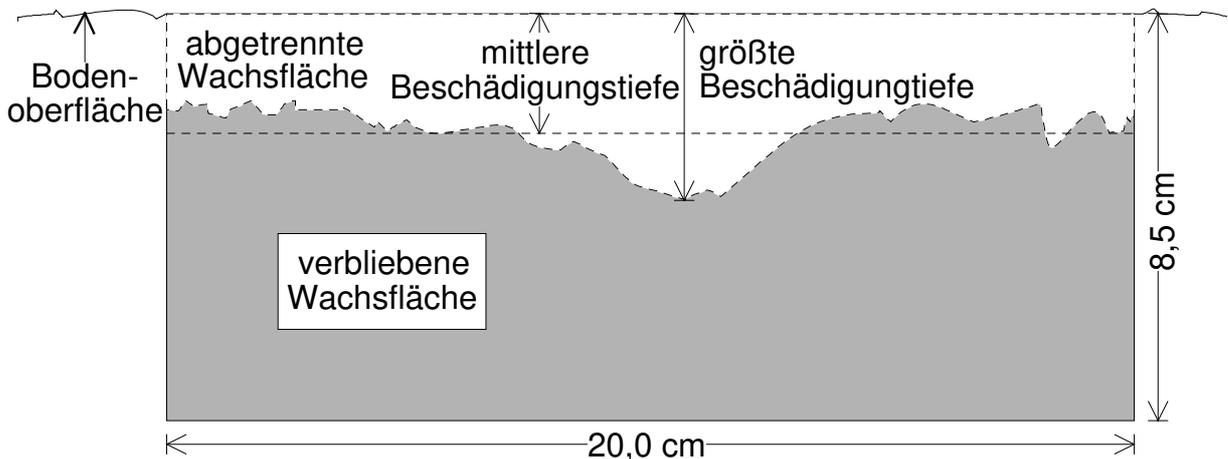


Abb. 2.6: Wachsplattenmethode zur Bestimmung der Hacktiefe im Feld.

Bei einer Überprüfung dieser Methode im Rahmen des Hacktiefenversuchs mit Phacelia (Tab. 3.2, Seite 37) zeigten die mit beiden Auswertungsverfahren der Wachsplatten gefundenen Werte bei leichter Überschätzung von 18% (n.s.) bzw. 15% (sig.) eine sehr enge Beziehung zur jeweils eingestellten Hacktiefe (Abb. 2.7).

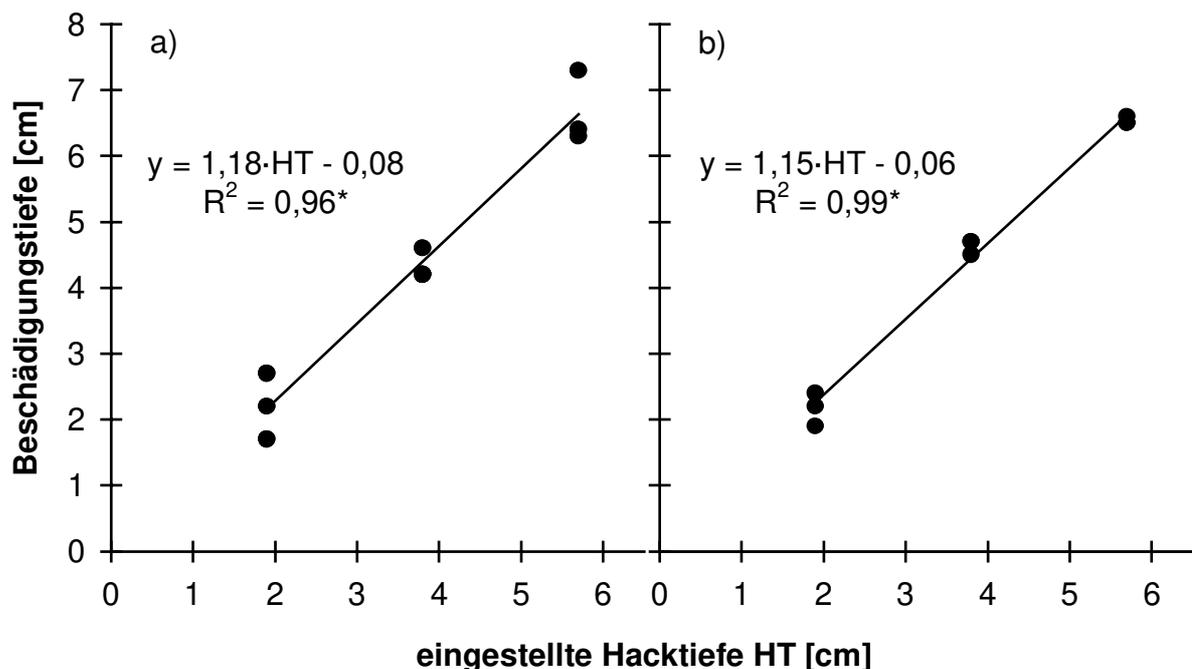


Abb. 2.7: Beziehung zwischen der eingestellten Hacktiefe (HT) und der mittleren (a) bzw. größten Beschädigungstiefe (b) im Boden eingebauter Wachsplatten, Hacktiefenversuch mit Phacelia, Ruthe 1996 (Mittelwerte über 3 Blöcke).

### 3 Einfluß der Hacktiefe auf den Bekämpfungserfolg

*Abstract: Der Bekämpfungserfolg beim Hacken beruht auf dem Verschütten und Abschneiden/Herausreißen der Unkräuter. Die Abhängigkeit dieser Wirkungen von der Hacktiefe, Unkrautgröße und den Witterungsbedingungen wird anhand von Modellvorstellungen diskutiert. Eine Versuchsserie mit einem Modellunkraut (*Phacelia tanacetifolia* Benth.) diente der Quantifizierung des Einflusses dieser Faktoren auf den Bekämpfungserfolg. Dabei lag der Bekämpfungserfolg je nach Unkrautgröße, Hacktiefe, Witterungsbedingungen und der Höhe simulierter Niederschläge zwischen 33% und nahezu 100%.*

*Mit Hilfe teilmechanistischer Modelle konnte eine enge Beziehung des Bekämpfungserfolges zur verfügbaren Wassermenge im verbleibenden Wurzelraum der Pflanzen bzw. deren Verbrauch durch Evapotranspiration aufgezeigt werden. Hackbedingungen, die eine Erhöhung der verfügbaren Wassermenge zur Folge haben (größere Hacktiefe, hohe Bodenwassergehalte, Niederschläge), führen zu abnehmenden Bekämpfungserfolgen. Faktoren, die einen schnelleren Verbrauch dieses Wassers begünstigen (flaches Hacken, geringe Bodenwassergehalte, hohe Evapotranspiration) erhöhen den Bekämpfungserfolg.*

#### 3.1 Einführung

Die Wirkung der Scharhacke beruht auf dem Verschütten und/oder dem Abschneiden bzw. Herausreißen der Unkräuter (KOCH 1959, MATTSSON et al. 1990, PEDERSEN 1990). Ein Verschütten führt zur Unterbindung der Photosynthese der entsprechenden Pflanzen(teile), Abschneiden bzw. Herausreißen unterbricht die Wasserzufuhr zu den transpirierenden Organen.

##### 3.1.1 Modellvorstellungen zur verschüttenden Wirkungskomponente

Der auf ein Verschütten der Unkräuter zurückzuführende Bekämpfungserfolg (BKE) wird einerseits von der Intensität der Bodenumlagerung auf/an die Pflanze, andererseits von der Verschüttbarkeit der Unkrautpflanzen, welche von ihrer Größe und ihrem Aufbau abhängt, bestimmt (vgl. Abb. 1.2, Seite 5). Mögliche Einflußfaktoren auf die Intensität der Bodenumlagerung beim Hacken sind der Geräteaufbau, die Bearbeitungstiefe, die Fahrgeschwindigkeit sowie Bodenart und -zustand.

KOCH (1959) beobachtete bei zwei Hackgängen mit 2-4 cm Hacktiefe einen geringeren Anteil verschütteter Unkräuter als bei den sonst von ihm untersuchten Hacktiefen im Bereich von 4-8 cm und prägte die häufig zitierte Ansicht, daß mit

zunehmender Hacktiefe die schneidende Wirkung abnimmt, während die schüttende Wirkung etwas zunimmt (Fahrgeschwindigkeit 2,7 km/h). Bei näherer Betrachtung seiner Bekämpfungsergebnisse ist diese Aussage aber nur bedingt nachvollziehbar. So zeigt sich keine Beziehung zwischen der Hacktiefe und der Verschüttung von Unkräutern im Keimblattstadium (Abb. 3.1), mit 2-4 Blättern und mit > 6 Laubblättern (nicht dargestellt). Eine gewisse Abnahme der schneidenden Wirkung mit zunehmender Hacktiefe war nur bei den großen Unkräutern gegeben (Abb. 3.1). KOCH (1959) merkte allerdings an, daß seine Ergebnisse für eine sichere Aussage zur Frage der optimalen Hacktiefe nicht ausreichen.

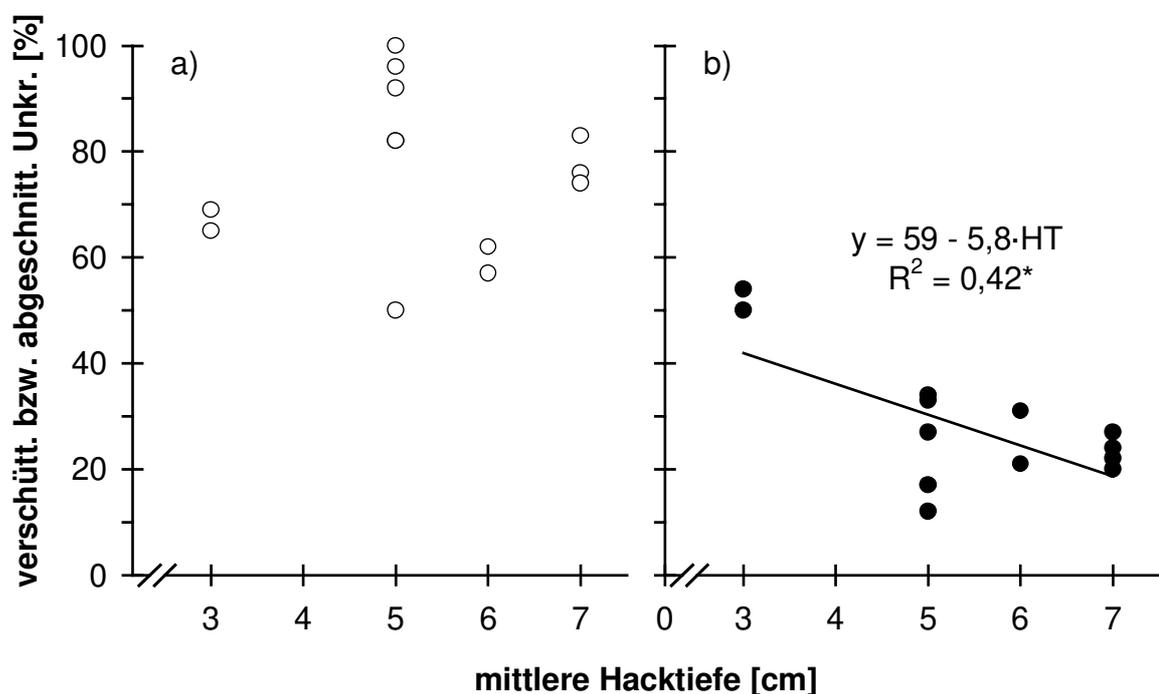


Abb. 3.1: Beziehung zwischen der mittleren Hacktiefe (HT) und der Verschüttung von Unkräutern im Keimblattstadium (a) und abgeschnittenen/herausgerissenen Unkräutern mit > 6 Laubblättern (b), Daten nach KOCH 1959 (Mittelwerte über die Wiederholungen).

In einem Laborversuch mit Gartenkresse und einem speziell geformten Hack- und Häufelschar (Arbeitsgeschwindigkeit 7,2 km/h) fanden TERPSTRA und KOUWENHOVEN (1981) bei Erhöhung der Hacktiefe von 2,5 cm auf 4 cm eine leichte Zunahme des Verschüttungsgrades von 53% auf 62%. Von den untersuchten Bodenarten (S, Ls, Ltu) zeigte der schluffig-tonige Lehm gegenüber den leichteren Böden einen Wirkungsabfall von 60% auf 53%. Ein auf die Behandlung folgender simulierter Niederschlag von 4 mm erhöhte den Verschüttungsgrad um 5%-Punkte.

WEBER (1996) berichtete, daß die verschüttende Wirkung beim Hacken mit abnehmender Fahrgeschwindigkeit und bei feuchtem bis nassem Boden stark zurückgeht. Um bei großen Unkräutern genügend Erde aufzuwerfen, muß nach Ansicht des Autors entsprechend tiefer gearbeitet werden. Versuchsergebnisse liegen aber nicht vor. Für den Bereich seitlich eines mit Gänsefußscharen bestückten Grubbers belegen Versuche von TERPSTRA (1977, zit. in KOUWENHOVEN und TERPSTRA 1979) eine zunehmende Erdbedeckung (bis 2 cm) mit steigender Fahrgeschwindigkeit (3,6-10,8 km/h).

Mit zunehmendem Alter der Unkräuter (Keimblatt bis > 6 Laubblätter) nahm in den Versuchen von KOCH (1959) die verschüttende Wirkung der Hacke von durchschnittlich 76% auf 35% ab. Bei TERPSTRA und KOUWENHOVEN (1981) zeigte die Unkrautgröße (2,5-3 cm bzw. 7-9 cm) dagegen keinen signifikanten Einfluß auf den Verschüttungsgrad im Arbeitsbereich des Hack- und Häufelschares. Einer Abbildung in der Veröffentlichung zufolge dürfte es sich bei den großen Gartenkressepflanzen in den Versuchskisten allerdings um sehr vergeilte Pflanzen gehandelt haben, deren Blattapparat nicht dem einer typischen Pflanze dieser Wuchshöhe entsprach. Seitlich des Schares führte eine 1,5 bzw. 2 cm starke Überschüttung der kleinen bzw. großen Pflanzen zu einem BKE von nahezu 100%. TERPSTRA (1977, zit. in KOUWENHOVEN und TERPSTRA 1979) fand bei einer Verschüttungshöhe von 2 cm einen BKE von 75% bei den ca. 5 cm großen Rapssämlingen.

Bereits die Modellversuche von HABEL (1954), KOCH (1959) und KEES (1962) mit verschiedenen Unkrautarten zeigten, daß mit einer Erdüberdeckung von 2 cm auch größere Unkräuter (bis 8 Laubblätter) zu 77-100% bekämpft werden können. Selbst bei Pflanzen mit 8 bis 14 Blättern lag die Wirkung noch über 60%. Allerdings wurden bei diesen Versuchen die Pflanzen zur Simulation des Eggvorgangs vor der Verschüttung zur Seite gebogen, was in situ nicht immer der Fall sein dürfte.

Für Unkräuter im Keimblattstadium zeigt sich bei den Daten von HABEL (1954), KOCH (1959) und KEES (1962) ein gewisser Zusammenhang des BKE zur Unkrautsamengröße (Abb. 3.2): kleinsamige Arten (Tausendkornmasse < 3 g) wurden schon bei einer Erdbedeckung von 1 cm zu über 70% bekämpft, während großsamige Arten auch eine 2 cm starke Erdbedeckung in höherem Maße überstanden. Bei größeren Unkräutern (> 2 Laubblätter) bestand keine Beziehung zur Samengröße.

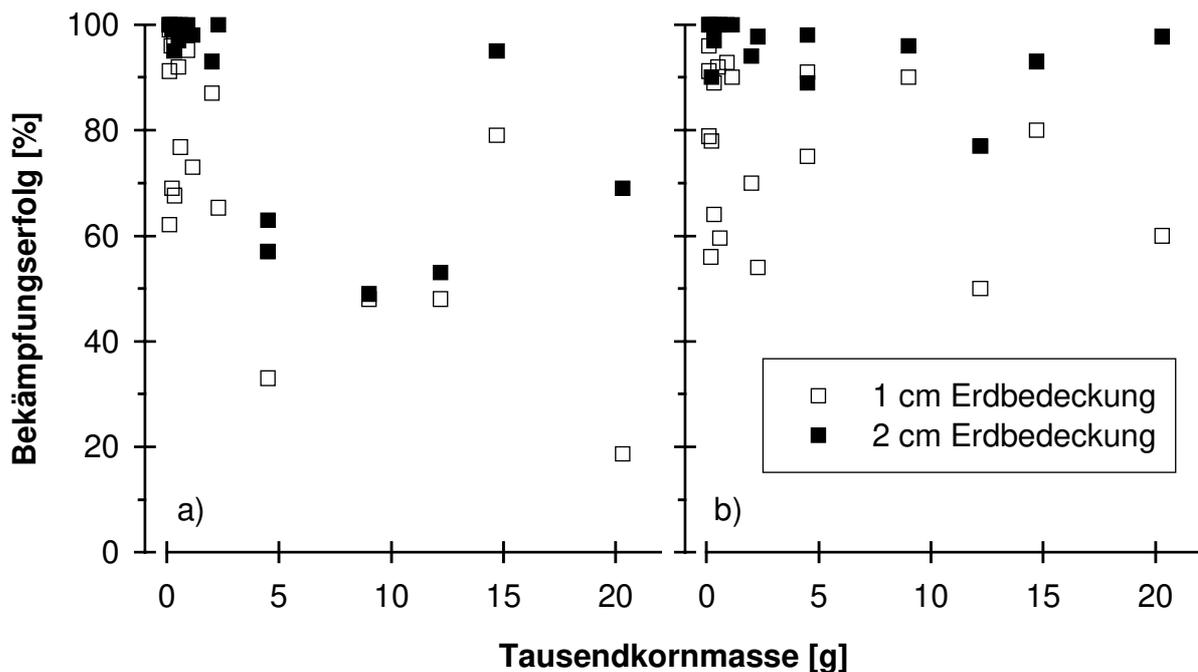


Abb. 3.2: Zusammenhang zwischen der Tausendkornmasse und der Verschüttungsempfindlichkeit verschiedener Unkrautarten im Keimblattstadium (a) und im 2-4-Blattstadium (b), Bekämpfungsdaten nach HABEL 1954, KOCH 1959 und KEES 1962; Tausendkornmasse nach APPEL 1995 und HEINISCH 1955.

### 3.1.2 Modellvorstellungen zur schneidend/herausreißenden Wirkung

Der auf der schneidenden und ausreißenden Wirkung von Hackgeräten beruhende BKE ist eine Funktion der pflanzenverfügbaren Wassermenge, der Transpirationsbelastung des Unkrautes nach dem Hacken und dessen Widerstandsfähigkeit gegenüber Austrocknen (vgl. Abb. 1.2, Seite 5). Der von den Pflanzen nach dem Hacken weiterhin durchwuzelte Bodenbereich ist von der Abtrenntiefe (Hacktiefe) und/oder von der unter den jeweiligen Bodenbedingungen (Bodenart, Humusgehalt, Feuchte) erreichten Bodenkrümelung abhängig. Gerätetechnische Einflußfaktoren auf die Krümelung sind die Geräteeinstellung (Hacktiefe, Anstellwinkel der Schare) und die Fahrgeschwindigkeit, ggf. der Einsatz nachfolgender Striegel bzw. Krümmler.

Verbleiben den Pflanzen auf Grund tiefen Hackens und/oder nur unzureichender Krümelung große, von ihnen weiterhin durchwuzelte Bodenaggregate, haben diese einen hohen Gehalt an verfügbarem Wasser (Bodenart, Bodenfeuchte) bzw. werden wieder befeuchtet (Niederschlag) und ist die Evapotranspiration ( $ET_{pot}$ ) gering, so können die Unkräuter durch Wurzelwachstum erneut Anschluß an die Wasservorräte des gesamten Standortes bekommen und überleben.

Niederschläge führen darüber hinaus zu einer erneuten Sackung der obersten Bodenschicht, so daß ein kapillarer Wasseraufstieg in diesen Bereich ermöglicht wird. Im günstigsten Fall werden die Wurzeln der Unkrautpflanzen vollständig abgetrennt oder die Pflanzen liegen ohne nennenswerten Bodenkontakt auf der Bodenoberfläche. Ist anschließend  $ET_{pot}$  hoch und fallen keine Niederschläge (= negative klimatische Wasserbilanz), vertrocknen die Pflanzen, bevor sie durch Wurzelwachstum erneut Anschluß an die Wasservorräte im Boden erhalten können.

Diese Überlegungen führen zu dem Schluß, daß es für ein Vertrocknen der Unkräuter unter allen Witterungs- und Bodenbedingungen günstig ist, möglichst flach zu hacken. Dementsprechend empfehlen viele Autoren eine Hacktiefe im Bereich von 2-4 cm (Tab. 3.1). Für Mais, der im allgemeinen mit hoher Fahrgeschwindigkeit (> 5 km/h) gehackt wird, liegen die Empfehlungen mit 5-10 cm allerdings höher. Bemerkenswert ist, daß in vielen (Praxis)Versuchen zur Wirksamkeit der Scharhacke die Hacktiefe über den allgemein empfohlenen 2-4 cm lag und in den jeweiligen Einzelversuchen keine flacheren Einstellungen überprüft wurden.

Tab. 3.1: Hacktiefen bei Versuchen mit der Scharhacke verschiedener Autoren und Empfehlungen für die Praxis.

Versuchsansteller / Quelle	Kultur	Bodenart	Hacktiefe [cm]	Versuche
KOCH 1959	Getreide	L	(2-) 4-6 (-8) <sup>1</sup>	9
MÜLLVERSTEDT 1961	Getreide	L	2-4	3
LORENZ et al. 1994	Z.-Rüben	L	5	3
WAHMHOF 1994	Raps	U / L	3-5	4
RASMUSSEN 1992	Erbsen	L	3-4	1
ASCARD und MATTSSON 1994	Möhren	S-Ls	3-4 (5-6)	3
MEIER 1986	Möhren	Sl / Lu / T	3-5 / 4 / 6-8	je 1
MELANDER und HARTVIG 1997	Zwiebeln	Ls	3	3
PEDERSEN 1990	—	T	3 / 6 <sup>2</sup>	1
TERPSTRA u. KOUWENHOVEN '81	—	S / Ls / Ltu	2,5 / 4 <sup>2</sup>	
<b>Empfehlungen:</b>		<b>Hacktiefe:</b>		
ESTLER 1987	Mais	übliche Arbeitstiefe: ca. 5 cm		
HUBER 1991	Mais	max. 5 cm (später bis zu 10 cm)		
HURLE und KEMMER 1988	Mais	3-5 cm		
KEES und ZELLNER 1994	Mais	flach (3-5 cm)		
KOCH 1959	Getreide	2-4 cm, kleine Unkräuter auch tiefer		
KOUWENHOVEN et al. 1990	—	2-3 cm		
SCHRÖDL 1984a	—	3-4 cm (bei selbstschärfenden Messern)		
ZANNER 1990	Gemüse	1. Hacke: 2-3 cm, 2. Hacke: 2-4 cm		

1: die in Klammern angegebenen Hacktiefen wurden nur vereinzelt durchgeführt

2: systematische Untersuchung zum Einfluß der Hacktiefe auf den BKE

In den Untersuchungen von TERPSTRA und KOUWENHOVEN (1981) zeigte sich keine deutliche Wirkung der Hacktiefe auf den BKE. PEDERSEN (1990) fand bei Raps mit 2-3 Blättern als Modellunkraut bei "sehr trockener Witterung" keinen Einfluß der Hacktiefe (3 und 6 cm) auf den BKE, der in allen Varianten bei nahezu 100% lag. Auch unterschiedliche Arbeitsgeschwindigkeiten (3-12 km/h) zeigten keine Wirkung. Dagegen ermittelten PULLEN und COWELL (1997) bei einer mit starren Messern (nach einer Abbildung zu urteilen handelte es sich um Nasenschare) bestückten Hacke bei 11 km/h einen BKE gegenüber Rapspflanzen von 90% im Vergleich zu 62% bei 5 km/h. Bei der natürlichen Verunkrautung und auch bei voll gefederten Gänsefußscharen war der BKE allerdings unabhängig von der Fahrgeschwindigkeit. GEYER et al. (1991) führten den gegenüber der Hackbürste bzw. Reihenfräse geringen BKE der Scharhacke auf die geringe Arbeitsgeschwindigkeit von 3 km/h zurück, bei der "keine schneidende Wirkung der Gänsefußschare erzielt werden konnte". Die Arbeitsgeschwindigkeit beim Hacken beträgt nach Angaben von KESSLER (1996, zit. in WEBER 1997) im ökologischen Gemüsebau 2,3 bis 3,8 km/h.

Sind die Bodenfragmente nach der Bearbeitung zu groß, besteht das Risiko, daß unter feuchten Witterungsbedingungen die Unkräuter auf den Kluten überleben (MATTSSON et al. 1990). Hackgeräte mit Gänsefußscharen zeigten bei Fahrgeschwindigkeiten über 5 km/h eine besonders gute Bodenkrümelung, bei Winkelmessern war sie dagegen geringer (SCHRÖDL 1984a, b). Eine Kombination von Hacke mit nachlaufendem Striegel ( $\Rightarrow$  Zerkleinerung der Aggregate, Trennung von Boden und Wurzeln) steigerte in Versuchen den BKE zumeist signifikant (GRAF 1984, STEINER 1985, MEYER 1986, zit. in SCHMIDT und STEINER 1989). Ähnliche Effekte beschrieb ESTLER (1988) für nachlaufende Krümelwalzen, WEBER (1996) für die rotierenden Federzinken der Trennhacke. Auch bei einer gefederten statt starren Befestigung der Hackmesser soll die Trennung von Boden und Pflanze durch die Vibration verbessert sein (GEIER et al. 1986, zit. in WALTER 1989). Sind die Gänsefußschare nicht scharf, besteht insbesondere auf Sandböden die Gefahr, daß die Unkräuter zur Kulturpflanzenreihe geschoben werden und dort nach Niederschlägen wieder anwachsen. Bei Winkelmessern besteht diese Gefahr nicht (VAN DER WEIDE und WIJNANDS 1993).

Die Arbeitsqualität von Hackgeräten wurde von WALTER (1989) sowohl auf leichten als auch auf schweren Böden als gut bewertet und auch WEBER (1996) sah keine bodenbedingten Einsatzgrenzen. Dagegen veranschlagten SCHMID und STEINER (1989) den BKE der Scharhacke in Winterweizen auf schweren Böden mit 20-60%, während sie für leichte Böden 40-80% angeben. TERPSTRA und KOUWENHOVEN (1981) stellten in Modellversuchen keinen Einfluß der Bodenart (S, Ls, Ltu) auf den BKE im Arbeitsbereich des Hack- und Häufelschares fest. Zum Einfluß der Bodenfeuchte beim Hacken merkten DIERAUER und STÖPPLER-ZIMMER (1994) an, daß bei zu trockenem Boden die Schollen nicht zerfallen und daß es bei zu feuchtem Boden zu Schmierschichten kommt. WEBER (1997) gab als Obergrenze für das Hacken Bodenhalte von 10, 17 bzw. 16 Vol.-% pflanzenverfügbaren Wassers für leichte, mittlere bzw. schwere Böden an. Als Untergrenze nahm er 0, 5 bzw. 8 Vol.-% an.

Die Abhängigkeit des BKE beim Hacken von der nachfolgenden Witterung ist allgemein bekannt. KOCH und HURLE (1978) führen an, daß unmittelbar auf das Hacken folgende Niederschläge den BKE vermindern, da hierdurch den abgeschnittenen bzw. herausgerissenen Pflanzen ein erneutes Anwachsen ermöglicht wird. Bei "anhaltend kühlregnerischem Wetter" ermittelten GRAF (1984), STEINER (1985) und MEYER (1986) nach einer Zusammenfassung von SCHMIDT und STEINER (1989) BKE von 8-26%, während sie sonst BKE von 20-68% erzielten. MEIER (1987, zit. in WALTER 1989) fand auch unter "kühlem, regnerischem Wetter" BKE von 60%. Bei "optimaler Witterung" lagen die Werte um mindestens 10% höher, meist konnte eine fast vollständige Bekämpfung erreicht werden. WILDFELLNER (1990) weist darauf hin, daß nach der Bearbeitung mindestens "ein schöner Tag" folgen sollte. In dem oben zitierten Versuch von TERPSTRA und KOUWENHOVEN (1981) sank der BKE durch einen simulierten Niederschlag von 4 mm von 97% auf 82% bei kleinen Pflanzen bzw. 95% auf 86% bei großen Pflanzen. Die Autoren machen allerdings keine Aussagen zu möglichen Wechselwirkungen zwischen der Hacktiefe und der Beregnung und sprechen von "keiner klaren" Wirkung der Hacktiefe. Betrachtet man deren Ergebnisse getrennt nach den Feuchtebedingungen, so fällt auf, daß die Hacktiefe bei fehlender Beregnung keinen Einfluß auf den BKE hatte. Unter feuchten Bedingungen (Beregnung) erhöhte sich jedoch der BKE mit Zunahme der Hacktiefe von 2,5 cm auf 4 cm um 12%-Punkte auf 90% und erreichte damit in etwa das Niveau des BKE unter trockenen Bedingungen. Dieses war überwiegend auf eine Steige

zung des Anteils verschütteter Unkräuter zurückzuführen. Trotzdem vermuten die Autoren, daß insbesondere bei zu erwartenden Niederschlägen eine flache Hacke effektiver sei. Auch ZANNER (1990) schildert, daß bei einem zu tiefen Hacken die Unkräuter bereits nach kurzen Regenschauern wieder anwachsen können.

Bezüglich der Unkrautgröße resümiert KOCH (1959), daß "die Wirkung der Hacke nur unwesentlich durch das Altersstadium der Unkräuter beeinflusst wird". Faßt man seine Ergebnisse zusammen, so zeigt sich (bei großer Streuung) allerdings ein Abfall des BKE mit zunehmender Unkrautgröße (Keimblatt- bis > 6-Blattstadium) von durchschnittlich 84% auf 63% (Abb. 3.3). In einem Modellversuch stellte HABEL (1954) fest, daß die Widerstandsfähigkeit herausgerissener Unkrautpflanzen gegenüber einer Austrocknungs- und Welkeperiode mit fortschreitender Entwicklung zunimmt. Bei Unkrautpflanzen im Keimblattstadium zeigte sich eine positive Beziehung zwischen der Samengröße und der Überdauerungsfähigkeit. Auch WEBER (1996) sieht Grenzen bei der Wirksamkeit der Hacke gegen große Unkräuter. Dagegen konnte MEIER (1987, zit. in WALTER 1989), obgleich die Unkräuter teilweise bereits in Blüte standen, in Mais "keinen großen Einfluß" des Unkrautstadiums auf den BKE feststellen. Auch höhere Unkrautdichten beeinflussten den BKE nicht negativ.

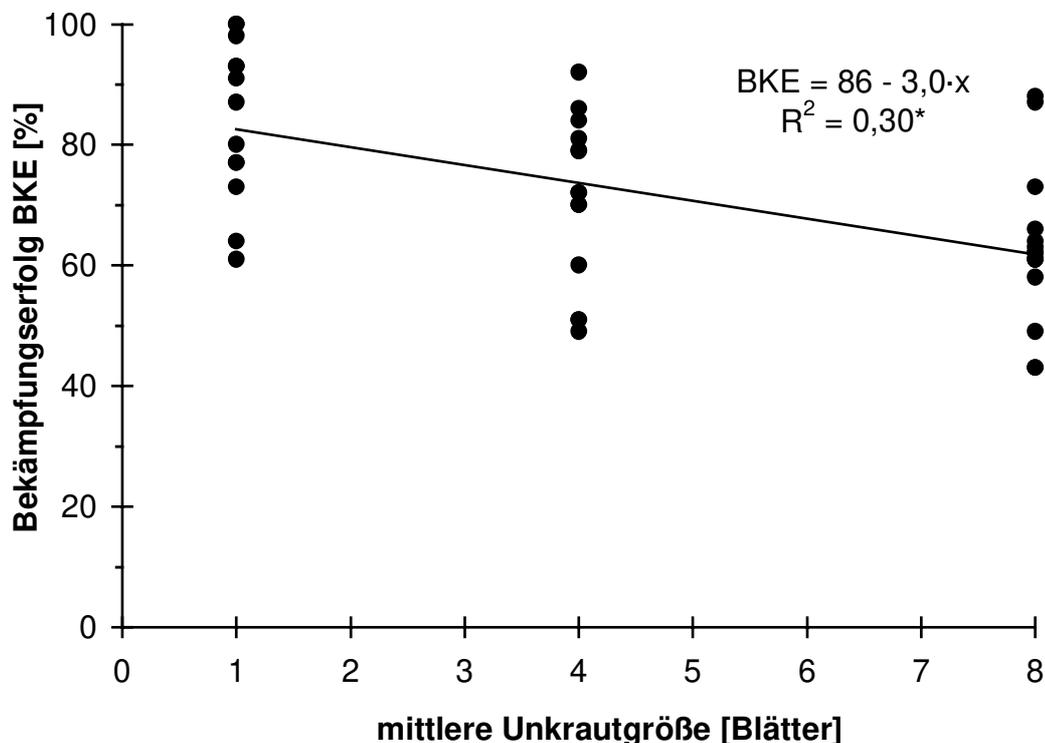


Abb. 3.3: Bekämpfungserfolg (BKE) beim Hacken in Abhängigkeit von der Unkrautgröße (Daten nach KOCH 1959).

Insgesamt wird der Hacke ein breites Wirkungsspektrum bezüglich der Unkrautart zugesprochen (WALTER 1989). Bei einige Arten wie Windhalm, Acker-Fuchschwanz, Efeublättriger und Persischer Ehrenpreis und im fortgeschrittenem Entwicklungsstadium Kletten-Labkraut, Winden-Knöterich und Vogelmiere, konnte in mehreren Fällen ein schlechter Wirkungsgrad beobachtet werden (KOCH 1959, SCHMID und STEINER 1989, MEYER 1993, WAHMHOF 1994).

Faßt man die Literatur zusammen, so zeigt sich bei höherer Fahrgeschwindigkeit eine leichte Zunahme der schüttenden Wirkungskomponente mit zunehmender Hacktiefe. Bei geringer Geschwindigkeit ist dieser Effekt nicht zu beobachten. Mit zunehmender Größe der Unkräuter nimmt die Verschüttung stark ab. Zum Einfluß der Hacktiefe auf den Gesamtbekämpfungserfolg ergibt sich das Bild, daß bei trockener Witterung die Hacktiefe relativ unbedeutend ist. Unter feuchten Bedingungen mit allgemein geringerem BKE ist der Einfluß der Hacktiefe auf den BKE unklar. Bei zunehmender Unkrautgröße ist mit einer leichten Abnahme des BKE zu rechnen.

Mit Ausnahme der Untersuchungen von TERPSTRA und KOUWENHOVEN (1981), PEDERSEN (1990) und den Verschüttungsversuchen von HABEL (1954), KOCH (1959) und KEES (1962) liegen allerdings keine systematischen Ergebnisse vor, aus denen sich quantitative Maßnahmen-Wirkungs-Beziehungen ableiten ließen. Unklar und wenig erforscht sind insbesondere die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Einflußfaktoren auf den BKE beim Hacken.

So ist es nach den oben angeführten Modellvorstellungen denkbar, daß unter günstigen klimatischen Bedingungen (hohe  $ET_{pot}$ , keine Niederschläge = negative klimatische Wasserbilanz) der Einfluß der Hacktiefe auf den BKE relativ gering ist. Unter feuchteren Bedingungen könnte eine größere Hacktiefe und die damit verbundene Erhöhung der schüttenden Wirkungskomponente günstig auf den BKE kleiner Unkräuter wirken, während bei großen, nicht verschüttbaren Unkräutern ein Abfall des BKE zu verzeichnen wäre.

Diese Zusammenhänge sollten anhand einer Versuchsserie mit dem Modellunkraut Phacelia (*P. tanacetifolia* Benth.) unter Feldbedingungen und durch simulierte Niederschläge quantifiziert werden (BECKMANN 1996). Material und Methoden siehe Kap. 2, Seite 16.

### 3.2 Ergebnisse

Zu den drei Hackterminen herrschten unterschiedliche Boden- und Witterungsbedingungen: Während die oberste Bodenschicht am ersten und dritten Termin relativ trocken und verkrustet war, zeigte sie am zweiten Termin nach Niederschlägen am Vortag keine Verkrustung der Oberfläche. Die klimatische Wasserbilanz an den Hacktagen war negativ (keine Niederschläge); am ersten und zweiten Termin entsprach die Verdunstung am Tag nach dem Hackgang ('2. Tag') in etwa der Verdunstung des Hacktages, am Folgetag des dritten Termins fiel sie stark ab (Tab. 3.2).

Tab. 3.2: Witterungs- und Bearbeitungsparameter beim Modellversuch.

Termin	Unkrautgröße	Bodenfeuchte <sup>1</sup> [Gew.-%]	klimatische Wasserbilanz [mm/d]		erreichte Bodenkrümelung	
			Hacktag ohne Beregnung	mit Beregnung		2. Tag
1	1-2 Nodi	10,3	-2,8	—	-2,2	Aggregate <sup>2</sup> < 20 mm
	5-7 Nodi	10,9				
2	1-2 Nodi	21,7	-1,8	4,2	-2,3	Aggregate verschmierten
	5-7 Nodi	20,6				
3	1-2 Nodi	12,1	-4,0	8,0	-1,4	Aggregate <sup>2</sup> < 20 mm
	5-7 Nodi	12,0				

1: gravimetrischer Wassergehalt der obersten 5 cm des Bodens (gemittelt über die Blöcke)

2: verkrustete Bodenoberfläche (ca. 1 bis 1,5 cm stark) wurde schollenartig abgehoben

Durch die Verkrustung der Bodenoberfläche am ersten und dritten Termin wurde der Boden schollenartig abgehoben, wobei die Aggregate zum Teil eine Ausdehnung von mehr als 10 cm hatten. Wurden solche Schollen beim Hacken nicht gewendet, kam es in diesen Bereichen nicht zur Verschüttung der kleinen Pflanzen.

Der Verschüttungsgrad der großen Phaceliapflanzen konnte nicht ermittelt werden, da sie teilweise durch die Hackschare aus dem Zählbereich geschleppt wurden, was bei der anschließenden Auszählung eine Verschüttung vorgetäuscht hätte. Tatsächlich war aber bei beiden Hacktiefen keine Verschüttung der großen Phaceliapflanzen zu beobachten. Die hinter den Zählbereichen von den Hackscharen abgefallenen Pflanzen überlebten auch unter dem Einfluß einer direkten Beregnung nur zu einem sehr geringen Teil, so daß die gefundenen BKE bei großen Unkräutern von diesem Phänomen kaum beeinflusst worden sein dürften.

Der Verschüttungsgrad der kleinen Unkräuter lag zwischen 39% und 72% (Tab. 3.3). Er wurde von dem Hacktermin und der Wechselwirkung Termin × Hacktiefe beein

flußt (Varianzanalyse siehe Tab. 9.2, Anhang). Bei getrennter Auswertung war eine Wirkung der Hacktiefe nur beim ersten Hacktermin abzusichern. Hier lag die Verschüttung bei der Hacktiefe 3,8 cm mit 49% deutlich unter den der anderen Tiefen.

Tab. 3.3: Verschüttungsgrad und Bekämpfungserfolge bei Phaceliapflanzen (Mittelwerte über die Blöcke).

Termin	Bereg- nung	Hack- tiefe [cm]	Verschüt- tung [%] 1-2 Nodi <sup>1</sup>	Bekämpfungserfolg [%] Pflanzengröße		
				1-2 Nodi <sup>1</sup>	5-7 Nodi <sup>1</sup>	Mittel <sup>1</sup>
1	keine	1,9	72 a <sup>2</sup>	98	95	96 A <sup>3</sup>
		3,8	49 b	92	90	91 AB
		5,7	71 a	93	79	86 B
		Mittel		94 a	88 b	
2	keine	1,9	50	77	89	
		3,8	45	67	74	
		5,7	39	63	49	
		Mittel				70 A
	6 mm	1,9	—	63	80	
		3,8	—	56	50	
		5,7	—	51	32	
		Mittel				56 B
	Mittel	1,9		70 b <sup>4</sup>	85 a	
		3,8		61 b	62 b	
5,7			57 b	41 c		
3	keine	1,9	51	97 a <sup>5</sup>	98 a	
		3,8	56	86 ab	95 a	
		5,7	64	75 b	78 b	
	12 mm	1,9	—	41 de	93 a	
		3,8	—	35 e	76 b	
		5,7	—	51 cd	58 c	
		Minimum	39	35 (63) <sup>6</sup>	32 (49)	
		Maximum	72	98	98	
		Mittel	55	70 (83)	76 (83)	

1: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben innerhalb eines Termins unterscheiden sich signifikant ( $\alpha < 0,05$ )

2:  $GD(\alpha < 0,05) = 9$ ; 3:  $GD(\alpha < 0,05) = 6$ ; 4:  $GD(\alpha < 0,05) = 13$ ; 5:  $GD(\alpha < 0,05) = 12$

6: in Klammern die Werte ohne Berücksichtigung der berechneten Varianten

Der Einfluß des Termins führte zu der Überlegung, daß der Bodenwassergehalt zum Hackzeitpunkt einen Einfluß auf den Verschüttungsgrad gehabt haben müßte, da die Termine augenscheinlich nur in diesem Punkt variierten. In entsprechende Regressionsansätze wurde auch die Hacktiefe sowie die Wechselwirkung Bodenwassergehalt  $\times$  Hacktiefe einbezogen. Es zeigte sich aber, daß von diesen Faktoren nur der Wassergehalt einen gewissen Einfluß auf den Grad der Verschüttung hatte (Abb. 3.4).

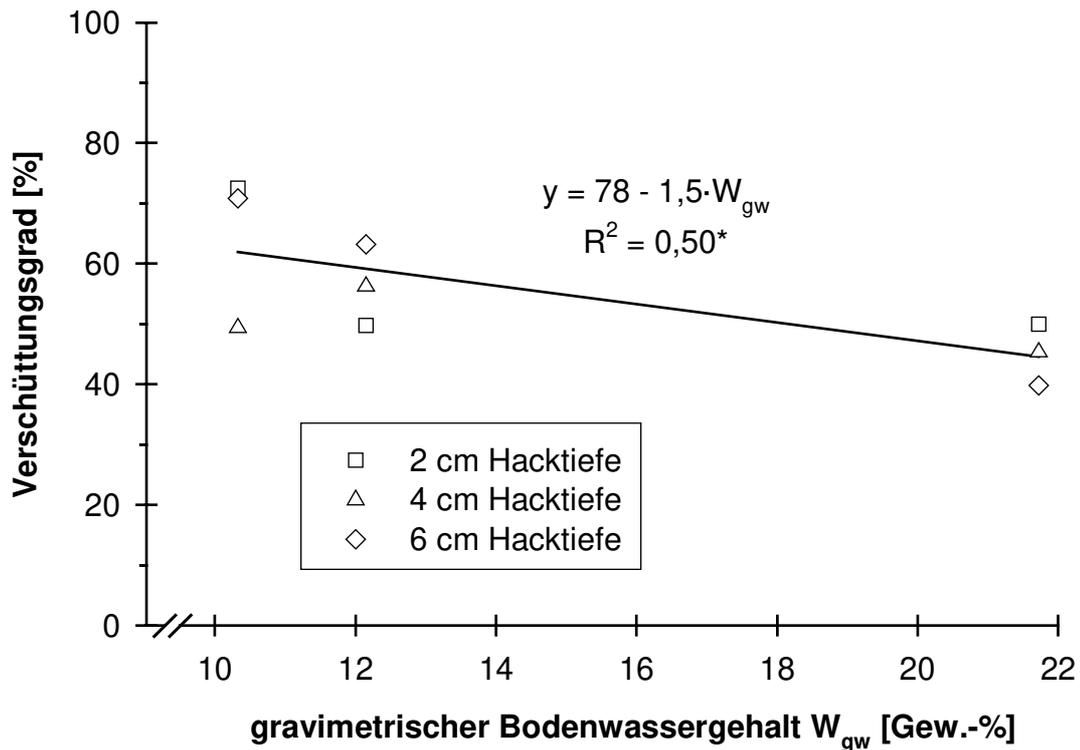


Abb. 3.4: Beziehung zwischen dem gravimetrischen Bodenwassergehalt ( $W_{gw}$ ) zum Hackzeitpunkt und dem Verschüttungsgrad kleiner Phaceliapflanzen mit 1-2 Nodi (berechnet aus der Summe der Unkräuter aller Blöcke).

Der Gesamtbekämpfungserfolg lag bei den kleinen Phaceliapflanzen zwischen 35% und 98%, bei den großen zwischen 32% und 98%. Auf die Höhe des BKE hatten alle untersuchten Faktoren eine deutliche Wirkung, lediglich am zweiten Termin zeigte die Pflanzengröße keine unabhängigen Effekte. Darüber hinaus waren eine Vielzahl von signifikanten Wechselwirkungen zu verzeichnen (Varianzanalyse siehe Tab. 9.3, Anhang).

Der Einfluß des Termins auf den BKE kann auf die unterschiedlichen Bodenwassergehalte zum Hackzeitpunkt und Unterschiede in der nachfolgenden Witterung zurückgeführt werden. So zeigte der BKE gegen kleine Phaceliapflanzen eine enge Beziehung zur klimatischen Wasserbilanz des Hacktages (Abb. 3.5). Bei großen Pflanzen zeigte sich keine abzusichernde Beziehung (Abb. 3.6). Die Witterung des jeweils folgenden Tages hatte bei beiden Größenklassen keinerlei Einfluß auf den BKE.

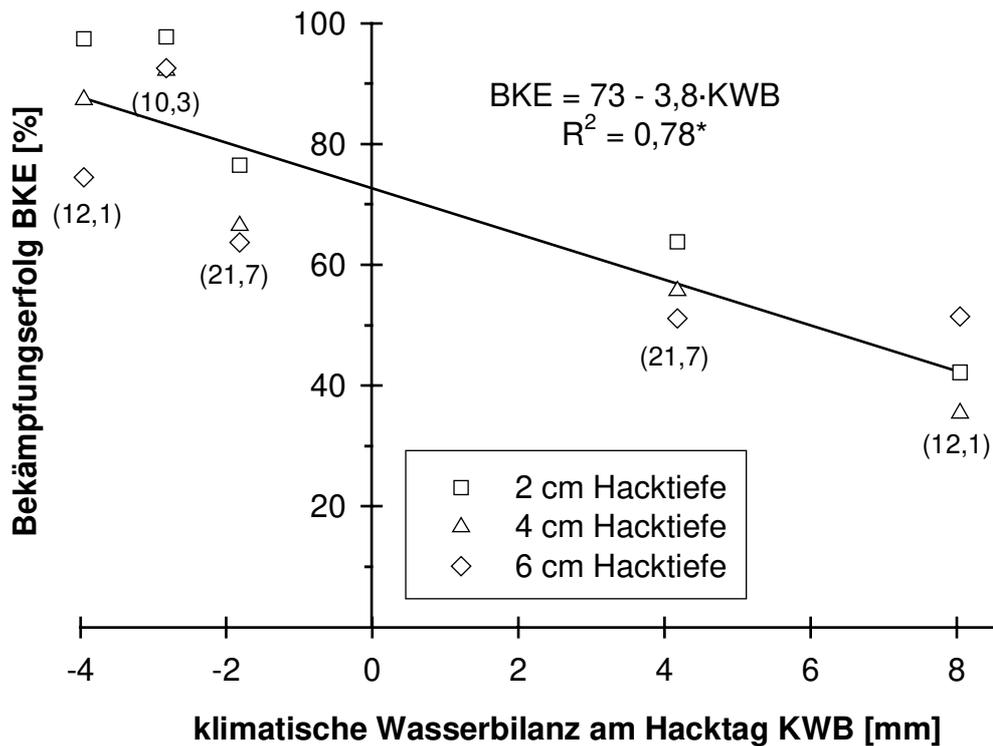


Abb. 3.5: Beziehung zwischen der klimatischen Wasserbilanz des Hacktages (KWB) und dem Bekämpfungserfolg (BKE) bei kleinen Phaceliapflanzen mit 1-2 Nodi (berechnet aus der Summe der Unkräuter aller Blöcke). In Klammern der gravimetrische Bodenwassergehalt zum jeweiligen Termin.

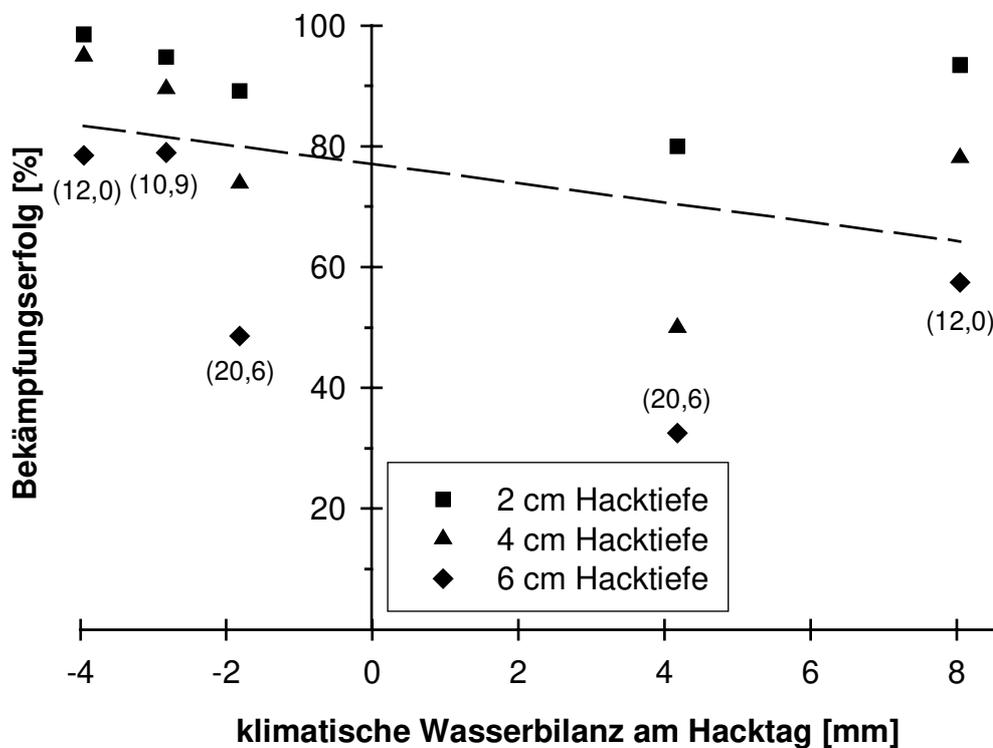


Abb. 3.6: Beziehung zwischen der klimatischen Wasserbilanz des Hacktages und dem Bekämpfungserfolg bei großen Phaceliapflanzen mit 5-7 Nodi (berechnet aus der Summe der Unkräuter aller Blöcke). In Klammern der gravimetrische Bodenwassergehalt zum jeweiligen Termin.

Während die Hacktiefe für den BKE bei kleinen Pflanzen nur eine untergeordnete Rolle spielte, trat bei den großen Pflanzen eine Wechselwirkung zwischen der Hacktiefe und den Feuchteparametern klimatische Wasserbilanz (Faktor Termin und Beregnung) bzw. Bodenwassergehalt (Faktor Termin) auf. So war unter trockenen Bedingungen (geringer Bodenwassergehalt, negative klimatische Wasserbilanz) der Abfall des BKE mit zunehmender Hacktiefe relativ gering, unter feuchteren Verhältnissen (höherer Bodenwassergehalt, positive klimatische Wasserbilanz) dagegen sehr ausgeprägt.

Multiple Regressionsansätze mit den Faktoren Hacktiefe (HT), den Feuchteparametern klimatische Wasserbilanz (KWB) und gravimetrischer Bodenwassergehalt ( $W_{gw}$ ) sowie deren Wechselwirkungen (keine dreifach-Wechselwirkungen) führten zu Modellen (Gl. 3-1 und 3-2), mit denen ca. 90% der Varianz des BKE der kleinen bzw. großen Phaceliapflanzen erklärt werden können (Abb. 3.7):

$$\text{BKE}_{(1-2 \text{ Nodi})} = 84 - 0,2 \cdot \text{HT} \cdot W_{gw} - 3,7 \cdot \text{KWB} \quad (\text{Gl. 3-1})$$

$$\text{BKE}_{(5-7 \text{ Nodi})} = 110 - 0,6 \cdot \text{HT} \cdot W_{gw} - 1,4 \cdot \text{KWB} \quad (\text{Gl. 3-2})$$

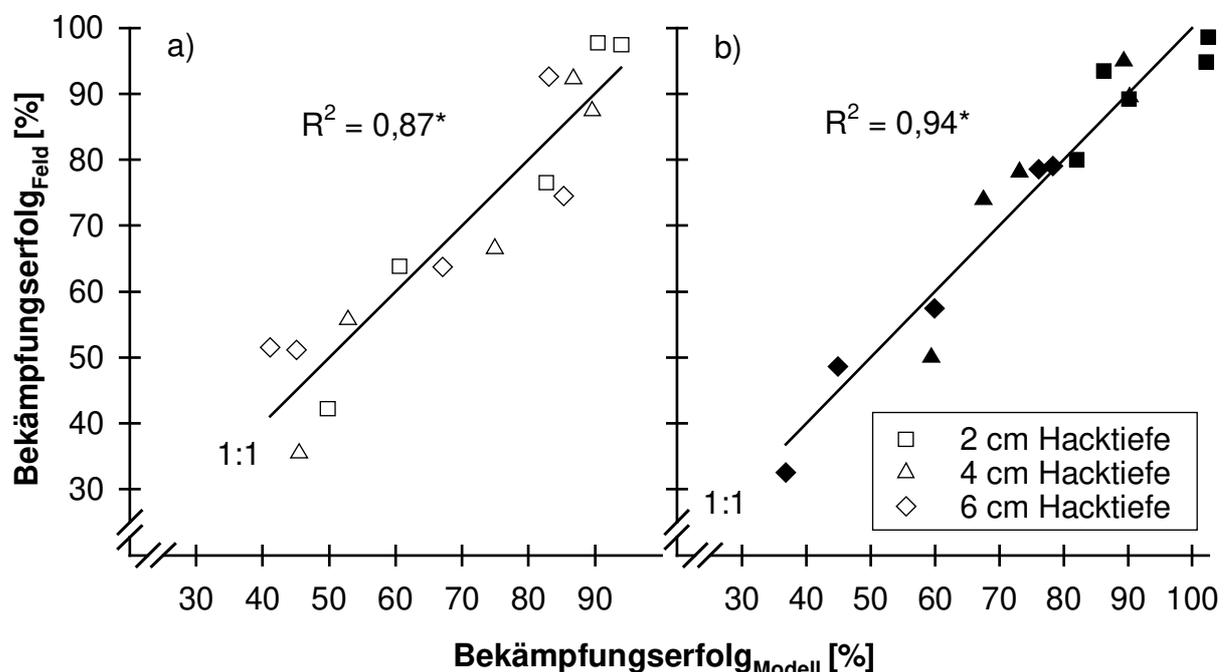


Abb. 3.7: Beziehungen der mit multiplen Regressionsmodellen berechneten Bekämpfungserfolge zu den im Feld gefundenen Bekämpfungserfolgen bei Phaceliapflanzen mit 1-2 Nodi (a) bzw. 5-7 Nodi (b) (Bekämpfungserfolge berechnet aus der Summe der Unkräuter aller Blöcke).

Nach den Modellen führen zunehmende Hacktiefen generell zu einer Abnahme des BKE. Dabei ist die Verminderung des BKE insbesondere bei den großen Phacelia-pflanzen um so ausgeprägter, je höher der Bodenwassergehalt beim Hacken ist. So beträgt die Abnahme des BKE großer Phaceliapflanzen je cm zunehmender Hacktiefe bei trockenem Boden ( $W_{\text{gw}}$  10%) 6%-Punkte, unter feuchten Bedingungen ( $W_{\text{gw}}$  20%) dagegen fast 12%-Punkte. Bei den kleinen Pflanzen ist dieser Abfall des BKE mit 2%-Punkten bzw. 4%-Punkten ( $W_{\text{gw}}$  10% bzw. 20%) je cm zunehmender Hacktiefe relativ unbedeutend. Entscheidend für den BKE ist hier die klimatische Wasserbilanz, die auch nach diesem Modell zu einer Abnahme des BKE um 3,7%-Punkte je mm zunehmender Feuchte führt. Bei den großen Pflanzen beträgt dieser Abfall nur 1,4%-Punkte.

Ein Regressionsansatz für beide Unkrautgrößen, in dem zusätzlich der Faktor mittlere Nodi-Anzahl und dessen Wechselwirkungen mit den oben angeführten Faktoren aufgenommen wurde (keine dreifach-Wechselwirkungen), führte zu folgendem Modell:

$$\text{BKE}_{(1-7 \text{ Nodi})} = 96 - 4,4 \cdot \text{KWB} + 0,5 \cdot \text{Nodi} \cdot \text{KWB} - 0,4 \cdot \text{HT} \cdot W_{\text{gw}} \quad (\text{Gl. 3-3})$$

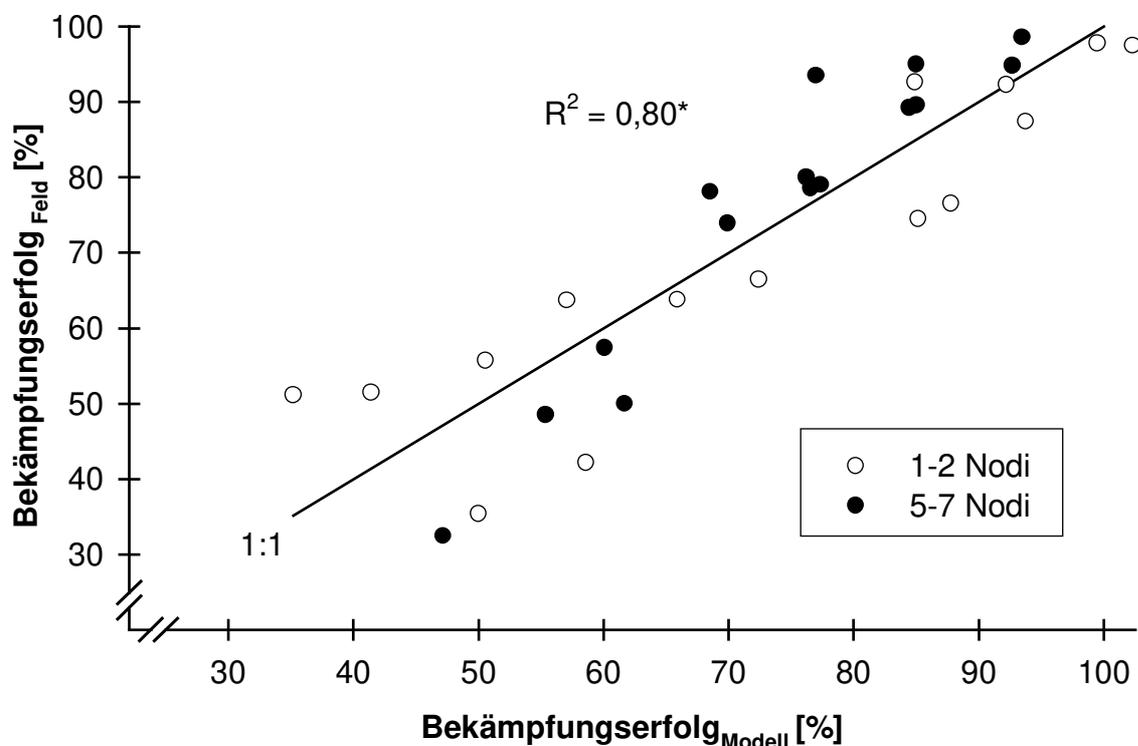


Abb. 3.8: Beziehung der mit einem multiplen Regressionsmodell berechneten Bekämpfungserfolge zu den gefundenen Bekämpfungserfolgen für beide Unkrautgrößenklassen (Bekämpfungserfolge berechnet aus der Summe der Unkräuter aller Blöcke).

Mit diesem relativ einfachen Modell können 80% der im Feld gefundenen Varianz des BKE erklärt werden (Abb. 3.8). Die Abweichung zwischen dem mit dem Modell berechneten BKE und dem tatsächlichen gefundenen Wert beträgt maximal 16%-Punkte. Eine Zunahme der Hacktiefe um 1 cm vermindert den BKE je nach Bodenwassergehalt (10% bzw. 20%) um 3,7%- bzw. 7,2%-Punkte, was einem mittleren Wert der für beide Unkrautgrößen gefundenen Abnahmen entspricht. Je mm zunehmender klimatischer Wasserbilanz verringerte sich der BKE wiederum um 3,7%- (kleine) bzw. 1,4%-Punkte (große Phaceliapflanzen).

### 3.3 Diskussion

Ziel der Untersuchung war es, den Einfluß der Hacktiefe und der Unkrautgröße auf den BKE beim Hacken unter unterschiedlichen Witterungsbedingungen zu quantifizieren. Dabei wurde zwischen der verschüttenden Wirkung und dem Gesamtbekämpfungserfolg durch die zusätzliche abschneidende/herausreißende Wirkung der Gänsefußschare gegen das verwendete Modellunkraut unterschieden.

Es zeigte sich, daß im Arbeitsbereich der Hackschare die Verschüttung kleiner Phaceliapflanzen bei der relativ geringen Fahrgeschwindigkeit von 1,7-2,0 km/h nicht von der Hacktiefe beeinflußt wurde. Dieses deckt sich mit den Ergebnissen von KOCH (1959), die ebenfalls nicht auf einen Einfluß der Hacktiefe (bei 2,7 km/h Fahrgeschwindigkeit) hindeuten (vgl. Abb. 3.1). Damit wird die aufgestellte Hypothese entkräftet, daß es unter feuchten Bedingungen durch die Erhöhung der schüttenden Wirkungskomponente günstig sein könnte, tiefer zu hacken. Möglicherweise kann aber bei höheren Fahrgeschwindigkeiten die Verschüttung durch ein tieferes Hacken verstärkt werden. Hierfür sprechen die Ergebnisse von TERPSTRA und KOUWENHOVEN (1981), die bei 7,2 km/h einen leichten Anstieg der Verschüttung mit zunehmender Hacktiefe bei dem untersuchten speziellen Hack- und Häufelschar feststellten.

Einen gewissen Einfluß auf den Grad der Verschüttung übte der Bodenwassergehalt aus: Beim Hacken unter trockenen Bodenbedingungen zeigten sich trotz einer Krustenbildung und damit verbundenem schollenartigen Abheben des Bodens höhere Verschüttungsgrade. Dies bestätigt die Aussage von WEBER (1996), daß bei feuchten Böden die verschüttende Wirkung der Hacke abnimmt. Bei großen Phaceliapflanzen mit 5-7 Nodi konnte keine Verschüttung beobachtet werden.

Auf den Gesamtbekämpfungserfolg der Phaceliapflanzen hatten alle untersuchten Faktoren einen signifikanten Einfluß. Die flache Einstellung der Hacke auf 2 cm zeigte dabei unter nahezu allen Witterungs- und Bodenbedingungen den höchsten BKE. Während jedoch bei den kleinen Phaceliapflanzen der Abfall des BKE mit zunehmender Hacktiefe relativ gering ausfiel, zeigte sich bei den großen Pflanzen insbesondere bei feuchtem Boden eine deutliche Verminderung des BKE. Damit bestätigt sich die Vermutung von TERPSTRA und KOUWENHOVEN (1981), daß insbesondere unter feuchten Bedingungen eine flache Hacke effektiver ist. Auch das Ergebnis von PEDERSEN (1990), der bei "sehr trockener Witterung" keinen Einfluß der Hacktiefe auf den BKE feststellte, korrespondiert mit den hier gefundenen Ergebnissen.

Die von WEBER (1997) angegebene Obergrenze der Bodenwassergehalte beim Hacken für mittlere Böden von 17 Vol.-% pflanzenverfügbares Wasser wurden beim zweiten Termin mit 19,2 bzw. 17,8 Vol.-% (kleine/große Phaceliapflanzen, angenommene Bodendichte  $1,3 \text{ g/cm}^3$ ) überschritten. Zwar kam es zu einem Verschmieren der Aggregate, trotzdem wurden bei flacher Ausführung der Hacke mit 77% bzw. 89% hohe BKE erreicht.

Die in den Regressionsmodellen ermittelte Abnahme des BKE der kleinen Phaceliapflanzen um ca. 3,7%-Punkte je mm zunehmender klimatischer Wasserbilanz deckt sich mit dem von TERPSTRA und KOUWENHOVEN (1981) festgestellten Abfall von 15%-Punkten bei einer Wassergabe von 4 mm. Bei den großen Pflanzen lag dieser Abfall mit 1,4%-Punkte je mm jedoch unter dem Wert von TERPSTRA und KOUWENHOVEN (2,4%-Punkte je mm), wobei allerdings die von den Autoren benutzten Gartenkressepflanzen deutlich kleiner als hier verwendeten großen Phaceliapflanzen waren.

Insgesamt erhärten die multiplen Regressionsmodelle die Hypothese, daß die verfügbare Wassermenge und deren Verbrauch als wesentliche Einflußfaktoren auf den BKE anzusehen sind. So führte in beiden Modellen eine größere Hacktiefe bzw. ein höherer Bodenwassergehalt (Hacktiefe  $\times$  Bodenwassergehalt  $\Rightarrow$  Menge an verfügbarem Wasser) zu einer Abnahme, eine höhere Verdunstung am Hacktag (geringere Wasserbilanz) zu einer Zunahme des BKE.

Berechnet man mit einem einfachen Wasserhaushaltsmodell (Modellannahmen siehe Tab. 3.4) die pflanzenverfügbare Wassermenge am Ende des Hacktags in den unterschiedlich tief bearbeiteten Bodenhorizonten, so zeigt der erreichte BKE eine enge Beziehung zu diesen Werten (Abb. 3.9).

Tab. 3.4: Modellannahmen zur Berechnung des pflanzenverfügbaren Bodenswassers der beim Hacken bearbeiteten Bodenhorizonte.

Parameter	Modellannahmen
Bodenhorizonte (je nach Hacktiefe)	0-1,9 cm / 0-3,8 cm / 0-5,7 cm
Verdunstung	ET <sub>pot</sub>
Verdunstungsperiode: ohne Beregnung mit Beregnung (bis 15 Uhr)	10 Uhr bis 24 Uhr des Hacktags 15 Uhr bis 24 Uhr des Hacktags
nutzbares Bodenwasser vor der Verdunstungsperiode: ohne Beregnung nach Beregnung	(Bodendichte 1,3 g/cm <sup>3</sup> ) aktueller Bodenwassergehalt minus Totwasser Feldkapazität minus Totwasser
nutzbares Bodenwasser am Ende des Hacktags	nutzbares Bodenwasser vor der Verdunstungsperiode minus Verdunstung in der Periode bis 24 Uhr*

\* bei negativen Gehaltszahlen wurde das pflanzenverfügbare Wasser bereits während der Verdunstungsperiode verbraucht

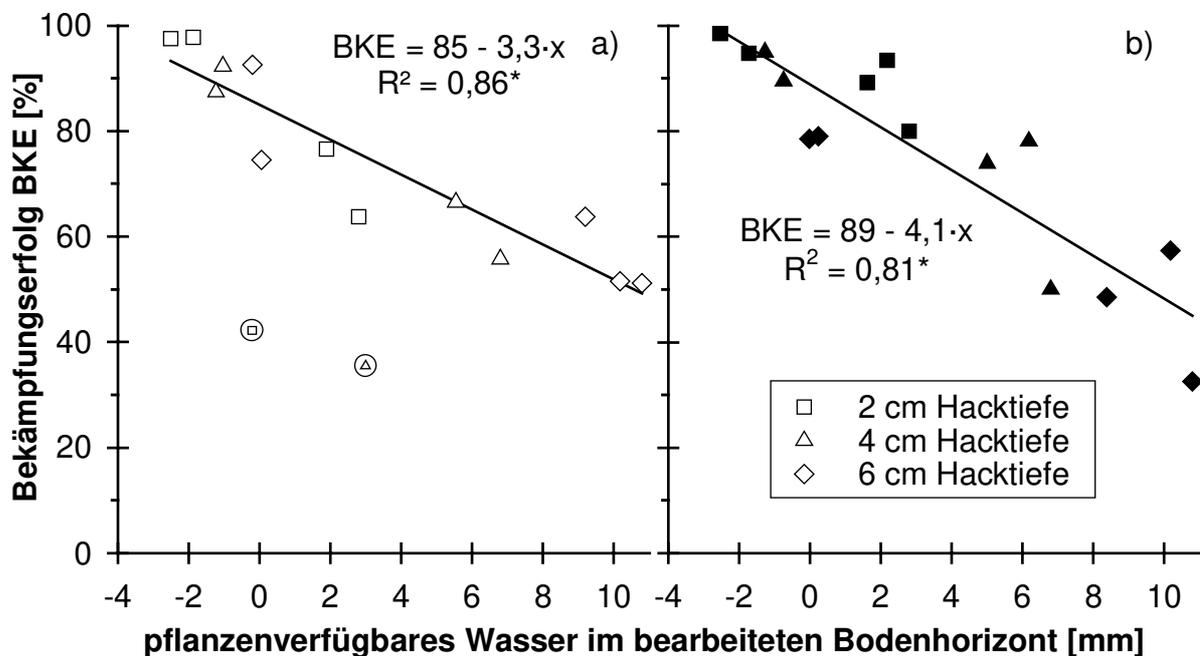


Abb. 3.9: Beziehung zwischen dem pflanzenverfügbaren Wasser der beim Hacken bearbeiteten Bodenhorizonte am Ende des Hacktags zum Bekämpfungserfolg (BKE) bei Phaceliapflanzen mit 1-2 Nodi (a) bzw. 5-7 Nodi (b), beregnete und unberegnete Varianten (die mit einem "O" markierten Daten wurden bei der Regression nicht berücksichtigt).

Bei den kleinen Modellunkräutern zeigte sich ein geringerer Abfall des BKE je mm zunehmender Wasserverfügbarkeit als bei den großen. Die Ergebnisse lassen sich aber für beide Unkrautklassen zusammenfassen, so daß mit einer Abnahme des BKE um rund 3,5%-Punkte je mm zur Verfügung stehendes Wasser gerechnet werden kann (Tab. 3.5).

Tab. 3.5: Beziehung zwischen dem pflanzenverfügbaren Wasser der beim Hacken bearbeiteten Bodenhorizonte am Ende des Hacktags [mm] zum Bekämpfungserfolg kleiner und großer Phaceliapflanzen (1-2 bzw. 5-7 Nodi).

	Parameterwerte		R <sup>2</sup>
	b <sub>0</sub>	verfügbares Wasser	
mit Berechnungsvarianten*	87	-3,7	0,82
ohne Berechnungsvarianten	87	-3,5	0,81

\* ohne Berücksichtigung der beiden 'Ausreißer'

Bei den kleinen Pflanzen fallen allerdings zwei Meßwerte aus dem Zusammenhang heraus. Möglicherweise sackte bzw. verschlammte der Boden durch die starke Regengabe von 12 mm bei nur geringer Bodenbedeckung durch die kleinen Pflanzen so stark, daß durch den erneuten Bodenschluß und den damit verbundenen kapillaren Wasseraufstieg die zur Verfügung stehende Bodenschicht mächtiger als 2 bzw. 4 cm war. Damit würde die zur Verfügung stehende Wassermenge höher ausfallen, so daß die Punkte eher dem Trend folgen würden. Allerdings müßte dieses auch tendenziell für die entsprechend stark berechnete 6-cm-Variante gelten, die mit einem BKE von 51% aber dem Trend folgte. Der BKE der beiden unberücksichtigten Varianten lag mit 42% und 35% sogar deutlich unter der ermittelten Verschüttung von 51% bzw. 56%. Damit ist (unter der Annahme, daß ein Verschütten mit einer endgültigen Bekämpfung gleichzusetzen ist) zu folgern, daß durch die starke Regengabe gerade bei den flacher gehackten Varianten ein Teil der zunächst verschütteten Phaceliapflanzen wieder 'freigewaschen' wurde und so überleben konnte. Diese Tendenz steht im Widerspruch zu den Ergebnissen von TERPSTRA und KOUWENHOVEN (1981), die durch eine Beregnung von allerdings nur 4 mm eine leichte Zunahme der Verschüttung feststellten.

Das verwendete Wasserhaushaltsmodell basiert auf der Referenzverdunstung einer Standardgrasfläche. Die aktuellen Verdunstungswerte dürften, je nach Unkrautgröße, Trockenstreß der Pflanzen und veränderter Nachlieferung von Wasser an die Bodenoberfläche insbesondere nach den Hackmaßnahmen, niedriger bzw. auf

unterschiedlichem Niveau gelegen haben. Außerdem wird, je nach Pflanzengröße und Hacktiefe (Wurzelzerstörung), der tatsächlich von den Pflanzen noch erschlossene Bodenbereich unterschiedlich gewesen sein. Diese Faktoren sind nur sehr aufwendig zu kalkulieren, so daß es sinnvoll gewesen wäre, die tatsächlichen Bodenwassergehalte auch nach den Hackgängen zu bestimmen. Möglicherweise ist diese vereinfachte, für beide Unkrautklassen gleiche Berechnung der Wasserverfügbarkeit auch der Grund für die Diskrepanz dieser Modelle, die sich für beide Unkrautklassen problemlos zusammenfassen lassen, und den Ergebnissen der Regressionsmodelle (Gl. 3-1 und 3-2, Seite 41), die unterschiedliche Reaktionen der beiden Unkrautklassen beschreiben.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung stützen sich weiterhin auf Witterungsvariationen, die maßgeblich durch simulierte Niederschläge entstanden sind. Eine derartige Berechnung unterscheidet sich möglicherweise in wesentlichen Details (Tropfengröße, Dauer etc.) von natürlichen Niederschlägen, so daß sich die Frage nach der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf natürliche Witterungsbedingungen stellt. Zudem wurde mit der Berechnung unmittelbar nach dem Hacken bei eher trockener Witterungslage begonnen, was in praxi allenfalls bei einem plötzlich einsetzenden Gewitterregen der Fall wäre. Betrachtet man daher nur die unter unberegneten Bedingungen erreichten BKE, so zeigt sich für beide Größenklassen wiederum eine sehr enge Beziehung zum pflanzenverfügbaren Wasser in den bearbeiteten Bodenhorizonten (Abb. 3.10). Dabei ist der Verlauf der Regressionsgeraden nahezu identisch mit denen der Gesamtbetrachtungen, was als Indiz für die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf unterschiedliche Witterungsverläufe gewertet werden kann. Auch hier könnte für beide Unkrautklassen ein gemeinsames Modell erstellt werden (Tab. 3.5).

Insgesamt bestätigten aber auch die Modellrechnungen die Hypothese von der Bedeutung der verfügbaren Wassermenge für den auf die schneidende/herausreibende Wirkungsweise der Hacke beruhenden BKE. Theoretisch müßten bei negativen Werten alle Pflanzen abgestorben sein (Überschreitung des permanenten Welkepunktes), bei einem positiven (noch pflanzenverfügbares Wasser vorhanden) alle Pflanzen überleben. Tatsächlich werden aber mit abnehmender Feuchte immer mehr Pflanzen ihren Wasserbedarf nicht mehr durch den ihnen verbliebenen Bodenbereich (der nicht bei allen Pflanzen gleich ist) abdecken können und vertrocknen.

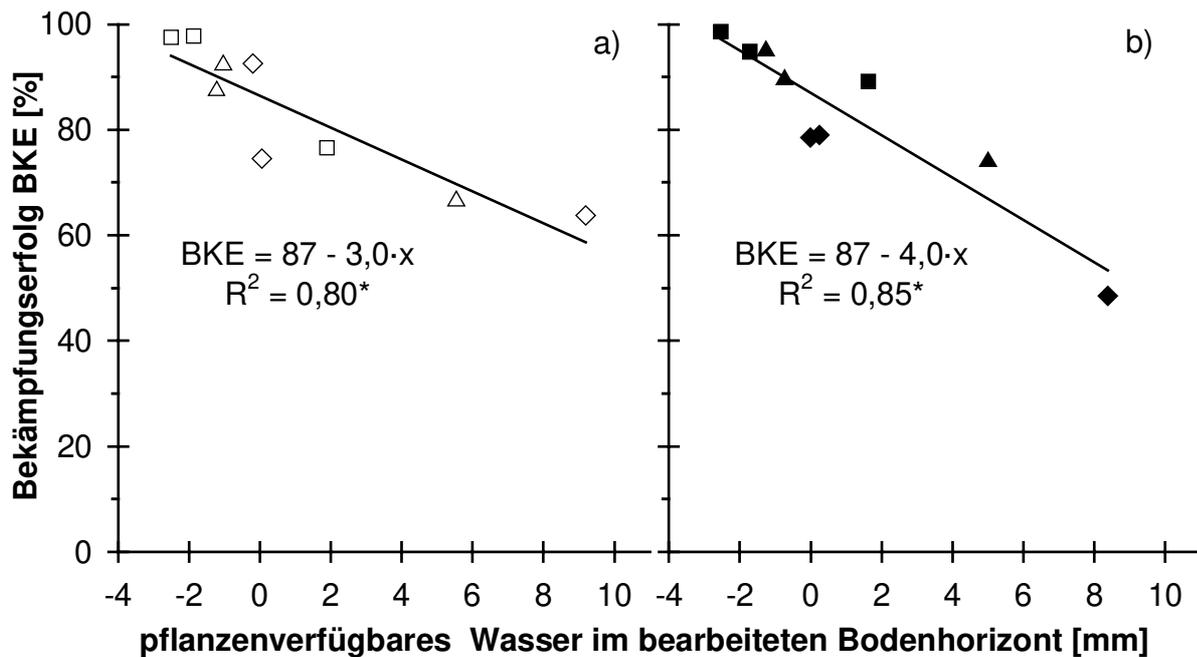


Abb. 3.10: Beziehung zwischen dem pflanzenverfügbaren Wasser der beim Hacken bearbeiteten Bodenhorizonte am Ende des Hacktags zum Bekämpfungserfolg (BKE) bei Phaceliapflanzen mit 1-2 Nodi (a) bzw. 5-7 Nodi (b); unberechnete Varianten.

Für den praktischen Einsatz ist aus den Ergebnissen zu folgern, daß die höchste Effizienz der Scharhacke unter allen Witterungsbedingungen und unabhängig von der Unkrautgröße bei flacher Einstellung (2 cm) erreicht wird. Da eine Steigerung der Hacktiefe auf 4 cm bereits zu einer deutlichen Abnahme des BKE führen kann, ist damit die Empfehlung mehrerer Autoren, 2-5 cm tief zu hacken (vgl. Tab. 3.1, Seite 32), noch zu präzisieren. Hinweise, kleine bzw. große Unkräuter (KOCH 1959 bzw. WEBER 1996) tiefer zu hacken, um damit den Verschüttungsgrad zu steigern, können zumindest für Hackgänge mit geringer Fahrgeschwindigkeit nicht bestätigt werden.

Neben der bekannten Abhängigkeit des BKE beim Hacken von der nachfolgenden Witterung besteht auch ein negativer Einfluß der Bodenfeuchte auf den BKE, der bei der Terminwahl beachtet werden sollte. Die Frage nach der notwendigen Trockenperiode bzw. dem notwendigen Wasserdefizit in der bearbeiteten Bodenschicht, bevor einsetzende Niederschläge den BKE nicht mehr negativ beeinflussen, bleibt offen. Aber auch hier dürfte eine flache Ausführung der Hackarbeit durch die geringere Wasserverfügbarkeit die notwendige Trockenperiode verkürzen und damit die Wirkungssicherheit der Hackmaßnahme erhöhen.

## 4 Bekämpfungserfolg bei mechanischer Unkrautregulation

*Abstract: Der Bekämpfungserfolg mechanischer Unkrautregulationsmaßnahmen ist eine Funktion vieler Faktoren, die vor, bei und nach einer Bearbeitung wirksam sind. So wird in der Literatur eine weite Spanne erreichter Erfolge beschrieben. Die Ergebnisse können aber zumeist nicht vorgefundenen Rahmenbedingungen zugeordnet werden.*

*Zielsetzung der vorliegenden Praxiserhebungen und Feldversuche in Möhren, Zwiebeln und Blumenkohl war es, durch Erfassung wesentlicher Witterungs- und Bodenparameter zu einer quantitativen Beschreibung der Wirkungsbeziehungen bei den Regulationsmaßnahmen zu gelangen.*

*Bei einer Spanne von zum Teil über 80%-Punkten zeigte sich, daß die Höhe des Bekämpfungserfolges im Arbeitsbereich von Hackgeräten in erster Linie durch die Bodenfeuchte und die Witterung am Hacktag bestimmt wurde. Mit zunehmender Unkrautgröße nahm darüber hinaus der Bekämpfungserfolg ab, da ungünstige, weniger trockene Bedingungen den Erfolg bei größeren Unkräutern stärker beeinträchtigten als bei Keimlingen. Im Reihbereich der Kulturen konnten kleinere Unkräuter durch Häufel- und Striegelmaßnahmen wirkungsvoll bekämpft werden, wobei sich beim Häufeln ein enger Zusammenhang zur erreichten Häufelhöhe abzeichnete.*

### 4.1 Einführung

Der Bekämpfungserfolg (BKE) mechanischer Unkrautregulationsmaßnahmen war in den vergangenen Jahren Gegenstand zahlreicher Untersuchungen, die zumeist in landwirtschaftlichen Kulturen durchgeführt wurden (Abb. 4.1, Abb. 4.2 und Tab. 9.4, Tab. 9.5, Tab. 9.6, Anhang). Dabei wurden für einzelne Regulationsmaßnahmen BKE im Bereich von unter 0 (Anregung der Unkrautkeimung) bis 100% beobachtet. Auch nach mehreren Bearbeitungsgängen ergaben sich ähnliche Spannen.

Soweit erfaßt verdeutlichen die Ergebnisse "das Hauptproblem des unbearbeiteten Sicherheitsstreifen beiderseits der Pflanzenreihen" (ESTLER 1988) bei den hackend arbeitenden Geräten (Schar-, Roll- und Bügelhacke, Hackbürste, Reihenfräse): Während zwischen den Reihen, im Arbeitsbereich der Geräte, BKE von häufig über 80% erreicht wurden, lagen sie im Bereich der Kulturpflanzenreihen zumeist unter 30%. Beim Anhäufeln und/oder Striegeln der Kulturen wurden hier BKE von zum Teil über 70% erreicht. Gerade bei diesen Verfahren stellt sich aber die Frage nach der Kulturpflanzenverträglichkeit (vgl. Kap. 6, Seite 92), so daß Ergebnisse bei 'robusten' Arten, die auf Grund ihrer zumeist schnellen Jugendentwicklung frühzeitig gestriegelt oder angehäufelt werden können, nicht auf empfindliche Gemüsekulturen wie z.B. Möhren und Zwiebeln übertragen werden können.

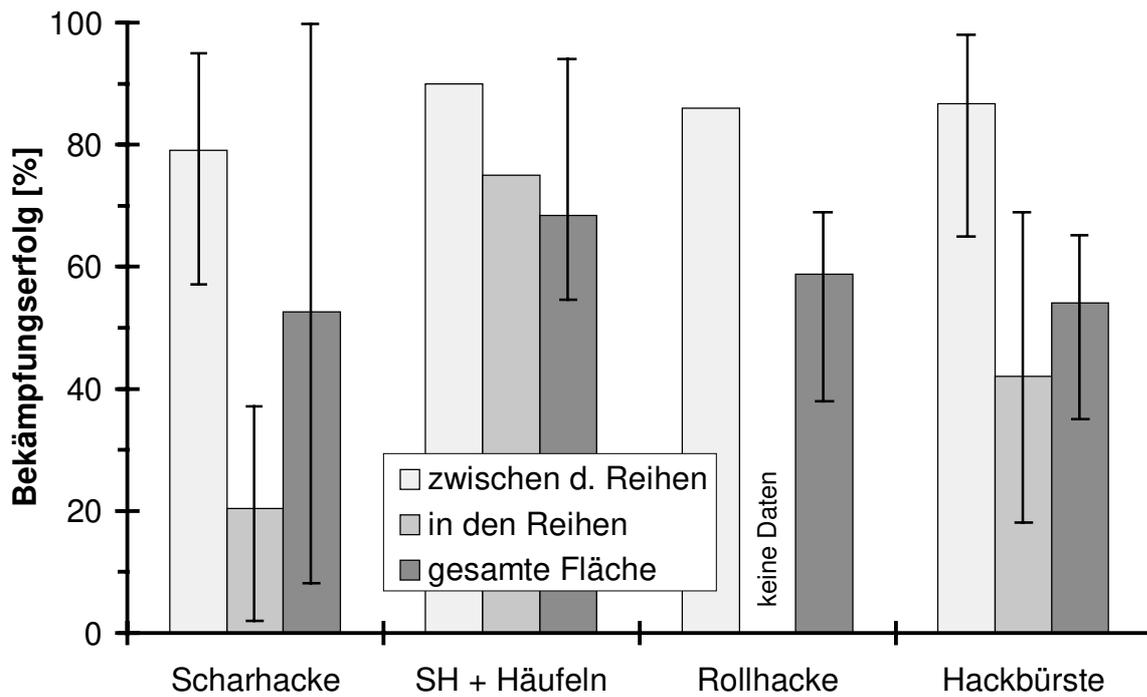


Abb. 4.1: Bekämpfungserfolge verschiedener hackend arbeitender Unkrautbekämpfungsgeräte (Daten nach Tab. 9.4 und Tab. 9.5, Anhang, ohne Striegelkombinationen); I: Variationsbreite.

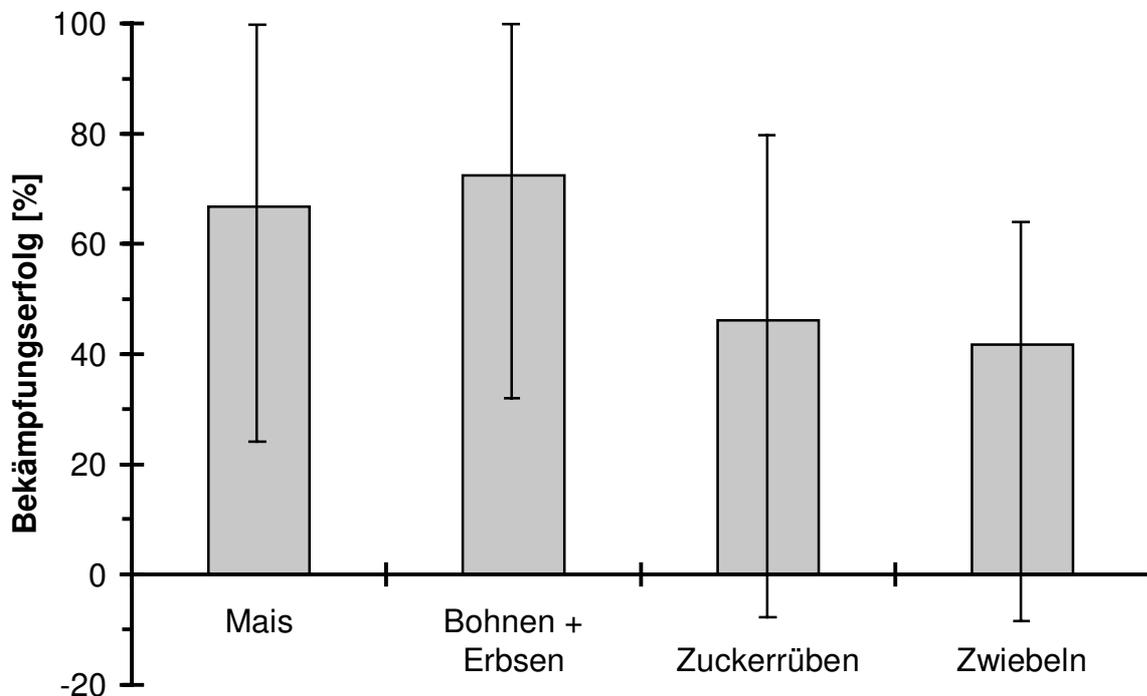


Abb. 4.2: Bekämpfungserfolge beim Striegeln in verschiedenen Kulturen (Daten nach Tab. 9.6, Anhang); I: Variationsbreite.

Mögliche Ursachen für die gefundenen Schwankungen der BKE bei der Scharhacke wurden bereits in Kap. 3 (Seite 28) diskutiert. Bei der Rollhacke, die keine schneidende Wirkung hat, sondern die Unkräuter aus dem Boden reißt (WALTER 1990) und verschüttet, ist "eine zufriedenstellende Wirkung nur auf leichten, lockeren Böden zu erwarten" (MATTSSON et al. 1990, WILDFELLNER 1990). Gegebenenfalls montierte voranlaufende Gänsefußschare sollen verhärtete Bodenoberflächen lockern (ESTLER 1992). Der Anstellwinkel der Hackgruppen und die Arbeitsgeschwindigkeit (Optimum im Bereich von 8-10 km/h) bestimmen die Arbeitsintensität und die seitliche Erdbewegung und damit die Häufelwirkung (ESTLER 1987, MATTSSON et al. 1990, WILDFELLNER 1990). KEES und LUTZ (1991) berichteten von einer raschen Abnahme der Wirkung bei zunehmender Unkrautgröße, auch MATTSSON et al. (1990) sahen Probleme bei Unkräutern mit intensivem Wurzelsystem. Ergebnisse von PULLEN und COWELL (1997) deuten ebenfalls in diese Richtung, einen Einfluß der Fahrgeschwindigkeit (5; 8,5; 11 km/h) auf den BKE stellten sie nicht fest.

Bei der Reihenfräse nahm mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit (5-11 km/h) und damit einhergehender zunehmender 'Bissenlänge' (15-37 cm) der BKE von 95% auf 59% ab. Ein Einfluß der Unkrautgröße (2- bzw. 5-Blattstadium) auf den BKE deutete sich nicht an (PULLEN und COWELL 1997). Auch MATTSSON et al. (1990) erwähnten, daß die Fräse auch größere Unkräuter sicher bekämpft.

Für die Hackbürste, deren Wirkung ebenfalls auf einem Herausreißen, Verschütten (ESTLER 1987) sowie dem Zerreißen größerer Unkräuter beruht (WEBER 1994), zeigte PEDERSEN (1990), daß mit zunehmender Arbeitsintensität (Verhältnis von Umlaufgeschwindigkeit der Bürsten zur Fahrgeschwindigkeit) der BKE von 43% auf 100% zunimmt. Modellunkräuter (Raps) im Keimblattstadium wurden besser bekämpft als solche mit bis zu fünf Blättern. WEBER (1994) beschrieb eine positive Beziehung zwischen der erreichten Arbeitstiefe und dem BKE, wobei sich die erreichte Arbeitstiefe wiederum als eine Funktion der Fahr- und Umlaufgeschwindigkeit darstellte. PULLEN und COWELL (1997) stellten bei gleichbleibendem Verhältnis von Umlauf- zu Fahrgeschwindigkeit (Faktor 2) eine Abnahme des BKE von 91% auf 72% bei zunehmender Fahrgeschwindigkeit (5-11 km/h) fest. In dem Versuch von MEYER (1993) zeigten sich bei Winden-Knöterich geringere BKE als bei den anderen Arten, WAHMHOF (1994) berichtete von Problemen der Hackbürste beim Kletten-Labkraut.

Einflußfaktoren auf den BKE beim Striegeln, dessen Wirkung vor allem auf dem Verschütten, zum Teil aber auch Herausreißen der jungen Unkräuter beruht (HABEL 1954, Koch 1959, KEES 1962), wurden insbesondere in Getreide aber auch in Zuckerrüben, Erbsen und Zwiebeln untersucht. Alle Maßnahmen bzw. Rahmenbedingungen, die eine Intensivierung der Bodenumlagerung (Verschüttungsintensität) erwarten lassen, führen zu steigendem BKE (Tab. 4.1). Allerdings sind damit zumeist auch höhere Kulturpflanzenverluste bzw. -schäden verbunden (vgl. Tab. 6.1, Seite 95).

Daten von HABEL (1954), KOCH (1959) und KEES (1962) verdeutlichen, daß auf Sandstandorten mit deutlich höheren BKE als auf schweren Böden gerechnet werden kann (Abb. 4.3). Die Dichte der Ausgangsverunkrautung (zum Teil über 1000 Pflanzen/m<sup>2</sup>) hatte bei den Versuchen von RASMUSSEN (1993c) im allgemeinen keinen Einfluß auf die Höhe des BKE.

Tab. 4.1: Gerätetechnische und pedogene Einflußfaktoren auf den Bekämpfungserfolg beim Striegeln.

<b>zunehmender Bekämpfungserfolg bei</b>	<b>Quelle</b>
steigender Arbeitsgeschwindigkeit (BERTRAM 1966: Optimum bei 6 km/h; MEYLER u. RÜHLING 1966: geringer Einfluß*; RASMUSSEN 1990: unterschiedlicher Einfluß)	KRAUS 1948, BERTRAM 1966, NEURURER 1977, RYDBERG 1994, PULLEN und COWELL 1997 (vgl. auch Abb. 2.3, Seite 25)
Zinkenstellung auf Stoß	NEURURER 1977, BECKER u. BÖHRNSEN '94
höherer Geschwindigkeit, Zinken auf Stoß	MELANDER und HARTVIG 1995
größerer Arbeitstiefe*	MEYLER und RÜHLING 1966
stärkerer Zinken(belastung)	KEES 1962, BERTRAM 1966, MEYLER und RÜHLING 1966, BRÄUTIGAM et al. 1989
geringerem Zinken- bzw. Strichabstand	BERTRAM 1966
mehrmaliger Überfahrt (nicht bei HABEL 1954 und KEES 1962)	RASMUSSEN 1990, 1991, 1993b, RASMUSSEN und SVENNINGSSEN 1995, BECKER und BÖHRNSEN 1994
Behandlung quer zur Reihe (KEES 1962: kein wesentlicher Unterschied)	KEES 1962, NEURURER 1977, RYDBERG 1994
lockerem Boden	MEYLER u. RÜHLING 1966, BRÄUTIGAM et al. 1989, RASMUSSEN 1990 (vgl. auch Abb. 2.3, Seite 25)

\* zunehmende Bodenumlagerung im Modellversuch

Sowohl ESTLER (1992) als auch BAUMANN (1994) stellten in Mais bzw. Porree im Reihenbereich geringere BKE als zwischen den Reihen fest, was nach BAUMANN auf ein Ablenken der Striegelzinken durch die Kulturpflanzen zurückzuführen ist. Höhere BKE beim Striegeln quer zur Reihe unterlegen diese Einschätzung (vgl. Tab. 4.1).

Über den direkten Einfluß der Witterung auf den BKE beim Striegeln liegen keine Ergebnisse vor. WILDFELLNER (1990) empfahl, daß nach der Bearbeitung ein "schöner Tag" folgen sollte und der "Feuchtigkeitsgehalt des Bodens so gering sein sollte, daß möglichst wenig Erde an den Wurzeln verbleibt und sich die Erde gut bewegen läßt". Negative BKE (Anregung der Unkrautkeimung), die zuweilen beim Striegeln im Vorauftritt auftreten, sind auf Sauerstoff- und Lichtreize zurückzuführen (MÜLLVERSTEDT 1961, ROEB 1977, JENSEN 1992, ASCARD 1994).

Neben der Intensität der Bodenumlagerung ist die Verschüttungsempfindlichkeit der Pflanzen der andere wesentliche Faktor für die Höhe des erreichbaren BKE beim Striegeln (vgl. Abb. 1.2, Seite 5). Diese ist wiederum eine Funktion der Unkrautgröße (Abb. 4.3) und der Unkrautart.

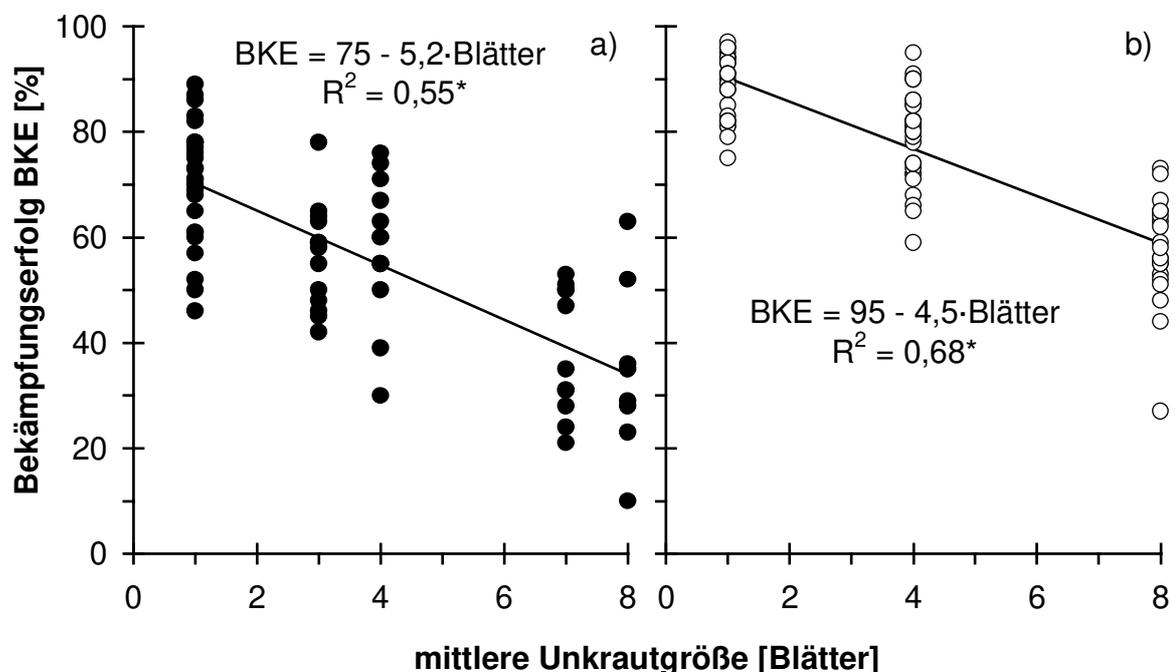


Abb. 4.3: Beziehung zwischen der mittleren Unkrautgröße und dem Bekämpfungserfolg (BKE) beim Striegeln von Getreide auf Lehmböden (a), Daten nach HABEL (1954) und KOCH (1959) und Sandböden (b), Daten nach KEES (1962).

Pflanzen aus kleinen Samen und damit eher zarten Keimlingen sind in diesem Stadium verschüttungsempfindlicher als solche mit großen Samen (vgl. Abb. 3.2, Seite 31). Unkrautarten mit hoher Toleranz gegenüber dem Striegeln sind in Tab. 4.2 aufgeführt. SCHMID und STEINER (1989) führten neben diesen Arten noch die Rauhaarige Wicke als schwer bekämpfbare Art an.

Tab. 4.2: Unkrautarten mit hoher Toleranz gegenüber dem Striegeln (Angaben von HABEL 1954, KOCH 1959, KEES 1962).

ab Keimblattstadium	ab 2-4-Blattstadium	ab 6-Blattstadium*
Efeublättriger Ehrenpreis Flughafer Acker-Hahnenfuß Kletten-Labkraut Acker-Rittersporn Acker-Steinsame Sommer-Teufelsauge	Gemeiner Hohlzahn Stinkende Hundskamille Winden-Knöterich Vogel-Knöterich Kleine Ochsenzunge Rote Taubnessel	Acker-Fuchsschwanz Echte Kamille Ackersenf Vogelmiere Sonnen-Wolfsmilch

\* generell sind Unkräuter ab diesem Stadium schwer bekämpfbar, diese Arten zeigen aber eine überdurchschnittlich hohe Toleranz

Direkte Vergleiche verschiedener Geräte unter jeweils gleichen Einsatzbedingungen wurden in vergleichsweise wenigen Untersuchungen durchgeführt. Dabei erreichten Rollhacke, Hackbürste und Reihenfräse im Zwischenreihenbereich im Mittel der Versuche ähnliche hohe BKE wie die Scharhacke (Abb. 4.4 und Tab. 9.5, Anhang). Hacken war, auch bezogen auf die gesamte Fläche, effektiver als Striegeln. Im Reihenbereich, und deshalb wohl auch für die gesamte Fläche, erreichte die Rollhacke durch den häufelnden Effekt höhere BKE als die Scharhacke.

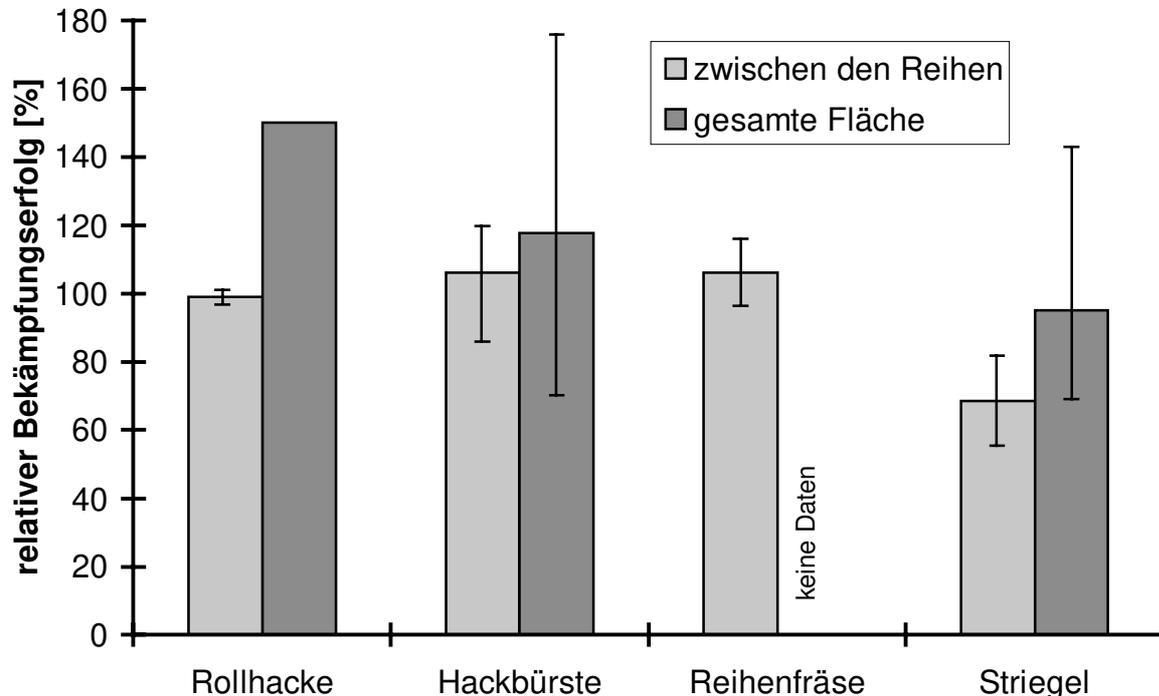


Abb. 4.4: Relative Bekämpfungserfolge verschiedener Geräte im Vergleich zur Scharhacke (= 100%) unter jeweils gleichen Einsatzbedingungen (Daten nach Tab. 9.5, Anhang); I: Variationsbreite.

Insgesamt sind die verfügbaren Erkenntnisse zur mechanischen Unkrautregulation für den Bereich des Gemüsebaus aber noch als sehr lückenhaft zu bezeichnen. Zwar können viele Ergebnisse zum BKE hackend arbeitender Geräte auf Gemüsekulturen übertragen werden; Verfahren, die auch im Reihbereich wirksam werden, sind aber bezüglich Anwendungszeitpunkt und Intensität sehr kulturspezifisch einzusetzen. So wurden Verfahren wie das Striegeln und insbesondere das Anhäufeln in Gemüsekulturen bisher nur unzureichend oder gar nicht untersucht (vgl. auch Kap. 6, Seite 96).

Ein wesentlicher Schwachpunkt vieler Untersuchungen zur mechanischen Unkrautregulation ist, daß die jeweils erreichten BKE durch fehlende Angaben nicht in Zusammenhang mit jeweils vorgefundenen ökologischen (Witterungs- und Bodenbedingungen) bzw. gerätetechnischen Rahmenbedingungen in Beziehung gebracht wurden bzw. gebracht werden können. So bleiben insbesondere die quantitativen Beziehungen zwischen den Rahmenbedingungen und dem erreichbaren BKE verborgen. Lediglich aus den umfangreichen Arbeiten von HABEL (1954), KOCH (1959) und KEES (1962) ließen sich Regressionsbeziehungen zwischen der Unkrautgröße und den BKE beim Striegeln (Abb. 4.3) und zum Teil beim Hacken (vgl. Abb. 3.3, Seite 35) ableiten.

Ziel der eigenen Untersuchungen war es daher, sowohl unter Praxis- als auch unter Versuchsbedingungen neben dem BKE wesentliche Witterungs- und Bodenparameter vor und nach einer Bearbeitungsmaßnahme zu erfassen und so zu einer quantitativen Beschreibung der Wirkungsbeziehungen zu gelangen. Daneben sollten in den konkurrenzschwachen Gemüsearten Möhre und Sälzwiebel Geräte bzw. Geräteabfolgen insbesondere auf ihre Eignung für eine Verbesserung des BKE im Reihbereich geprüft werden (Material und Methoden siehe Kap. 2, Seite 7).

## 4.2 Ergebnisse

### 4.2.1 Bekämpfungserfolge auf Praxisschlägen

Auf den Möhren- und Zwiebschlägen der Praxisbetriebe erfolgten die Hackmaßnahmen überwiegend in den Monaten Mai und Juni. 1995 wurden die Bestände zumeist dreimal, 1996 zweimal mit Schar- bzw. Rollhacken gehackt. Im Frühjahr 1995 waren die Witterungsbedingungen sehr wechselhaft, so daß wiederholt geplante Hackmaßnahmen verschoben werden mußten. Insgesamt wurden die Hackgänge in den beiden Versuchsjahren aber unter annähernd gleichen Bedingungen durchgeführt (Tab. 4.3).

Tab. 4.3: Witterungs- und Bearbeitungsparameter der Versuche auf Praxisschlägen.

Kultur Schlag / Jahr	Hack- termin	klimatische Wasserbilanz [mm/d]			mittlere Hacktiefe [cm]*	Häufel- höhe [cm]
		Vortag	Hacktag	2. Tag		
<b>Möhren</b>						
Betrieb A 1995	2	-3,8	-6,5	-6,5	3,7	0,2
	3	-4,0	-4,8	-4,9	—	2,0
Betrieb B 1995	1	-3,1	-4,3	-6,4	2,1	0,0
	2	6,1	-1,4	-3,1	0,7	0,0
	3	-2,1	-1,5	-1,7	—	0,1
	4	3,5	-0,3	-2,7	—	0,6
Betrieb C 1995	1	-2,6	-2,7	15,1	1,6	0,0
	2	6,9	-1,6	-2,8	1,5	0,0
	3	-3,6	-5,2	12,1	2,1	0,7
Betrieb B 1996	1	-3,0	-4,5	-5,0	3,5	0,0
	2	-3,2	-2,7	-2,6	—	0,0
Betrieb C 1996	1	-0,6	-2,5	-1,4	1,9	0,2
	2	10,8	-1,9	-3,1	2,4	0,0
<b>Zwiebeln</b>						
Betrieb A 1995	2	-2,3	-3,2	7,6	2,8	0,2
	3	-3,8	-6,5	-6,5	1,6	1,4
Betrieb B 1995	1	-3,1	-4,3	-6,4	2,0	0,0
	2	-1,4	-3,1	0,1	2,5	0,0
	3	-2,7	-5,1	-5,1	—	0,7
Betrieb C 1995	1	-2,6	-2,7	15,1	0,7	0,0
	2	6,9	-1,6	0,8	1,5	0,0
	3	-3,6	-5,2	12,1	0,8	0,3
Betrieb B 1996	1	-2,4	-2,0	-1,4	1,2	0,0
	2	-1,8	-2,1	-1,6	1,0	0,1
	3	-5,1	-3,2	-2,7	—	0,0
Betrieb C 1996	1	-2,0	-4,0	-1,7	—	0,0
	2	-1,9	-3,1	-4,4	2,4	0,3

\* mittlere Beschädigungstiefe der eingebauten Wachsplatten

So lag die klimatische Wasserbilanz des Vortags mit durchschnittlich -1,1 (1995) und -1,0 mm/d (1996) auf gleichem Niveau, am Hacktag wurden 1995 mit -3,4 mm/d etwas trockenere Tage als 1996 (-2,9 mm/d) für die Hackmaßnahmen genutzt. Der aus klimatischer Sicht günstigste Hacktag wies eine Bilanz von -6,5 mm/d aus, an einem Termin fiel nach der Hackmaßnahme 1,0 mm Niederschlag, so daß die klimatische Wasserbilanz dieses Tages -0,3 mm/d betrug. Am Tag nach der Hackmaßnahme ('2. Tag') waren zum Teil ergiebige Niederschläge zu verzeichnen.

Die mit Wachsplatten ermittelte Hacktiefe lag im Mittel bei 1,8 cm. Bei den ersten Hackgängen wurden die Kulturen grundsätzlich mit Hohlschutzscheiben geschützt, doch auch später wurde der Reihenbereich trotz höherer Fahrgeschwindigkeit und höheren Anstellwinkels der Hackschare (Angaben der Landwirte) nicht nennenswert angehäufelt. Lediglich Betrieb B häufelte die Kulturen beim dritten (und vierten) Hackgang mittels entsprechend eingestellter Rollhacke an. Da die Ablesung der Peilstäbe hier zum Teil erst nach einer Beregnung erfolgte, geben die Meßwerte durch die Sackung des Bodens wahrscheinlich nicht die ursprünglich erreichten Häufelhöhen wieder.

Die BKE bewegten sich im Zwischenreihenbereich in einer Spanne von 0 bis 100% (Tab. 4.4). Im Mittel aller Hackgänge nahm mit zunehmender Unkrautgröße der BKE von gut 80% (bis 1 Nodus) auf 55% bei den Unkräutern mit > 4 Nodi ab. Gemittelt über alle Unkrautgrößen betrug der BKE je Hackgang ca. 70%, so daß nach mehreren Hackgängen der Zwischenreihenbereich nahezu unkrautfrei war (vgl. Tab. 5.3, Seite 83). Bei den kleinen Unkräutern wurden in ca. 90% aller Fälle BKE von über 60% erreicht, bei den Unkräutern mit 2-4 Nodi war dieses noch in knapp 70%, bei den großen Unkräutern nur noch in gut 50% der Hackgänge der Fall (Abb. 4.5).

Die im Versuchsjahr 1995 durchgeführte getrennte Auszählung nach Unkrautarten ergab keinerlei Hinweise auf eine unterschiedliche Empfindlichkeit der vorgefundenen Arten. Insbesondere bei den größeren Unkräutern konnte aber wiederholt beobachtet werden, daß einige Pflanzen im Übergang vom bearbeiteten Zwischenreihenbereich zum unbearbeiteten Sicherheitsstreifen (Reihenbereich) überlebten, obwohl das Hackschar in diesem Bereich arbeitete. Solche Pflanzen wurden im Randbereich der Gänsefußschare nicht abgetrennt, sondern konnten durch ein leichtes Verschieben in Richtung der Kulturpflanzenreihe dem Schar ausweichen.

Tab. 4.4: Bekämpfungserfolge der einzelnen Hackgänge auf den Praxisschlägen (berechnet aus der Summe der Unkräuter aller Blöcke).

Kultur Schlag / Jahr	Hack- termin	Jät- variante	Bekämpfungserfolg gegen Unkräuter [%]					
			zwischen den Reihen Unkrautgröße [Nodi]			in den Reihen Unkrautgröße [Nodi]		
			bis 1	2-4	> 4	bis 1	2-4	> 4
<b>Möhren</b>								
Betrieb A 1995	2 <sup>1</sup>	o. Jäten betrieb.	100	98	66	63	40	22
			100	98	94	35	38	30
	3	o. Jäten betrieb.	— <sup>2</sup>	—	90	17	36	16
			—	—	—	70	42	6
Betrieb B 1995	1	o. Jäten	84	38	—	2	—	—
	2	o. Jäten	67	24	31	31	55	—
	3	o. Jäten	84	69	29	17	2	—
	4	o. Jäten betrieb.	74 63	47 26	0 10	1 -37	10 10	3 0
Betrieb C 1995	1	o. Jäten	72	86	—	8	—	—
	2	o. Jäten betrieb.	33 48	16 47	29 —	-44 -12	21 22	3 —
	3	o. Jäten betrieb.	93 85	73 68	38 69	43 18	48 9	14 10
Betrieb B 1996	1	betrieb.	96	81	55	27	9	0
	2	betrieb.	100	89	62	—	23	18
Betrieb C 1996	1	betrieb.	74	82	—	14	13	33
	2	betrieb.	59	50	—	-18	10	0
<b>Zwiebeln</b>								
Betrieb A 1995	2 <sup>1</sup>	o. Jäten betrieb.	91	60	73	-21	30	20
			88	69	—	13	40	—
	3	o. Jäten betrieb.	87	100	—	62	43	4
			100	94	100	50	35	15
Betrieb B 1995	1	o. Jäten	87	93	—	43	—	—
	2	o. Jäten	73	73	—	-52	34	18
	3	o. Jäten betrieb.	100 100	86 73	45 50	— —	(92) <sup>3</sup> 35	(91) <sup>3</sup> —
Betrieb C 1995	1	o. Jäten	81	77	61	-5	5	—
	2	o. Jäten betrieb.	78 57	48 63	17 —	26 22	13 10	4 —
	3	o. Jäten betrieb.	100 78	77 53	60 —	25 53	12 19	9 0
Betrieb B 1996	1	betrieb.	66	83	—	16	—	—
	2	betrieb.	72	53	—	7	10	0
	3	betrieb.	100	89	82	—	16	8
Betrieb C 1996	1	betrieb.	91	81	85	0	4	—
	2	betrieb.	94	60	—	14	10	—
<b>Mittel</b>			82	68	55	15	23	11

1: aus Witterungsgründen konnte der BKE der ersten Hackmaßnahme nicht ermittelt werden

2: der BKE konnte auf Grund zu geringer Unkrautdichten nicht ermittelt werden

3: Werte wurden als Ausreißer bei der weiteren Auswertung nicht berücksichtigt

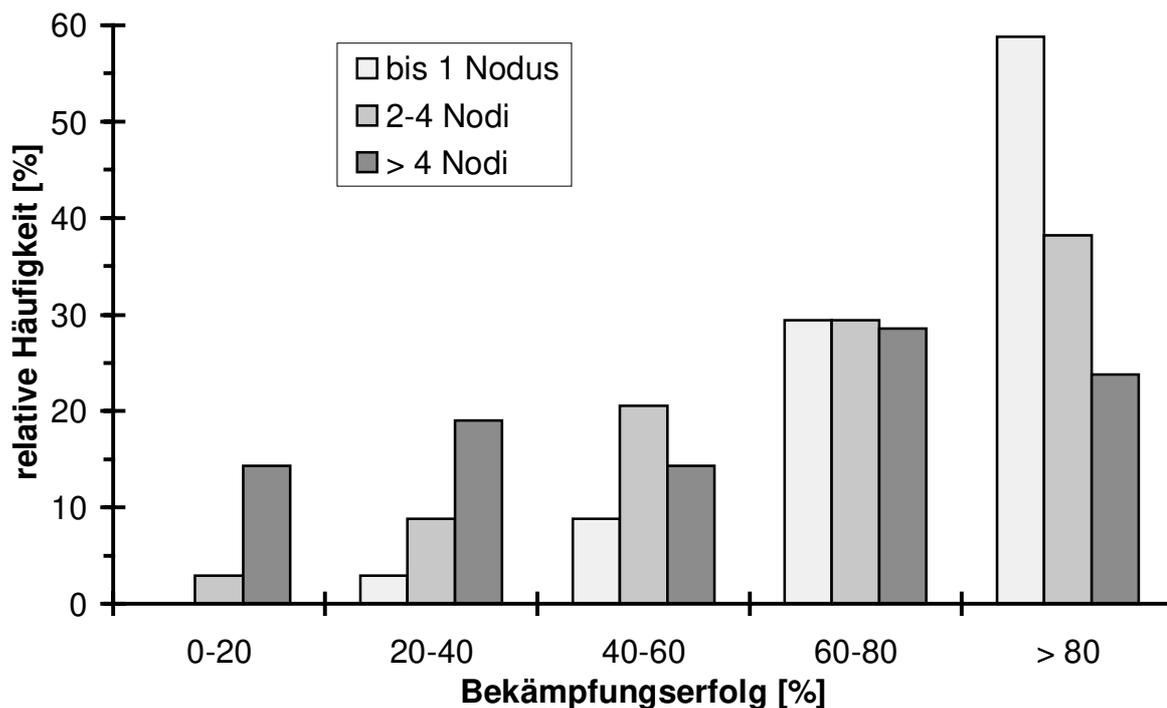


Abb. 4.5: Relative Häufigkeit der erreichten Bekämpfungserfolge **zwischen den Reihen** auf den Praxisschlägen (Bekämpfungserfolge berechnet aus der Summe der Unkräuter aller Blöcke).

In den Kulturpflanzenreihen wurden im Mittel nur 17% der Unkräuter bekämpft. Höhere BKE wurden vor allem auf dem Betrieb B durch ein Anhäufeln bei den späteren Hackgängen mit der Rollhacke erzielt. Zuweilen wurde auch ein Neuauflauf von Unkräutern beobachtet, so daß der BKE bei Unkrautkeimlingen mit durchschnittlich 15% ca. 8%-Punkte geringer war als bei den Unkräutern mit 2-4 Nodi (Tab. 4.4). Diese negativen BKE können aber nicht als Folge der Hackmaßnahmen gewertet werden, da keine Korrektur der BKE um die natürliche Pflanzenzunahme (in einer Kontrollfläche) erfolgen konnte. Läßt man alle gefundenen negativen Werte außer Acht, so betrug der mittlere BKE der kleinen Unkräuter 27% (auch dieser Wert kann durch eine natürliche Unkrautkeimung beeinflusst worden sein).

#### 4.2.2 Bekämpfungserfolge auf der Versuchsstation Ruthe

Bei den Versuchen auf der Versuchsstation Ruthe lag die klimatische Wasserbilanz des Hacktages mit durchschnittlich -3,3 mm/d auf gleichem Niveau wie bei den Praxiserhebungen, der Vortag war mit -2,3 mm/d trockener. Zwei Tage vor der zweiten Hackmaßnahme in den Zwiebeln fielen ergiebige Niederschläge, so daß hier Bodenwassergehalte von annähernd 20 Gew.-% vorgefunden wurden (Tab. 4.5).

Tab. 4.5: Witterungs- und Bearbeitungsparameter der Regulationsmaßnahmen auf der Versuchsstation Ruthe.

Ver- such/ Hack- termin	Regulations- variante	klimatische Wasserbilanz [mm/d]			Boden- wasser- gehalt [Gew.-%]	Wachsplatten- beschädigung [cm]		Häufel- höhe [cm]
		Vortage 2 Tage	1 Tag	Hack- tag		mittlere	größte	
<b>Möhren 1995</b>								
1	Scharhacke	0,1	-3,9	-4,7	10,0	1,0	—	0,2
	Rollhacke					0,6	—	0,2
	Striegel					0,7	—	0,0
<b>Möhren 1996</b>								
1	Scharhacke	-2,2	-1,3	-2,9	—	0,1	1,5	0,1
2	Scharhacke	-3,1	-4,1	-4,0	9,9	1,9	3,0	0,5
	Striegel					0,1	2,7	0,3
	SH + Striegel					2,6	3,7	0,6
	SH + Häufeln					2,7	4,2	3,3
3	Scharhacke	-2,1	-3,4	-4,3	11,8	1,6	2,9	1,3
	SH + Häufeln					1,5	2,9	3,8
<b>Zwiebeln 1996</b>								
1	Scharhacke	-0,1	-0,8	-0,9	14,8	1,6	3,9	0,3
2	Scharhacke	11,3	0,3	-3,8	19,4	1,4	2,5	0,0
	Striegel					0,0	2,0	0,9
	SH + Striegel					0,9	2,5	0,9
	SH + Häufeln					0,5	2,0	1,5
<b>Blumenkohl 1996</b>								
1	Scharhacke	-3,2	-2,8	-2,8*	—	1,6	2,6	0,0
	SH + Häufeln					2,3	3,9	5,3
	anhäuf. Roll.					0,1	3,4	6,0

\* in den berechneten Varianten +5,2 mm

Die BKE der in allen Versuchen standardmäßig durchgeführten Bearbeitung mit der Scharhacke schwankten zwischen den Reihen im Bereich von 33-100% (Tab. 4.6). Im Mittel (berechnet aus der Summe der Unkräuter aller Blöcke, ohne berechnete Varianten) wurden mit 94% (bis 1 Nodus), 78% (2-4 Nodi) und 56% (> 4 Nodi) ca. 10%-Punkte höhere BKE als auf den Praxisschlägen erzielt.

Tab. 4.6: Bekämpfungserfolge der Regulationsmaßnahmen auf der Versuchsstation Ruthe (Mittelwerte über die Blöcke).

Versuch / Hacktermin	Regulations- variante	Bekämpfungserfolg gegen Unkräuter [%]					
		zwischen den Reihen Unkrautgröße [Nodi]			in den Reihen Unkrautgröße [Nodi]		
		bis 1	2-4	> 4	bis 1	2-4	> 4
<b>Möhren 1995</b>							
1	Scharhacke	96 a <sup>2</sup>	95	93	37	32	0
	Rollhacke	88 a	51	28	21	6	0
	Striegel <sup>1</sup>	66 b	46	31	10	8	13
	GD <sub>(<math>\alpha &lt; 0,05</math>)</sub>	14	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
<b>Möhren 1996</b>							
1	Scharhacke	100	95	— <sup>2</sup>	3	0	—
2	Scharhacke	100 a	100	53	—	33	8 c
	Striegel	80 b	75	38	—	40	26 b
	SH + Striegel	100 a	100	100	—	—	24 b
	SH + Häufeln	100 a	92	72	—	100	71 a
	GD <sub>(<math>\alpha &lt; 0,05</math>)</sub>	— <sup>3</sup>	n.s.	n.s.	—	n.s.	— <sup>3</sup>
3	Scharhacke	96	—	33	—	—	10 b
	SH + Häufeln	100	—	—	—	—	50 a
	GD <sub>(<math>\alpha &lt; 0,05</math>)</sub>	n.s.	—	—	—	—	38
<b>Zwiebeln 1996</b>							
1	Scharhacke	96	89	—	21	—	—
2	Scharhacke	76 b	33	57	34	12	1
	Striegel	78 b	56	18	74	33	4
	SH + Striegel	100 a	95	—	86	36	3
	Häufeln	72 b	78	33	65	8	0
	GD <sub>(<math>\alpha &lt; 0,05</math>)</sub>	— <sup>4</sup>	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
<b>Blumenkohl 1996</b>							
ohne	Scharhacke	85 b	60	—	11 b	—	—
Beregnung	SH + Häufeln	95 a	82	—	98 a	100	—
	häuf. Rollhacke	98 a	100	—	98 a	86	—
	GD <sub>(<math>\alpha &lt; 0,05</math>)</sub>	9 <sup>5</sup>	n.s.	—	15 <sup>6</sup>	n.s.	—
mit	Scharhacke	39 b	51	—	15 b	—	—
Beregnung	SH + Häufeln	69 a	80	—	59 a	60	—
	häuf. Rollhacke	86 a	—	—	54 a	—	—
	GD <sub>(<math>\alpha &lt; 0,05</math>)</sub>	23 <sup>5</sup>	n.s.	—	25 <sup>6</sup>	—	—

1: der Striegel wurde nur im Zwischenreihenbereich eingesetzt

2: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ( $\alpha < 0,05$ )

3: "—": der Bekämpfungserfolg konnte auf Grund zu geringer Unkrautdichten nicht ermittelt werden

4: eine gemeinsame GD kann auf Grund ungleichen Stichprobenumfangs nicht berechnet werden

5: / 6: GD( $\alpha < 0,05$ ) bei zweifaktorieller Auswertung: 20%-Punkte

Der Striegel zeigte gegenüber der Scharhacke insbesondere bei größeren Unkräutern geringere BKE und auch die Rollhacke war bei Unkräutern mit > 4 Nodi der Scharhacke unterlegen (Abb. 4.6). Eine Kombination der Scharhacke mit einem nachlaufenden Striegel erhöhte den BKE insbesondere bei größeren Unkräutern.

Der alleinige Einsatz von Häufelkörpern zeigte im Zwiebelversuch 1996 bei großen Unkräutern Wirkungsschwächen, so daß bei den nachfolgenden Einsätzen das Anhäufeln nach vorherigem Hacken durchgeführt wurde. Dadurch ergaben sich gegenüber dem alleinigen Einsatz der Scharhacke, ähnlich dem zusätzlichen Striegeln, Wirkungssteigerungen insbesondere bei größeren Unkräutern.

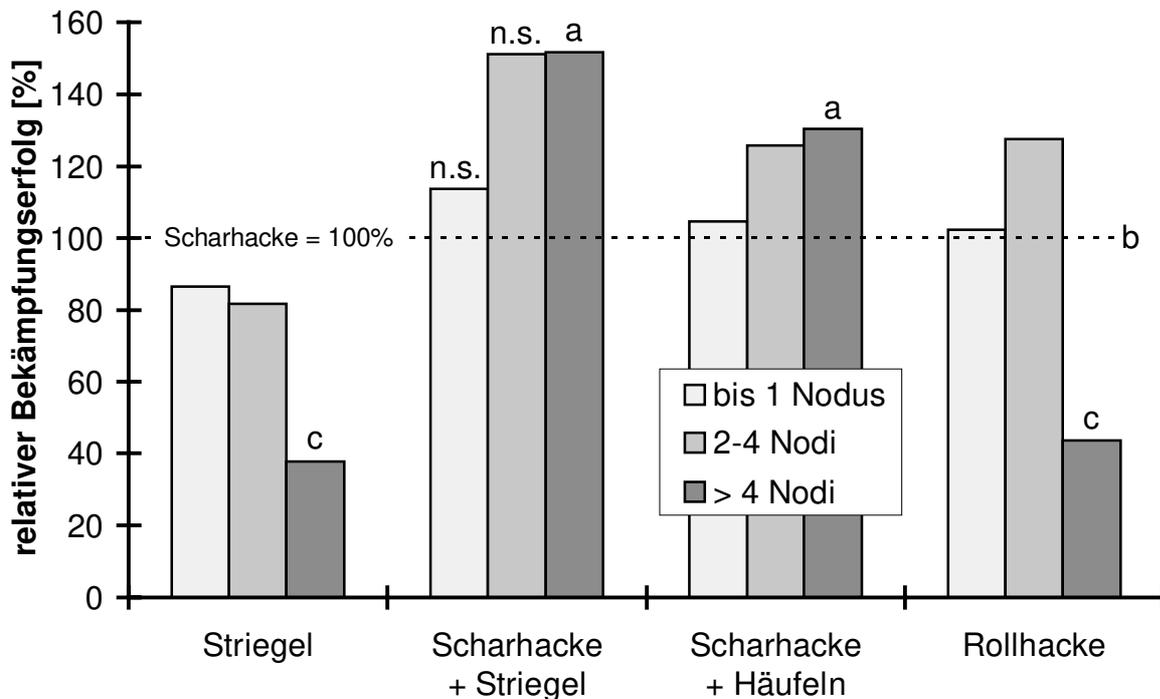


Abb. 4.6: Relative Bekämpfungserfolge (jeweilige Scharhackevariante = 100%) verschiedener Regulationsvarianten **zwischen den Reihen**; Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ( $\alpha < 0,05$ ) (Mittelwerte über die Versuche bzw. Hackgänge in Ruthe, ohne berechnete Varianten).

Beim Gerätevergleich in Blumenkohl trat eine nennenswerte Verunkrautung erst zum 7-8-Blattstadium des Kohls auf. Beim BKE gegen die überwiegend vorhandenen kleinen Unkräuter zeigte sich sowohl im Zwischenreihen- wie im Reihbereich eine Wechselwirkung zwischen der durchgeführten Beregnung und der Art der Behandlungsmaßnahme: Während der BKE zwischen den Reihen bei der Rollhacke durch die Beregnung nur leicht beeinträchtigt wurde, verminderten die simulierten Niederschläge den BKE der Scharhacke deutlich (Abb. 4.7). Bei ausschließlicher Betrachtung der unberegneten Flächen lag der BKE der Scharhacke 13%-Punkte unter dem der Rollhacke, die nahezu alle kleinen Unkräuter bekämpfte (Tab. 4.6). Durch ein Anhäufeln konnten praktisch alle Keimlinge in den Reihen bekämpft werden, Niederschläge verminderten den BKE hier deutlich.

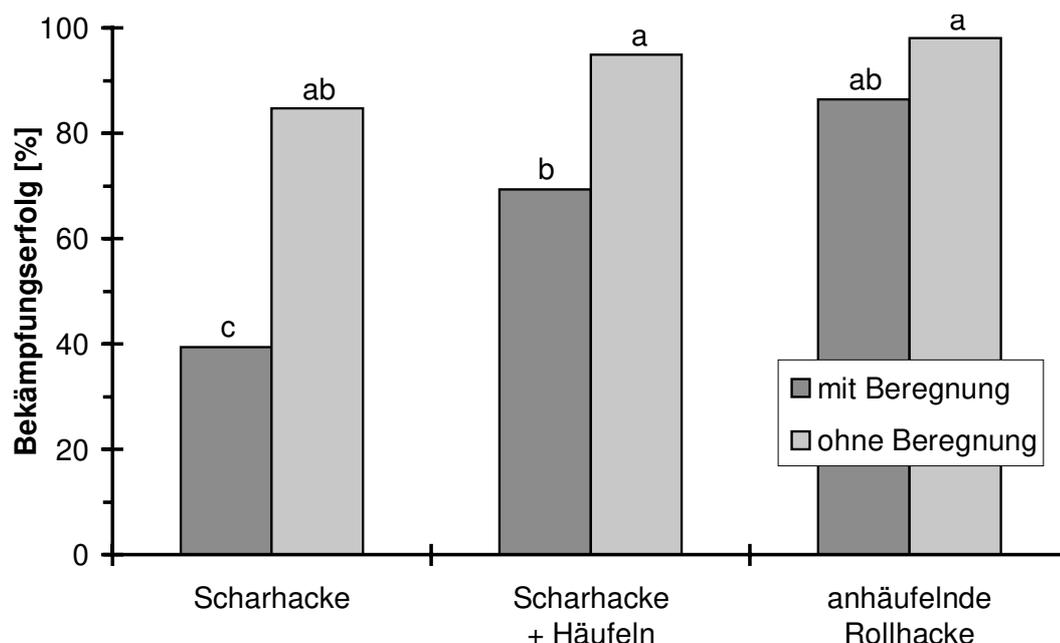


Abb. 4.7: Bekämpfungserfolge gegen Unkräuter (bis 1 Nodus) **zwischen den Reihen** beim Blumenkohlversuch 1996; Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ( $\alpha < 0,05$ ) (Mittelwerte über die Blöcke).

Auch im Mittel aller Versuche wurden durch Anhäufeln (Rollhacke, Häufelkörper) und Striegeln gute Erfolge gegen Keimlinge im Reihenbereich erzielt (Abb. 4.8). Größere Unkräuter wurden nur durch Häufeln noch in nennenswertem Umfang verschüttet, beim Striegeln fiel der BKE mit zunehmender Unkrautgröße stark ab. Beim Hacken zeigte sich in den Reihen naturgemäß eine völlig unzureichende Wirkung.

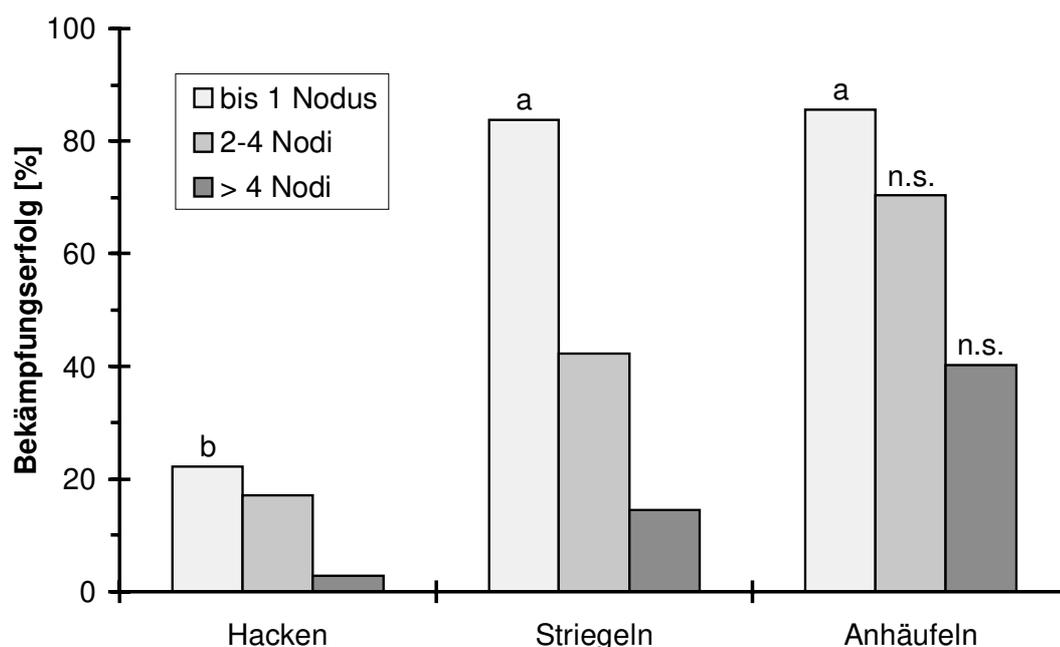


Abb. 4.8: Bekämpfungserfolge **in den Reihen**; Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ( $\alpha < 0,05$ ) (Mittelwerte über die Versuche bzw. Hackgänge in Ruthe, ohne beregnete Varianten).

## 4.3 Diskussion

Die Höhe des erreichten BKE ist eine Funktion einer Vielzahl von Faktoren, die vor, bei und nach einer Bearbeitungsmaßnahme wirken. Faktoren wie die Position der Unkräuter (zwischen/in der Reihe) und deren Größe wurden bei den eigenen Untersuchungen durch getrenntes Erfassen der BKE a priori berücksichtigt. Aber auch innerhalb einer Positions- und Unkrautgrößenklasse wurden bei den Erhebungen auf den Praxisflächen und den Versuchen in Ruthe mit Spannen von zum Teil mehr als 80%-Punkten erhebliche Schwankungen des BKE ermittelt.

### 4.3.1 Bekämpfungserfolg im Zwischenreihenbereich

Betrachtet man nur die hackend arbeitenden Geräte, so kommen für die Schwankungen des BKE im Zwischenreihenbereich vor allem folgende Ursachen in Frage:

- verschiedenartige Unkräuter auf den einzelnen Schlägen und Versuchsflächen,
- unterschiedliche Bodenarten,
- ungleiche Gerätearten und -einstellungen bzw. Fahrgeschwindigkeiten und
- unterschiedliche Witterungsbedingungen vor und nach dem Hacken.

Wesentliche Unterschiede in der Empfindlichkeit der Unkrautarten gegenüber dem Hacken konnten nicht beobachtet werden. Allerdings traten die als weniger gut bekämpfbar geltenden Unkrautarten (vgl. Kap. 3, Seite 36) Windhalm, Acker-Fuchschwanz, Vogelmiere und Kletten-Labkraut gar nicht oder nur vereinzelt auf. Ehrenpreis kam in nennenswerten Anteilen nur im Möhrenversuch 1995 in Ruthe vor, der BKE wich aber nicht von dem anderer Arten ab. Auf den Praxisschlägen trat häufig Winden-Knöterich auf, der als größere Pflanze mit einem relativ kräftigen Hypokotyl nicht immer im Randbereich der Gänsefußschare abgetrennt wurde. Bezogen auf die gesamte bearbeitete Fläche zwischen den Reihen könnte er aber mit durchschnittlichem Erfolg bekämpft werden.

Größere Bodenunterschiede zwischen den verschiedenen Praxisschlägen bestanden nicht. Auf dem Lößboden der Versuchsstation Ruthe lag der BKE mit 94% und 53% (bis 1 und 2-4 Nodi) durchschnittlich 10%-Punkte höher als auf den Sandböden der Praxisschläge, bei den großen Unkräutern war der BKE mit 53% ähnlich wie auf den Praxisflächen. Hier konnten unter Versuchsbedingungen allerdings auch etwas trockenere Witterungsabschnitte für die Bearbeitungsmaßnahmen genutzt werden.

Aber auch unter Einbeziehung der (noch zu diskutierenden) Witterungsbedingungen lagen die BKE auf dem Lößstandort eher über den Werten der Praxiserhebungen (vgl. Abb. 4.9), wenngleich nach der Hypothese der Bedeutung des verfügbaren Bodenwassers (vgl. Kap. 3, Seite 28) hier geringere BKE zu erwarten waren. Möglicherweise konnten unter Versuchsbedingungen die Hackmaßnahmen präziser ausgeführt werden, was allerdings auch für die größte Unkrautklasse gelten müßte. Der ermittelte höhere BKE bei den Keimlingen könnte aber auch auf den geringeren Abstand zwischen der Unkrautauszählung vor/nach der Bearbeitung zurückzuführen sein: Da 1995 das Hacken auf den Praxisschlägen häufig verschoben werden mußte, lagen hier zwischen den Zählungen durchschnittlich 3,8 Tage. Auf der Versuchsstation betrug diese Spanne 2,7 Tage, so daß hier der BKE weniger durch neu aufgelaufene Unkräuter verfälscht worden sein könnte.

Insgesamt deuten die Ergebnisse damit nicht auf eine wesentliche Beeinträchtigung des BKE durch den 'schwereren' Lößboden hin und bestätigen damit die in Kap. 3, Seite 34 zitierten Angaben der meisten Autoren. Auf tonreicheren Standorten können durch die Bearbeitung in zu feuchtem oder trockenem Zustand aber relativ große Bodenfragmente entstehen (SCHACHTSCHABEL et al. 1992), die nach MATTSSON et al. (1990) unter feuchten Witterungsbedingungen ein Überleben der Unkräuter gewährleisten. Damit ist die Aussage von SCHMID und STEINER (1989), daß auf "schwerem Boden" geringere BKE auftreten, sicherlich berechtigt.

Bei den verschiedenen Regulationsvarianten zeigte nur der Striegel geringere BKE als die Scharhacke, was sich mit den Ergebnissen von ESTLER (1992) in Mais deckt. Als zusätzliches Gerät nach einer Scharhacke verbesserte der Striegel den BKE der Hacke und bestätigte damit die in Kap. 3.1, Seite 33 zitierten Angaben verschiedener Autoren für Mais und Getreide. Die Rollhacke brachte sowohl unter Praxis- als auch unter Versuchsbedingungen (ohne Beregnung) ähnliche BKE wie die Scharhacke. Dabei wurde sowohl unter Praxis- (2,7-4 km/h) als auch unter Versuchsbedingungen (ca. 2 km/h) wesentlich langsamer als die empfohlenen 8-10 km/h gefahren. Bei großen Unkräutern deutete sich, wie von verschiedenen Autoren beschrieben, eine leichte Wirkungsschwäche an. Der deutlich geringe Abfall des BKE kleiner Unkräuter durch eine nachfolgende Beregnung der Rollhacke gegenüber der Scharhacke dürfte in erster Linie auf einen hohen Anteil verschütteter Pflanzen zurückzuführen sein.

Größere Unterschiede bezüglich der Hacktiefe, die insbesondere unter feuchten Witterungsbedingungen einen entscheidenden Einfluß auf den BKE ausübt (vgl. Kap. 3, Seite 28), konnten bei den Praxiserhebungen nicht festgestellt werden (Tab. 4.3). Im Mittel betrug die mit Wachsplatten ermittelte Hacktiefe 1,8 cm, unter Einbeziehung der in Abb. 2.7, Seite 27 beschriebenen Funktion (Faktor 1,2) 1,5 cm, so daß generell von einer flachen Ausführung der Hackarbeiten ausgegangen werden kann. Entsprechend der geringen Variation der Hacktiefe zeigten sich bei Regressionsanalysen keinerlei Beziehungen zwischen diesem Faktor und dem jeweils erreichten BKE. Mit einem stärkeren Einfluß der Fahrgeschwindigkeit auf den BKE im Zwischenreihenbereich ist nicht zu rechnen (vgl. Kap. 3, Seite 33).

Analog zu den Ergebnissen der Modelluntersuchungen an Phacelia (Kap. 3, Seite 28) waren als stärkste Einflußfaktoren auf den BKE unterschiedliche Bodenwassergehalte beim und klimatische Wasserbilanzen nach dem Hacken zu vermuten. Da auf den Praxisflächen der Wassergehalt nicht unmittelbar vor einer Hackmaßnahme ermittelt werden konnte, ließen sich lineare Regressionsmodelle mit diesen Faktoren nur auf Basis der Daten der Versuchsstation Ruthe berechnen. Dabei zeichnete sich für die kleine und mittlere Unkrautklasse ein deutlicher Abfall des BKE mit zunehmender Bodenfeuchtigkeit ab (Tab. 4.7), während zur klimatischen Wasserbilanz des Hacktages zumeist keine signifikanten Beziehungen bestanden.

Tab. 4.7 Bekämpfungserfolg **zwischen den Reihen** (berechnet aus der Summe der Unkräuter aller Blöcke) in Abhängigkeit vom Bodenwassergehalt  $W_{gw}$  [Gew.-%] am Hacktermin (Daten der Versuchsstation Ruthe).

Unkraut- größe [Nodi]	nur Scharhacke				alle Hackgeräte <sup>1</sup>			
	Parameterwerte		$R^2$	n	Parameterwerte		$R^2$	n
	$b_0$	$W_{gw}$			$b_0$	$W_{gw}$		
bis 1	120	-2,0 <sup>2</sup>	0,85*	5	122	-2,4	0,72*	9
2-4	154	-5,6	0,93*	4	—	n.s.	—	7
> 4	—	n.s.	—	4	—	n.s.	—	7

1: ohne Striegelvarianten, inklusive Anhäufeln

2: hier zeigte sich auch ein signifikanter Einfluß der klimatischen Wasserbilanz des Hacktages KWB [mm/d]:  $b_0 = 132$ ;  $W_{gw} = -2,3$ ;  $KWB = 2,3$ ;  $R^2 = 0,99$

Um Modelle auf Basis aller Bekämpfungsergebnisse berechnen zu können, wurde ersatzweise die klimatische Wasserbilanz des Vortages als Maß für die Bodenfeuchtigkeit beim Hacken herangezogen. Für die Versuche in Ruthe zeigte der Wassergehalt eine enge lineare Beziehung zu dieser Vortagesbilanz ( $R^2 = 0,75$ ). Da der

Lößboden eine wesentlich höhere Feldkapazität als die Sandstandorte der Praxisflächen aufweist (AG BODENKUNDE 1996) wurde hier allerdings der Mittelwert der klimatischen Wasserbilanz der beiden Vortage verwendet, der eine gleich gute Beziehung zum tatsächlichen Bodenwassergehalt zeigte.

Insgesamt konnten durch die klimatische Wasserbilanz der Vor- und Hacktage zumeist mehr als 50% der gefundenen Variation des BKE der hackend arbeitenden Geräte erklärt werden (Tab. 4.8). Regressionsmodelle auf Basis der Versuchsergebnisse aus Ruthe konnten nicht ermittelt werden, in Kombination mit den Ergebnissen der Praxiserhebungen ergaben sich zumeist nur geringfügige Veränderungen gegenüber den Modellen auf Basis der Praxisdaten.

Tab. 4.8 Bekämpfungserfolg **zwischen den Reihen** (berechnet aus der Summe der Unkräuter aller Blöcke) in Abhängigkeit von der klimatischer Wasserbilanz [mm/d] des Vor- und Hacktages.

Unkrautgröße [Nodi]	Praxisflächen				Praxis- und Versuchsflächen					
	Parameterwerte			R <sup>2</sup>	n	Parameterwerte			R <sup>2</sup>	n
b <sub>0</sub>	Vortag	Hacktag	b <sub>0</sub>			Vortag <sup>1</sup>	Hacktag			
<b>nur Scharhacke</b>										
bis 1	79	-2,9	n.s.	0,58*	28	81	-2,9	n.s.	0,54*	35
2-4	64	-3,2	n.s.	0,46*	28	66	-3,5	n.s.	0,44*	34
> 4	43	-4,3	n.s.	0,54*	16	16	n.s.	-9,6	0,43*	20
<b>alle Hackgeräte<sup>2</sup></b>										
bis 1	70	-2,3	-2,8	0,66*	34	75	-2,6	-2,1	0,62*	47
2-4	53	-2,5	-3,9	0,54*	34	69	-3,6	n.s.	0,44*	45
> 4	28	-3,0	-6,2	0,64*	21	28	-3,1	-6,0	0,57*	28
<b>alle Geräte</b>										
bis 1						74	-2,1	-2,6	0,51*	52
2-4						69	-3,3	n.s.	0,37*	50
> 4						28	-3,0	-5,7	0,46*	33

1: Versuchsflächen in Ruthe: Mittelwert beider Vortage

2: ohne Striegelvarianten, inklusive Anhäufeln

Modelle für die mittlere Unkrautgröße zeigten ein geringeres Bestimmtheitsmaß als bei den beiden anderen Größenklassen. Möglicherweise verhielten sich die verschiedenen Unkrautarten dieser Größen- (besser Entwicklungs-)Klasse teils wie Keimlinge, während andere Arten eher Eigenschaften der größeren Unkrautklasse zeigten. Auch die Einbeziehung der Striegelvarianten ('alle Geräte') führte zu einer schlechteren Beschreibung der Wirkungsbeziehungen, was angesichts der geringeren BKE des Striegels bzw. der höheren BKE der Striegel-Kombinationen erklärlich ist.

Bei ausschließlicher Betrachtung der Scharhacke zeigte der BKE im allgemeinen keine Abhängigkeit von der Wasserbilanz des Hacktages. Dieser, im Gegensatz zum Modellversuch mit Phacelia, geringe Einfluß der Witterung des Hacktages auf den BKE dürfte vor allem darauf zurückzuführen sein, daß für die Bekämpfungsmaßnahmen Tage mit möglichst günstiger Witterung genutzt wurden. So lag die Standardabweichung der klimatischen Wasserbilanzen aller Hacktage nur bei 1,5 mm, während die des Vortags (bzw. des Mittelwerts der beiden Vortage) 3,8 mm betrug.

Für alle hackend arbeitenden Geräte nahm die Bedeutung einer trockenen Witterung am Hacktag mit zunehmender Unkrautgröße zu. Dieses steht im Widerspruch zu den Ergebnissen von TERPSTRA und KOUWENHOVEN (1981) und insbesondere des Phaceliaversuchs, wo bei kleinen Unkräutern deutlich höhere Wirkungsverluste als bei größeren Pflanzen gefunden wurden. Die höhere Bedeutung der Vortageswitterung und damit der Bodenfeuchte bei größeren Unkräutern deckt sich dagegen mit den Ergebnissen des Phaceliaversuchs. Allerdings lag dort die Gewichtung der Bodenfeuchtigkeit bei den großen um Faktor 3 höher als bei den kleinen Phaceliapflanzen, während sie hier nur maximal 30% über dem der kleinen Unkräuter lag (vgl. Gl. 3-1 und 3-2, Seite 41). Die von WEBER (1997) angegebene Untergrenze des Bodenwassergehaltes beim Hacken von 5 Vol.-% pflanzenverfügbarem Wasser für mittlere Böden kann für den 'milden' Lößboden der Versuchsstation Ruthe nicht bestätigt werden, da an zwei Terminen auch bei Bodenwassergehalten von nur rund 4 Vol.-% (angenommene Bodendichte  $1,3 \text{ g/cm}^3$ ) hohe BKE erzielt werden konnten.

Insgesamt zeigen die Modelle, daß der Abfall des BKE mit zunehmender Feuchte am Vor- und Hacktag bei kleinen Unkräutern wesentlich geringer als bei großen Pflanzen ausfällt (Abb. 4.9). Diese geringere Abhängigkeit des BKE bei kleinen Unkräutern von der Gunst der Witterung kann als die wesentliche Ursache für den allgemein gefundenen geringeren BKE bei den größeren Unkräutern gewertet werden. Integriert ist hierin der beschriebene Effekt des Verschiebens größerer Pflanzen im Randbereich der Gänsefußschare, welches, in Übereinstimmung mit den Beobachtungen von VAN DER WEIDE und WIJNANDS (1993), unter feuchteren Witterungsbedingungen ein Überleben der Unkräuter ermöglichen kann. Generell steht diese Abnahme des BKE mit zunehmender Unkrautgröße im Widerspruch zu den Ergebnissen des Phaceliaversuchs, gibt aber andererseits eine allgemeine Praxiserfahrung wieder.

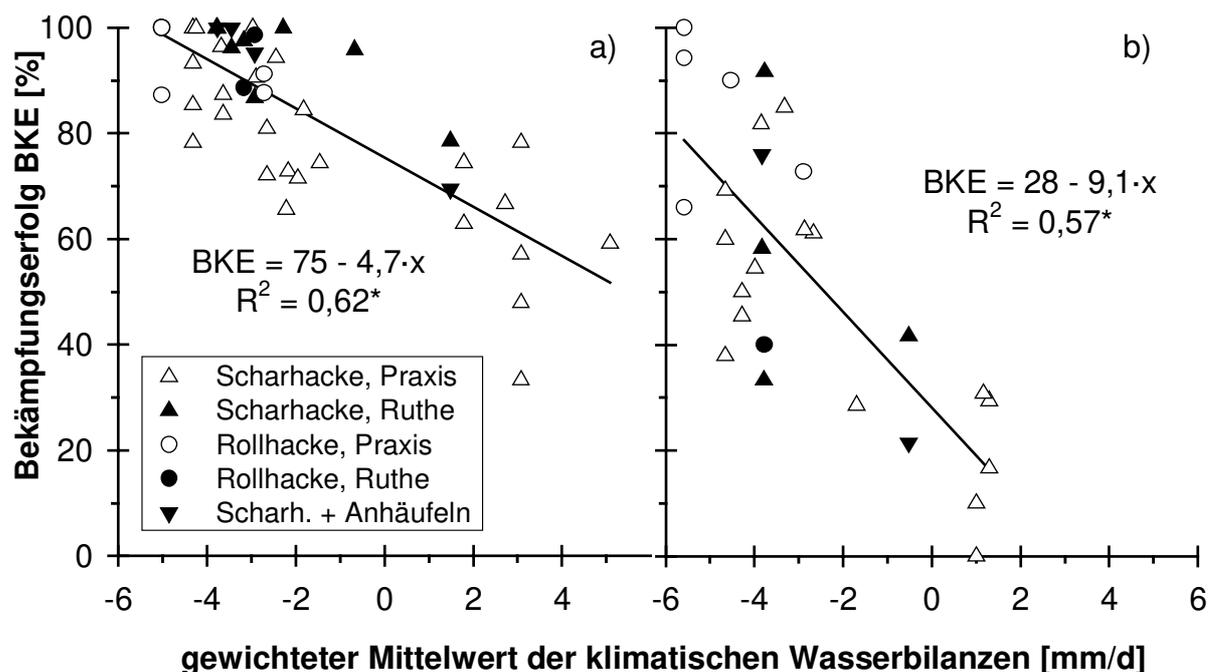


Abb. 4.9: Bekämpfungserfolg (BKE) hackend arbeitender Geräte **zwischen den Reihen** bei Unkräutern mit bis zu einem Nodus (a) bzw. > 4 Nodi (b); Abhängigkeit vom (entsprechend Tab. 4.8) gewichteten Mittelwert der klimatischen Wasserbilanz des Vor- und Hacktags.

Bei den großen Unkräutern zeigte sich besonders unter günstigen Witterungsbedingungen eine relativ große Streuung der gefundenen BKE. Eine Ursache hierfür dürften nicht bekämpfte, in den ungejäteten Varianten nicht beseitigte Unkräuter gewesen sein, die bis zu den letzten Hackterminen eine Größe erreicht hatten, die mit zum Teil mehr als 20 cm Höhe deutlich von der 'normalen' Größe in dieser Klasse abwichen. Läßt man von daher die Ergebnisse der dritten und vierten Hackgänge der ungejäteten Varianten außer Acht, so zeigt sich bei nahezu unverändertem Verlauf der Regressionsgeraden eine geringere Streuung ( $R^2 = 0,67$ ).

Ein weiterer Grund für den gegenüber dem Phaceliaversuch lockereren Zusammenhang zwischen der Witterung und dem erreichten BKE ist in den Witterungsdaten selbst zu suchen: Für die Praxisflächen lagen überwiegend nur Verdunstungswerte nach HAUDE vor, die auf Grund der "Zufälligkeit des Mittagswertes des Sättigungsdefizits" (WENDLING 1991) zum Teil stark von den genaueren Berechnungen nach PENMAN-MONTEITH abweichen können (vgl. Abb. 2.2, Seite 22). Darüber hinaus lagen die Wetterstationen teilweise mehr als 20 km von den Praxis schlägen entfernt, so daß vor allem die Niederschlagswerte von den tatsächlichen Gegebenheiten abweichen können.

Unter Einbeziehung der Unkrautgröße und dessen Wechselwirkung mit der Wasserbilanz des Hacktages (Wechselwirkung mit der Vortagesbilanz nicht signifikant) ließen sich auch Modelle über alle Unkrautgrößen berechnen (Tab. 4.9, Abb. 4.10). Dabei zeigte sich für einen durchschnittlichen Hacktag (Wasserbilanz -2 mm/d) eine Abnahme des BKE von rund 7%-Punkte je Nodi zunehmender Unkrautgröße. Dieser Wert liegt, auch unter Anrechnung einer Umrechnung der Nodi- in eine Blattanzahl (Faktor < 2), höher als bei den Versuchen von KOCH (1959) (vgl. Abb. 3.3, Seite 35).

Tab. 4.9 Bekämpfungserfolg **zwischen den Reihen** (berechnet aus der Summe der Unkräuter aller Blöcke) in Abhängigkeit von der klimatischen Wasserbilanz [mm/d] am Vor- und Hacktag sowie der Unkrautgröße [Nodi].

	Parameterwerte				R <sup>2</sup>	n
	b <sub>0</sub>	Vortag	Nodi	Nodi×Hacktag		
<b>nur Scharhacke</b>						
Praxis	82	-2,8	-8,4	-0,7	0,66*	72
Praxis u. Ruthe	85	-2,9	-8,8	-0,7	0,64*	89
<b>alle Hackgeräte</b>						
Praxis	83	-2,8	-9,3	-1,1	0,67*	89
Praxis u. Ruthe	86	-2,9	-9,5	-1,0	0,65*	120
<b>alle Geräte</b>	83	-2,4	-8,1	-1,1	0,49*	135

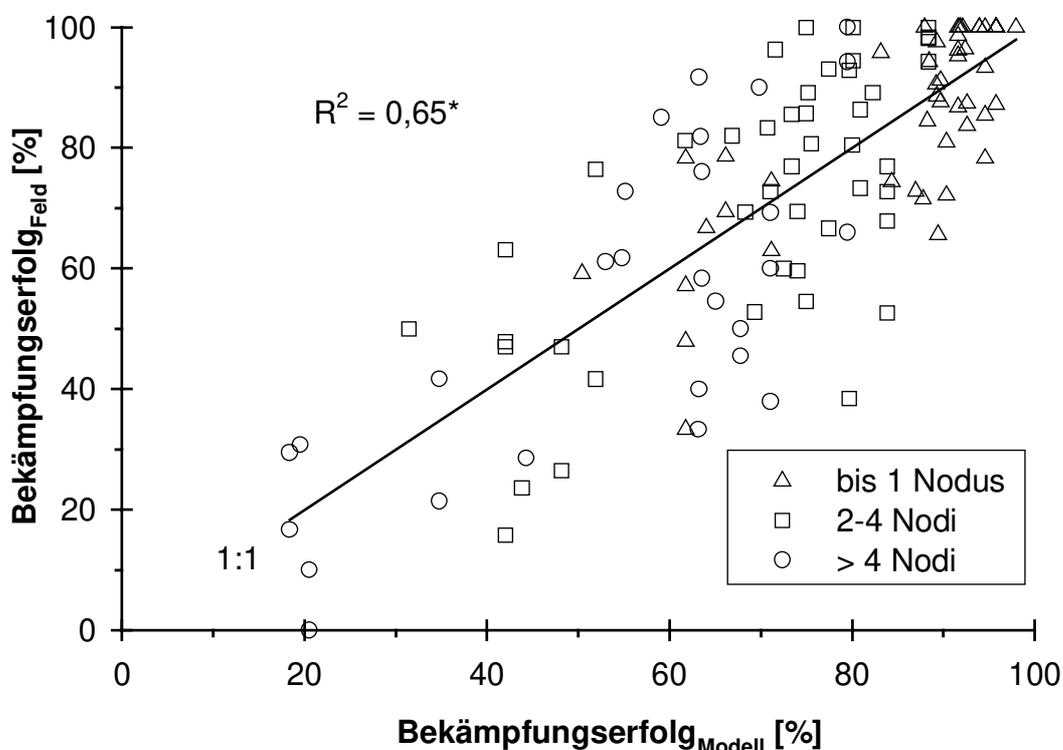


Abb. 4.10: Beziehung des mit einem multiplen Regressionsmodell berechneten Bekämpfungserfolges hackend arbeitender Geräte **zwischen den Reihen** zu den im Feld gefundenen Ergebnissen (Praxis- und Versuchsdaten).

### 4.3.2 Bekämpfungserfolg im Reihbereich

Die Hackmaßnahmen zeigten im Reihbereich naturgemäß kaum eine Bekämpfungswirkung. Daß dennoch BKE von zum Teil über 40% erreicht wurden, könnte auf

- ein Nichtübereinstimmen des Auszählungsbereichs mit dem tatsächlich unbearbeiteten Reihbereich und
- eine Häufelwirkung und damit Verschüttung von Unkräutern beruhen.

Prinzipiell zeigte sich, daß die Breite des gewählten Auszählungsbereichs von 10 cm die tatsächlichen Gegebenheiten im allgemeinen gut widerspiegelte. Lediglich Betrieb B stellte bei den ersten beiden Hackgängen die Hohlschutzscheiben, die zudem durch Schrägstellen Unkräuter in den Zwischenreihbereich transportierten, auf eine lichte Weite von 5-6 cm ein. Diese erklärt die überdurchschnittlich hohen BKE der zweiten Hackgänge in den Möhren- und Zwiebeln auf diesem Betrieb.

Generell können durch Steuerausschläge die Hackwerkzeuge auch im eigentlich unbearbeiteten Sicherheitsstreifen zur Wirkung kommen, so daß die Deckung von Auszählungs- und unbearbeiteten Reihbereich nicht immer gewährleistet werden kann. Theoretisch ergibt sich bereits bei einer Verschiebung der Werkzeuge um 2 cm und einem BKE im Arbeitsbereich von 80% ein BKE im definierten Reihbereich von 16%, so daß auch bei größeren Unkräutern höhere BKE erklärlich sind.

Durch Bearbeitung mit der Scharhacke wurde auch bei späteren Hackgängen nahezu keine Erde in den Reihbereich transportiert, so daß die häufig geäußerte Aussage, daß durch eine schnelle Fahrweise eine leichte Häufelwirkung erzielt werden kann (DIERAUER und STÖPPLER-ZIMMER 1994, WEBER 1997) zu relativieren ist. Wirksame Häufelhöhen von einigen Zentimetern (vgl. Kap. 3, Seite 28) konnten nur mit entsprechend eingestellter Rollhacke oder Häufelkörpern erzielt werden. Sicherlich hätten auch an den Hackscharen befestigte Flacheisen, wie von VAN DER WEIDE und WIJNANDS (1993) beschrieben, den Häufeleffekt verbessert.

Lineare Regressionsmodelle mit den Faktoren Häufelhöhe sowie der klimatischen Wasserbilanz des Hacktags und des Vortags (Ruthe: Bodenfeuchte) zeigten bei ausschließlicher Betrachtung der Praxisdaten nur einen lockeren Zusammenhang zwischen der Wasserbilanz am Hacktag und dem erreichten BKE auf (Tab. 4.10). Auch bei Nichtberücksichtigung negativer BKE bei den kleinen Unkräutern verbesserte sich die Beziehung bei dieser Unkrautgröße nicht. Die Häufelhöhe zeigte keine

deutliche Wirkung, was angesichts der geringen Spanne und der methodischen Probleme bei der Erfassung erklärlich ist. Modelle auf Basis der Versuchsdaten aus Ruthe weisen dagegen auf eine enge Beziehung des erreichten BKE im Reihenbereich zur Häufelhöhe hin. Dabei ergaben sich bei den Hackgeräten für kleine und mittlere Unkräuter ähnliche Modelle, die sich zusammenfassen ließen (Abb. 4.11).

Tab. 4.10 Beziehung des Bekämpfungserfolges **in den Reihen** zur klimatischen Wasserbilanz am Hacktag (KWB) [mm/d] und zur Häufelhöhe [cm].

Unkrautgröße [Nodi]	Praxisflächen				Versuchsflächen Ruthe					
	b <sub>0</sub>	KWB	Höhe	R <sup>2</sup>	n	b <sub>0</sub>	KWB	Höhe	R <sup>2</sup>	n
<b>alle Hackgeräte<sup>1</sup></b>										
bis 1	-20	-10,3	n.s.	0,41*	32	23	n.s.	13,7	0,87*	9
2-4	10	-3,7	n.s.	0,21*	31	13	n.s.	14,4	0,77*	9
> 4	—	n.s.	n.s.	—	22	-6	n.s.	16,9	0,80*	8
<b>alle Geräte</b>										
bis 1						30	n.s.	13,3	0,60*	12
2-4						18	n.s.	13,7	0,71*	13
> 4						23	-1,8·W <sub>gw</sub> <sup>2</sup>	14,3	0,77*	13

1: ohne Striegelvarianten, inklusive Anhäufeln  
 2: gravimetrischer Bodenwassergehalt [Gew.-%]

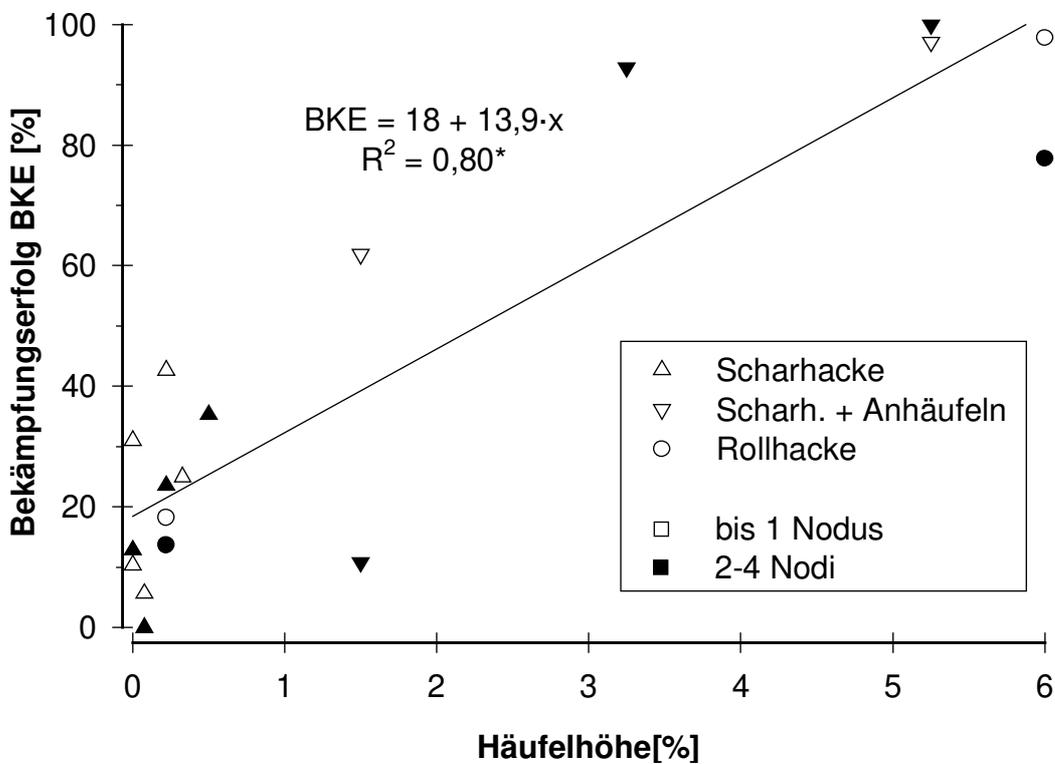


Abb. 4.11: Bekämpfungserfolg hackend arbeitender Geräte bei kleinen und mittleren Unkräutern **in der Reihe** in Abhängigkeit von der erreichten Häufelhöhe (Daten der Versuchsstation Ruthe).

Nach dem Modell sind BKE von 75% erst bei einer Häufelhöhe von rund 4 cm zu erwarten, was im Vergleich zu den Ergebnissen von HABEL (1954), KOCH (1959), KEES (1962), TERPSTRA und KOUWENHOVEN (1981), die bereits bei Verschüttungshöhen von 2 cm BKE von über 75% feststellten, als relativ mäßiger Erfolg erscheint. Allerdings ist zu berücksichtigen, daß Häufel- und Verschüttungshöhe keineswegs gleichzusetzen sind, da insbesondere größere Unkräuter nach einer Erdbedeckung auch aufrecht stehen bleiben und so im oberen Bereich einer geringeren bzw. keiner Verschüttung unterliegen. Zudem wurde die Häufelhöhe in der Mitte des Reihenbereichs gemessen, zu den Randbereichen hin fiel sie ab.

Daß auch bei Unkräutern mit  $> 4$  Nodi eine enge Beziehung des BKE zur Häufelhöhe gefunden wurde, beruht in erster Linie auf zwei relativ hohen BKE beim Möhrenversuch 1996 in Ruthe. Hier trat fast ausnahmslos nur Einjährige Rispe auf, die zwar entsprechend der Unkrautgrößenklasse bestockt, aber nur wenige Zentimeter hoch war und so zu hohen Prozentsätzen verschüttet werden konnte. Auf die durchschnittliche Unkrautflora, die zu diesem Entwicklungsstadium häufig bereits eine Höhe von deutlich mehr als 5-6 cm erreicht hatte, ist dieses Ergebnis keinesfalls übertragbar.

Der geringe Einfluß der Witterung bzw. der Bodenfeuchte auf den BKE beim Häufeln deckt sich mit den Ergebnissen des Modellversuch von TERPSTRA und KOUWENHOVEN (1981), die sogar einen leicht gesteigerten Erfolg bei einem simulierten Niederschlag von 4 mm ermittelten. Prinzipiell dürfte dieser geringe Einfluß auch für das Bekämpfungsergebnis beim Blumenkohlversuch gegolten haben. Daß hier trotzdem eine deutliche Verminderung des BKE durch die Beregnung von 8 mm eintrat, ist in erster Linie auf ein methodisches Problem zurückzuführen: Bei den im Reihenbereich nach der Häufelmaßnahme ausgezählten Unkräutern handelte es sich fast nur um auf der Dammoberfläche liegende, durch die Beregnung oberflächlich eingeschlammte Pflanzen, die offensichtlich mit der Erde aus dem Zwischenreihen- in den Reihenbereich transportiert worden waren. Die ehemals vorhandenen Unkräuter waren auch unter diesen Bedingungen vollständig verschüttet. Daher sollte bei zu erwartenden Niederschlägen nur dann angehäufelt werden, wenn der Zwischenreihenbereich durch vorherige Regulationsmaßnahmen nahezu unkrautfrei ist.

Neben den Häufelmaßnahmen führte ein Striegeln des Reihenbereichs zu einer deutlichen Wirkungssteigerung gegenüber der Scharhacke. Allerdings konnte zumeist im Reihenbereich bei weitem nicht ein BKE wie im Zwischenreihenbereich erreicht werden, was sich mit den Ergebnissen von ESTLER (1992) und BAUMANN (1994) deckt. Die Einbeziehung der Striegelvarianten in die Regressionsmodelle (Tab. 4.10: 'alle Geräte') führte zu einer Abnahme der Güte der Beschreibungen. Dieses ist angesichts der Arbeitsweise des Striegels verständlich: Zwar kommt es beim Striegeln ebenfalls zum Verschütten der Pflanzen (HABEL 1954, KOCH 1959, KEES 1962), es erfolgt aber bei ebenem Boden netto kein als Häufelhöhe meßbarer Erdtransport aus dem Zwischenreihen- in den Reihenbereich. Vielmehr wird der Boden nur im Bereich jedes einzelnen Zinkens durchwühlt und damit vor allem kleinere Unkräuter verschüttet und herausgezogen. Eine Witterungsabhängigkeit der Bekämpfungswirkung beim Striegeln ist zu erwarten (vgl. WILDFELLNER 1990), Regressionsmodelle konnten aber auf Grund zu geringem Datenmaterials nicht berechnet werden.

### **Schlußfolgerungen**

Die Ergebnisse der Praxiserhebungen und Feldversuche bestätigen die bereits beim Hacktiefenversuch (Kap. 3, Seite 28) diskutierte Bedeutung der pflanzenverfügbaren Wassermenge und deren Verbrauch durch Evapotranspiration für den BKE im Arbeitsbereich hackend arbeitender Geräte. Daher sollten für Hackmaßnahmen möglichst nicht nur, wie häufig in der Literatur angegeben, Tage ohne Niederschläge sondern Tage mit einer möglichst hohen Verdunstungsrate genutzt werden, da nur so hohe BKE insbesondere bei größeren Unkräutern zu erwarten sind. Der Boden selbst sollte durch vorangegangene trockene Witterung nur einen geringen Feuchtegehalt aufweisen.

Roll- und Scharhacke erwiesen sich als gleichermaßen brauchbare Hackgeräte, wenngleich die Rollhacke, für Kulturen wie Mais und Kartoffel entwickelt, bei zunächst sehr kleinen Kulturpflanzen wie Möhren und Zwiebeln etwas 'grob' arbeitet und eher suboptimale Arbeitsgeschwindigkeiten einzuhalten sind. Der Striegel verbesserte als 'Nachläufer' den BKE und kann, da insbesondere bei geringer Arbeitsgeschwindigkeit keine Schäden zu erwarten sind (vgl. Kap. 6, Seite 92), ab einer Kulturpflanzengröße von ca. 5 cm eingesetzt werden.

Mit zunehmender Unkrautgröße zeigten alle Geräte eine abnehmende Bekämpfungswirkung. Inwieweit dieses bei der Scharhacke auch auf ein unsicheres Durchtrennen größerer Pflanzen im Randbereich der Gänsefußschare beruht, kann nicht geklärt werden. Winkelmesser versprechen hier, im Übergangsbereich vom bearbeiteten Zwischenreihen- zum unbearbeiteten Sicherheitsbereich eine Verbesserung (VAN DER WEIDE und WIJNANDS 1993), allerdings bergen sie, zumindest in der Ausführung als Nasenschar, ein höheres Risiko von Hackschäden bei Steuerabweichungen als die Kombination von Gänsefußschar und Hohlschutzscheibe (ISENSEE 1966).

In der Reihe kann eine Unkrautbekämpfung nur durch Verschütten und Herausreißen kleinerer Unkräuter erreicht werden. Um das dazu notwendige Anhäufeln von einigen Zentimetern, Striegeln oder auch Bearbeiten mit Finger- oder Torsionshacke durchführen zu können, müssen die Kulturpflanzen eine gewisse Größe erreicht haben (vgl. Kap. 6, Seite 92). Bis dahin können bei Säukulturen leicht einige Wochen vergehen, ein Zeitraum, in dem auch die Unkräuter nur allzu leicht über das Stadium herauswachsen, das noch wirkungsvoll bekämpft werden kann.

## 5 Ertragswirksamkeit der Restverunkrautung

*Abstract: Um Ertragsverluste zu vermeiden, müssen Gemüsekulturen während der 'kritischen Periode' mehr oder weniger unkrautfrei gehalten werden. Während im Zwischenreihenbereich dieses Ziel mit mechanischen Regulationsmaßnahmen durchaus erreicht werden kann, ist der Bekämpfungserfolg im Reihbereich der Kulturpflanzen häufig unzureichend. Die hier verbleibenden Unkräuter können bei konkurrenzschwachen Kulturen zu hohen Ertragsausfällen führen.*

*Auch in den vorliegenden Untersuchungen an Möhren und Zwiebeln wurde das Ziel, unkrautbedingte Ertragsverluste durch einen rechtzeitigen und ausreichend hohen Regulationserfolg zu verhindern, mit thermischer und mechanischer Unkrautregulation im allgemeinen nicht erreicht.*

*Es zeigte sich, daß bei Zwiebeln bereits wenige nicht bekämpfte Unkräuter pro m<sup>2</sup> zu einem Totalausfall führen können. Möhren blieben auch bei weit- aus höheren Unkrautdichten bestandesdominierend. In einem Versuch mit gepflanztem Blumenkohl trat keine Unkrautkonkurrenz auf.*

### 5.1 Einführung

Der Bekämpfungserfolg mechanischer Unkrautregulationsmaßnahmen liegt, auch nach mehrmaliger Anwendung, häufig unter 90% (vgl. Tab. 9.4 und Tab. 9.5, Anhang). Insbesondere im Reihbereich der Kulturpflanzen, der bei den hackend arbeitenden Unkrautbekämpfungsverfahren (Schar- und Rollhacke, Hackbürste, Reihenfräse etc.) nicht direkt bearbeitet werden darf, ist der Bekämpfungserfolg meist unzureichend. Da dieser unbearbeitete Bereich zum Teil über 30% der Gesamtfläche einnimmt (Tab. 5.1), können auch bei einer im Zwischenreihenbereich ausreichenden Unkrautbekämpfung relativ viele Unkräuter im Bestand überleben.

Tab. 5.1: Breite des unbearbeiteten Reihbereichs in Versuchen zur mechanischen Unkrautbekämpfung mit hackend arbeitenden Geräten.

Kultur	Geräte	Reihen- abstand [cm]	unbearbeiteter Bereich		Quelle
			Breite* [cm]	Flächen- anteil [%]	
Erbse +	Scharhacke	25	13	52	RASMUSSEN 1992
	Hackbürste	25	8	32	
Ackerbohne	Scharhacke	25	16	36	RASMUSSEN 1993a
Möhre	Scharhacke	50	5-12	10-24	ASCARD und MATTSSON 1994
	Hackbürste	50	5-10	10-20	
+ Zwiebel	Scharhacke	30	12	40	BAUMANN u. SLEMBRO '94
	+ Rollhacke	33-50	ca. 12	20-33	eigene Praxiserhebungen
Petersilie	Scharhacke	25	12	48	GEYER et al. 1991
Zwiebel	Scharhacke	50	5-12,5	10-25	MELANDER u. HARTVIG '97

\* = Abstand zwischen den Hackscharen; bei Hackbürste = Breite des Schutztunnels

So konnte in vielen, überwiegend mit landwirtschaftlichen Kulturen durchgeführten Versuchen das Ertragsniveau der herbizidbehandelten Vergleichsvariante bei mechanischer Unkrautregulierung nicht erreicht werden (Abb. 5.1 und Tab. 9.7, Anhang). Häufig zeigten sich bei mechanischer Regulation ähnliche hohe Ertragsverluste wie in gänzlich unbehandelten Beständen.

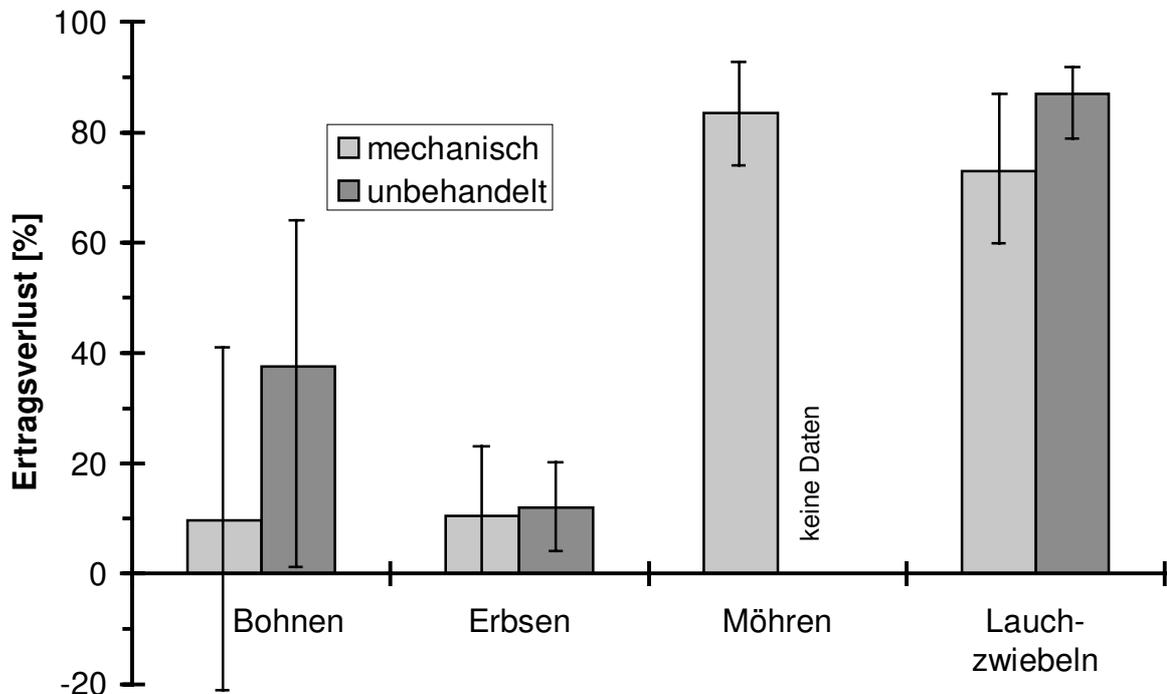


Abb. 5.1: Ertragsverluste verschiedener Kulturen bei mechanischer bzw. unterlassener Unkrautbekämpfung gegenüber ganzflächiger Herbizidbehandlung (Daten nach Tab. 9.7, Anhang); I: Variationsbreite.

Die in Abb. 5.1 aufgezeigten Ertragsreaktionen können allerdings nicht nur auf eine unterschiedliche Restverunkrautung in den mechanisch bzw. chemisch behandelten Varianten zurückgeführt werden. So sind bei der Anwendung von Herbiziden auch Wirkungen auf die Kulturpflanze nicht auszuschließen. Insbesondere aber bei den mechanischen Verfahren können die Kulturpflanzen- und Standortwirkungen (wie Pflanzenschäden/-verluste und Bodenlockerungseffekte, vgl. Kap. 6, Seite 92) die Erträge beeinflusst haben.

Einige Versuchsansteller führten auch in Herbizidvarianten mechanische Unkrautregulationsmaßnahmen durch bzw. beseitigten die Unkräuter in den bearbeiteten Kontrollvarianten durch Handhacke und Jäten. Unter der Annahme nicht vorliegender Herbizidschäden bzw. manuell verursachter Schäden sind so Ertragsunterschiede nur auf eine unterschiedliche Restverunkrautung insbesondere im Reihen

bereich zurückzuführen (Abb. 5.2 und Tab. 9.8, Anhang). Die hier auch für einige Gemüsearten vorliegenden Ergebnisse zeigen, daß die vor allem im Reihenbereich nicht bekämpften Unkräuter zu Ertragsausfällen führen können, die in ähnlicher Größenordnung wie bei unterlassener Unkrautbekämpfung liegen (vgl. Abb. 1.1, Seite 1 und Tab. 9.1, Anhang).

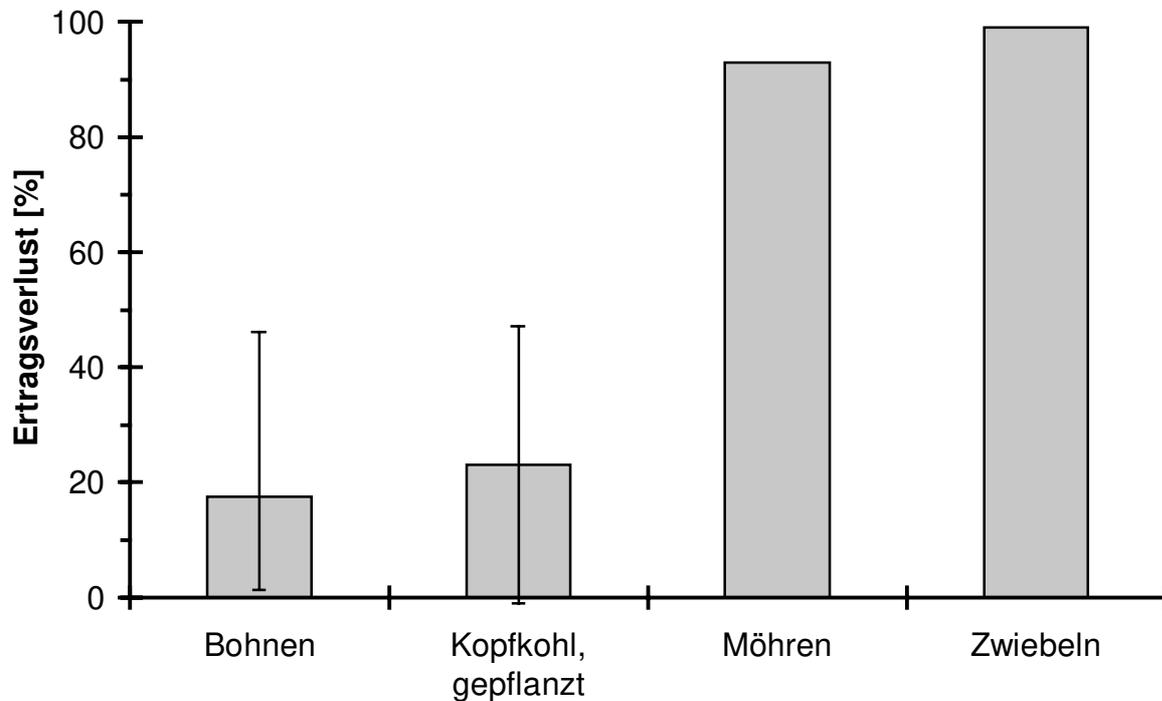


Abb. 5.2: Ertragsverluste verschiedener Gemüsearten durch die Restverunkrautung nach Hackmaßnahmen im Zwischenreihenbereich (Daten nach Tab. 9.8, Anhang); I: Variationsbreite.

Um Ertragsverluste zu vermeiden, müßten Regulationsmaßnahmen die Unkrautpopulation auf eine Dichte reduzieren, von der keine negativen Effekte mehr ausgehen. Andererseits ist eine Bekämpfung nur sinnvoll, wenn der wirtschaftliche Nutzen einer Regulationsmaßnahme (höherer Ertrag, geringere Verunkrautung in Folgekulturen) über den Kosten der Maßnahme liegt. So wurden für wichtige landwirtschaftliche Kulturen dichte- bzw. deckungsgradbezogene Schadensschwellen ermittelt, unterhalb derer der Einsatz von Herbiziden nicht wirtschaftlich ist (Zusammenfassung bei BÖRNER 1995). Für Gemüsekulturen liegen derartige Schadensschwellen nicht vor.

Nach den vorliegenden Ergebnissen zum Ertragsausfall bei unterlassener Unkrautbekämpfung (vgl. Tab. 9.1, Anhang) erscheinen dichtebezogene Schadensschwellen zumindest für Säukulturen auch wenig sinnvoll, da hier nur selten Ertrags

verluste von weniger als 10% beobachtet wurden. In den meisten Fällen liegen sie deutlich höher, so daß eine Bekämpfung wirtschaftlich sinnvoll gewesen sein dürfte. SHADBOLD und HOLM (1956) beobachteten bei Möhren, Zwiebeln und Roter Bete selbst bei einer Reduktion der Verunkrautung auf 50% der Ausgangsdichte und einer vollständigen Entfernung nach rund vier Wochen Ertragsverluste von 12% (Möhre), 44% (Zwiebel) und 58% (Rote Bete). Eine Verminderung auf 15% der Ausgangsdichte führte noch zu Verlusten von 25% (Zwiebel) bzw. über 10% (Möhre, Rote Bete). Die Ausdehnung der Verunkrautungsperiode auf ca. sechs Wochen hatte bei Zwiebeln, relativ unabhängig von der Unkrautdichte, Ertragsverluste im Bereich von 90% zur Folge, bei Möhren und Roter Bete traten Verluste von maximal 60% auf.

BOND (1991) fand in seinen umfangreichen Untersuchungen an verschiedenen Säkulturen bei Unkrautdichten unter ca. 100 Pflanzen/m<sup>2</sup> (genauer Zeitpunkt der Unkrautzählung nicht angegeben) Ertragsverluste in der Spanne von 0-100%. Bei Möhren trat eine derartige Spanne bereits bei Dichten unter 20 Unkräutern/m<sup>2</sup> auf (Abb. 5.3, a). Auf Grund dieser hohen Variation beurteilt der Autor die Entwicklung von dichtebezogenen Schadensschwellen für Gemüsekulturen ebenfalls als wenig aussichtsreich.

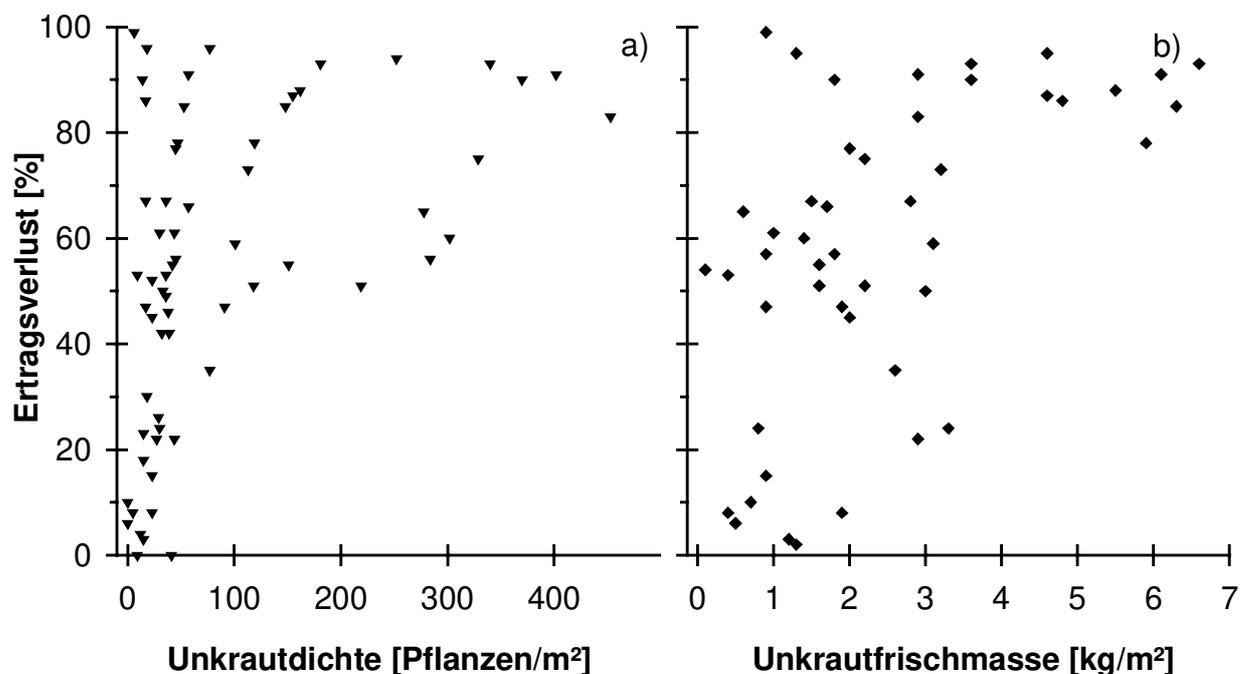


Abb. 5.3: Ertragsverluste von Möhren in Abhängigkeit von der Unkrautdichte während der Kulturzeit (a) und der Unkrautfrischmasse zum Erntezeitpunkt (b) (verändert nach BOND 1991).

Diesem Sachverhalt tragen zeitbezogene Schadensschwelen Rechnung (ROBERTS 1976, DAWSON 1986), die, unabhängig von der Unkrautdichte, angeben, wann bzw. wie lange ('kritische Periode') ein Bestand vollständig unkrautfrei sein sollte. Wenn gleich Untersuchungen zu zeitbezogenen Schadensschwelen nur in ganzflächig verunkrauteten Beständen durchgeführt wurden, dürften die Ergebnisse auch auf jene Fälle übertragbar sein, in denen durch mechanische Unkrautregulationsmaßnahmen der Zwischenreihenbereich nahezu unkrautfrei ist.

Nach einer Zusammenfassung verschiedener Versuchsergebnisse beginnt die kritische Periode bei Bohnen, Rote Bete, Möhren und Zwiebeln nach ca. 10-20% der Gesamtkulturzeit und endet nach ca. 30% (Bohne, Rote Bete) bzw. bei Möhren und Zwiebeln nach 50% der Kulturzeit (VAN HEEMST 1985). Allerdings führte schon ROBERTS (1976) an, daß bezüglich der praktischen Umsetzbarkeit Einschränkungen bestehen, da sich die Unkräuter zum theoretisch notwendigen Bekämpfungszeitpunkt für eine erfolgreiche Regulation zu weit entwickelt haben könnten.

So kamen MÜLLER-SCHÄRER und BAUMANN (1993) nach Versuchen in der Schweiz zu dem Schluß, daß die Unkräuter bei den meisten Gemüsekulturen auf Grund nachlassender Bekämpfbarkeit nur bis zum 2-Blattstadium der Kultur bzw. in Pflanzkulturen bis zum 2-Blattstadium der Unkräuter toleriert werden können. Als Ende der einzuhaltenden unkrautfreien Periode, ab dem durch eine Spätverunkrautung keine negativen Ertragseffekte, Ernteerschwernisse und keine Bildung von Unkrautsamen mehr zu erwarten sind, gaben sie je nach Konkurrenzstärke der Kultur die Mitte der Kulturzeit bzw. einen bis zu vier Wochen danach liegenden Termin an.

Ein Zusammenhang zwischen der Unkrautmasse zum Erntezeitpunkt und den damit einhergehenden Ertragseinbußen bestand nach den Ergebnissen von BOND (1991) nur bei Weißkohl und Feuerbohnen. Bei Möhren war dieser Zusammenhang weniger deutlich, hier waren bei Unkrautmassen von  $< 1$  kg Frischmasse/m<sup>2</sup> unabhängig von der Masse Ertragseinbußen von 6- 99% zu verzeichnen (Abb. 5.3, b). Bei Zwiebeln, in denen sich auf Grund ihrer geringen Bestandesdeckung auch zum Ende der Kulturzeit Unkräuter etablieren können, wurden bei 120 g Unkraut-TM/m<sup>2</sup> keine Ertragsverluste gegenüber der unkrautfreien Kontrolle festgestellt (MÜLLER-SCHÄRER et al. 1993).

Ziel der eigenen Untersuchungen war es, die Ertragseffekte der nach ausschließlich thermisch/mechanischer Unkrautregulation verbleibenden Restverunkrautung in Möhren, Zwiebeln und Blumenkohl zu quantifizieren. Darüber hinaus sollte untersucht werden, inwieweit es der Praxis gelingt, unkrautbedingte Ertragsverluste bei ausschließlich physikalischer Unkrautregulation zu vermeiden.

In den Erhebungen auf Praxisschlägen und den Versuchen kam es zu einer Variation der Verunkrautung durch unterschiedliches Jäten (betriebsübliches Jäten, ohne Jäten) und den Einsatz unterschiedlicher Geräte bzw. Gerätekombinationen, mit denen besonders die Verunkrautung im Reihenbereich vermindert werden sollte. Die Höhe dieser Restverunkrautung sollte erfaßt, deren Ertragswirksamkeit durch Ertragsvergleich mit entsprechend bearbeiteten, durch regelmäßiges Jäten unkrautfrei gehaltene Kontrollvarianten bestimmt werden. Ertragswirkungen des Jätens sind auszuschließen, da dieses Jäten sehr vorsichtig durchgeführt wurde. Weitere Einzelheiten zur Versuchsdurchführung siehe Material und Methoden, Seite 7.

## **5.2 Ergebnisse**

### **5.2.1 Unkrautkonkurrenz auf Praxisschlägen**

Bei den Versuchen auf Praxisschlägen konnte sich eine unterschiedliche Restverunkrautung nur durch eine unterschiedliche Intensität der manuellen Unkrautbekämpfung ergeben. Diese wurde in allen Betrieben ausschließlich in Form von Jäten ohne jede Handhacke ausgeführt. Mit dem Jäten wurde im allgemeinen nach der ersten Hacke begonnen. Es wurden ein bis zwei Jätgänge (1995 in Zwiebeln zwei bis drei Jätgänge) durchgeführt. Der Arbeitsaufwand wurde von den Landwirten bei Möhren mit ca. 200, bei Zwiebeln mit 300-400 Akh/ha im Schnitt der Jahre angegeben.

Auf den Zwiebelschlägen des Versuchsjahres 1995 waren die Parzellen der Variante 'ohne Jäten' schon von weitem deutlich an der massiven Verunkrautung zu erkennen. Weniger dramatisch sahen die entsprechenden Möhrenparzellen aus, bei denen im Gegensatz zu den Zwiebeln die Kulturpflanzen im allgemeinen bis zum Ende der Kultur dominierten. Die auf den Praxisschlägen ermittelten Unkrautdichten sind in Tab. 5.2 wiedergegeben.

Tab. 5.2: Unkrautdichten in Möhren und Zwiebeln nach dem letzten Hackgang auf den Praxisschlägen (Mittelwerte über die Blöcke).

Kultur Schlag / Jahr	Unkrautdichte [Pflanzen/m <sup>2</sup> ]					
	ohne Jäten			betriebsübliches Jäten		
	z.d.R.	i.d.R.	gesamt	z.d.R.	i.d.R.	gesamt
<b>Möhren</b>						
Betrieb A 1995	1	14	15	1	10	11
Betrieb B 1995	28	131	159	29	82	111
Betrieb B 1996	—	—	—	8	38	45
Betrieb C 1996	—	—	—	37	48	85
<b>Zwiebeln</b>						
Betrieb A 1995	3 <sup>1</sup>	14 <sup>1</sup>	16 <sup>1</sup>	1	6	7
Betrieb B 1995	6	2	8	6	6	12
Betrieb C 1995	11	28	39	11	12	23
Betrieb B 1996	—	—	—	12	32	44
Betrieb C 1996	—	—	—	9 <sup>2</sup>	23 <sup>2</sup>	32 <sup>2</sup>

1: nach dem 3. Hackgang; 2: nach dem 2. Hackgang

Wie erwartet, befanden sich nach den Hackarbeiten die meisten Unkräuter im Reihbereich der Kulturpflanzen. Im Zwischenreihbereich, der je nach Reihenabstand 70-80% der Fläche einnahm, wurzelten dagegen vergleichsweise wenig Unkräuter. In den betriebsüblich gejäteten Varianten zeigten sich nach dem letzten Hackgang häufig ähnlich hohe Unkrautdichten wie in den ungejäteten Varianten. Es handelte sich aber zumeist um jüngere Stadien bzw. kleiner bleibende Unkräuter, die bei den Jätgängen nicht erfaßt wurden. Leider kann nicht ganz ausgeschlossen werden, daß bei den betriebsüblich gejäteten Varianten nach dem letzten Hackgang nochmals gejätet wurde, doch bildete im allgemeinen die letzte Hacke den Abschluß der Unkrautbekämpfungsmaßnahmen.

Die vor allem im Reihbereich verbliebenen Unkräuter entwickelten bis zur Ernte insbesondere bei den ungejäteten Zwiebeln enorme Unkrautmassen (Tab. 5.3). Bei den Zwiebeln ergab sich in den ungejäteten Varianten das Problem, daß zum Zeitpunkt der Ernte die Unkräuter bereits aussamen bzw. abzusterben begannen. Damit konnte nicht mehr die gesamte Unkrautmasse festgestellt werden. An einem Standort waren bereits die ausgefallenen Unkrautsamen wieder aufgelaufen.

Auch bei betriebsüblicher Pflege der Bestände befanden sich zum Zeitpunkt der Ernte zum Teil über 100 g Unkraut-TM/m<sup>2</sup>, so daß auch hier Ertragsverluste gegenüber den unkrautfreien Vergleichsvarianten auftraten (Tab. 5.4).

Tab. 5.3: Unkrauttrockenmasse zum Erntezeitpunkt der gehackten Varianten auf den Praxisschlägen (Mittelwerte über die Blöcke).

Kultur Schlag / Jahr	Unkrauttrockenmasse [g/m <sup>2</sup> ]					
	ohne Jäten			betriebsübliches Jäten		
	z.d.R.	i.d.R.	gesamt	z.d.R.	i.d.R.	gesamt
<b>Möhren</b>						
Betrieb A 1995	8	141	150	14	16	30
Betrieb B 1995	55	245	300	4	11	14
Betrieb B 1996	—	—	—	10	5	15
Betrieb C 1996	—	—	—	25	86	111
<b>Zwiebeln</b>						
Betrieb A 1995	47	448	495	6	47	53
Betrieb B 1995	21	326	347	28	12	40
Betrieb C 1995	91	573	664	1	4	5
Betrieb B 1996	—	—	—	58	53	112
Betrieb C 1996	—	—	—	4	4	8

Im Mittel der Schläge traten in den ungejäteten Möhren- und Zwiebelbeständen Ertragsverluste von rund 50% bzw. 80% gegenüber den unkrautfreien Vergleichsvarianten auf. Bei betriebsüblicher Pflege waren im Mittel 15% bzw. 18% Ertragsverluste zu verzeichnen, die im Einzelfall bis knapp 30% betrugen. Bei den Möhren waren die Ertragsverluste in den ungejäteten Varianten vor allem auf geringere Mengen an großfallender Ware zurückzuführen (Abb. 5.4).

Tab. 5.4: Frischmasseerträge von Möhren und Zwiebeln der gehackten Varianten auf den Praxisschlägen (Mittelwerte über die Blöcke).

Kultur Schlag / Jahr	Frischmasseertrag						GD <sub>(<math>\alpha &lt; 0,05</math>)</sub> [dt/ha]
	unkrautfrei		ohne Jäten		betriebsüblich		
	[dt/ha]	[%]	[dt/ha]	[%]	[dt/ha]	[%]	
<b>Möhren</b>							
Betrieb A 1995	666 a <sup>1</sup>	100	466 b	70	624 a	94	93
Betrieb B 1995	564 a	100	191 c	34	407 b	72	74
Betrieb B 1996	546	100	—	—	434	79	n.s.
Betrieb C 1996	548 a	100	—	—	443 b	81	12
Mittel		100 a		52 c		82 b	— <sup>2</sup>
<b>Zwiebeln</b>							
Betrieb A 1995	374 a	100	136 b	36	365 a	97	61
Betrieb B 1995	469 a	100	25 b	5	332 a	71	143
Betrieb C 1995	451 a	100	101 b	22	405 a	90	101
Betrieb B 1996	495	100	—	—	362	73	n.s.
Betrieb C 1996	516	100	—	—	455	88	n.s.
Mittel		100 a		21 c		84 b	— <sup>2</sup>

1: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben innerhalb eines Schlags unterscheiden sich signifikant ( $\alpha < 0,05$ )

2: eine gemeinsame GD kann auf Grund ungleichen Stichprobenumfangs nicht berechnet werden

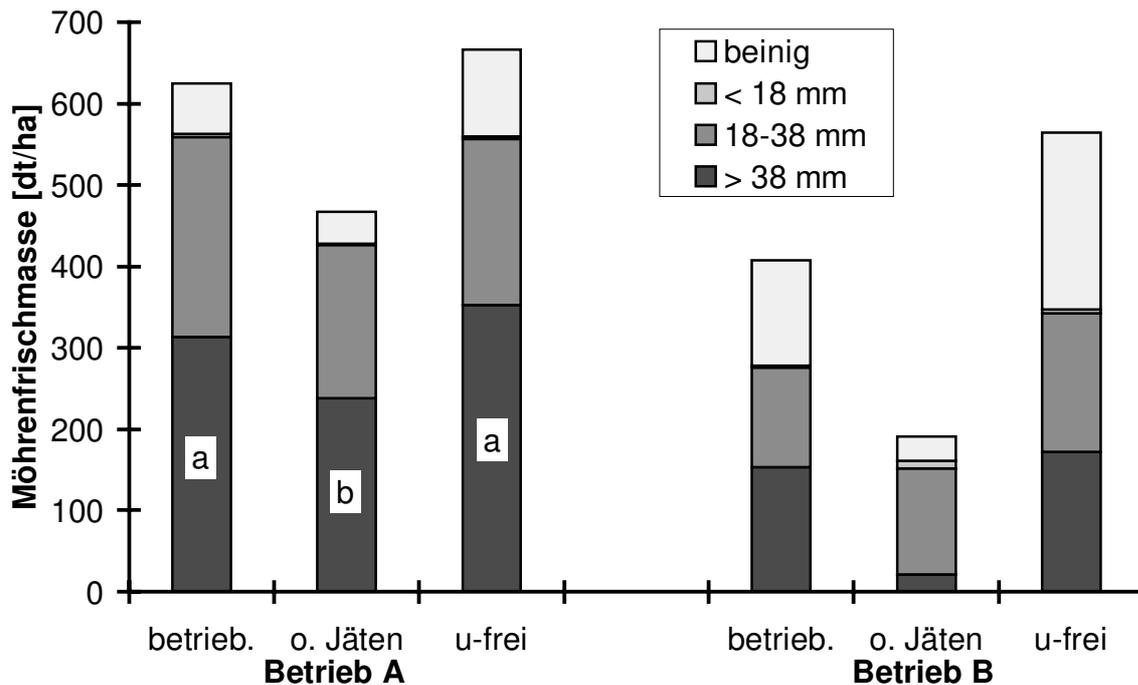


Abb. 5.4: Möhrensortierung (größter Querdurchmesser) auf den Praxisschlägen im Versuchsjahr 1995; Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ( $\alpha < 0,05$ ) (Mittelwerte über die Blöcke).

Auch bei den Zwiebeln führte die Unkrautkonkurrenz vor allem zu deutlich geringeren Mengen an ausreichend großer, vermarktungsfähiger Ware ( $> 40$  mm). Auf zwei Schlägen war der Marktertrag nahezu null. Dickhäuse traten praktisch nicht auf.

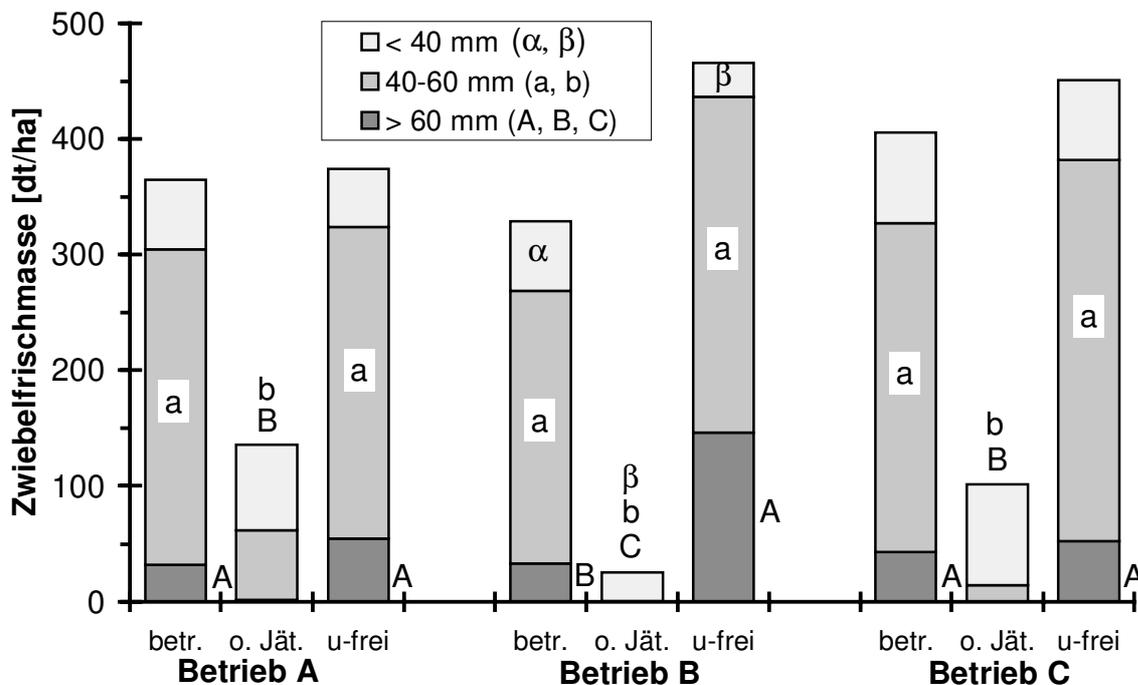


Abb. 5.5: Zwiebelsortierung (größter Durchmesser) auf den Praxisschlägen im Jahr 1995; Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben innerhalb einer Größenklassen eines Schläges unterscheiden sich signifikant ( $\alpha < 0,05$ ) (Mittelwerte über die Blöcke).

### 5.2.2 Unkrautkonkurrenz auf den Versuchsstationen

Bei dem 1995 auf der Versuchsstation durchgeführten Gerätevergleich in Möhren wurde die zunächst dominierende Rote Taubnessel im Verlauf der Kulturzeit nahezu vollständig durch Echte Mehltaupilze (*Erysiphales*) abgetötet. Die verbliebenen, sehr heterogen verteilten Unkräuter bildeten bis zur Ernte durchschnittlich 114 g TM/m<sup>2</sup> (Tab. 5.5).

Im Mittel aller Regulationsvarianten traten Ertragsverluste von 32% bei unterlassenenem Jäten auf, die aber auf Grund der hohen Streuung nur teilweise abgesichert werden konnten. Auffällig waren starke Fraßschäden an den Rüben durch Feldmäuse (*Microtus arvalis*), die sich fast ausschließlich in den ungejäten Varianten zeigten, so daß die Ertragsverluste nicht nur auf die Unkrautkonkurrenz zurückgeführt werden können. Die Ertragsverluste beruhten wiederum auf geringere Mengen an mittel- bis großfallender Ware (Tab. 5.6).

Tab. 5.5: Unkrauttrockenmasse zum Erntezeitpunkt und Möhrenerträge beim Gerätevergleich, Ruthe 1995 (Mittelwerte über die Blöcke).

Variante	Unkrauttrockenmasse			Rübenfrischmasse		
	z.d.R. [g/m <sup>2</sup> ]	i.d.R. [g/m <sup>2</sup> ]	gesamt [g/m <sup>2</sup> ]	unkrautfrei [dt/ha]	ohne Jäten [dt/ha]	relativ [%] <sup>1</sup>
SH / SH	0 (4) <sup>2</sup>	42 (28)	42	707	545	77
SH / SH+	0	122	122	724	524	72
Roll / Roll	89 (19)	88 (24)	177	663	451	68
Roll / Roll+	32	112	145	770	462 *	60
Str / Str	49 (48)	17 (38)	66	746	488 *	65
Kontrolle	26	107	133	714	447	63
GD <sub>(α &lt; 0,05)</sub>	n.s.	n.s.	n.s.			

1: jeweilige unkrautfreie Variante = 100%

2: in Klammern die Unkrautdichte nach dem ersten Hackgang [Pflanzen/m<sup>2</sup>]

\* signifikante Ertragsverluste ( $\alpha < 0,05$ ) gegenüber der jeweiligen unkrautfreien Variante

Tab. 5.6: Möhrensartierung beim Gerätevergleich, Ruthe 1995 (Mittelwerte über die Regulationsvarianten und Blöcke).

Größenklasse	Rübenfrischmasse [dt/ha]		
	unkrautfrei	ohne Jäten	relativ [%] <sup>1</sup>
< 18 mm	4 b <sup>2</sup>	11 a	264
18-38 mm	576 a	414 b	72
> 38 mm	126 a	57 b	45
beinig / geplätzt	14 a	4 b	28

1: unkrautfreie Varianten = 100%

2: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben innerhalb einer Größenklasse unterscheiden sich signifikant ( $\alpha < 0,05$ )

Durch frühes oder später intensives Häufeln konnten in den Möhren am Standort Herrenhausen gute Bekämpfungserfolge erreicht werden. In diesen Varianten entwickelten sich nur ca. 50% der Unkrautmasse der Kontrolle (Tab. 5.7). Hierdurch konnten in diesen Varianten deutliche Ertragsverluste durch die im Reihbereich verbliebenen Unkräuter vermieden werden.

Tab. 5.7: Unkrauttrockenmasse zum Erntezeitpunkt und Möhrenerträge im Häufelversuch, Herrenhausen 1996 (Mittelwerte über die Blöcke).

Variante	Unkrauttrockenmasse [g/m <sup>2</sup> ] <sup>1</sup>	Rübenfrischmasse [dt/ha]		
		unkrautfrei	ohne Jäten	relativ [%] <sup>2</sup>
1. Termin 3 cm	71 bc <sup>3</sup>	364	327	90
2. Termin 3 cm	101 ab	375	306 *	82
2. Termin 6 cm	55 c	335	323	96
Kontrolle	126 a	336	300 *	89

1: im Reihbereich (Zwischenreihenbereich auch in der Kontrolle unkrautfrei)

2: unkrautfreie Varianten = 100%

3: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ( $\alpha < 0,05$ ), GD=44 g/m<sup>2</sup>

\* signifikante Ertragsverluste ( $\alpha < 0,05$ ) gegenüber der jeweiligen unkrautfreien Variante

Auch in dem Häufel- und Striegelversuch in Möhren waren die Zwischenreihenbereiche bei allen bearbeiteten Varianten nahezu unkrautfrei (Tab. 5.8). Mit einem durchschnittlichen Ertragsniveau von 98% der unkrautfreien Vergleichsvarianten führte hier die Restverunkrautung (vor allem Einjähriges Rispengras) nicht zu Ertragsverlusten. In der unbearbeiteten Kontrolle waren dagegen signifikante Verluste auf Grund der Verunkrautung mit rund 100 g TM/m<sup>2</sup> zu verzeichnen.

Tab. 5.8: Unkrauttrockenmasse zum Erntezeitpunkt und Möhrenerträge im Häufel- und Striegelversuch, Ruthe 1996 (Mittelwerte über die Blöcke).

Variante	Unkrauttrockenmasse			Rübenfrischmasse		
	z.d.R. [g/m <sup>2</sup> ]	i.d.R. [g/m <sup>2</sup> ]	gesamt [g/m <sup>2</sup> ]	unkrautfrei [dt/ha]	ohne Jäten [dt/ha]	[%] <sup>1</sup>
SH / SH	4 b <sup>2</sup> (1)	13 (26)	17	621	602	97
SH / SH+	0 b (0) <sup>3</sup>	25 (7)	25	600	622	104
SH+ / SH+	4 b	17	21	595	563	95
SH-Str / SH	0 b	12	12	578	600	104
SH-Str / SH+	2 b	12	14	600	564	94
Str / SH	11 b	23	34	609	594	97
Kontrolle	74 a	22	96	666	538 *	81
GD( $\alpha < 0,05$ )	15	n.s.	24			

1: jeweilige unkrautfreie Variante = 100%

2: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ( $\alpha < 0,05$ )

3: in Klammern die Unkrautdichte nach dem letzten Hackgang [Pflanzen/m<sup>2</sup>]

\* signifikante Ertragsverluste ( $\alpha < 0,05$ ) gegenüber der jeweiligen unkrautfreien Variante

In dem entsprechenden Versuch mit Zwiebeln befanden sich nach der zweiten Hacke im Reihenbereich knapp 50 Unkräuter/m<sup>2</sup> (Tab. 5.9). Die Vorgehensweise, nur den Erdrauch zu jäten, stellte sich schon bald als Fehler heraus, da sich die vor allem im Reihenbereich verbliebenen Unkräuter in ungeahnter Weise entwickelten. So erreichte z.B. die 'Kleine' Brennessel im Laufe der Kulturzeit eine Höhe von 80-100 cm (HANF [1990] gab eine Höhe bis 60 cm, HOLZNER [1981] von 5-20 cm an). Das nicht vorhergesehene Unkrautwachstum führte auch dazu, daß bei der sieben Wochen nach Aussaat der Zwiebeln durchgeführten Unkrautmassebestimmung schätzungsweise nur ca. 50% der später vorhandenen Masse erfaßt wurde.

Die massive Verunkrautung verursachte im Mittel der bearbeiteten Varianten Ertragsverluste von ca. 80% (Tab. 5.9). In der Kontrolle, die bereits zum Zeitpunkt der Unkrauternte über 300 g TM/m<sup>2</sup> enthielt, waren zur Ernte kaum noch Zwiebeln zu finden. Da augenscheinlich in allen ungejäten Varianten keine marktfähige Ware vorhanden war, wurde auf eine Sortierung verzichtet.

Tab. 5.9: Unkrauttrockenmasse sieben Wochen nach Aussaat und Zwiebelerträge im Häufel- und Striegelversuch, Ruthe 1996 (Mittelwerte über die Blöcke).

Variante	Unkrauttrockenmasse			Zwiebelfrischmasse		
	z.d.R. [g/m <sup>2</sup> ]	i.d.R. [g/m <sup>2</sup> ]	gesamt [g/m <sup>2</sup> ]	unkrautfrei [dt/ha]	ohne Jäten [dt/ha]	[%] <sup>1</sup>
SH / SH	6 b <sup>2</sup> (11)	204 (46)	210	407	101 *	25
SH / SH+	0 b	177	177	408	100 *	24
SH+/SH+	12 b (14) <sup>3</sup>	167 (42)	178	391	67 *	17
SH-Str / SH	1 b (4)	240 (48)	241	408	75 *	18
SH-Str / SH+	18 b	220	238	432	80 *	18
Str / SH	6 b (22)	230 (51)	236	379	52 *	14
Kontrolle	214 a	101	315	429	18 *	4
GD <sub>(α &lt; 0,05)</sub>	49	n.s.	n.s.			

1: jeweilige unkrautfreie Variante = 100%

2: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ( $\alpha < 0,05$ )

3: in Klammern die Unkrautdichte nach dem letzten Hackgang [Pflanzen/m<sup>2</sup>]

\* signifikante Ertragsverluste ( $\alpha < 0,05$ ) gegenüber der jeweiligen unkrautfreien Variante

Beim Gerätevergleich in Blumenkohl wurden die sich erst spät entwickelnden Unkräuter insbesondere durch die häufelnd arbeitenden Bekämpfungsmaßnahmen gut erfaßt, so daß nur wenige Unkräuter pro m<sup>2</sup> verblieben. Diese bildeten im Schnitt bis zur Ernte nur ca. 6 g TM/m<sup>2</sup> (Kontrolle ca. 60 g/m<sup>2</sup>), so daß sowohl bei der ersten Ernte als auch beim Gesamtertrag aller drei Erntegänge keine Ertragswirkungen der Restverunkrautung beobachtet werden konnten (Tab. 5.10).

Tab. 5.10: Blumenkohlerträge aller Erntegänge im Gerätevergleich, Ruthe 1996 (Mittelwerte über die Berechnungsstufen und Blöcke).

Variante	Kopffrischmasse <sup>1</sup>			Gesamtfrischmasse <sup>2</sup>		
	unkrautfrei [dt/ha]	ohne Jäten [dt/ha]	[%] <sup>3</sup>	unkrautfrei [dt/ha]	ohne Jäten [dt/ha]	[%] <sup>3</sup>
Scharhacke	333	350	105	691	681	99
Scharhacke+	342	338	99	683	669	98
Rollhacke+	310	330	106	633	652	103
Kontrolle	348	342	98	669	660	99

1: einschließlich Umblatt (marktübliche Aufbereitung)

2: gesamter Aufwuchs (Kopf, Blatt und Strunk)

3: jeweilige unkrautfreie Variante = 100%

Im Mittel der in Ruthe durchgeführten Versuche zeigte sich, daß trotz mechanischer Unkrautregulation in Möhren und Sälzweibeln noch rund 50% bzw. 70% der Unkrautmasse der unbearbeiteten Kontrolle zum Kulturende vorhanden waren (Abb. 5.6). Der Ertragsvorteil bei mechanischer Unkrautregulation gegenüber einem Untlassen der Unkrautbekämpfung lag im Bereich von 5-15%-Punkten.

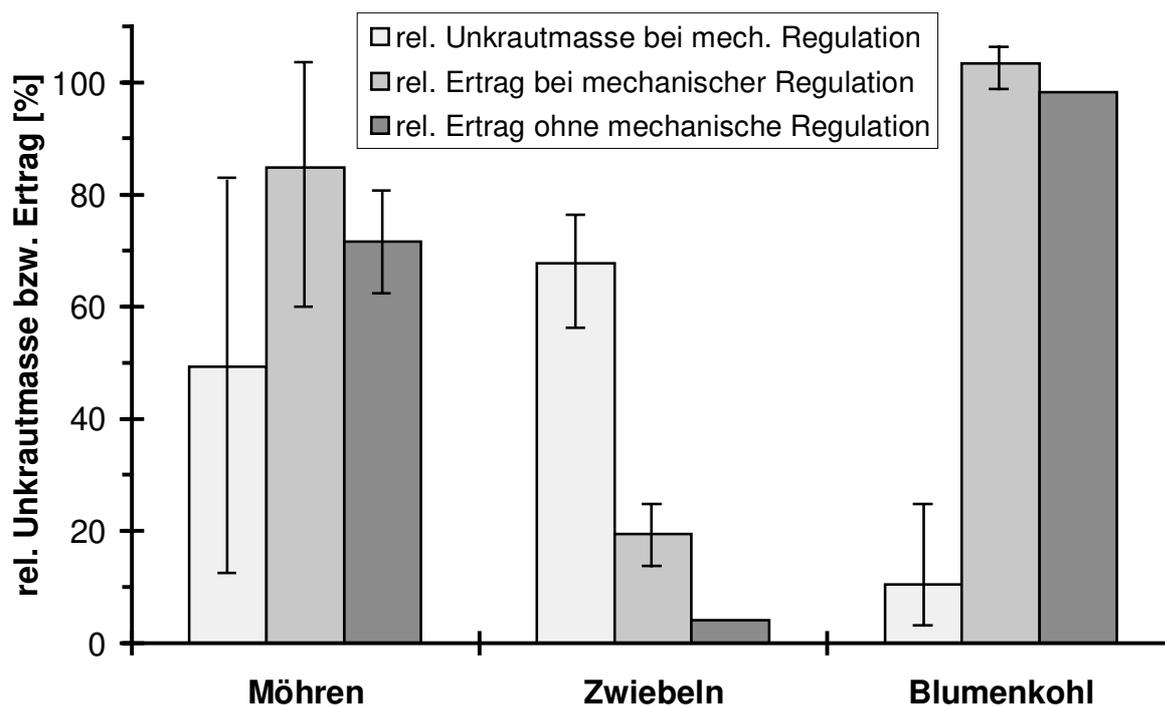


Abb. 5.6: Relative Unkrauttrockenmasse zur Ernte (unbearbeitete Kontrolle = 100%) und relative Erträge (unkrautfrei = 100%) der Versuche in Ruthe (Mittelwerte über die Versuche, I: Variationsbreite).

### 5.3 Diskussion

Um Ertragsverluste durch Unkrautkonkurrenz zu vermeiden, müssen nach dem Konzept der zeitbezogenen Schadensschwellen Gemüsekulturen für eine gewisse Zeitspanne ('kritische Periode') unkrautfrei gehalten werden. Unter praktischen Gesichtspunkten erscheint es allerdings angebracht, den Begriff 'unkrautfrei' zu relativieren, da es vermutlich ausreichen dürfte, wenn in der kritischen Periode die Unkräuter eine bestimmte Größe aber auch Dichte nicht überschreiten.

In den hier vorliegenden Untersuchungen wurde das Ziel, unkrautbedingte Ertragsverluste durch einen rechtzeitigen und ausreichend hohen Regulationserfolg zu verhindern, im allgemeinen nicht erreicht. Bei den konkurrenzschwachen Gemüsearten Möhre und Zwiebel war dies bei rein thermischer und mechanischer Unkrautregulation auch nicht zu erwarten. Anliegen war es hier, durch einen hohen Bekämpfungserfolg den notwendig gewordenen Aufwand zur Beseitigung der Restverunkrautung zu minimieren. Allerdings waren auch bei einem betriebsüblichen Jäten Ertragsverluste gegenüber den unkrautfreien Vergleichsvarianten zu beobachten, so daß auch in diesen Fällen die Unkrautregulation während der kritischen Periode nicht ausreichend gewesen sein dürfte.

Am augenfälligsten war ein zu spätes Jäten auf dem mit einem Ertragsverlust von ca. 160 dt/ha betroffenen Möhrenschatz, wo der dominierende Weiße Gänsefuß ca. sieben Wochen nach der Aussaat bei einer Höhe von teilweise über 60 cm gejätet wurde. Der Blattapparat der Möhren zeigte zu diesem Zeitpunkt noch keine Schäden, entwickelte sich aber in der Folge auf Grund sichtbaren Stickstoffmangels (vermutlich Nährstoffentzug durch die Unkräuter) wesentlich langsamer als in der Kontrolle.

Der gefundene Ertragsausfall bei ausschließlich thermischer Unkrautbekämpfung in Zwiebeln von 96% stimmt mit den in der Literatur genannten Werten bei unterlassenerer Unkrautbekämpfung überein (vgl. Abb. 1.1, Seite 1). Bei den Möhren lag er mit 19% bzw. 37% niedriger als im Durchschnitt der Angaben, was neben der Abflammebehandlung vor allem auf den geringen Unkrautdruck durch die mehrmalige Saatbettbearbeitung zurückgeführt werden kann. Derartige "Unkrautkuren" können nach MÜLLER-SCHÄRER und BAUMANN (1993) die Verunkrautung wesentlich reduzieren. Auch in dem nach mehrmaliger Bodenbearbeitung ausgepflanzten

Blumenkohl entwickelten sich nur wenig Unkräuter. Diese wurden von dem konkurrenzstarken Bestand gut unterdrückt, so daß keinerlei Ertragsverluste auftraten.

Die Ertragsverluste bei ausschließlich thermischer (VA bzw. früher NA) und mechanischer Unkrautregulation lagen bei Möhren zwischen -4% und 66%, bei Zwiebeln zwischen 64% und 95%. Angaben zu Ertragsverlusten der Kulturen bei ähnlichen Regulationsmaßnahmen liegen in der Literatur nicht vor (bei den in Tab. 9.7 und Tab. 9.8, Anhang genannten Versuchen erfolgte keine thermische Unkrautbekämpfung).

Ein Zusammenhang zwischen der Unkrautdichte nach der letzten Hacke und dem Ertragsverlust konnte bei Zwiebeln nicht gefunden werden (Abb. 5.7). Wie in den Versuchen von BOND (1991) mit anderen direkt gesäten Gemüsearten, traten bei geringen Unkrautdichten Ertragsverluste im Bereich von 0% bis annähernd 100% auf. Bei Möhren kann eine gewisse Beziehung zwischen der Unkrautdichte und den eingetretenen Ertragsverlusten vermutet werden, die aber im wesentlichen nur auf einem Versuchsergebnis mit höheren Verlusten beruht.

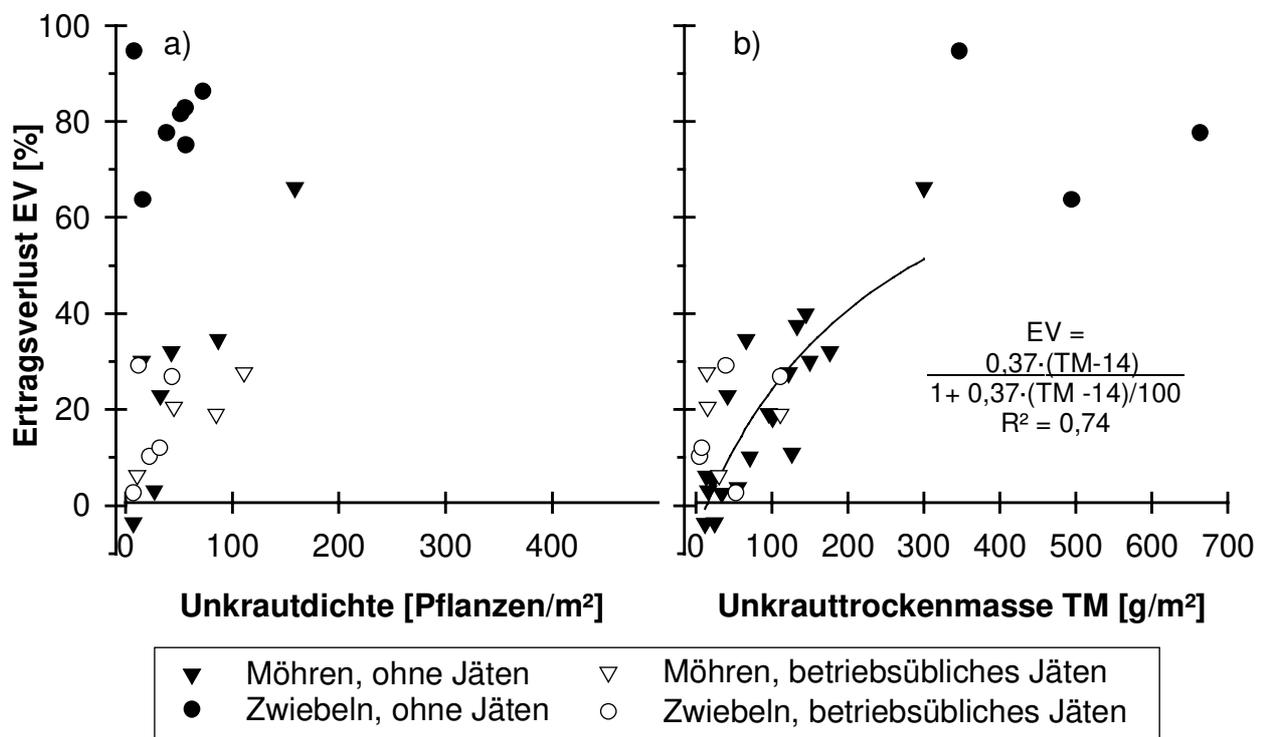


Abb. 5.7: Beziehung zwischen der Unkrautdichte nach dem letzten Hackgang (a) bzw. der Unkrauttrockenmasse (TM) zur Ernte (b) und den Ertragsverlusten (EV) (Daten der Praxiserhebungen sowie der Versuchsstandorte Ruthe und Herrenhausen; Ertragsverlust-Unkrautmasse-Beziehung nur für Möhren der ungejäteten Varianten).

Zwischen der Unkrautmasse zum Erntezeitpunkt und den ermittelten Ertragsverlusten war bei den Möhren ein Zusammenhang zu erkennen (Abb. 5.7), der sich mit Hilfe einer abgewandelten, von COUSENS (1985) ursprünglich für Ertragsverlust-Unkrautdicke-Beziehungen vorgeschlagenen hyperbolischen Funktion der Form

$$EV = \frac{a (TM - TM_{\min})}{1 + a (TM - TM_{\min}) / 100} \quad (\text{Gl. 5-1})$$

beschreiben läßt. Dabei stellt EV den geschätzten Ertragsverlust [%], TM die Unkrautrockenmasse [g/m<sup>2</sup>] und EV<sub>max</sub> den maximalen Ertragsverlust [%; ≤ 100] dar. Der Anpassungsparameter a beschreibt den Ertragseffekt bei Auftreten der ersten Einheit Unkrautrockenmasse. TM<sub>min</sub> wurde zusätzlich in die Gleichung eingeführt und stellt die Unkrautmasse dar, bis zu der kein Ertragsverlust zu erwarten ist.

Aus den Ergebnissen ist zu folgern, daß zur Vermeidung von größeren Ertragsverlusten Möhrenbestände zum Zeitpunkt der Ernte weniger als 20 g Unkraut-TM/m<sup>2</sup> enthalten müssen. Auch die Daten von BOND (1991) deuten darauf hin, daß nur bei einem zur Ernte nahezu unkrautfreien Möhrenbestand Höchstserträge zu erwarten sind. Dieses muß im Sinne zeitbezogener Schadensschwellen durch eine ausreichend lange und intensive Regulation der Unkräuter erreicht werden, so daß sich später keimende Unkräuter nicht mehr entsprechend entwickeln bzw. bei Zwiebeln nicht mehr ertragswirksam werden können. Allein durch thermische und mechanische Regulationsmaßnahmen war dies bei Sommerzwiebeln nicht, bei Möhren nur im Einzelfall möglich.

Ertragsverluste betriebsüblich gejäteter Bestände, die zum Erntezeitpunkt nur eine geringe Verunkrautung aufwiesen, dürften auf ein zu spätes Jäten zurückzuführen sein, das, wie die Ergebnisse zu zeitbezogenen Schadensschwellen in diesen Kulturen zeigen (VAN HEEMST 1985, MÜLLER-SCHÄRER et al. 1993, BOND und BURSTON 1996), schnell zu einem Abfall des Ertrages führt.

## 6 Kulturpflanzen- und Standortwirkungen

*Abstract: Mechanische Unkrautregulationsmaßnahmen können neben der gewünschten Unkrautbekämpfung auch zu Schäden am Kulturpflanzenbestand führen. Demgegenüber wurden aber wiederholt auch positive Ertragswirkungen solcher Bearbeitungsmaßnahmen über die Verminderung der Unkrautkonkurrenz hinaus beobachtet, die insbesondere auf die Bodenlockerung zurückgeführt werden.*

*Ziel der vorliegenden Untersuchungen war es, diese Nebenwirkungen bzw. deren Ertragswirksamkeit am Beispiel der Gemüsekulturen Möhre, Zwiebel und Blumenkohl zu ermitteln. Dieses erfolgte in unkrautfreien Beständen sowohl unter Praxisbedingungen als auch auf dem Versuchsbetrieb, wo speziell Verfahren wie Anhäufeln und Striegeln untersucht wurden.*

*Im Mittel aller durchgeführten Regulationsverfahren traten dabei Pflanzenverluste von 4% auf, wobei die Häufel- und Striegelbehandlungen leicht unter diesem Durchschnitt lagen. Die Erträge der mechanisch bearbeiteten Bestände lagen zwischen 82% und 111% der unbearbeiteten Kontrolle, im Mittel wurden 97% erreicht. In zwei Versuchen mit Möhren konnte durch Anhäufeln ein gesicherter Mehrertrag gegenüber der Kontrolle erzielt werden.*

### 6.1 Einführung

Neben dem gewünschten Effekt der Unkrautbekämpfung können mechanische Unkrautregulationsmaßnahmen zu Kulturpflanzenschäden bzw. -verlusten führen. Dieses gilt insbesondere für solche Maßnahmen, die auch im Reihbereich der Kulturpflanzen wirksam sind wie das Striegeln und Häufeln. Die Ertragswirksamkeit solcher Schäden kann experimentell nicht von den Bodenlockerungseffekten getrennt werden, da sich im Ernteergebnis immer nur der Saldo dieser Wirkungen widerspiegelt.

#### 6.1.1 Schädigung der Kulturpflanzen durch die Regulationsmaßnahmen

Durch die Bearbeitung kann es an den Kulturpflanzen zu Blatt- und Wurzelschäden kommen, bei zu starker Beschädigung stirbt die Kulturpflanze ab. Analog der Unkrautbekämpfung sind folgende Wirkungen möglich (vgl. Abb. 1.2, Seite 5):

- das Verschütten der Kulturpflanzen insbesondere beim Striegeln und Häufeln,
- mechanische Verletzungen des Blattapparates (vor allem durch den Striegel) und
- Wurzelschäden, die im Extremfall zum Vertrocknen der Kulturpflanze führen.

Mechanische Verletzungen könnten darüber hinaus als Eintrittspforten für Pathogene fungieren, so daß es sekundär zu Pflanzenschäden bzw. -verlusten kommen kann.

Wesentliche Einflußfaktoren auf die Höhe der auftretenden Kulturpflanzenschäden sind einerseits die Bearbeitungs- bzw. Verschüttungsintensität, andererseits die Pflanzenempfindlichkeit, die wiederum eine Funktion des morphologischen Aufbaus (Art) und der Größe bzw. des Entwicklungszustandes der Kulturpflanze ist. Bei hackend arbeitenden Unkrautbekämpfungsverfahren, bei denen der Reihbereich der Kulturpflanzen ausgespart werden muß, kann es darüber hinaus durch Steuerfehler zu Pflanzenschäden bzw. -verlusten kommen.

In den vorliegenden Untersuchungen zur mechanischen Unkrautregulation mit hackend arbeitenden Geräten (Schar- und Rollhacke, Hackbürste, Reihenfräse) wurden evtl. aufgetretene Pflanzenverluste nur selten erfaßt (Tab. 9.9 und Tab. 9.10, Anhang). Mit Werten von zumeist deutlich unter 5% waren sie aber auch von untergeordneter Bedeutung. Nur vereinzelt traten Pflanzenverluste von bis zu 15% auf.

Auch bei den Versuchen von ASCARD und MATTSSON (1994), die den unbearbeiteten Bereich bei der Anwendung der Scharhacke und Hackbürste in Möhren auf bis zu 5 cm verringerten (Standard bei der Scharhacke ca. 10 cm, vgl. Tab. 5.1, Seite 76), lagen die Pflanzenverluste in dieser Größenordnung. Um Steuerfehler zu vermeiden, wurde bei den zwei bzw. fünf Wochen nach Auflauf durchgeführten Behandlungen mit ca. 2 km/h allerdings auch relativ langsam gefahren. Tendenziell wurde bei den Versuchen der Anteil beiniger Möhren in zwei von drei Versuchen erhöht, was nach Ansicht der Autoren auf Erdbewegungen infolge des seitlichen Drucks durch die Werkzeuge beruhen könnte. Unterschiede zwischen den verschiedenen Bearbeitungsbreiten waren aber nicht zu erkennen. In einem Fall wurde durch die Maßnahmen der Anteil beiniger Möhren vermindert; die Autoren diskutieren hier als mögliche Ursache eine bessere Durchlüftung des Bodens während der ungewöhnlich feuchten Wachstumsphase. Unter diesen Bedingungen wurden nach der Bearbeitung allerdings auch etliche abgetrennte Seitenwurzeln in der bearbeiteten Bodenschicht (3-4 cm) vorgefunden.

In ähnlichen Versuchen bei Zwiebeln (MELANDER und HARTVIG 1997) traten nur in einem Versuchsjahr Pflanzenverluste von 15% auf, in den anderen beiden Jahren lagen sie trotz der relativ hohen Fahrgeschwindigkeit von 4 km/h um 0%.

Bei Mais zeigte sich dem sowohl im Reihen- wie im Zwischenreihenbereich der gesamten Krume eine Zunahme der Durchwurzelungsintensität nach einer mechanischen Bearbeitung mit maximal 10 cm Tiefe (PRIHAR und VAN DOREN 1967, CHAUDHARY und PRIHAR 1974 und VAN DER WERF et al. 1991). Bei dem Versuch von CHAUDHARY und PRIHAR lag die Wurzelmasse nach einer 5 cm tiefen Hackarbeit auch in 20-60 cm Tiefe über der Kontrolle. Dagegen traten bei VAN DER WERF et al. ab einer Tiefe von ca. 30 cm keine Unterschiede mehr zwischen den Behandlungen auf.

Bei einer Bestimmung der Wurzellängendichte bereits 23 Tage nach der mechanischen Maßnahme (bei den anderen Untersuchungen erfolgte die Wurzelbestimmung [vermutlich] mit größerem zeitlichen Abstand) zeigte sich allerdings eine geringere Dichte in der bearbeiteten Zone (0-5 cm). Diese wurde nur zum Teil durch höhere Wurzellängen in den tieferen Schichten kompensiert, so daß insgesamt die Wurzelldichte in der Krume zu diesem frühen Zeitpunkt nur 92-58% (je nach Abstand von der Maisreihe) der Kontrolle betrug (VAN DER WERF et al. 1991).

Auch in Winterraps zeigte sich bei einer Auszählung in zeitlicher Nähe zur Bearbeitung eine geringere Wurzelldichte in der bearbeiteten Bodenschicht (0-3 cm). Dabei verursachte der Striegel zu einem frühen Anwendungstermin (3-4-Blattstadium) deutlich mehr Schäden als die Scharhacke und Hackbürste. Oberirdisch verursachte die Scharhacke mit 4-7% beschädigter Blattfläche die geringsten Schäden an dem Raps. Die Hackbürste zerstörte bei frühem Einsatz 7%, mit zunehmender Rapsentwicklung 18% der Blattfläche, der Striegel 19%, bei späterem Einsatz 6%. Der Anteil verschütteter Blattfläche nahm mit zunehmender Rapsgröße ab. Überraschenderweise trat in den behandelten Varianten zum Teil ein geringerer Befall mit Wurzelhals- und Stengelfäule (*Phoma lingam*) als in der Kontrolle auf (WAHMHOF 1994).

Bei der Anwendung des Striegels wurden zum Teil sehr hohe Pflanzenverluste beobachtet (Tab. 9.9 und Tab. 9.10, Anhang). Hierbei muß allerdings berücksichtigt werden, daß die Versuchsansteller teilweise sehr intensiv und zu frühen Entwicklungsphasen der Kulturpflanzen striegelten. Maßnahmen, die zu einer Steigerung des Bekämpfungserfolges führten (vgl. Tab. 4.1, Seite 52), erhöhten im allgemeinen auch die Pflanzenverluste bzw. -schäden (Tab. 6.1).

Tab. 6.1: Einflußfaktoren auf die Höhe auftretender Kulturpflanzenverluste bzw. -schäden beim Striegeln in Gemüsekulturen, Zuckerrüben und Raps.

Einflußfaktoren	Wirkung <sup>1</sup>	Kultur	Quelle
<b>Gerät/ Geräteaufbau/ -einstellung:</b>			
Federzahnhack-/ Saatbett- < Netzegge	++	Erbse	RASMUSSEN 1992a, b
VA: Bearbeitung tiefer als 2-3 cm	++	Zuckerrübe	BERTRAM 1966
hoher < geringer Zinken-/Strichabstand	+		
Zinken auf Zug < Zinken auf Stoß	+(+)	Zuckerrübe	WEVERS et al. 1993
<b>Fahrgeschwindigkeit/ -richtung:</b>			
2 < 10 km/h	+ <sup>2</sup>	Zuckerrübe	WEVERS et al. 1993
5 < 9,5 km/h	+	Zuckerrübe	BERTRAM 1966
3 < 6 km/h (0-4 cm / 2-4 cm tief)	++	Zuckerrübe	ASCARD u. BELLINDER 1996
6 km/h, Zinken senkrecht/ 9 km/h, Stoß	○	Zwiebel	MELANDER u. HARTVIG 1995
3 < 6 km/h	+	Zwiebel	ASCARD u. BELLINDER 1996
längs der Reihen < quer zu den Reihen	+	Zuckerrübe	BERTRAM 1966
<b>Einsatzhäufigkeit:</b>			
1 < 2 < 3 < 4 mal an einem Termin	++	Erbse	RASMUSSEN 1993b
14 < 7 Tage zwischen 2 Behandlungen	+	Zwiebel	BAUMANN 1994
<b>Entwicklungsstadium der Kultur:</b>			
VA: Rübenkeim größer 5-10 mm	++	Zuckerrübe	BERTRAM 1966
8-12- < 6-8- < 4-6- < 2-4-Blatt-Stadium	++		
4-6- < 2-4-Blatt-Stadium	++	Zuckerrübe	WEVERS et al. 1993
Frühjahr << 5-7- < 3-4-Blatt-Stadium	+	Winterraps	WAHMHOFF 1994
2-Blatt- < 1-Blatt-Stadium < Auflauf	+	Erbse	RASMUSSEN 1993b
3- / 5- / 3- und 5-Blatt-Stadium	○	Zwiebel	MELANDER u. HARTVIG 1995
Peitschenstadium / 1-Blatt-Stadium	○	Zwiebel	BAUMANN 1994

1: ++ starke Zunahme; + mäßige Zunahme von Verlusten; ○ keine oder geringe Wirkung

2: teilweise höhere Pflanzenverluste bzw. -schäden bei mittleren Fahrgeschwindigkeiten

RASMUSSEN (1990, 1992a, b) untersuchte verschiedene Striegel (Saatbettegge, Netzegge, Federzahnhackegge und Hackstriegel) hinsichtlich ihres Bekämpfungserfolges und der damit verbundenen Schäden an Sommergetreide und Erbsen. Dabei zeigte sich für alle getesteten Geräte ein linearer Zusammenhang zwischen den Kulturpflanzenschäden durch Verschüttung und dem erreichten Bekämpfungserfolg. Die Höhe des Absolutgliedes (Bekämpfungserfolg ohne Kulturpflanzenschäden, im Mittel 28%) und der Steigung (Zunahme des Bekämpfungserfolges je %-Punkt zunehmender Schäden, im Mittel 1,3%-Punkte) wurde nur vom Tag der Behandlung, der Unkrautflora und dem Standort, nicht jedoch vom Gerät beeinflusst. Neben gerätetechnischen Einflußfaktoren ist der Anwendungstermin sehr entscheidend für das Ausmaß von Kulturpflanzenschäden, da größere Kulturpflanzen das Striegeln besser überstehen als kleine Pflanzen (vgl. Tab. 6.1).

Zweifelsohne ist aber insbesondere bei breitblättrigen Kulturpflanzen ab einer bestimmten Blattgröße mit starken Schäden zu rechnen. BERTRAM (1966) beobachtete aber selbst an Zuckerrüben mit einer Höhe von > 20 cm nur geringe Blattschäden, wenn die Durchgangshöhe des Striegels (nicht bei der Netzege) bzw. der Abstand der einzelnen Zinken untereinander (selbst bei einem Strichabstand von 4 cm) ausreichend groß war. In spät gestriegeltem Getreide (voll entwickeltes Fahnenblatt) waren ebenfalls nur geringe Beschädigungen zu verzeichnen (WILDENHAYN 1993).

MELANDER und HARTVIG (1995) setzten den Striegel in 30-35 cm hohen Zwiebelbeständen (fünf vollentwickelte Blätter) ein und verursachten damit, trotz hoher Fahrgeschwindigkeit (bis 9 km/h) nur Blattschäden von ca. 6%. Bei Anwendung des Striegels in 16-20 cm hohen Beständen (drei vollentwickelte Blätter) kam es bei geringer Striegelintensität (6 km/h, senkrechte Zinkenstellung) zu Pflanzenschäden durch Verschüttung in der Größenordnung von 3%, bei höherer Intensität (9 km/h, stoßende Stellung) betrugen sie 21%.

Detaillierte Hinweise zum Einsatz des Striegels in Pflanzgemüsearten gibt STANNEK (1960a, b). Für Möhren und Zwiebeln empfehlen ZANNER (1990) und ZSCHAU (1990) neben VA-Behandlungen Striegelgänge zum 2-Blatt-Stadium der Möhren bzw. ein leichtes Striegeln nach dem Peitschenstadium der Zwiebeln. Nach ZANNER (1990) werden beim Striegeln von Möhren insbesondere "wurzelkranke" Pflanzen herausgerissen, wodurch der Anteil beiniger Möhren gesenkt werden kann.

ASCARD und BELLINDER (1996) untersuchten neben dem Striegel zwei Neuentwicklungen zur Unkrautregulation im Reihenbereich: die Fingerhacke und ein als Torsionshacke bezeichnetes Gerät. Bei der Anwendung in 2-5 cm hohen Zwiebeln (ein echtes Blatt) führten alle Geräte zu massiven Pflanzenverlusten (vgl. Tab. 9.10, Anhang). Im 2-4-Blatt-Stadium (10-20 cm) traten nur beim Striegeln mit 6 statt 3 km/h Fahrgeschwindigkeit Verluste von knapp 10% auf. Auch BAUMANN (1994) stellte beim Striegeln von Zwiebeln sowohl im Peitschen- als auch im 1-Blattstadium Pflanzenverluste von jeweils etwa 20% fest. Für das Anhäufeln der Kulturpflanzenreihen mittels Häufelkörper bzw. entsprechend eingestellter Rollhacke liegen keine Ergebnisse zu etwaigen Kulturpflanzenverlusten bzw. -schäden vor.

### 6.1.2 Wirkungen mechanischer Regulationsmaßnahmen auf den Standort

In Ausführungen zur mechanischen Unkrautregulation wird immer wieder auf positive Nebeneffekte der mechanischen Unkrautregulation hingewiesen (SCHÄUFELE 1981, STANNEK et al. 1983, BAEUMER 1988, ESTLER 1988, MATTSSON et al. 1990, WALTER 1990, ZIEGLER 1993, DIERAUER und STÖPPLER-ZIMMER 1994, KRESS 1994). Im einzelnen werden angeführt:

- Aufbrechen von Verschlämmungen bzw. Verkrustungen,
- Verbesserung der Bodenstruktur und damit verbesserte Luft- und Wasserführung (Infiltration) und schnellere Erwärmung des Bodens,
- höhere Umsatzraten der organischen Substanz (erhöhte N-Mineralisation),
- Verringerung der Evaporation durch Unterbrechung der Kapillaren,
- Verminderung von Windschäden durch eine rauhere Bodenoberfläche und
- erhöhte Standfestigkeit der Kulturpflanzen und verminderte Grünköpfigkeit von Möhren beim Anhäufeln.

Als mögliche Nachteile einer Bearbeitung des Bodens werden angeführt (SCHÄUFELE 1981, KRESS 1989, MATTSSON et al. 1990, ESTLER 1992, DIERAUER und STÖPPLER-ZIMMER 1994, ESTLER und NAWROTH 1994, WEBER 1994, 1996):

- (Über)Lockerung, verstärkte Verschlämmung (Zunahme des Feinerdeanteils),
- Bildung von Schmierschichten bei Bearbeitung eines zu feuchten Bodens und
- verstärkte Erosionsgefahr durch Wasser.

Mit der zunehmenden Verfügbarkeit von Herbiziden auch gegen Problemunkräuter in den 60er Jahren stellte sich die Frage, ob in den sogenannten Hackfrüchten auf eine mechanische Bearbeitung des Bodens und der damit verbundenen Bodenlockerung verzichtet werden kann. Besonders intensiv untersucht wurde dieser Aspekt an Zuckerrüben (Literaturzusammenfassung bei KÜSTER et al. 1984), aber auch an Mais (PRIHAR und VAN DOREN 1967) und Kartoffeln (PÄTZOLD 1967).

Auch im Bereich des Gemüsebaus wurde über die Notwendigkeit von Hackmaßnahmen zur Bodenlockerung diskutiert. Während BECKER-DILLINGEN (1956) häufige Hackmaßnahmen zur Bodenpflege für notwendig hält bzw. empfiehlt, stellen andere Autoren (Zusammenfassung bei BIELKA und MÜGGE 1965) die Nützlichkeit des Hackens über die Unkrautbekämpfung hinaus in Zweifel.

Zur Erfassung der Ertragseffekte mechanischer Unkrautregulationsmaßnahmen über die Verminderung/Ausschaltung der Unkrautkonkurrenz hinaus wurde in Versuchen wiederholt neben einer Herbizidvariante auch eine zusätzlich mechanisch bearbeitete Variante angelegt (Tab. 9.9, Anhang). Allerdings können Ertragsunterschiede zwischen diesen Varianten nicht nur auf Kulturpflanzenschäden und/oder Standortwirkungen durch die mechanische Bearbeitung zurückgeführt werden. So kann in der bearbeiteten Variante die Verunkrautung durch eine Zerstörung des Herbizidfilms bzw. Anregung der Unkrautkeimung höher als in der ausschließlich chemisch behandelten Kontrolle sein. War die Wirkung des Herbizids nur unvollständig, kann in der zusätzlich mechanisch bearbeiteten Variante eine geringere Verunkrautung und damit Unkrautkonkurrenz nicht ausgeschlossen werden. Eine exakte Bestimmung der Nebenwirkungen mechanischer Unkrautregulationsmaßnahmen ist somit nur bei einer vollständigen Unkrautfreiheit möglich. In entsprechenden Versuchen konnten zum Teil Mehrerträge über 40% gegenüber der unbearbeiteten Kontrolle abgesichert werden (Abb. 6.1 und Tab. 9.10, Anhang).

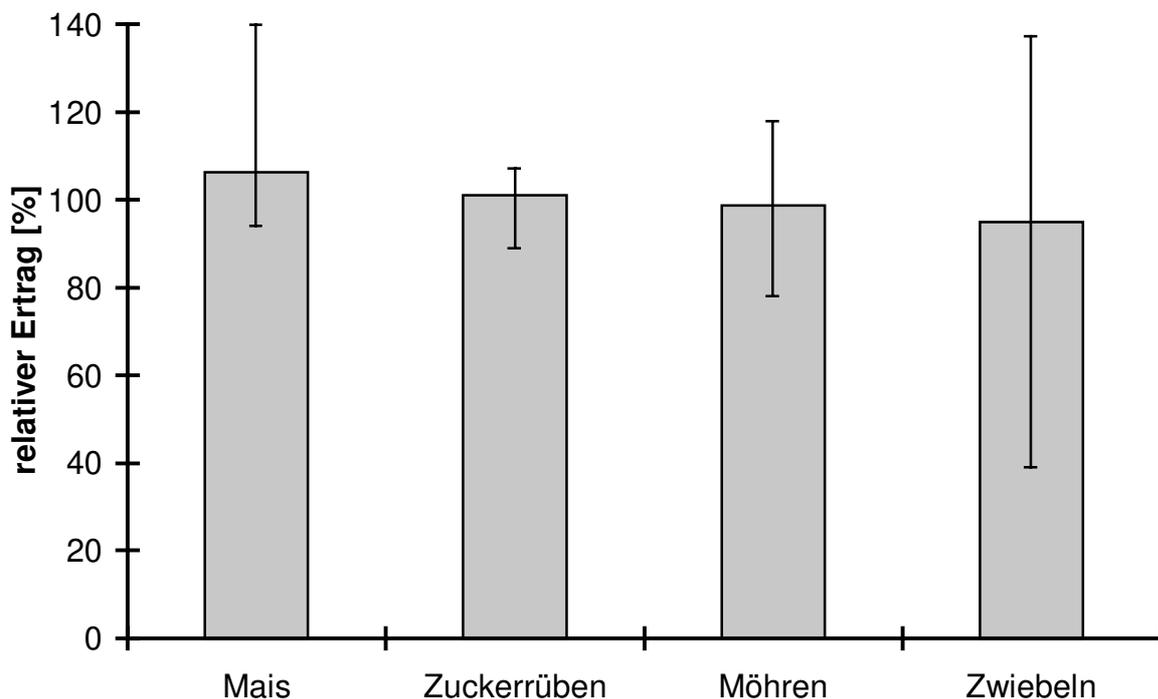


Abb. 6.1: Relativer Ertrag bei mechanischer Unkrautregulation (unbearbeitete Kontrolle = 100%) in unkrautfreien Beständen (Daten entsprechend Tab. 9.10, Anhang); I: Variationsbreite.

Im Durchschnitt der mit meist schonend arbeitenden Geräten (Schar-/Rollhacke, Hack-/Tellerbürste) behandelten Bestände ergaben sich Erträge von 103% (bei Möhren und Zwiebeln 99%). Größere Ertragsverluste korrelierten mit den aufgetre-

tenen Pflanzenverlusten, wobei allerdings Pflanzenausfälle bis ca. 20% durch die Bestände kompensiert wurden (Abb. 6.2).

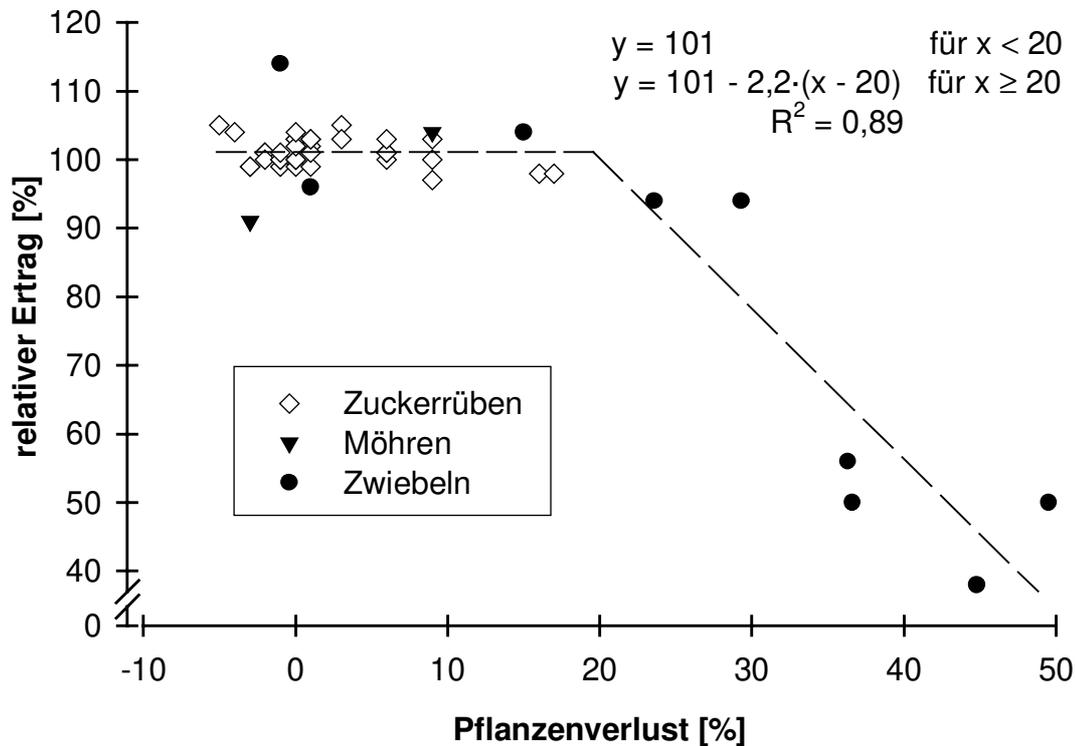


Abb. 6.2: Relativer Ertrag bei mechanischer Unkrautregulation (unbearbeitete Kontrolle = 100%) in Abhängigkeit von den aufgetretenen Kulturpflanzenverlusten (Daten entsprechend Tab. 9.10, Anhang).

Zur Klärung möglicher Ursachen höherer Erträge mechanisch bearbeiteter Bestände untersuchten PRIHAR und VAN DOREN (1967) als Maß für die Luftführung des Bodens die Sauerstoffdiffusionsrate nach stärkeren Niederschlagsereignissen; Unterschiede zwischen den gehackten und unbearbeiteten Varianten traten dabei nicht auf. Dementsprechend fanden auch VAN DER WERF et al. (1991) in 20 bzw. 40 cm Tiefe keine Unterschiede im Sauerstoffgehalt der Bodenluft zwischen einem bearbeiteten und unbearbeiteten Maisschlag.

Bei den Bodenwassergehalten mechanisch bearbeiteter Flächen lassen sich insbesondere in Kulturpflanzenbeständen nicht immer eindeutige Tendenzen zugunsten höherer Gehalte gegenüber den unbearbeiteten Kontrollen feststellen (Tab. 6.2). WINNER und SCHÄUFELE (1970) führen Untersuchungen an, die in Zuckerrübenbeständen nur einen sehr geringen, statistisch nicht absicherbaren Einfluß der Hackarbeit auf den Bodenfeuchtigkeitsgehalt ergaben. Lediglich auf sehr tonreichen Böden führte häufiges Hacken zu einer etwas besseren Erhaltung der Bodenfeuchtigkeit. Auch VAN DER WERF et al. (1991) zitieren Versuche, bei denen in den

mechanisch bearbeiteten Varianten überwiegend höhere Bodenfeuchten gefunden wurden. In diesen Fällen wurden häufig auch Mehrerträge durch eine Bearbeitung realisiert.

Tab. 6.2: Relative Bodenwassergehalte oberflächlich bearbeiteter Flächen (unkrautfrei) gegenüber den unbehandelten Kontrollen (= 100%).

Kultur	Bodenart	relativer Wassergehalt [%]	Bodenschicht [cm]	Anzahl Versuche	Quelle
Brache <sup>1</sup>	Lu	101 - 118	0-60 / 0-90	6	SEWELL und GAINNEY 1932
Mais	Ul	93-99 (z.d.R.)	0 - 90	2	PRIHAR und VAN DOREN 1967
		107 (i.d.R.)	15 - 90	2	
	Lu	105 - 113 [g/100 g Boden] <sup>2</sup>	0 - 45		SORENSEN et al. 1980
S / Sl		-1,8 - 0	0 - 7	2	VAN DER WERF et al. 1991
		-1,3 - 1,6	7 - 30	2	

1: abgeerntete Weizenflächen bis zur Neubestellung im Oktober

2: Wassergehaltsänderung gegenüber der Kontrolle in der betreffenden Schicht

Eine Ursache für die höheren Bodenwassergehalte gegenüber den unbearbeiteten Kontrollen dürfte nach den Ergebnissen von PRIHAR und VAN DOREN (1967) in dem geringeren Oberflächenabfluß auf den bearbeiteten Böden zu suchen sein. Die Autoren stellten in einem Modellversuch (unbewachsen) in den ersten fünf Tagen nach einem Niederschlag aber auch eine um 47% geringere Evaporation fest. Einer Abschätzung für eine ganze Saison zufolge könnte so durch eine Bearbeitung die Verdunstung um 20-59 mm vermindert sein. Tatsächlich lag aber in einem parallel durchgeführten Maisversuch die Bodenfeuchte im Zwischenreihenbereich bei einer Bearbeitung niedriger als in der Kontrolle, was allerdings auch eine Folge des stärkeren Maiswachstums auf den bearbeiteten Parzellen gewesen sein könnte.

Auch in den Versuchen von BIELKA und MÜGGE (1965) mit verschiedenen Kohlarten lag die Bodenfeuchte der Krume (Ls) der bis zu zweimal wöchentlich gehackten Parzellen über der der insgesamt nur zwei- bis dreimal gehackten bzw. ungehackten Vergleichsvarianten. Zum Ende der Kulturzeit glich sich der Wassergehalt aber an. Die Bodentemperatur in 5 cm Tiefe bewegte sich in intensiv gehackten Varianten mit einer maximalen Temperaturdifferenz von ca. 1 K geringfügig unter denen der Kontrollen. Auch CHAUDHARY und PRIHAR (1974) ermittelten in 5 cm Tiefe eine gegenüber den unbearbeiteten Kontrollvarianten um 0,3-0,9 K geringere Temperatur in den gehackten Parzellen.

Nach einer Zusammenfassung von Untersuchungen aus den 20er und 30er Jahren auf unbewachsenen Flächen lagen die Nitratkonzentrationen mechanisch bearbeiteter Böden 25-45% über denen unbearbeiteter Flächen (VAN DER WERF et al. 1991). Bei den in der Zusammenfassung ebenfalls berücksichtigten Versuchen von SEWELL und GAINEY (1932) auf abgeernteten Weizenflächen traten aber auf einem Standort über fünf Jahre auch um 1-30% (Mittel 22%) geringere Nitratkonzentrationen (0-90 cm Tiefe) bei den ca. 7,5 cm tief bearbeiteten Varianten auf. Die auf einem Standort ermittelte durchschnittliche Erhöhung der Konzentration durch eine Bearbeitung um 27% konnte durch eine künstliche Bodenbelüftung mittels im Boden verlegter perforierter Rohre nicht simuliert werden. Hier traten mit einer Abnahme um 3% sogar geringere Werte als in der Kontrolle auf.

Neuere Untersuchungen zur Anregung der Stickstoffmineralisation durch Striegeln bzw. Hacken liegen für einen Weizenbestand vor; hier konnten mit um 3 bzw. 9 kg NO<sub>3</sub>-N/ha höheren Gehalten in den bearbeiteten Varianten (0-30 cm Tiefe, 18 Tage nach der Bearbeitung) keine signifikanten Unterschiede gegenüber der Kontrolle festgestellt werden (BECKER und BÖHRNSEN 1994).

Zu möglichen Nachteilen einer mechanischen Bodenbearbeitung im Zuge der Unkrautregulierung auf das System Boden liegen bisher kaum Ergebnisse vor. Bei Versuchen in Mais kam es auf schluffreichen Böden zu einer erhöhten Bodenerosion nach Einsatz der Hacke, Rollhacke und Bürstenhacke (ESTLER et al. 1992). WEBER (1994) fand mit steigender Umlaufgeschwindigkeit der Hackbürste zunehmende Feinerdeanteile und abnehmende grobkörnige Bodenpartikel. Unterschiede in der Infiltrationsrate zwischen gehacktem und gebürstetem Boden konnten aber an zwei Standorten (L bzw. L bis TI) nicht gefunden werden (MEIER 1986).

Der Kenntnisstand über den Einfluß mechanischer Unkrautregulationsmaßnahmen auf die Bodenbiozönose ist ebenfalls lückenhaft (Zusammenfassung bei MALKOMES 1994). LORENZ et al. (1994) stellten aber in dreijährigen Untersuchungen in herbizid-behandelten Zuckerrüben weder direkte (Verletzungen, Tod) noch indirekte Effekte (über eine veränderte Bodenstruktur) von Hackmaßnahmen mit Scharhacke bzw. Hackbürste auf die untersuchte Laufkäferpopulation (*Carabidae*) fest.

Zusammenfassend muß festgehalten werden, daß für die häufig angeführten positiven Nebeneffekte mechanischer Unkrautregulationsmaßnahmen nur unvollständige

Beweise vorhanden sind. Nach den vorliegenden Untersuchungen erscheint aber eine erhöhte Wasserverfügbarkeit für die Pflanzen als plausibelster Erklärungsansatz für die zum Teil gefundenen Mehrerträge bei einer Bearbeitung der Bestände.

Eine Verminderung der Evaporation und damit höhere Wasserverfügbarkeit bei einer oberflächlichen Bodenbearbeitung ist aber vor allem auf Feinsandböden sowie ton- und schluffreichen Böden zu erwarten. Auch ein Oberflächenabfluß von Niederschlägen (der gegebenenfalls durch eine Bearbeitung reduziert wird) ist insbesondere auf derartigen strukturlabilen Böden anzutreffen (SCHACHTSCHABEL et al. 1992). Trotzdem wurden auch auf Sandböden und sandigen Lehmen signifikante Mehrerträge bei einer Bearbeitung der Bodenoberfläche festgestellt (BIELKA und MÜGGE 1965, VAN DER WERF et al. 1991, HENNE und POULSON 1980, MELANDER und HARTVIG 1997).

Ertragszuwächse durch eine erhöhte Wasserverfügbarkeit (und/oder N-Mineralisation) sind vor allem unter trockenen Bedingungen bzw. unzureichender Beregnung (bzw. N-Versorgung) zu erwarten. SORENSEN et al. (1980) konnten in ihren Versuchen mit Mais aber keine Wechselwirkungen zwischen der mechanischen Bearbeitung und der Intensität der Beregnung absichern. Auch in den Versuchen von FOGELBERG und JOHANSSON (1993) und MELANDER und HARTVIG (1997) mit Ertragssteigerungen bis zu 14% erfolgte eine Beregnung (und Düngung) nach 'guter fachlicher Praxis'.

Ziel der eigenen Untersuchungen war es, den insbesondere für Gemüsekulturen nur unzureichenden Kenntnisstand bezüglich der bei mechanischen Unkrautregulationsmaßnahmen auftretenden Kulturpflanzenschäden bzw. -verlusten und deren Ertragswirksamkeit in Verbindung mit auftretenden Standortwirkungen zu vertiefen. Dieses erfolgte einerseits unter Praxisbedingungen, so daß die Ergebnisse den Zustand von Gemüsebeständen repräsentieren, die von Betriebsleitern mit langjähriger praktischer Erfahrungen auf dem Gebiet der mechanischen Unkrautregulation bearbeitet wurden. Andererseits konnten auf dem Versuchsbetrieb und mit Einschränkungen auch im Modellversuch die Nebenwirkungen solcher mechanischen Maßnahmen erfaßt werden, die speziell darauf abzielen, den Bekämpfungserfolg im Reihbereich der Kulturpflanzen zu erhöhen, in der Praxis aber bisher nur wenig Eingang gefunden haben (Material und Methoden siehe Kap. 2, Seite 7).

## 6.2 Ergebnisse

Bei den Untersuchungen auf den Praxisschlägen wurden auf den betriebsüblich gehackten, durch Jäten unkrautfrei gehaltenen Möhren Pflanzenverluste von maximal 5,8% (bereinigt um die Veränderung in der Kontrolle) festgestellt. Signifikante Unterschiede zur jeweils unbearbeiteten Kontrolle bestanden aber nicht (Tab. 6.3). Auffällige Schäden am Möhrenlaub konnten auf allen Flächen nicht beobachtet werden.

Die Rübenenerträge wurden bei einem Ertragsniveau von 94-107% der jeweils unbearbeiteten Kontrolle nicht nachweislich durch die Hackarbeit beeinflusst. Bei der 1995 durchgeführten Sortierung zeigten sich aber auf einem Schlag bei der betriebsüblichen Behandlung erhöhte Mengen an beinigen Möhren (Abb. 6.3).

Tab. 6.3: Pflanzenverluste und Möhren- bzw. Zwiebelerträge während der Kulturzeit der unkrautfreien, betriebsüblich gehackten Varianten auf Praxisschlägen (Mittelwerte über die Blöcke).

Kultur Schlag / Jahr	Pflanzenverlust [%] <sup>1</sup>	Frischmasseertrag	
		[dt/ha] <sup>2</sup>	relativ [%] <sup>3</sup>
<b>Möhren</b>			
Betrieb A 1995	5,8	666	107
Betrieb B 1995	0,6	564	106
Betrieb B 1996	-1,1	546	94
Betrieb C 1996	-1,3	548	95
Mittel	1,0		100
<b>Zwiebeln</b>			
Betrieb A 1995	9,1	374	91
Betrieb B 1995	28,7	469	90
Betrieb C 1995	3,2	451	104
Betrieb B 1996	10,6	495	82
Betrieb C 1996	7,3	516	107
Mittel	11,8		95

1: bereinigt um die Veränderung in der jeweiligen unbearbeiteten Kontrolle (Unterschiede zur Kontrolle nicht statistisch abgesichert)

2: Ertragsunterschiede zur jeweiligen Kontrolle nicht statistisch abgesichert

3: jeweilige unbearbeitete Kontrolle = 100%

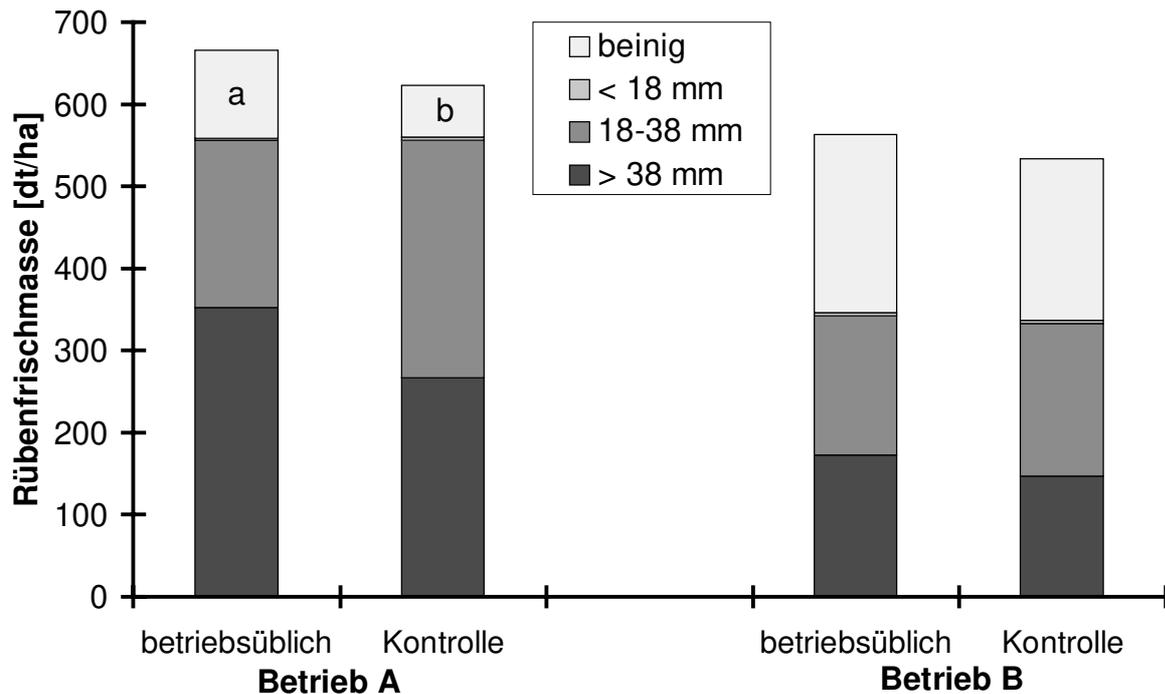


Abb. 6.3: Möhrensartierung (größter Querdurchmesser) der unkrautfreien Varianten auf Praxisschlägen im Versuchsjahr 1995; Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben innerhalb einer Qualitätsklasse unterscheiden sich signifikant ( $\alpha < 0,05$ ) (Mittelwerte über die Blöcke).

Auf den untersuchten Zwiebelschlägen wurden deutlich höhere Pflanzenverluste als bei den Möhren festgestellt (Tab. 6.3). Dabei beruhten allerdings die extrem hohen Verluste auf dem Betrieb B im Jahr 1995 auf einer Fehleinstellung bei der über drei Beete ausgeführten Saat. Hierdurch kam es insbesondere beim ersten Hackgang auf jedem dritten Beet zu massiven Schäden. Da hiervon nur zwei der drei Parzellen betroffen waren, konnte auch dieser hohe Verlust nicht gegenüber der Kontrolle abgesichert werden. Auf den anderen Schlägen betrugen die bereinigten Pflanzenverluste ca. 3-11%. Leichte Pflanzenschäden traten sowohl bei den ersten Hackgängen (Blattverschüttung) als auch bei den letzten Hackgängen (abgeknickte Blätter) auf.

Die Erträge der gehackten Zwiebeln lagen im Mittel bei 95% der unbearbeiteten Kontrollvarianten; signifikante Wirkungen der Hackarbeit auf den Gesamtertrag konnten aber auch bei dieser Kultur nicht festgestellt werden. Bei der 1995 durchgeführten Sortierung waren ebenfalls keine Effekte abzusichern. Tendenziell zeigte sich aber bei der gehackten Variante auf Betrieb B ein nahezu doppelt so hoher Ertrag an großfallenden Zwiebeln ( $> 60$  mm) als auf den unbearbeiteten Flächen, während die Menge an kleinen Zwiebeln ( $< 40$  mm) eher vermindert war (Abb. 6.4).

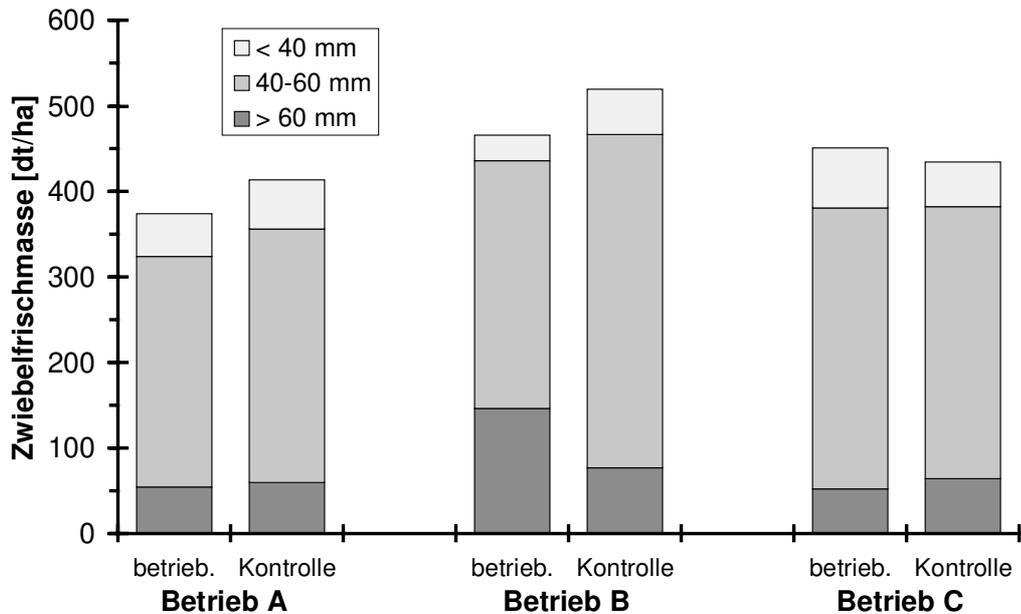


Abb. 6.4: Zwiebelsortierung (größter Durchmesser) der unkrautfreien Varianten auf Praxisschlägen im Versuchsjahr 1995 (Mittelwerte über die Blöcke, Unterschiede nicht statistisch abgesichert).

Der im Winter 1994/95 im Gewächshaus durchgeführte Versuch zum Anhäufeln von Möhren deutete auf eine gute Verträglichkeit der Pflanzen für die Behandlungen ab dem 2-Blatt-Stadium hin. Hier traten unabhängig von der Bodenart selbst bei einer Häufelhöhe in der Größenordnung der halben Pflanzenhöhe keine Verluste oder abzusichernde Blattschäden auf. Kleinere Pflanzen waren dagegen nicht in der Lage, entsprechend geringere Häufelhöhen ohne Schaden zu überstehen (Abb. 6.5).

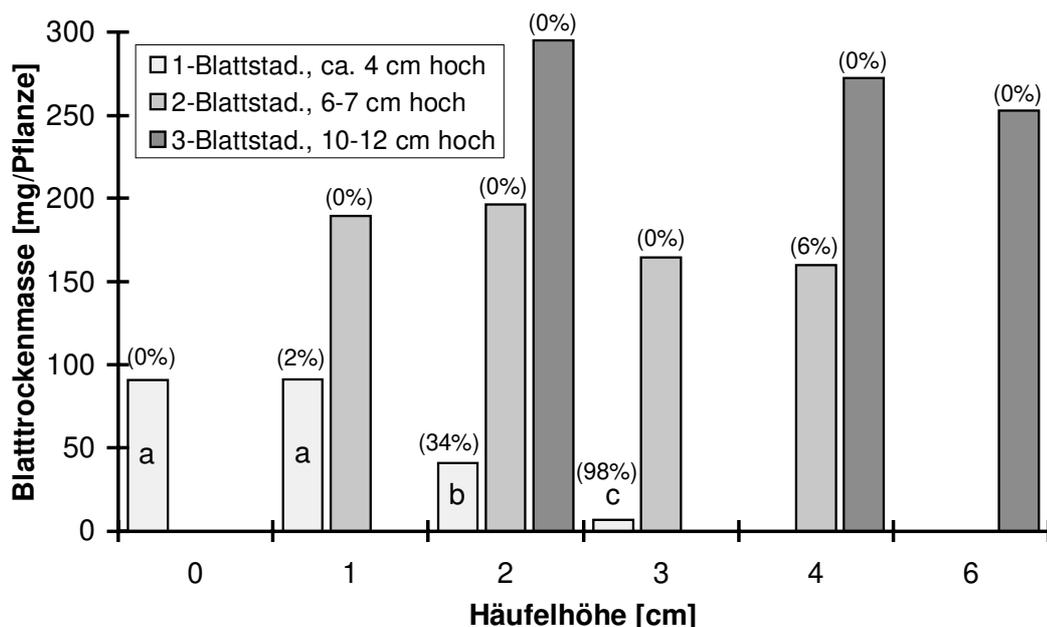


Abb. 6.5: Blatttrockenmasse und Pflanzenverluste [%] von Möhren beim Gefäßversuch zum Anhäufeln; Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ( $\alpha < 0,05$ ) (Mittelwerte über Bodenarten und Wiederholungen).

Bei dem im Versuchsjahr 1995 in Ruthe durchgeführten Gerätevergleich in Möhren konnten bezüglich aufgetretener Pflanzenverluste keine Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten abgesichert werden. Tendenziell zeigten die mit der Scharhacke bearbeiteten Varianten mit 5,3% bzw. 7,8% (bereinigt um die Veränderung in der Kontrolle) die höchsten Verluste (Tab. 6.4). Schäden am Laubapparat der Möhren wurden nur bei einer Bearbeitung mit der nicht anhäufelnd eingestellten Rollhacke festgestellt. Hier wurde Blätter insbesondere beim zweiten Hackgang von den sich in Pflanzennähe nach unten drehenden Hacksternen erfaßt und zerrissen. Bei einer anhäufelnden Einstellung trat dieses nicht auf, da die Blätter von den sich nach oben drehenden Werkzeugen ohne Verletzungen abgleiten konnten.

Tab. 6.4: Pflanzenverluste bzw. Möhren- und Zwiebelerträge während der Kulturzeit der unkrautfreien Varianten in verschiedenen Versuchen auf den Versuchsstationen Ruthe und Herrenhausen (Mittelwerte über die Blöcke).

Versuch / Standort Kultur	Variante	Pflanzen- verluste [%] <sup>1</sup>	Frischmasseertrag [dt/ha]	relativ [%] <sup>2</sup>
<b>Möhren</b>				
Gerätevergleich, Ruthe 1995	SH/SH	5,3	707 bc <sup>3, 4</sup>	99
	SH/SH+	7,8	724 ab	101
	Roll/Roll	2,3	663 c	93
	Roll/Roll+	-1,5	770 a	108
	Str/Str	2,2	746 ab	104
	Kontrolle	—	714 b	—
Häufelversuch, Herrenhausen 1996	1. Termin 3 cm	4,2	364 a <sup>5</sup>	108
	2. Termin 3 cm	3,6	375 a	111
	2. Termin 6 cm	-0,3	335 b	100
	Kontrolle	—	336 b	—
Häufel- und Striegel- versuch, Ruthe 1996	SH/SH	2,9	621	93
	SH/SH+	1,4	600	90
	SH+/SH+	5,0	595	89
	SH-Str/SH	5,4	578	87
	SH-Str/SH+	3,5	600	90
	Str/SH	3,2	609	92
<b>Zwiebeln</b>				
Häufel- und Striegel- versuch, Ruthe 1996	SH/SH	-0,1	407	95
	SH/SH+	5,5	408	95
	SH+/SH+	9,2	391	91
	SH-Str/SH	4,8	408	95
	SH-Str/SH+	7,9	432	101
	Str/SH	1,9	379	88

1: bereinigt um die Veränderung in der jeweiligen unbearbeiteten Kontrolle (Unterschiede zur Kontrolle nicht statistisch abgesichert); 2: jeweilige Kontrolle = 100%

3: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben innerhalb eines Versuchs unterscheiden sich signifikant ( $\alpha < 0,05$ )

4:  $GD(\alpha < 0,05) = 50$  dt/ha; 5:  $GD(\alpha < 0,05) = 27$  dt/ha

Mit 93% des Ertragsniveaus der unbearbeiteten Kontrolle fielen die Erträge bei der Bearbeitung mit der Rollhacke (nicht angehäuelt) am niedrigsten aus. Dagegen konnten mit der anhäueltnd eingestellten Rollhacke Mehrerträge von 8% gegenüber der Kontrolle realisiert werden. In den anderen Varianten zeigten die Bearbeitungsmaßnahmen keine abzusichernden Effekte auf den Gesamtertrag. Auf die Erträge in den einzelnen Größenklassen hatten alle Bearbeitungsmaßnahmen keinen Einfluß.

Auch in dem Häufelversuch am Standort Herrenhausen konnten bei einem 3 cm hohen Anhäueltln der ca. 10 cm bzw. ca. 15 cm hohen Möhrenbestände Mehrerträge von 8% bzw. 11% gegenüber der Kontrolle festgestellt werden (Tab. 6.4). Die 6 cm hoch angehäueltten Möhren erreichten das Ertragsniveau der unbehandelten Kontrolle. Tendenziell waren in den beiden 3 cm hoch angehäueltten Varianten geringere Pflanzendichten festzustellen.

Bei der 13 bzw. 10 Tage nach den Behandlungen durchgeführten Bestimmung der oberirdischen Laubmasse der Möhren zeigten sich keine deutlichen Unterschiede zwischen den angehäueltten Varianten und der Kontrolle. Lediglich zur Ernte wiesen die am zweiten Termin 3 cm hoch angehäueltten Parzellen nur 89% der Laubmasse der Kontrolle auf (Tab. 6.5).

Tab. 6.5: Oberirdische Laubtrockenmasse 13 bzw. 12 Tage nach den Behandlungen und zum Erntezeitpunkt der Möhren beim Häufelversuch, Herrenhausen 1996 (Mittelwerte über die Blöcke).

Zeitpunkt der Bestimmung	Laubtrockenmasse [g/m <sup>2</sup> ]			Kontrolle
	1. Termin 3 cm	2. Termin 3 cm	2. Termin 6 cm	
nach 1. Termin	55	—	—	55
nach 2. Termin	—	119	121	116
zur Ernte	153 a	141 b*	154 a	159 a

\* Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ( $\alpha < 0,05$ ), GD=11 g/m<sup>2</sup>

Anders als bei den vorgenannten Versuchen kam es beim Häufel- und Striegelversuch in allen bearbeiteten Varianten zu Ertragseinbußen gegenüber der unbearbeiteten Kontrolle (im Mittel 10%), die allerdings nicht statistisch gesichert sind (Tab. 6.4). Auffällig hohe Pflanzenverluste waren aber auch in diesem Versuch mit maximal 5,4% (bereinigt) nicht zu beobachten. Allerdings bestand eine Abhängigkeit des Ertrags von der Möhrendichte vor der ersten Bearbeitungsmaßnahme ( $R^2 = 0,56$ ); eine durchgeführte Kovarianzanalyse der Erträge unter Einbeziehung dieser Bestandesdichte als Kovariable führte aber zu keinem anderen Ergebnis.

In dem entsprechenden Versuch mit Zwiebeln traten die stärksten Pflanzenverluste mit ca. 9% (bereinigt) in der Variante auf, die bereits beim zweiten Hackgang angehäufelt wurde (SH+ / SH+). Durch die hohe Streuung konnten aber auch in diesem Versuch die Unterschiede zwischen den Behandlungen nicht abgesichert werden (Tab. 6.4). Auffällige Schäden am Laub wurden nicht beobachtet. Die Erträge der mechanisch bearbeiteten Flächen lagen durchschnittlich 6% unter denen der Kontrolle. Signifikante Ertragseffekte traten aber auch hier nicht auf.

In den beiden Versuchen mit Blumenkohl traten in allen Varianten während der Kulturzeit praktisch keine Pflanzenverluste auf. Beim Hacktiefenversuch wurden aber beim zweiten und dritten Hackgang ältere Blätter teilweise an- oder abgerissen. Da dieses durch die Schäfte der Hackschare und den Tasträdern verursacht wurde, trat dieser Schaden unabhängig von der Hacktiefe auf.

Im Gerätevergleich konnten keinerlei Effekte der Bearbeitungsmaßnahmen auf den Kopf-, Sproß- und Gesamtertrag abgesichert werden (Tab. 6.6). Während die Kopfmasse mit im Mittel 94% der unbearbeiteten Kontrolle durch die Bearbeitungsmaßnahmen tendenziell vermindert war, lag die Gesamtmasse der Hackvarianten im Mittel auf dem Niveau der Kontrolle. Im Frühertrag (erste Ernte) wie auch in den einzelnen Qualitätsklassen traten ebenfalls keine signifikanten Unterschiede auf. Beim Hacktiefenversuch zeigten sich bei der 6 cm tief bearbeiteten Variante deutlich geringere Blatt- und Strunkmassen als in der unbearbeiteten Kontrolle (Tab. 6.6). Der Kopf- und Gesamtertrag sowie der Ertrag des ersten Erntegangs wurden von der Bearbeitungstiefe nicht nachweisbar beeinflusst.

Tab. 6.6: Blumenkohlerträge aller Erntegänge der unkrautfreien Varianten der Versuche in Ruthe (Mittelwerte über die Blöcke und Berechnungsstufen).

Versuch	Variante	Frischmasse		
		Blatt + Strunk [dt/ha]	Kopf mit/ohne Umblatt <sup>1</sup> [dt/ha]	relativ [%] <sup>2</sup>
Hacktiefenversuch, Ruthe 1996	2 cm Hacktiefe	321 ab <sup>3</sup>	186	98
	6 cm Hacktiefe	305 b	179	95
	Kontrolle	331 a	190	
Gerätevergleich, Ruthe 1996	Scharhacke	358	333	95
	Scharhacke+	341	342	98
	Rollhacke+	323	310	89
	Kontrolle	320	348	

1: beim Gerätevergleich marktfähige Aufbereitung; beim Hacktiefenversuch ohne Umblatt

2: jeweilige Kontrolle = 100%

3: Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ( $\alpha < 0,05$ ), GD=16 dt/ha

Bei der parallel zum Hacktiefenversuch durchgeführten Beprobung einer Brache-  
fläche zeigten sich 13 Tage nach der ersten Hacke in den gehackten Varianten  
höhere Bodenwassergehalte als in der unbearbeiteten Kontrolle (Abb. 6.6). Zum  
zweiten Untersuchungstermin (16 Tage nach der zweiten Hacke) kehrten sich die  
Verhältnisse allerdings um; in der 6 cm tief gehackten Variante wurden deutlich  
geringere Wassergehalte als bei den nur flach oder gar nicht bearbeiteten Flächen  
gemessen. Zum Ende der Untersuchungsperiode (Beginn der Blumenkohlernte)  
glich sich die Bodenwassergehalte in allen Varianten durch Niederschläge bzw.  
Beregnung wieder an. In der Bodenschicht 30-60 cm zeigten sich generell keine  
Bearbeitungseffekte.

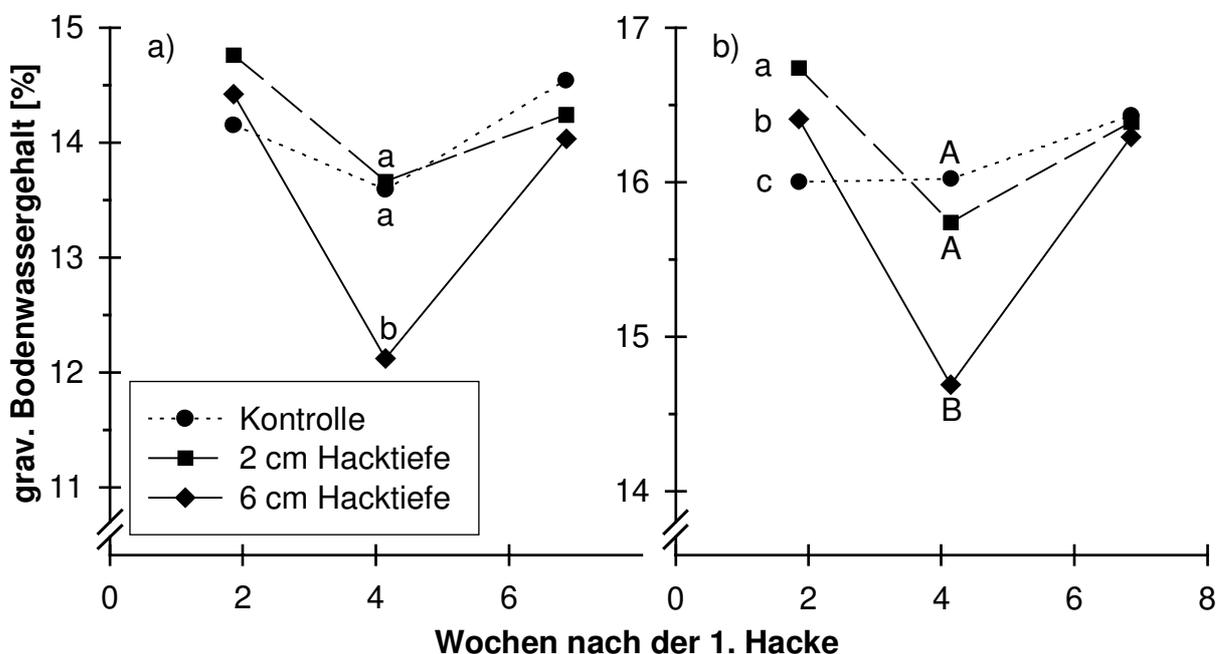


Abb. 6.6: Gravimetrischer Bodenwassergehalt der Bodenschicht 0-10 cm (a) bzw. 0-30 cm (b) im Verlauf der Untersuchungsperiode beim Bracheversuch, Ruthe 1996; Mittelwerte mit unterschiedlichen Buchstaben an einem Untersuchungstermin unterscheiden sich signifikant ( $\alpha < 0,05$ ) (Mittelwerte über die Blöcke).

Beim  $N_{\min}$ -Gehalt des Bodens zeichneten sich weder im Mittel der untersuchten Periode noch an den einzelnen Untersuchungsterminen signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Bearbeitungsvarianten ab (Abb. 6.7).

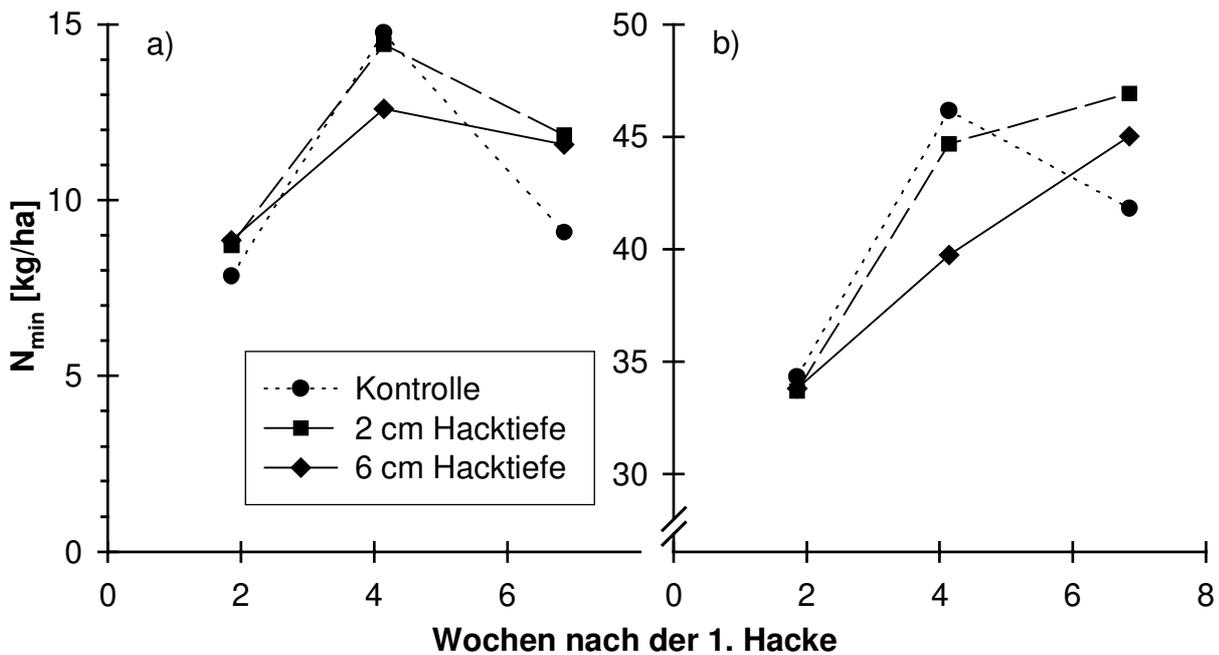


Abb. 6.7:  $N_{\min}$ -Gehalt der Bodenschicht 0-10 cm (a) bzw. 0-30 cm (b) im Verlauf der Untersuchungsperiode beim Bracheversuch, Ruthe 1996 (Mittelwerte über die Blöcke).

### 6.3 Diskussion

Ertragseffekte mechanischer Unkrautregulationsmaßnahmen, über die Verminderung der Unkrautkonkurrenz hinaus, sind eine Funktion der:

- gegebenenfalls auftretenden Kulturpflanzenschäden bzw. -verluste;
- Ertragswirksamkeit der Standortwirkungen.

Unter der Annahme, daß in einem Kulturpflanzenbestand eine optimale Bestandesdichte vorliegt, sind beim Auftreten von Kulturpflanzenschäden bzw. -verlusten nur Ertragsausfälle denkbar. Standortwirkungen dürften im allgemeinen einen positiven Einfluß auf den Ertrag haben, wenn man von Schäden am Bodengefüge absieht. Damit müssen bei Mehrerträgen durch eine mechanische Bearbeitung die Ertragseffekte der Standortwirkungen etwaige Ertragsverluste durch Pflanzenschäden übersteigen, bei Mindererträgen überwiegen die Pflanzenschäden bzw. -verluste.

Bei den hier durchgeführten Versuchen traten Pflanzenverluste in einer Spanne von -1,5-29% und einem Mittel von 4,0% auf. Die ausschließlich mit der normalerweise als gut pflanzenverträglich einzustufenden Scharhacke behandelten Flächen lagen über diesen Durchschnitt, die eher kritisch zu beurteilenden Häufel- und Striegelvarianten entsprechend darunter (Tab. 6.7).

Läßt man das Ergebnis des Zwiebelversuches auf dem Betrieb B im Jahre 1995, bei dem durch eine Fehleinstellung ungewöhnlich hohe Pflanzenverluste auftraten, außer Acht, so liegen die Pflanzenverluste bei den Häufel- und Striegelmaßnahmen nur unwesentlich über den der Scharhackevarianten. Diese leicht erhöhten Pflanzenverluste beruhen vor allem auf Schäden bei den Zwiebeln, die auf ein frühes Anhäufeln tendenziell negativ reagierten. Von den Möhren wurden diese Maßnahmen ohne nennenswerte Verluste toleriert.

Tab. 6.7: Pflanzenverluste und relativer Ertrag aller durchgeführten Feldversuche, untergliedert nach Hack- bzw. Häufel- und Striegelvarianten.

	Hackvarianten		Häufel- und Striegelvarianten	
	Verluste [%] <sup>1</sup>	rel. Ertrag [%] <sup>2</sup>	Verluste [%] <sup>1</sup>	rel. Ertrag [%] <sup>2</sup>
<b>alle Versuche</b>				
Minimum	-1,3	82	-1,5	87
Maximum	28,7	107	9,2	111
Mittelwert	4,7	97	3,5	96
	n = 15		n = 19	
<b>ohne Zwiebeln Betrieb B 1995</b>				
Minimum	-1,3	82		
Maximum	10,6	107		
Mittelwert	3,0	97		
	n = 14			

1: bereinigt um die Veränderung in der jeweiligen unbearbeiteten Kontrolle

2: jeweilige unbehandelte Kontrolle = 100%

Ein Zusammenhang zwischen den aufgetretenen Pflanzenverlusten und dem Ertragsniveau der bearbeiteten Varianten gegenüber der Kontrolle bestand nicht (Abb. 6.8). Dieses könnte darauf beruhen, daß:

- Pflanzenschäden auftraten, die nicht mit den festgestellten Verlusten korrelierten;
- die Kulturpflanzenverluste bzw. -schäden von den Beständen kompensiert wurden;
- die Kulturpflanzenverluste bzw. -schäden von positiven Standortwirkungen überdeckt wurden.

Sichtbare Kulturpflanzenschäden wurden im allgemeinen aber nicht beobachtet. Nur beim Einsatz der nicht anhäufelnd eingestellten Rollhacke in Möhren kam es zu stärkeren Laubschäden, die in diesem Fall auch nicht von größeren Pflanzenverlusten begleitet waren. In einem Blumenkohlversuch traten leichte Blattschäden auf, obgleich keinerlei Pflanzenverluste zu beklagen waren.

Nicht auszuschließen sind auch Wurzelverletzungen, die nach den Ergebnissen von VAN DER WERF et al. (1991) und WAHMHOFF (1994) auch bei einer flachen Bodenbearbeitung (wie hier im allgemeinen geschehen) auftreten können. Bei der 6 cm tiefen Bearbeitung im Blumenkohlversuch erscheinen sie als plausibelste Erklärung für die gefundenen Mindererträge gegenüber der Kontrolle. Die erhöhten Mengen an beinigen Möhren auf einem Schlag dürften, wie ASCARD und MATTSSON (1994) folgerten, ebenfalls auf Beschädigungen im Wurzelbereich zurückzuführen sein.

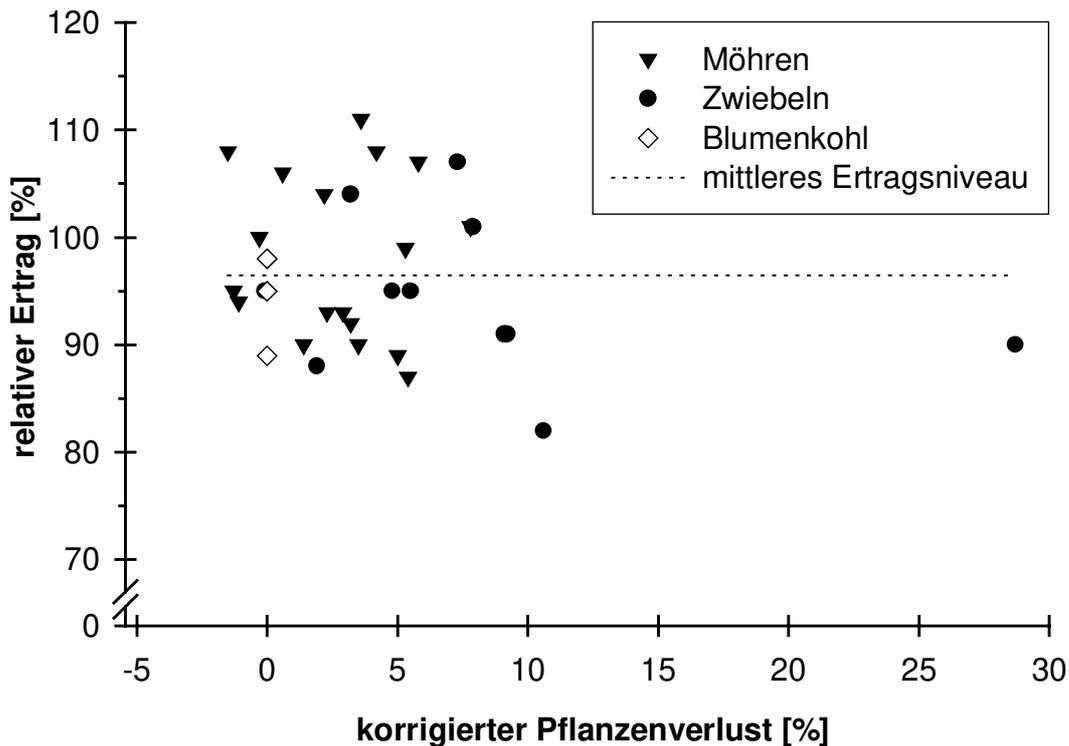


Abb. 6.8: Relativer Ertrag bei mechanischer Unkrautregulation in Abhängigkeit von den aufgetretenen Kulturpflanzenverlusten (korrigiert um die Verluste in den unbehandelten Kontrollen, Mittelwerte über die Blöcke).

Ob Kulturpflanzenverluste bzw. -schäden von den Beständen kompensiert wurden oder aber von positiven Standortwirkungen überlagert wurden, kann letztendlich nicht beantwortet werden. Allerdings ist es unwahrscheinlich, daß mit zunehmenden Pflanzenschäden immer auch verstärkte Standortwirkungen verbunden waren, so daß eine gewisse Kompensation angenommen werden muß.

Erstaunlich ist aber, daß in einem Fall trotz hoher Pflanzenverluste von über 28% nur Ertragsverluste von 10% auftraten. Dies deckt sich zwar mit Ergebnissen von ASCARD und BELLINDER (1996), doch wurden auf dem hier untersuchten Schlag die Zwiebeln nicht gleichmäßig ausgedünnt, sondern auf ganzen Reihenabschnitten vernichtet.

Mehrerträge durch eine mechanische Bearbeitung der Bodenoberfläche konnten in zwei Versuchen mit Möhren statistisch abgesichert werden. Mit Ertragszuwächsen von 8-11% lagen sie in der Größenordnung der von ASCARD und MATTSSON (1994) gefundenen Werte bei der Anwendung von Scharhacke und Hackbürste.

Herauszustellen ist, daß die Mehrerträge bei einem Anhäufeln der Möhren auftraten, einem Verfahren, bei dem eher eine geringe Schädigung der Kulturpflanzen erwartet wurde. Da eine erhöhte Standfestigkeit der Pflanzen (wie sie BAEUMER [1988] als möglichen Grund für Mehrerträge angehäufelter Ackerbohnen anführt) als Ursache für einen Mehrertrag bei Möhren ausscheidet, können die Ertragsgewinne nur auf Veränderungen des Bodengefüges zurückgeführt werden. Welche Prozesse hier wirksam wurden, bleibt unklar, zumal Mehrerträge auch auf einem Sandboden (Standort Herrenhausen) auftraten, bei dem die klassisch angeführten positiven Nebeneffekte einer Bearbeitung (Aufbrechen von Verkrustungen, Verringerung der Evaporation etc.) kaum 'greifen' dürften. Auch eine erhöhte N-Mineralisation scheidet zumindest für den Häufelversuch in Herrenhausen als Ursache für einen Mehrertrag aus, da sich eine höhere N-Verfügbarkeit am deutlichsten im Laubwachstum widerspiegelt (MOJE 1997), die Variante mit dem höchsten Mehrertrag an Rüben (1. Termin, 3 cm) aber die geringste Laubtrockenmasse aller Varianten aufwies.

Auch die Untersuchungen auf der Brachefläche gaben keinerlei Hinweise auf die Ursachen etwaiger Mehrerträge bei einer Bodenbearbeitung: Der  $N_{\min}$ -Gehalt wurde entgegen den von VAN DER WERF et al. (1991) zitierten älteren Untersuchungen auf dem zur Verschlämmung neigenden Boden in Ruthe nicht durch das Hacken beeinflusst. Der Bodenwassergehalt der Krume lag bei der 6 cm tief bearbeiteten Variante zeitweise sogar deutlich unter dem der Kontrolle.

Insgesamt lagen die Erträge der verschiedenen Regulationsvarianten wie auch bei den in Tab. 9.10 (Anhang) zitierten Hackversuchen mit Möhren und Zwiebeln mit 96% bzw. 97% leicht unter denen der unbehandelten Kontrollen (Tab. 6.7). Das ist angesichts der Tatsache, daß dieses Ergebnis auch für die Häufel- und Striegelvarianten gilt, die auch im Reihbereich der Kulturpflanzen ein Bekämpfungspotential aufweisen, erfreulich. Andererseits macht das Ergebnis aber auch deutlich, daß die häufig zitierten positiven Nebeneffekte mechanischer Unkrautregulationsmaßnahmen zumindest bei Gemüsekulturen nur vereinzelt zu Mehrerträgen führen.

## 7 Schlußbetrachtung und Ausblick

Mechanische Unkrautregulationsmaßnahmen bekämpfen Unkräuter durch Verschütten, Abschneiden bzw. Heraus- und Zerreißen. Gleichzeitig sollen die Kulturpflanzen weitestgehend geschont werden. Durch die Bodenlockerung bei der Bearbeitung erhofft man sich positive Wirkungen auf den Bestand.

Mit der Hacktiefe, der Bodenfeuchte und der Witterung am Hacktag konnten wesentliche Einflußfaktoren auf den Bekämpfungserfolg (BKE) beim Hacken auch hinsichtlich ihrer quantitativen Ausprägung bestimmt werden. Ihre Bedeutung ließ sich auf die für die Unkräuter nach einem Hackgang weiterhin verfügbare Wassermenge im bearbeiteten Bodenhorizont reduzieren. Mit zunehmender Unkrautgröße nahm darüber hinaus der BKE im allgemeinen ab. In einem Modellversuch mit *Phacelia* deutete sich allerdings auch an, daß, zumindest im direkten Arbeitsbereich von Gänsefußscharen, dieser Abfall des BKE nicht zwangsläufig auftreten muß.

Schar- und Rollhacke erwiesen sich unter trockenen Witterungsbedingungen als gleichermaßen wirksame Hackgeräte. Bei simulierten Niederschlägen zeigte die Rollhacke durch ihre stark verschüttende Wirkungskomponente Vorteile bei der Bekämpfung von Unkrautkeimlingen. Dagegen erfaßte die Scharhacke größere Unkräuter sicherer als die Rollhacke. Die beschriebene Verbesserung des BKE der Scharhacke durch einen nachlaufenden Striegel konnte bestätigt werden.

Dem hochgesteckten Ziel, den BKE in der Reihe zu verbessern, konnte bei Möhren und Sälzweibeln mit ihrer sehr langsamen Jugendentwicklung nur ein kleiner Schritt näher gekommen werden. Es zeigte sich, daß hier mit der Striegel- und der Häufeltechnik Verbesserungen beim BKE erzielt werden können. Da bei diesen Kulturen aber bereits wenige überlebende Unkräuter pro m<sup>2</sup> massive Ertragsverluste zur Folge haben können, führt eine derartige Verbesserung des BKE im allgemeinen nur zu einer Verminderung, nicht aber zur Vermeidung des Handarbeitsaufwandes bei rein thermisch/mechanischer Unkrautregulation.

Mit Mindererträgen von zum Teil über 20% gegenüber unkrautfreien Beständen waren bei betriebsüblicher Unkrautregulation überraschend hohe Ertragseinbußen auf den ökologisch bewirtschafteten Praxisschlägen zu verzeichnen. Diese sind auf ein zu spätes und auch nicht immer ausreichendes Jäten zurückzuführen.

Größere Kulturpflanzenschäden traten, auch bei den Striegel- und Häufelvarianten, im allgemeinen nicht auf. Bei durchschnittlich 3% Pflanzenverlusten waren geringfügige Ertragsverluste durch die Bearbeitungen zu verzeichnen. Die in den Ertragszahlen implizierten positiven Nebeneffekte einer mechanischen Unkrautregulation in Folge der Bodenlockerung führten nur in zwei Versuchen zu absicherbaren Mehrerträgen. Herauszustellen ist, daß dieses nur bei einem Anhäufeln von Möhren auftrat, einem Verfahren, bei dem eher eine geringe Schädigung der Kultur erwartet wurde. Die Ursachen für diese positiven Ertragseffekte blieben allerdings offen.

Die weitere Verbreitung mechanischer Unkrautregulationsmaßnahmen wird insbesondere davon abhängen, inwieweit es gelingt, das Problem der mangelnden Regulation im Reihbereich zu lösen. Bei Pflanz-, aber auch Säkulturen mit zügiger Jugendentwicklung, dürften hier hohe BKE durch frühzeitiges Striegeln oder Anhäufeln erreichbar sein. In Kulturen mit einem größeren Sollabstand in der Reihe ist auch ein Einsatz der Hacke quer zu den Reihen praktikabel (PETZOLD und KOLBE 1998).

Entwicklungen wie die Finger- und Torsionshacke und der Pneumat lassen Verbesserungen des BKE im Reihbereich erwarten, doch setzen auch diese Verfahren, ähnlich dem Striegeln oder Häufeln, einen Entwicklungsvorsprung der Kulturpflanze voraus. Daher sind auch von diesen Geräten keine entscheidenden Impulse für eine mechanische Unkrautregulation in Säkulturen mit sehr langsamer Jugendentwicklung wie Möhren und Zwiebeln zu erwarten. Erste Ergebnisse zum Einsatz der Finger- und Torsionshacke in Zwiebeln belegen dies (vgl. Tab. 9.10, Anhang).

Durch sensorgestützte Regelungen sind in den nächsten Jahren Verbesserungen bei der Reihenführung der Hackgeräte zu erwarten, was neben einer Entlastung des Schlepperfahrers auch eine Verringerung des Hackabstandes ermöglicht (Übersicht in KTBL 1995). Bei dem klassischen Arbeitswerkzeug Hackschar sind hier allerdings Grenzen gesetzt, da insbesondere auf bindigen Böden die Gefahr von Pflanzenschäden durch seitliche Erdbewegungen besteht. Eine automatische Unkrauterkennung, wie sie zur selektiven Unkrautregulation in der Reihe notwendig wäre, ist erst in Ansätzen realisiert (KTBL 1995). Technische Konzepte, um nach deren Identifizierung die Unkräuter auch in unmittelbarer Nähe der Kulturpflanzen beseitigen zu können, liegen noch nicht vor. Somit wird die menschliche Arbeitskraft auch mittelfristig noch ein wesentlicher Faktor der physikalischen Unkrautregulation bleiben.

## 8 Literaturverzeichnis

- AG BODENKUNDE 1996: Bodenkundliche Kartieranleitung. 4. Aufl., Schweizerbart, Stuttgart
- ANDERSSON, B. und A. BENGSSON 1992: Influence of row spacing, tractor hoeing and herbicide treatment on weeds in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). Swedish J. agric. Res. **22**, 19-27
- APPEL 1995: Wildsamen-Katalog der Firma Conrad Appel GmbH, Darmstadt
- ASCARD, J. 1989: Thermal weed control with flaming in onions. Weeds and weed control, 30th Swedish Crop Protection Conference, Uppsala, 1-2 Febr. 1989, Vol. 2, 35-47
- ASCARD, J. 1994: Soil cultivation in darkness reduced weed emergence. Acta Hort. **372**, 167-176
- ASCARD, J. und R.R.B. BELLINDER 1996: Mechanical in-row cultivation in row crops. Second International Weed Control Congress Copenhagen 1996, 1121-1126
- ASCARD, J. und B. MATTSSON 1994: Inter-row cultivation in weed-free carrots: the effect on yield of hoeing and brush weeding. Biological Agriculture and Horticulture **10**, 161-173
- BAEUMER, K. 1988: Chemische und mechanische Unkrautbekämpfung in Ackerbohnen. Mitt. Ges. Pflanzenbauwiss. **1**, 1-3
- BALSARI, P., G. AIROLDI und A. FERRERO 1993: Evaluation of the mechanical weed control in maize and soyabean. Proc. EWRS Symposium "Quantitative approaches in weed and herbicide research and their practical application", Braunschweig, 1993, 1, 341-348
- BAUMANN, D.T. 1994: Striegeleinsatz im Gemüsebau. Der Gemüsebau **57** (9), 5-6
- BAUMANN, D.T., C.A. POTTER und H. MÜLLER-SCHÄRER 1993: Zeitbezogene Schadensschwelen bei der integrierten Unkrautbekämpfung im Freilandgemüsebau. Proc. EWRS Symposium "Quantitative approaches in weed and herbicide research and their practical application", Braunschweig, 1993, 2, 807-813
- BAUMANN, D.T. und I. SLEMBROUCK 1994: Mechanical and integrated weed control systems in row crops. Acta Hort. **372**, 245-252
- BAUMGARTEN, B. 1998: Die Wirkung des Abflammpunktes auf Ertrag und Jätzeitbedarf bei Zwiebeln (*Allium cepa* L.). Diplomarbeit, Institut für Gemüse- und Obstbau, Univ. Hannover
- BECKER, K. und A. BÖHRNSEN 1994: Wirkung mechanischer Pflegemaßnahmen auf die Unkrautabundanz und die N-Mineralisation im Boden. Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. XIV, 315-324
- BECKER-DILLINGEN 1956: Handbuch des gesamten Gemüsebaues. 6. Aufl., Paul Parey, Berlin, Hamburg
- BECKMANN, S. 1996: Einfluß der Hacktiefe auf den Unkrautbekämpfungserfolg. Diplomarbeit, Institut für Gemüsebau, Univ. Hannover

- BERTRAM, H.-H. 1966: Untersuchungen über die ganzflächige mechanische Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben. Diss. Univ. Hohenheim
- BIELKA, R. und A. MÜGGE 1965: Über den Einfluß der Bearbeitungshäufigkeit während der Pflegeperiode auf den Ertrag von Kohlgemüsearten. In: Zur Ertrags- und Qualitätssteigerung im Gemüsebau. Deutsche Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin [Hrsg.], DDR: 53-73
- BÖHRNSEN, A. und V. BRÄUTIGAM 1990: Mechanische Unkrautbekämpfung mit Striegel und Netzege in Winterweizen. Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. XII, 463-472
- BOND, W. 1991: Crop losses due to weeds in field vegetables, and the implications for reduced levels of weed control. Brighton Crop Protection Conf. - Weeds, 591-598
- BOND, W. und S. BURSTON 1996: Timing the removal of weeds from drilled salad onions to prevent crop losses. Crop Protection **15** (2), 205-211
- BÖRNER, H. 1995: Unkrautbekämpfung. Gustav Fischer, Jena, Stuttgart, New York
- BORNSCHEUER, E. 1974: Müssen Zuckerrüben gehackt werden? DLG-Mitteilungen **89** (24), 702
- BRÄUTIGAM, V., W. HENKE und S. LÜHR 1989: Mechanische Unkrautbekämpfung nach verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen. Landtechnik **44** (3), 109-112
- BUNDESSORTENAMT 1995: Richtlinien für die Wertprüfung und Sortenversuche im Gemüsebau. Ausgabe 1995, Landbuch-Verlag, Hannover
- CAVALLORO, R. und A. EL TITI 1986: Weed control in vegetable production. Proc. of Meeting of the EC Experts' Group, Stuttgart 28-31 October 1986, Balkema, Rotterdam/Brookfield
- CHAUDHARY, M.R. und S.S. PRIHAR 1974: Root development and growth response of corn following mulching, cultivation, or compaction. Agronomy Journal **66**, 350-355
- COUSENS, R.D. 1985: An empiric model relating crop yield to weed and crop density and a statistical comparison with other models. J. Agric. Sci. **105**, 513-521
- DAWSON, J.H. 1986: The concept of the period thresholds. Proc. EWRS Symposium 1986, Economic Weed Control, 327-331
- DEUTSCHER WETTERDIENST 1995, 1996: Niederschlags- und Verdunstungsdaten der Wetterstationen Burgdorf, Langenhagen, Lehrte, Nienburg und Wellie. Amtliche Auskunft, Hannover
- DIAS, L.S. und I. MOREIRA 1986: Allelopathic interactions between vegetable crops and weeds. In: CAVALLORO und EL TITI 1986, 197-211
- DIERAUER, H.-U. und H. STÖPPLER-ZIMMER 1994: Unkrautregulierung ohne Chemie. Ulmer, Stuttgart
- DUFNER, J., U. JENSEN und E. SCHUMACHER 1992: Statistik mit SAS. Teubner, Stuttgart
- ENGEL, K.-H., N. MAKOWSKI, J. HOLLNAGEL und G. LEMBCKE 1982: Neue Ergebnisse zur kombinierten Unkrautbekämpfung in Winterraps. Nachrichtenblatt für den Pflanzenschutz in der DDR **36** (12), 229-232

- ESTLER, M. 1987: Kein altes Eisen mehr; Hacken - eine echte Alternative. Pflanzenschutz-Praxis (2), 38-40
- ESTLER, M. 1988: Möglichkeiten und Grenzen der mechanischen Unkrautbekämpfung. Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. XI, 33-44
- ESTLER, M. 1992: Entwicklung und Erprobung neuer mechanischer Verfahren zur umweltgerechten Unkrautbekämpfung. Gelbes Heft; 45, Technische Univ. München, Institut für Landtechnik, Freising-Weißenstephan
- ESTLER, M. und P. NAWROTH 1994: Neue Gesamtkonzepte für die mechanisch-physikalische Unkrautregulierung. Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. XIV, 263-266
- ESTLER, M., L. RESCH, H. KEES und A. LUTZ 1992: Kombinierte mechanisch-chemische Unkrautbekämpfung in Mais - mehrjährige Versuchserfahrung aus Bayern. Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. XIII, 637-646
- FOGELBERG, F. und T. JOHANSSON 1993: Mechanical weed control - Intra-row brush weeding in vegetables and sugarbeets. Maitrise des adventices par voie non chimique: Dijon (France) 5-9 Juillet 1993, ed. par Thomas, J.-M.
- GEIER, B. 1989: Systeme der Abflammtchnik und mögliche Arbeitersparnis. In: HOFFMANN und GEIER 1989, 143-149
- GEIER, B., M. REINISCH und H. VOGTMANN 1986: Beikrautregulierung im Mais mit mechanischen und thermischen Methoden - Ein Vergleich zum Herbizideinsatz (Versuch Grundmann, 1985). Witzhausen (zit. in WALTER 1989)
- GEIER, B. und H. VOGTMANN 1988: The multiple row brush hoe - A new tool for mechanical weed-control. In: CAVALLORO und EL TITI 1988, 179-185
- GEROWITT, B. 1992: Klettenlabkraut im Getreide mechanisch bekämpfen? Pflanzenschutz-Praxis (1), 16-19
- GEYER, M., J. WITTRÖCK und J. MEYER 1991: Mechanische Unkrautbekämpfung im Gemüsebau. Deutscher Gartenbau **45** (15), 942-945
- GOGOŁOK, J., R. SCHUEMER und G. STRÖHLEIN 1992: Datenverarbeitung und statistische Auswertung mit SAS, Band 1: Einführung in das Programmsystem, Datenmanagement und Auswertung; SAS-Version 6. Fischer, Stuttgart
- GOMEZ, K.A. und A.A. GOMEZ 1984: Statistical procedures for agricultural research. 2. Aufl., John Wiley und Sons, New York
- GRAF, W. 1984: Einfluß verschiedener Bodenbearbeitungsverfahren auf Bodenstruktur, Unkrautbesatz und Entwicklung von Winterweizen und Mais. Diplomarbeit, ETH Zürich (zit. in SCHMID und STEINER 1989)
- HABEL, W. 1954: Über die Wirkungsweise der Eggen gegen Samenunkräuter sowie die Empfindlichkeit der Unkräuter und ihrer Altersstadien gegen den Eggvorgang. Diss. Univ. Hohenheim
- HANF, M. 1990: Ackerunkräuter Europas. 3. Aufl., BLV-Verl.-Ges., München
- HEINISCH, O. 1955: Samenatlas der wichtigsten Futterpflanzen und ihrer Unkräuter. Deutscher Bauernverlag, Berlin
- HENNE, R.C. und T.L. POULSON 1980: Integrated weed control programs for carrots and tomatoes. Proc. Ann. Meeting Northeastern Weed Sci. Soc., 8.-10. Jan, **34**, 161-166

- HEWSON, R.T. und H.A. ROBERTS 1971: The effect of weed removal at different times on the yield of bulb onions. *J. hort. Sci.* **46**, 471-483
- HEWSON, R.T. und H.A. ROBERTS 1973: Effects of weed competition for different periods on the growth and yield of red beet. *J. hort. Sci.* **48**, 281-292
- HOFFMANN, M. und B. GEIER [Hrsg.] 1989: Beikrautregulierung statt Unkrautbekämpfung. *Alternative Konzepte* 58, Müller, Karlsruhe
- HOLZNER, W. 1981: *Acker-Unkräuter*. Leopold.Stocker-Verlag, Graz
- HUBER, B. 1991: So setzen Sie Hackgeräte im Mais richtig ein. *top agrar* (5), 58-61
- HURLE, K. und A. KEMMER [Hrsg.] 1988: Bekämpfung von Unkräutern im Mais. *Gemeinschaftsversuche Baden-Württemberg 1987/88, Berichte aus dem Fachgebiet Herbologie der Univ. Hohenheim, Heft 29*
- HURLE, K. und A. KEMMER [Hrsg.] 1990: Mechanische Unkrautbekämpfung in Getreide. *Gemeinschaftsversuche Baden-Württemberg 1989/90, Berichte aus dem Fachgebiet Herbologie der Univ. Hohenheim, Heft 30*
- INSTITUT FÜR GEMÜSEBAU 1996: *Versuchsanlagen 1996, Standortbeschreibungen Ruthe und Herrenhausen*. Institut für Gemüsebau, Univ. Hannover
- ISENSEE, E. 1966: Möglichkeiten einer Verringerung der Verstopfungsgefahr bei Hackscharen. *Landtechnische Forschung* **16** (5), 159-162
- JENSEN, P.K. 1992: First Danish experiences with photocontrol of weeds. *Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. XIII*, 631-636
- KEES, H. 1962: *Untersuchungen zur Unkrautbekämpfung durch Netzege und Stoppelbearbeitungsmaßnahmen unter besonderer Berücksichtigung des leichten Bodens*. Diss. Univ. Hohenheim
- KEES, H., E.BEER, H. BÖTGER, W. GARBURG, G. MEINERT und E. MEYER 1993: *Unkrautbekämpfung im Integrierten Pflanzenschutz*. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt
- KEES, H. und A. LUTZ 1991: Was Sie statt Atrazin einsetzen können. *Pflanzenschutz-Praxis* (2), 18-21
- KEES, H. und M. ZELLNER 1994: Maisunkräuter auch mechanisch regulieren. *Pflanzenschutz-Praxis* (2), 10-14
- KESSLER, C. 1996: *Ermittlung und Bewertung von arbeitswirtschaftlichen Daten der mechanischen Unkrautregulierung im ökologischen Gemüsebau*. Diplomarbeit, Institut für Landtechnik, TU München-Weihenstephan (zit. in WEBER 1997)
- KOCH, W. 1959: *Untersuchungen zur Unkrautbekämpfung durch Saatzpflege und Stoppelbearbeitungsmaßnahmen*. Diss. Univ. Hohenheim
- KOCH, W. und K. HURLE 1978: *Grundlagen der Unkrautbekämpfung*. Ulmer, Stuttgart
- KOLBE, W. 1987: *Untersuchungen zur Verhinderung der Unkrautentwicklung im Acker- und Gartenbau*. Rheinischer Landwirtschaftsverlag, Bonn
- KOUWENHOVEN, J.K., J.J. KLOOSTER, E.E. VOS-HEIKENS und J.D.A. WEVERS 1990: *Mechanische en fysische onkruidbestrijding*. In: HOGERKAMP, M. und J. STRYKERS: *Handboek Onkruidkunde*. 63-86, Pudoc, Wageningen

- KOUWENHOVEN, J.K. und R. TERPSTRA 1979: Sorting action of tines and tines-like tools in the field. *Journal of Agricultural Engineering Research* **24**, 95-113
- KRAUS, A. 1948: Feinegge und Netzegge bei der Bekämpfung von jungen Samenunkräutern im Getreide. Diss. Univ. Hohenheim
- KRESS, W. 1989: Die Reihenhackbürste - eine neue Entwicklung in der mechanischen Beikrautregulierung. In: HOFFMANN und GEIER 1989, 83-88
- KRESS, W. 1994: Unkrautmanagement im Gemüsebau. *Gemüse* **30** (4), 240-242
- KTBL 1995: Mechanische Unkrautregulierung, KTBL-Fachgespräch "Steuerung von Geräten zur mechanischen Unkrautregulierung". Arbeitspapier 222, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Landwirtschaftsverlag, Münster
- KÜSTER, H.-J., K.-W. KRÜGER und M. LANFERMANN 1984: Untersuchungen zum Einfluß der Maschinenhacke auf Ertrag und Qualität von Zuckerrüben. *Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd.* **28** (3), 169-178
- LABER, H. 1990: Experimentelle Untersuchung der Auswirkung unterschiedlicher Abflammenterme sowie einer VA-Behandlung mit einem Totalherbizid auf Unkrautbesatz, Bestandsentwicklung und Ertrag von Sälzweibeln. Diplomarbeit, Fachbereich Gartenbau, FH Osnabrück
- LABER, H., B. BAUMGARTEN, H. STÜTZEL und C. WONNEBERGER 1999: Abflammen von Sälzweibeln im Nachauflauf. *Gemüse* **35** (5), 312-314
- LAWSON, H.M. und J.S. WISEMAN 1978: Competition between weeds and transplanted spring cabbage: Effects of selective weed removal. *Hort. Res.* **18**, 113-126
- LORENZ, E., B. ULBER und H.M. POEHLING 1994: Einfluß verschiedener mechanischer Unkrautbekämpfungsverfahren auf die Abudanz von Laufkäfern (*Coleoptera*, *Carabidae*) in Zuckerrüben. *Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. XIV*, 635-644
- LORENZ, H.-P., J. SCHLAGHECKEN, G. ENGEL, A. MAYNC und J. ZIEGLER 1989: Ordnungsgemäße Stickstoff-Versorgung im Freiland-Gemüsebau nach dem "Kulturbegleitenden Nmin-Sollwerte(KNS)-System". Ministerium für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten, Rheinland-Pfalz [Hrsg.], Mainz
- LÜTKEMEYER, L. 1998: Der "Pneumat" Neue Perspektiven der Unkrautregulierung. Univ. - GH Paderborn, Fachbereich Agrarwirtschaft, Soest
- LWK WESER-EMS 1989: Pflanzenschutzversuchsergebnisse 1989. Pflanzenschutzamt, Oldenburg
- LWK WESER-EMS 1990: Pflanzenschutzversuchsergebnisse 1990. Pflanzenschutzamt, Oldenburg
- LWK WESER-EMS 1991: Pflanzenschutzversuchsergebnisse 1991. Pflanzenschutzamt, Oldenburg
- MAJEK, B.A. 1985: Cost and effectiveness of hand weeding and cultivation compared to labeled and experimental herbicide programs. Proc. 39th Ann. Meeting Northeastern Weed Sci. Soc., Jan 9.-11. 1985, **39**, 124-125
- MALKOMES, H.-P. 1994: Einfluß nichtchemischer Unkrautbekämpfungsverfahren auf Organismen im Boden - eine Bestandsaufnahme. *Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. XIV*, 645-654

- MATTSSON, B., C. NYLANDER und J. ASCARD 1990: Comparison of seven inter-row weeders. III. Internationale Konferenz zu Aspekten der nicht-chemischen Beikrautregulierung; Linz, 10.-12.10.1989, Veröffentlichungen der Bundesanstalt für Agrarbiologie Linz/Donau, **20**, 91-107
- MAYKUB, F. 1993: Kartoffeln: Herbizide bleiben erste Wahl. Pflanzenschutz-Praxis (2), 22-25
- MEIER, A. 1987: Vergleich der Wirkung mechanischer und thermischer Verfahren der Unkrautregulierung in Mais. Diplomarbeit, FB Landwirtschaft, GH Kassel (zit. in WALTER 1989)
- MEIER, T. 1986: Die Hackbürste im biologischen Möhrenanbau im Vergleich zur herkömmlichen Hacktechnik. Diplomarbeit, FB Landwirtschaft, GH Kassel
- MELANDER, B. 1998: Interaction between soil cultivation in darkness, flaming and brush weeding when used for in-row weed control in vegetables. Biological Agriculture and Horticulture **16**, 1-14
- MELANDER, B. und P. HARTVIG 1995: Weed harrowing in seeded onions. 9th EWRS Symposium Budapest 1995: Challenges for Weed science in a Changing Europe, 543-549
- MELANDER, B. und P. HARTVIG 1997: Yield responses of weed-free seeded onions [*Allium cepa* (L.)] to hoeing close to the row. Crop Protection **16** (7), 687-691
- MERZ, R. 1975: Art und Bedeutung der Unkrautkonkurrenz in Möhren unter besonderer Berücksichtigung des Möhrenanbaus in Baden-Württemberg. Diss. Univ. Hohenheim
- MEYER, A. 1986: Unkrautregulierung in Getreide mit verschiedenen Geräten. Forschungsbericht 1986, Forschungsinstitut für biologischen Landbau, Oberwil (unveröffentlicht, zit. in SCHMID und STEINER 1989)
- MEYER, H.-E. 1993: Mechanische Unkrautbekämpfung in Körnererbse - Beobachtungen und Untersuchungen an einem Feldversuch im Jahre 1992. Diplomarbeit, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Univ. Göttingen
- MEYER, J. und H. WEBER 1998: Die Weihenstephaner Trennhacke. Landtechnik **53** (2), 76-77
- MEYLER, J.F. und W. RÜHLING 1966: Mechanische Unkrautbekämpfung bei hohen Geschwindigkeiten. Landtechnische Forschung **16** (3), 79-84
- MILLER, A.B. und H.J. HOPEN 1991: Critical weed-control period in seeded cabbage (*Brassica oleracea* var *capitata*). Weed Technology **5**, 852-857
- MOJE, C. 1997: Möglichkeiten zur Absenkung des Nitratgehalts in Möhren unter besonderer Berücksichtigung des Stickstoffangebots. Diss. Univ. Hannover, Ulrich E. Grauer, Stuttgart
- MONTEITH, J.L. und M.H. UNSWORTH 1990: Principles of environmental physics. Edward Arnold, London, New York, Melbourne, Auckland
- MÜLLER, J., A. BAUMERT und K. KÖLLER 1997: Untersuchungen einer bodenange-triebenen, rotierenden Fingerhacke. Agrartechnische Forschung **3**

- MÜLLER-SCHÄRER, H. und D.T. BAUMANN 1993: Unkrautregulierung im Gemüsebau: Konzepte zur Reduktion des Herbizideinsatzes. *Landwirtschaft Schweiz* **6** (7), 401-412
- MÜLLER-SCHÄRER, H., G.S. WYSS und D.T. BAUMANN 1993: Zeitbezogene Unkraut-schadensschwelen in Sommerzwiebeln. *Der Gemüsebau* **56** (9), 7-10
- MÜLLVERSTEDT, R. 1961: Untersuchungen über einige Fragen der mechanischen Unkrautbekämpfung unter besonderer Berücksichtigung der Unkrautsamen-keimung in Abhängigkeit vom Sauerstoff. Diss. Univ. Hohenheim
- MUNZERT, M. 1992: Einführung in das pflanzenbauliche Versuchswesen. Parey, Berlin, Hamburg
- NEURURER, H. 1977: Mechanische Unkrautbekämpfung mit modernen Hackeggen. *Proc. EWRS Symp. Methods Weed Control and their Integr.*, 65-70
- NORDMEYER, H., R. ANLAUF und W. RAUE 1994: Unkrautbekämpfungsverfahren in Mais. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* **46** (6), 134-139
- ORTH, H. und C. HÜLSENBERG 1969: Konkurrenzwirkung von Unkräutern in einigen Gemüsekulturen. *Angew. Botanik* **43**, 71-86
- PÄTZOLD, C. 1967: Über die Auswirkung von Unkrautbekämpfungsmaßnahmen im Kartoffelbau. *Landbauforschung Völkenrode* **17** (1), 27-36
- PEDERSEN, B.T. 1990: Test of the multiple row brush hoe. III. Internationale Konferenz zu Aspekten der nicht-chemischen Beikrautregulierung; Linz, 10.-12.10.1989, Veröffentlichungen der Bundesanstalt für Agrarbiologie Linz/Donau, **20**, 109-125
- PETZOLD, W. 1999: Untersuchungen zum Arbeitseffekt von Bügelhacke und Tellerhackbürste in Möhren. In: HOFFMANN, H. und S. MÜLLER [Hrsg.]: Beiträge zur 5. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau; 23.-25. Februar 1999 in Berlin / Humboldt-Univ., Köster, Berlin
- PETZOLD, W. und H. KOLBE 1998: Zuckerrüben im Ökologischen Landbau. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft Dresden **3** (9)
- PFLSCHG 1998: Gesetz zum Schutz der Kulturpflanzen (Pflanzenschutzgesetz - PflSchG). *Bundesgesetzblatt Jahrgang 1998, Teil I, Nr. 28, Bonn*
- PRIHAR, S.S. und D.M. VAN DOREN JR. 1967: Mode of response of weed-free corn to post-planting cultivation. *Agronomy Journal* **59**, 513-516
- PULLEN, D.W.M und P.A. COWELL 1997: An evaluation of the performance of mechanical weeding mechanisms for the use in high speed inter-row weeding of arable crops. *J. agric. Engng Res.* **67**, 27-34
- RASMUSSEN, J. 1990: Selectivity - an important parameter on establishing the optimum harrowing technique for weed control in growing cereals. *Proc. EWRS Symposium 1990, Integrated weed management in cereals, Helsinki, 4-6 June, 144-157*
- RASMUSSEN, J. 1991: Optimising the intensity of harrowing for mechanical weed control in winter wheat. *Brighton Crop Protection Conf. - Weeds*, 177-184
- RASMUSSEN, J. 1992a: Testing harrows for mechanical control of annual weeds in agricultural crops. *Weed Res.* **32**, 267-274

- RASMUSSEN, J. 1992b: Experimental approaches to mechanical weed control in field peas. IXème Colloque international sur la Biologie des Mauvaises Herbes **9**, 129-138
- RASMUSSEN, J. 1993a: The influence of harrowing used for post-emergence weed control on the interference between crop and weeds. Proc. EWRS Symposium "Quantitative approaches in weed and herbicide research and their practical application", Braunschweig, 1993, 1, 209-217
- RASMUSSEN, J. 1993b: Yield response models for mechanical weed control by harrowing at early crop growth stages in peas (*Pisum sativum* L.). Weed Res. **33**, 231-240
- RASMUSSEN, J. 1993c: Can high densities of competitive weeds be controlled efficiently by harrowing or hoeing in agricultural crops? Maitrise des adventices par voie non chimique: Dijon (France) 5-9 Juillet 1993, ed. par Thomas, J.-M., 85-89
- RASMUSSEN, J. und T. SVENNINGSSEN 1995: Selective weed harrowing in cereals. Biological Agriculture and Horticulture **12**, 29-46
- ROBERTS, H.A. 1976: Weed competition in vegetable crops. Ann. appl. Biol. **83**, 321-347
- ROEB, L. 1977: Der Einfluß des Lichtes auf die Keimung von Unkrautsamen. Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. VIII, 165-168
- RYDBERG, T. 1994: Weed harrowing - the influence of driving speed and direction on degree of soil covering and the growth of weed and crop plants. Biological Agriculture and Horticulture **10**, 197-205
- SAS INSTITUTE 1995: The SAS system for Windows, release 6.11. Statistik-Softwarepaket des SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.
- SCHACHTSCHABEL, P., H.-P. BLUME, G. BRÜMMER, K.-H. HARTGE und U. SCHWERTMANN 1992: Lehrbuch der Bodenkunde. 13. Aufl., Enke, Stuttgart
- SCHÄUFELE, W.R. 1981: Rüben hacken oder spritzen? Pflanzenschutz-Praxis (1), 28-30
- SCHMID, O. und N. STEINER 1986: Mechanische Unkrautregulierung in der Schweiz. In: HOFFMANN und GEIER 1989, 65-81
- SCHRÖDL, J. 1984a: Gruse-Hackautomaten. Prüfbericht Gruppe 5c/8, Nr. 3344, DLG [Hrsg.], Frankfurt
- SCHRÖDL, J. 1984b: Schmotzer-Hackautomaten. Prüfbericht Gruppe 5c/14, Nr. 3944, DLG [Hrsg.], Frankfurt
- SEWELL, M.C. und P.L. GAINEY 1932: Nitrate accumulation under various cultural treatments. Journal American Society Agronomy **24**, 238-289
- SORENSEN, V.M., J. HANKS und R.L. CARTEE 1980: Cultivation during early season and irrigation influences on corn production. Agronomy Journal **72**, 266-270
- STANNEK, G. 1960a: Die Anwendung des Unkrautstriegels und der Ackerbürste im Pflanzgemüsebau. Der Deutsche Gartenbau **7** (1), 8-10

- STANNEK, G. 1960b: Die Anwendung des Unkrautstriegels und der Ackerbürste im Pflanzgemüsebau [Schluß]. *Der Deutsche Gartenbau* **7** (2), 45-49
- STANNEK, G., G. BANHOLZER und K. ZSCHAU 1983: Stärkerer Einsatz der mechanischen Bodenpflegemaßnahmen und deren Vorteile für den Luft- und Wasserhaushalt des Bodens und die Unkrautbekämpfung. *Gartenbau* **30** (6), 164-166
- STEINER, N. 1985: Unkrautregulierung in Winterweizen mit verschiedenen Geräten. Forschungsbericht 1985, Forschungsinstitut für biologischen Landbau, Oberwil (unveröffentlicht, zit. in SCHMID und STEINER 1989)
- STROMMER, J. 1990: Auswirkungen von mechanischer und chemischer Unkrautregulierung in Sojabohnen und Sonnenblumen auf Wachstum und Ertrag sowie auf die Ackerbegleitflora und den Deckungsbeitrag. Diss. Univ. für Bodenkultur, Wien
- TERPSTRA, R. 1977: Modelproef mechanische onkruidbestrijding. Tillage Lab. A.U., Wageningen (zit. in KOUWENHOVEN und TERPSTRA 1979)
- TERPSTRA, R. und J.K. KOUWENHOVEN 1981: Inter-row and intra-row weed control with hoe-ridger. *J. agric. Engng Res.* **26**, 127-134
- TIMMER, R.D., J. JONKERS, P.M.T.M. VAN GEELLEN und D.T. BAUMANN 1993: Onkruidbestrijding in droge erwten, veldbonen en stamslabonen. In: VAN DER WEIDE et al. 1993, 27-38
- VAN DER SCHANS, D.A., P.M.T.M. GEELLEN und D.T. BAUMANN 1993: Onkruidbestrijding in sniemaïs. In: VAN DER WEIDE et al. 1993, 52-62
- VAN DER WEIDE, R.Y., P.M. SPOORENBERG und H.K.J. BOSCH 1993: Themadag Duurzame onkruidbestrijding. Themaboekje nr. 15, ikc-PAGV, Lelystad
- VAN DER WEIDE, R.Y und F.G. WIJNANDS 1993: Strategieën voor duurzame onkruidbestrijding. In: VAN DER WEIDE et al. 1993, 6-14
- VAN DER WERF, H.M.G., J.J. KLOOSTER, D.A. VAN DER SCHANS, F.R. BOONE und B.W. VEEN 1991: The effect of inter-row cultivation on yield of weed-free maize. *Journal of Agronomy & Crop Science* **166**, 249-258
- VAN HEEMST, H.D.J. 1985: The influence of weed competition on crop yield. *Agricultural Systems* **18**, 81-93
- VESTER, J. und J. RASMUSSEN 1990: Erfahrungen mit der Reihenhackbürste in verschiedenen Kulturen, Dänemark 1987 bis 1988. III. Internationale Konferenz zu Aspekten der nicht-chemischen Beikrautregulierung; Linz, 10.-12.10.1989, Veröffentlichungen der Bundesanstalt für Agrarbiologie Linz/Donau **20**, 127-134
- VOGEL, G. 1996: Handbuch des speziellen Gemüsebaues. Ulmer, Stuttgart
- WAHMHOFF, W. 1994: Mechanische Unkrautbekämpfung in Winterraps. *Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. XIV*, 303-313
- WALTER, S. 1989: Nicht-chemische Unkrautregulierung. SÖL-Sonderausgabe 27, Stiftung Ökolog. Landbau, Kaiserslautern
- WEAVER, S. 1984: Critical period of weed competition in three vegetable crops in relation to management practices. *Weed Res.* **24**, 317-325
- WEBER, H. 1994: Unkrautbekämpfung mit Reihenhackbürsten - Bekämpfungserfolg kontra Bodenschonung? *Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh. XIV*, 281-288

- WEBER, H. 1996: Mechanische Unkrautbekämpfung in Reihenkulturen. Gemüse **32** (1), 38-40
- WEBER, H. 1997: Geräte- und verfahrenstechnische Optimierung der mechanischen Unkrautregulierung in Beetkulturen. Forschungsbericht Agrartechnik, 315, Diss. TU München-Weihenstephan
- WENDLING, U. 1991: Schätzmethode der Verdunstung landwirtschaftlicher Bestände nach den Ansätzen von Penman und Turc. Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenkd. **35** (4), 251-257
- WENDLING, U., H.-G. SCHELLIN und M. THOMÄ 1991: Bereitstellung von täglichen Informationen zum Wasserhaushalt des Bodens für die Zwecke der agrarmeteorologischen Beratung. Z. Meteorol. **41** (6), 468-475
- WEVERS, J., C.E. WESTERDIJK und J.C. VAN DE ZANDE 1993: Onkruidbestrijding in suikerbieten. In: VAN DER WEIDE et al. 1993, 47-51
- WILDENHAYN, M. 1993: Getreide durch mechanische Unkrautbekämpfung geschädigt? Pflanzenschutz-Praxis (1), 12-15
- WILDFELLNER, F. 1990: Mechanische Unkrautbekämpfung mit Markübersicht der Geräte. Österr. Kuratorium für Landtechnik, Wien
- WINNER, C. und W.R. SCHÄUFELE 1970: Die mechanische Bodenbearbeitung in Zuckerrüben aus neuer Sicht. Zucker **23** (5), 122-129
- WITTROCK, J. 1991: Verfahren der mechanischen Unkrautbekämpfung im Feldgemüsebau. Diplomarbeit TU München/Weihenstephan (zit. in GEYER et al. 1993)
- WONNEBERGER, C. und H. BEUERMANN 1986: Rückstandsfreie Unkrautbekämpfung bei Möhren. Gemüse **22** (2), 72-74
- ZANDER, R. 1994: Handwörterbuch der Pflanzennamen. 15. Aufl., Ulmer, Stuttgart
- ZANNER, L. 1990: Mechanische Unkrautbekämpfung. In: ZSCHAU 1990, 16-63
- ZIEGLER 1993: Rüben hacken bringt Vorteile. top agrar (1), 70-71
- ZSCHAU, K. 1990: Chemisch-mechanische Unkrautbekämpfung in den Kulturen. In: ZSCHAU 1990, 83-141
- ZSCHAU, K. [Hrsg.] 1990: Unkrautbekämpfung. Rationelle Produktion von Gemüse. Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin

## 9 Anhang

Tab. 9.1: Ertragsverluste verschiedener Gemüsearten bei unterlassener Unkrautbekämpfung.

Gemüseart <sup>1</sup>	Ertragsverlust [%]		Datenbasis	Quelle
	Spanne	Mittel		
Buschbohnen	0-89 <sup>3</sup> 65/67 <sup>3</sup>	54 <sup>2</sup>	21-jähr. Erhebung	KOLBE 1987
		— <sup>4</sup>	20-jähr. Erhebung	BOND 1991
		61	5 Arbeiten	VAN HEEMST 1985
		66	2 Versuche	MAJEK 1985
Feuerbohne	1-96 <sup>3</sup>	— <sup>4</sup>	20-jähr. Erhebung	BOND 1991
Puffbohnen	1-82 <sup>3</sup>	— <sup>4</sup>	20-jähr. Erhebung	BOND 1991
		35 <sup>2</sup>	21-jähr. Erhebung	KOLBE 1987
Erbsen	4/20 <sup>2</sup>	46 <sup>2</sup>	21-jähr. Erhebung	KOLBE 1987
		12 <sup>2</sup>	1 Versuch	MEYER 1993
		12	2 Versuche	RASMUSSEN 1992b
Gurken		92 <sup>3</sup>	1 Versuch	WEAVER 1984
Blumenkohl, gepfl.		9 <sup>2</sup>	21-jähr. Erhebung	KOLBE 1987
Kopfkohl	95/100 <sup>3</sup>	97	2 Versuche	MILLER und HOPEN 1991
	0-100 <sup>3</sup>	63	20-jähr. Erhebung	BOND 1991
Winterkohl, gepfl.	67-73 <sup>3</sup>	70	3 Versuche	LAWSON und WISEMAN 1978
Frühkohl, gepfl.	44/53 <sup>3</sup>	49	2 Versuche	WEAVER 1984
Kopfkohl, gepfl.	42-81 <sup>3</sup>	12 <sup>2</sup>	21-jähr. Erhebung	KOLBE 1987
		62	2 Versuche	MAJEK 1985
Kohlrabi, gepfl.	14/20 <sup>3</sup>	17	2 Versuche	ORTH und HÜLSENBERG 1969
Grünkohl, gepfl.		10 <sup>2</sup>	21-jähr. Erhebung	KOLBE 1987
Rosenkohl, gepfl.		26 <sup>2</sup>	21-jähr. Erhebung	KOLBE 1987
Zuckermais		87 <sup>3</sup>	1 Versuch	MAJEK 1985
Möhren	0-99 <sup>3</sup>	54	20-jähr. Erhebung	BOND 1991
		87	5 Arbeiten	VAN HEEMST 1985
		74 <sup>2</sup>	21-jähr. Erhebung	KOLBE 1987
Petersilie		97 <sup>3</sup>	1 Versuch	MAJEK 1985
Porree		73 <sup>2</sup>	21-jähr. Erhebung	KOLBE 1987
Rote Bete	45-98 <sup>3</sup>	72	4 Versuche	HEWSON und ROBERTS 1973b
Salat	0-100 <sup>3</sup>	73	20-jähr. Erhebung	BOND 1991
	81/100 <sup>3</sup>	90	2 Versuche	MAJEK 1985
Sellerie, gepflanzt		73 <sup>2</sup>	21-jähr. Erhebung	KOLBE 1987
Spinat		33 <sup>2</sup>	21-jähr. Erhebung	KOLBE 1987
		-1 <sup>3</sup>	1 Versuch	MAJEK 1985
Tomate, gepflanzt		19 <sup>2</sup>	21-jähr. Erhebung	KOLBE 1987
Zwiebeln, gesät	91-96 <sup>3</sup>	94	6 Versuche	HEWSON und ROBERTS 1971
		100 <sup>3</sup>	1 Versuch	MAJEK 1985
Zwiebeln, gesteckt		59 <sup>2</sup>	21-jähr. Erhebung	KOLBE 1987
Lauchzwiebeln	-4-96 <sup>3</sup>	65	18 Versuche	BOND und BURSTON 1996

1: soweit nicht anders vermerkt, Bestandesgründung durch Saat

2: im Vergleich zur chemischen Unkrautbekämpfung

3: im Vergleich zur manuellen Unkrautbekämpfung durch Handhacke und Jäten

4: ein Mittelwert kann nicht angegeben werden, da die Ergebnisse nur graphisch dargestellt wurden

Tab. 9.2: Varianzanalyse der Verschüttungsgrade bei Pflanzen mit 1-2 Nodi im Hacktiefenversuch mit Phacelia, Ruthe 1996

Variationsursache	mittleres Abweichungsquadrat					
	FG <sup>1</sup>	alle Termine	FG	1. Termin	2. Termin	3. Termin
Termin	2	861,9 *	—	—	—	—
Block (Termin) <sup>2</sup>	6	84,0	2	83,8	44,2	123,9
Hacktiefe	2	179,4 n.s.	2	504,4 *	82,5 n.s.	126,8 n.s.
Termin × Hacktiefe	4	267,2 *	—	—	—	—
Rest	12	53,8	4	16,9	116,7	27,9

1: Zahl der Freiheitsgrade

2: bei Auswertung für einen Termin nicht über die Termine 'gepoolt'; \* = signifikant ( $\alpha < 0,05$ )

Tab. 9.3: Varianzanalyse der Bekämpfungserfolge im Hacktiefenversuch mit Phacelia, Ruthe 1996

Variationsursache	mittleres Abweichungsquadrat						
	2. u. 3. Termin <sup>1</sup> FG <sup>2</sup>	1. Termin FG	2. Termin FG	3. Termin	2. Termin FG	3. Termin	3. Termin
Termin	1	2216 *	—	—	—	—	—
Block(Termin) <sup>3</sup>	4	157	2	2	2	42	272
Beregnung	1	8573 *	—	—	1	1841 *	7750 *
Termin × Beregnung	1	1018 *	—	—	—	—	—
Bereg. × Block(Term.) <sup>4</sup>	4	79	—	—	2	82	76
Hacktiefe	2	3138 *	2	162 *	2	2449 *	884 *
Größe	1	1475 *	1	168 *	1	3 n.s.	3144 *
Termin × HT	2	195 *	—	—	—	—	—
Termin × Größe	1	1672 *	—	—	—	—	—
Hacktiefe × Größe	2	1099 *	2	62 n.s.	2	735 *	427 *
Beregnung × HT	2	94 n.s.	—	—	2	27 n.s.	118 n.s.
Beregnung × Größe	1	693 *	—	—	1	36 n.s.	1870 *
Bereg. × HT × Größe	2	295 *	—	—	2	55 n.s.	422 *
Termin × HT × Größe	2	63 n.s.	—	—	—	—	—
Termin × Bereg. × HT	2	51 n.s.	—	—	—	—	—
Termin × Bereg. × Gr.	1	1213 *	—	—	—	—	—
4fach-Wechselwirkung	2	182 n.s.	—	—	—	—	—
Rest (Fehler B)	40	58	10	19	20	64	52

1: eine Auswertung als Serierversuch konnten auf Grund der Fehlfunktion des Beregnungswagen am ersten Termin nur für den 2. und 3. Termin erfolgen

2: FG = Freiheitsgrade

3: bei Auswertung für einen Termin nicht über die Termine 'gepoolt'

4: Fehler A, 'gepoolt' über Termin nur bei Serierversuchsauswertung

Tab. 9.4: Bekämpfungserfolge einzelner Hackgänge (1×) bzw. Gesamtbekämpfungserfolg mehrere Einsätze (n×) hackend arbeitender Unkrautbekämpfungsgeräte (zum Teil in Kombination mit Striegel und Häufelkörper).

Geräte	Kultur	Bekämpfungserfolg [%]		Ver- su- che	Quelle
		z.d.R.	i.d.R.		
<b>Scharhacke</b>	Getreide	43-100 (1×) 8-68		7 —	KOCH 1959 SCHMID u. STEINER 1989 <sup>1</sup>
	Mais	35-66 (n×) 89 (n×)	2 / 10 (n×)	4 2	LWK WESER-EMS '89, '90 ESTLER 1992
	Winterraps	8-54 (1×)		4	WAHMHOF 1994
	Ackerbohne	61 (1×)	29 (1×)	3	BAEUMER 1988
	Sojabohne	34-54 (n×)		3	BALSARI et al. 1993
	Möhre	57-95 (1×) 66-78 (1×)	— 24-60 <sup>2</sup> (1×)	4 2	Daten nach MEIER 1986 PETZOLD 1999
	Rote Bete <sup>3</sup>	75-93 (n×)	13-37 (n×)	3	VESTER u. RASMUSSEN '90
	Gemüse	37-80 (1×)		4	MEYER und WEBER 1998
+ Striegel (VA)	Mais	82-99 (n×)	20-55 (n×)	4	ESTLER 1992
+ Str. (VA + NA)	Buschbohne	93 (n×)		1	TIMMER et al. 1993
+ Häufeln <sup>4</sup>	Mais	57-94 (n×) 55-73 (n×)		9 4	VAN DER SCHANS et al. '93 BALSARI et al. 1993
	Ackerbohne	90 (1×)	75 (1×)	3	BAEUMER 1988
+ Häufeln <sup>4</sup>	Ackerbohne	75-99 (n×)		3	TIMMER et al. 1993
+ Str. (VA / NA)	Erbse	81-97 (n×)		4	TIMMER et al. 1993
<b>Trennhacke</b>	Gemüse	63-97 (1×)		4	MEYER und WEBER 1998
<b>Häufelgerät +Str.</b>	Kartoffel	20-90 <sup>5</sup> (n×)		4	MAYKUB 1993
<b>Rollhacke</b>	Mais	38-69 (n×)		4	LWK WESER-EMS '89+'90
	Möhre	57-60 (1×)		1	BAUMANN u. SLEMBRO. '94
+ Striegel (VA)	Mais	34-97 (n×) 98 (n×)	45-60 (n×) 25 (n×)	4 1	ESTLER 1992 LWK WESER-EMS 1991
	<b>Hackbürste</b>	Raps	35-65 (1×)		4
	Möhre	65-98 (1×)	—	4	Daten nach MEIER 1986
	Rote Bete <sup>3</sup>	85-97 (n×)	18-69 (n×)	3	VESTER u. RASMUSSEN '90
+ Str. (VA + NA)	Buschbohne	97 (n×)		1	TIMMER et al. 1993
<b>Paul-Hackbürste</b>	Mais	68-98 (n×)	25-65 (n×)	4	ESTLER 1992
<b>Rüttelegge<sup>6</sup></b>	Mais	27-62 (n×)		4	LWK WESER-EMS '89, '90
<b>Tellerhackbürste</b>	keine	73-89 (1×)		1	FOGELBERG u. JOHANS. '93
	Möhre	— 83-99 (1×)	63/52 (n×) 20-56 <sup>2</sup> (1×)	2 2	MELANDER 1998 PETZOLD 1999
	Grünkohl	—	73/64 (n×)	2	MELANDER 1998
<b>Bügelhacke</b>	Möhre	55-98 (1×)	20-41 <sup>2</sup> (1×)	2	PETZOLD 1999
<b>Fingerhacke</b>	Zwiebel	—	40-79 (1×)	1	ASCARD u. BELLINDER '96
<b>Torsionshacke</b>	Zwiebel	—	27-53 (1×)	1	ASCARD u. BELLINDER '96

1: Zusammenfassung der Ergebnisse von GRAF (1984), STEINER (1985) und MEYER (1986)

2: ausgewerteter Reihbereich umfaßte auch Teile des bearbeiteten Zwischenreihenbereichs

3: und verschiedene Heilkräuter; 4: mittels an den Gänsefußscharen angebrachten Häufelblechen

5: je nach Unkrautart; 6: Zinken im Bereich der Maisreihe entfernt

Tab. 9.5: Bekämpfungserfolge einzelner Bearbeitungsgänge (1×) bzw. Gesamtbekämpfungserfolg mehrere Einsätze (n×) verschiedener Geräte unter jeweils gleichen Einsatzbedingungen (Mittelwerte der Versuche).

Kultur	verglichene Geräte	Bekämpfungserfolg [%]		Versuche	Quelle
		z.d.R.	i.d.R.		
Erbsen	Scharhacke	69 (1×)		1	MEYER 1993
	Hackbürste	<b>74</b> (1×)			
	Federzahnhackegge	60 (1×)			
	Scharhacke	<b>53</b> (n×)		1	RASMUSSEN 1992b
	Hackbürste	37 (n×)			
Petersilie	Scharhacke	81 (1×)	—	1	GEYER et al. 1991
	Hackbürste	<b>97</b> (1×)	—		
	Reihenfräse	94 (1×)	—		
keine	Federzahnhackegge	47 (1×)	—	1	PULLEN und COWELL 1997
	Winkelmesser	79 (1×)	—		
	Gänsefußschare	<b>90</b> (1×)	—		
	Rollhacke	86 (1×)	—		
	Hackbürste	73 (1×)	—		
	Reihenfräse	82 (1×)	—		
Getreide	Scharhacke	<b>76/64/54</b> <sup>1</sup> (1×)		3	KOCH 1959
	Saatlegge	67/52/27 <sup>1</sup> (1×)			
Mais	Scharhacke	44 (n×)		2	LWK WESER-EMS 1989
	Rollhacke	<b>66</b> (n×)			
	Hackstriegel	63 (n×)			
	Federzahnhackegge	44 (n×)		4	ESTLER 1992
	Rüttelegge	50 (n×)			
	Scharhacke <sup>2</sup>	<b>94</b> (n×)	43 (n×)		
	Rollhacke <sup>2</sup>	91 (n×)	<b>54</b> (n×)		
	Hackstriegel <sup>2</sup>	77 (n×)	35 (n×)		
	Paul-Hackbürste <sup>2</sup>	81 (n×)	44 (n×)		
Raps	Scharhacke	29 (1×)		4	WAHMHOF 1994
	Hackbürste	<b>51</b> (1×)			
	Federzahnhackegge	20 (1×)			
Erbsen und Weizen	Saatbettegge	63 (n×)		2	RASMUSSEN 1992a, b
	Netzegge	<b>79</b> (n×)			
	Federzahnhackegge	59 (n×)			
Möhren	Scharhacke	77 (1×)	—	4	Daten nach MEIER 1986
	Hackbürste	<b>87</b> (1×)	—		
		Scharhacke	73 (1×)	<b>44</b> <sup>3</sup> (1×)	2
Tellerhackbürste	<b>93</b> (1×)	43 <sup>3</sup> (1×)			
Bügelhacke	81 (1×)	32 <sup>3</sup> (1×)			
Zwiebeln	Federzahnhackegge	—	60 (1×)	1	ASCARD und BELLINDER 1996
	Fingerhacke	—	<b>64</b> (1×)		
	Torsionshacke	—	45 (1×)		
Chicorée/Salat	Scharhacke	58 (1×)	—	2	MEYER und WEBER 1998
	Trennhacke	<b>80</b> (1×)	—		

1: Keimblattstadium / 2-4-Blattstadium / > 6-Blattstadium der Unkräuter; 2: plus Striegeln im VA  
3: ausgewerteter Reihenbereich umfaßte auch Teile des bearbeiteten Zwischenreihenbereichs

Tab. 9.6: Bekämpfungserfolge einzelner Striegelgänge (1x) bzw. Gesamtbekämpfungserfolg mehrerer Striegeleinsätze (nx) in verschiedenen Kulturen.

Kultur	Einsatz	Bekämpfungserfolg [%]	Versuche	Quelle
Getreide	VA	-50-56 (1x)	16	HABEL 1954, KOCH 1959, MÜLLVERSTEDT '61, KEES '62
	NA	20-90	— <sup>1</sup>	DIERAUER u. STÖP.-ZIM. '94
Mais	2xNA	40-71 (nx)	4	LWK WESER-EMS '89, '90
	VA + 2xNA	z.d.R. 62-92 (nx)	4	ESTLER 1992
		i.d.R. 10-55 (nx)	4	
	1-3xVA + 2-8xNA	24-100 (nx)	8	VAN DER SCHANS et al. '93
Zuckerrübe	VA (3-9 Tage nS)	-8-47 (1x)	2	BERTRAM 1966
	2-4 / 4-6-Blattstd.	16-60 (1x)	3	
	3x NA	i.d.R. 44/80 (nx)	1	ASCARD u. BELLINDER 1996
Winterraps	Herbst, früh/ spät	13-31 (1x)	4	WAHMHOF 1994
Ackerbohne	VA + NA (3-6x)	59-97 (nx)	4	TIMMER et al. 1993
Erbse	VA	32 (1x)	1	MEYER 1993
	1 bzw. 2xNA	41-100 <sup>2</sup> (nx)	4	RASMUSSEN 1992a, b, '93b
	2 bis 5xNA	41-87 (nx)	4	TIMMER et al. 1993
Buschbohne	VA + 3/6xNA	96 (nx)	2	TIMMER et al. 1993
Porree	nach Pflanzung	75/66 (z./i.d.R.)	1	BAUMANN 1994
Zwiebel	1-Blatt-/2-4-Blattstd.	i.d.R. 50-64 (1x)	1	ASCARD u. BELLINDER 1996
	VA	-9/14 <sup>3</sup> (1x)	1	MELANDER u. HARTVIG 1995
	NA (0,5-1 cm Höhe)	28/40 <sup>3</sup> (1x)	1	
	10-14 cm Höhe	13/60 <sup>4</sup> (1x)	1	

1: Zusammenfassung von Ergebnissen mehrerer Autoren

2: mit bis zu 4 Striegelgängen an einem Termin; 3: Arbeitsgeschwindigkeit 4 bzw. 6 km/h

4: je nach Unkrautart und verwendetem Striegel

Tab. 9.7: Ertragsverluste bei mechanischer bzw. unterlassener Unkrautbekämpfung gegenüber ganzflächiger Herbizidbehandlung.

eingesetzte Geräte	Kultur	Ertragsverlust [%]		Anzahl Ver- suche	Quelle
		mecha- nisch	unbe- handelt		
<b>Scharhacke</b>	Mais	-16-63	0-92	12	HURLE und KEMMER 1988
		-1-22	3-46	3	LWK WESER-EMS 1989, 1990
		11/37	11/38	2	ESTLER 1992
	Raps	2-10	7-28	41	ANDERSSON u. BENGSSON '92
	Sojabohne	30/41	41/62	2	BALSARI et al. 1993
		28/33	—	2	STROMMER 1990
	Ackerbohne	0	1	4	BAEUMER 1988
	Erbse	5/8	4	1	RASMUSSEN 1992b
	Buschbohne	-22/18	56/64	2	MAJEK 1985
	Kopfkohl <sup>1</sup>	-21/51	31/82	2	
	Zuckermais	12	86	1	
	Salat	26/67	65/100	2	
	Möhre	93	—	1	HENNE und POULSON 1980
	Tomate <sup>1</sup>	25	—	1	
	Lauchzwieb.	60-87 <sup>2</sup>	79-92	4	BOND und BURSTON 1996
+ Striegel (VA)	Erbse	12	12	1	MEYER 1993
+ Str. (VA+NA)	Buschbohne	-9/0	—	2	TIMMER et al. 1993
+ Häufeln	Mais	-9-21	—	9	VAN DER SCHANS et al. 1993
		7-14	34-61	3	BALSARI et al. 1993
	Sojabohne	16/33	—	2	STROMMER 1990
	Ackerbohne	-7	1	4	BAEUMER 1988
<b>Rollhacke</b>	Mais	2-23	3-50	4	LWK WESER-EMS 1989, 1991
	Möhre	74	—	1	BAUMANN u. SLEMBROUCK 1994
+ Str. (VA+NA)	Mais	4-13	—	4	NORDMEYER et al. 1994
<b>Hackbürste</b>	Mais	-5	—	1	GEIER und VOGTMANN 1988
	Erbse	7	4	1	RASMUSSEN 1992b
+ Striegel (VA)	Erbse	13	12	1	MEYER 1993
+ Str. (VA+NA)	Buschbohne	-12/-1	—	2	TIMMER et al. 1993
<b>Striegel (VA)</b>	Erbse	2/3	—	2	TIMMER et al. 1993
NA	Mais	-18-8	—	6	VAN DER SCHANS et al. 1993
	Erbse	0-23	—	7	TIMMER et al. 1993
		6-23	20	1	RASMUSSEN 1992b
VA + NA	Mais	-16-19	—	8	VAN DER SCHANS et al. 1993
	Ackerbohne	-5/19	—	2	TIMMER et al. 1993
	Erbse	16	12	1	MEYER 1993
	Buschbohne	-10/-6	—	1	TIMMER et al. 1993

1: gepflanzt (bei allen anderen Kulturen Bestandesgründung durch Saat)

2: im Vergleich zur ständig durch Jäten unkrautfrei gehaltenen Variante

Tab. 9.8: Ertragsverluste durch die Restverunkrautung nach Hackmaßnahmen im Zwischenreihenbereich.

eingesetzte Geräte	Kultur	Ertragsverlust [%]		Ver- suche	Quelle
		Spanne	Mittel		
<b>Scharhacke</b>	Mais	-8 - 64	13 <sup>1</sup>	11	HURLE und KEMMER 1988
		-6 - 19	5 <sup>1</sup>	3	LWK WESER-EMS 1989, 1990
		7 - 35	21 <sup>1</sup>	2	ESTLER 1992
	Raps	-1 - 14	6 <sup>1</sup>	41	ANDERSSON u. BENGTTSSON '92
	Zuckerrübe		55 <sup>1</sup>	1	ASCARD und BELLINDER 1996
	Sojabohne	26 - 46	37 <sup>1</sup>	3	BALSARI et al. 1993
	Ackerbohne		1 <sup>1</sup>	4	BAEUMER 1988
	Buschbohne	8 / 22	15 <sup>2</sup>	2	MAJEK 1985
	Kopfkohl, gepfl.	-1 / 47	23 <sup>2</sup>	2	
	Zuckermais		18 <sup>2</sup>	1	
	Salat	60 / 93	76 <sup>2</sup>	2	
	Zwiebel		99 <sup>2</sup>	1	
	Möhre		93 <sup>2</sup>	1	HENNE und POULSON 1980
Tomate, gepfl.		36 <sup>2</sup>	1		
+ Häufeln	Mais	6 - 18	13 <sup>1</sup>	4	BALSARI et al. 1993
	Ackerbohne		1 <sup>1</sup>	4	BAEUMER 1988
<b>Rollhacke</b>	Mais	-1 - 19	9 <sup>1</sup>	3	LWK WESER-EMS 1989, 1990

1: im Vergleich zur bearbeiteten, mit Herbiziden behandelten Variante

2: im Vergleich zur bearbeiteten und durch Handhacke und Jäten unkrautfreien Variante

Tab. 9.9: Pflanzenverluste und relativer Ertrag mechanisch bearbeiteter, ganzflächig herbizidbehandelter Varianten gegenüber Varianten mit ausschließlicher Herbizidbehandlung (= 100%).

eingesetzte Geräte	Kultur	Pflanzenverluste [%]	relativer Ertrag [%]	Anzahl Versuche	Quelle
<b>Scharhacke</b>	Mais	—	96-107	12	HURLE und KEMMER 1988
		0	96-113	4	ESTLER / ESTLER et al. 1992
	Raps	-2-0	97-105	41	ANDERSSON u. BENGSSON '92
	Sojabohne	—	79/128*	2	BALSARI et al. 1993
	Zuckerrübe	—	98-104	8	BORNSCHEUER1974
		—	114-125	3	ZIEGLER 1993
+ Häufeln	Mais	—	99-105	3	BALSARI et al. 1993
+Häu.+Str.(VA)	Kartoffel	—	99-103	9	PÄTZOLD 1967
<b>Rollhacke</b> +Str.	Mais	2	—	1	ESTLER 1992
<b>Striegel</b> (VA)	Mais	—	98-105	6	VAN DER SCHANS et al. 1993
	Zuckerrübe	4-33 <sup>1</sup>	—	3	BERTRAM 1966
	Erbse	5	—	1	MEYER 1993
NA	Getreide	—	96-102	12	HURLE und KEMMER 1990
		—	96-101	3	GEROWITT 1992
		-15-7 <sup>2</sup>	84-100 <sup>1</sup>	1	WILDENHAYN 1993
		0-15 <sup>1</sup>	—		MEYLER u. RÜHLING 1966
		1-20 <sup>1</sup>	—		NEURURER 1977
	Raps	28	—		ENGEL et al. 1982
	Zuckerrübe	7-13 <sup>1</sup>	100-105 <sup>1</sup>	1	ASCARD und BELLINDER 1996
		1-27 <sup>1</sup>	—	5	BERTRAM 1966
		0-40 <sup>1</sup>	—	2	WEVERS et al. 1993
	Erbse	0-64 <sup>1</sup>	—		RASMUSSEN 1993b

1: je nach Einsatzzeitpunkt bzw. Intensität

2: Ährenzahl pro Fläche

\* signifikante ( $\alpha < 0,05$ ) Ertragsverluste bzw. Ertragszuwächse

Tab. 9.10: Pflanzenverluste und relative Ertragswirksamkeit der Kulturpflanzen- und Standortwirkungen bei mechanischen Unkrautregulationsmaßnahmen in unkrautfreien Beständen (unbearbeitet = 100%).

eingesetzte Geräte	Kultur	Pflanzenverluste [%]	relativer Ertrag [%]	Anzahl Versuche	Quelle
<b>Scharhacke</b>	Mais	—	108-130*	4 <sup>1</sup>	PRIHAR u. VAN DOREN 1967
		—	96*-98	5	VAN DER WERF et al. 1991
	Zuckerrübe	— -5-17	89-103 97-105	3 5	WINNER u. SCHÄUFELE 1970 KÜSTER et al. 1984
	Ackerbohne	—	101	4	BAEUMER 1988
	Möhre	-4-9	85-113	3	ASCARD und MATTSSON 1994
		—	118*	1	HENNE und POULSON 1980
7/10		—	2	PETZOLD 1999	
Tomate	—	101	1	HENNE und POULSON 1980	
Zwiebel	-1-15	96-114*	3	MELANDER und HARTVIG 1997	
+ Handhacke	Kohlarten	—	91-148 <sup>2</sup>	11	BIELKA und MÜGGE 1965
+ Häufeln	Mais	—	101-140*	4	SORENSEN et al. 1980
	Ackerbohne	—	108*	4	BAEUMER 1988
<b>Rollhacke</b>	Mais	—	90*-106	7	VAN DER WERF et al. 1991
<b>Hackbürste</b>	Möhre	-4-9	88-110	3	ASCARD und MATTSSON 1994
<b>Bügelhacke</b>	Möhre	0-12	—	2	PETZOLD 1999
<b>Tellerhackbürste</b>	Zuckerrübe	—	101-107	1	FOGELBERG und
	Möhre	—	78-102	1	JOHANSSON 1993
		7/17	—	2	PETZOLD 1999
Zwiebel	—	92/116	1	MELANDER 1998	
<b>Striegel (NA)</b>	Mais	—	104	1	VAN DER WERF et al. 1991
	Zwiebel	20	—	1	BAUMANN 1994
		37/7 <sup>3</sup>	39/56*	1	ASCARD und BELLINDER 1996
—	—	79*-137	3	MELANDER und HARTVIG 1995	
<b>Reihenfräse</b>	Mais	—	94*-109*	8	VAN DER WERF et al. 1991
<b>Fingerhacke</b>	Zwiebel	42/2 <sup>3</sup>	52*	1	ASCARD und BELLINDER 1996
<b>Torsionshacke</b>	Zwiebel	24/3 <sup>3</sup>	91/94	1	ASCARD und BELLINDER 1996

1: Hackarbeit mit einer Handhacke simuliert

2: die Autoren geben nicht an, ob eine Unkrautkonkurrenz vollkommen ausgeschlossen werden kann

3: beim Einsatz im 1- / 2-4-Blattstadium (Mittelwerte über 3 und 6 km/h Arbeitsgeschwindigkeit)

\* signifikante ( $\alpha < 0,05$ ) Ertragsverluste bzw. Ertragszuwächse

## Lebenslauf

- 29.09.62 geboren in Borghorst (jetzt Steinfurt) als Sohn des Gärtnermeisters Hubert Laber und seiner Ehefrau Katharina, geb. Sandmann
- 1968-1980 bewegte Schullaufbahn, Abschluß: Fachoberschulreife
- 1980-1982 Berufsausbildung, Abschluß: Gärtnergehilfe
- 1982-1986 Gehilfentätigkeit mit Unterbrechung durch den Zivildienst
- 1986-1987 Fachoberschule (Agrartechnik), Abschluß: Fachhochschulreife
- 1987-1991 Studium des Gartenbaus an der Fachhochschule Osnabrück  
Abschluß: Diplom Ingenieur Gartenbau (FH)  
Thema der Diplomarbeit: "Experimentelle Untersuchungen der Auswirkungen unterschiedlicher Abflammtermine sowie einer VA-Behandlung mit einem Totalherbizid auf Unkrautbesatz, Bestandesentwicklung und Ertrag von Sätzwiebeln"
- 1991-1994 Studium der Gartenbauwissenschaften an der Universität Hannover,  
Abschluß: Diplom-Agraringenieur  
Thema der Diplomarbeit: "Untersuchungen zur N-Verlagerung bei breitwürfiger und plazierter Düngung"
- 1994-1997 wissenschaftliche Hilfskraft bzw. Mitarbeiter am Institut für Gemüsebau, Universität Hannover
- seit 1997 Referent für Gemüsebau bei der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Dresden

Herrn Prof. Dr. H. Stützel danke ich für die Überlassung des Themas, die vielfältigen, fruchtbaren Diskussionen und das offene, persönliche Verhältnis.

Herrn Prof. Dr. P. Zwirger danke ich für die Übernahme des Korreferates.

Allen Mitarbeitern des Instituts für Gemüse- und Obstbau, Abteilung Gemüse der Universität Hannover sei gedankt für ihre Unterstützung und die freundschaftliche Atmosphäre, die mir entgegengebracht wurde.

Die vorliegende Arbeit wurde dank finanzieller Unterstützung durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt ermöglicht.