

Aus dem Institut für Phytomedizin
der Universität Hohenheim
Fachgebiet Herbologie
Prof. Dr. K. Hurle

Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben – Ermittlung der Kritischen Periode

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Agrarwissenschaften
der Fakultät Agrarwissenschaften
der Universität Hohenheim

von
Dipl. Agr.- Biol.
Henner Kobusch
aus Bielefeld

2003

Die vorliegende Arbeit wurde am 8.8.2003 von der Fakultät Agrarwissenschaften der Universität Hohenheim als „Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors“ angenommen.

Tag der mündlichen Prüfung: 15.9.2003

Dekan:	Prof. Dr. K. Stahr
Berichterstatter, 1. Prüfer:	Prof. Dr. K. Hurle
Mitberichterstatter, 2. Prüfer:	Prof. Dr. W. Claupein
3. Prüfer:	Prof. Dr. V. Römheld

	Seite
1 Einleitung und Literaturübersicht	1
1.1 Konkurrenz zwischen Pflanzen	2
1.2 Schadensschwellen in der Unkrautbekämpfung	5
1.3 Prinzip der Zeitbezogenen Schadensschwelle (Kritische Periode)	6
1.4 Kritische Perioden in den wichtigsten landwirtschaftlichen Kulturen	8
1.4.1 Mais	8
1.4.2 Sojabohne	10
1.4.3 Reis	11
1.4.4 Gemüse	11
1.4.5 Zuckerrübe	12
1.4.6 Andere Kulturen	13
1.4.7 Zusammenfassung der Literaturlauswertung	14
1.5 Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben	15
1.5.1 Konventionelle Verfahren	15
1.5.2 Bekämpfung in glufosinatresistenten Zuckerrüben	15
1.5.2.1 Glufosinat	16
1.5.2.2 Resistenzmechanismus in glufosinatresistenten Kulturen	18
1.6 Fragestellung	19
2 Material und Methoden	21
2.1 Feldversuch zur Ermittlung der Kritischen Periode in Abhängigkeit des Entwicklungsstadiums der Zuckerrüben, des Standortes und des Jahres	21
2.1.1 Standorte	22
2.1.2 Versuchsanlage und Versuchsglieder	23
2.1.3 Allgemeine Angaben	24
2.1.4 Ertrags- und Qualitätsbestimmung	26
2.1.5 Statistische Auswertung	27
2.2 Ertragsverlust in Abhängigkeit von der Unkrautdicke und der Verunkrautungsdauer	28
2.3 Entwicklung von Unkraut und Zuckerrüben in Abhängigkeit von der Verunkrautungsdauer	29
2.4 Quantifizierung des Konkurrenzfaktors Licht in Abhängigkeit von der Verunkrautungsdauer	29
2.5 Ertragsverlauf in Abhängigkeit der „Temperatursumme“ und der Verunkrautungsdauer in „Tagen nach dem Feldaufgang“	30

2.6	Feldversuch zur Unkrautbekämpfung in glufosinatresistenten Zuckerrüben	31
2.6.1	Zuckerrübentransformante	32
2.6.2	Versuchsanlage	32
2.6.3	Allgemeine Angaben	32
2.6.4	Ertragsbestimmung	33
2.6.5	Statistische Auswertung	33
2.7	Modellversuche zur Sensitivität glufosinatresistenter Zuckerrüben	34
2.7.1	Klimabedingungen	34
2.7.2	Untersuchungsparameter	34
2.7.3	Allgemeine Angaben	36
3	Ergebnisse	37
3.1	Verunkrautung der Standorte	37
3.1.1	Häufigste Unkrautarten der Standorte	37
3.1.2	Unkrautarten und –dichten in Abhängigkeit des Zeitpunktes einsetzender Verunkrautung (Faktor 2)	39
3.2	Parameter für die Ermittlung der Kritischen Periode	43
3.2.1	Entwicklungsstadium der Zuckerrüben	43
3.2.1.1	Unkraut bis... (Faktor 1)	45
3.2.1.2	Unkraut ab... (Faktor 2)	47
3.2.1.3	Zusammenfassung	52
3.2.2	Tage nach Feldaufgang	53
3.2.2.1	Unkraut bis... (Faktor 1)	53
3.2.2.2	Unkraut ab... (Faktor 2)	54
3.2.2.3	Zusammenfassung	55
3.2.3	Temperatursumme	56
3.2.3.1	Unkraut bis... (Faktor 1)	57
3.2.3.2	Unkraut ab... (Faktor 2)	58
3.2.3.3	Zusammenfassung	58
3.2.4	Unkraut und Zuckerrübendeckungsgrad	59
3.2.5	Relativer Unkrautdeckungsgrad	62
3.2.6	Beschattung der Zuckerrüben	63
3.3	Untersuchungen zur Unkrautbekämpfung in glufosinatresistenten Zuckerrüben	64
3.3.1	Unkrautwirkungen	66
3.3.2	Rübenertrag	70
3.3.3	Kulturverträglichkeit	73
3.3.4	Zusammenfassung	77

3.4	Einfluss klimatischer Faktoren auf die Sensitivität glufosinatresistenter Zuckerrüben in Abhängigkeit des Entwicklungsstadium	78
3.4.1	Luftfeuchtigkeit	78
3.4.2	Lichtintensität	81
3.4.3	Zusammenfassung	84
4	Diskussion	85
4.1	Kritische Periode in Abhängigkeit des Entwicklungsstadiums der Zuckerrübe – Ursachen und Einflussfaktoren	85
4.1.1	Methodischer Ansatz und statistische Auswertung	85
4.1.2	Unkrautarten und –dichten	86
4.1.4	Witterung	87
4.1.4.1	Niederschlag	88
4.1.4.2	Temperatur	89
4.1.5	Pflanzenbaulichen Maßnahmen	90
4.1.5.1	Düngung	90
4.1.5.2	Bestandesdichte	91
4.1.5.3	Zuckerrübensorte	92
4.1.5.4	Erntetermin	93
4.1.5.5	Bodenbearbeitung	93
4.1.6	Einfluss der Verunkrautung auf die technische Qualität der Rüben	94
4.2	Kritische Periode in Abhängigkeit des Unkraut- und Zuckerrübendeckungsgrades	95
4.3	Kritische Periode in Abhängigkeit des relativen Unkrautdeckungsgrades	96
4.4	Kritische Periode in Abhängigkeit der Verunkrautungsdauer in Tagen nach dem Feldaufgang	97
4.5	Kritische Periode in Abhängigkeit der Temperatursumme	98
4.6	Kritische Periode in Abhängigkeit der Beschattung der Zuckerrüben	99
4.7	Beurteilung der Untersuchungsparameter zur standorts- und jahresunabhängigen Beschreibung der Kritischen Periode	100
4.8	Unkrautbekämpfung in glufosinatresistenten Zuckerrüben	101
4.8.1	Ertrag	101
4.8.2	Unkrautwirkung	102
4.8.3	Wirkung von Schwefelsaurem Ammoniak	104
4.8.4	Sensitivität glufosinatresistenter Zuckerrüben	105
4.9	Beurteilung der Unkrautbekämpfung in glufosinatresistenten Zuckerrüben unter Berücksichtigung der Kritischen Periode	107

5	Zusammenfassung	110
	Summary	113
6	Literaturverzeichnis	116
7	Anhang	130

 Liste der im Text genannten Pflanzenarten

wissenschaftlicher Name	deutscher Name
<i>Abutilon theophrasti</i> Medicus	Samtpappel
<i>Agropyron repens</i> (L.) P. B.	Gemeine Quecke
<i>Alopecurus myosuroides</i> Hudson	Acker-Fuchsschwanz
<i>Amaranthus hybridus</i> L.	Bastard Amarant
<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	Rauhaariger Amarant
<i>Ambrosia artemisiifolia</i> L.	Beifußblättrige Ambrosie
<i>Apera spica-venti</i> (L.) P. B.	Gemeiner Windhalm
<i>Archis hypogaea</i> L.	Erdnüsse
<i>Avena fatua</i> L.	Flughafer
<i>Capsella bursa-pastoris</i> (L.) Medicus	Hirtentäschelkraut
<i>Cassia obtusifolia</i> L.	Javabohne
<i>Chamomilla recutita</i> (L.) Rauschert	Echte Kamille
<i>Chenopodium album</i> L.	Weißer Gänsefuß
<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scopoli	Acker-Kratzdistel
<i>Citrullus lanatus</i> (Thunb.) Matsum. & Nakai	Wassermelone
<i>Commelina diffusa</i> Burm.	Gemeine Comuline
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	Acker-Winde
<i>Digitaria ischaemum</i> (Schreber) Muhlenberg	Kahle Fingerhirse
<i>Digitaria sanguinalis</i> (L.) Scopoli	Blutrote Fingerhirse
<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P. B.	Hühnerhirse
<i>Galeopsis tetrahit</i> L.	Gemeiner Hohlzahn
<i>Galinsoga ciliata</i> Blake	Behaartes Franzosenkraut
<i>Galinsoga parviflora</i> Cavanilles	Kleinblütiges Franzosenkraut
<i>Galium aparine</i> L.	Klettenlabkraut
<i>Helianthus annuus</i> L.	Sonnenblume
<i>Heteranthera reniformis</i> Ruiz & Pavon	Rundblättriger Wasserteller
<i>Hordeum vulgare</i> L.	Gerste
<i>Ipomoea purpurea</i> L.	Trichterwinde
<i>Lamium purpureum</i> L.	Gemeine Taubnessel
<i>Matricaria chamomilla</i> (L.)	Echte Kamille
<i>Mercurialis annua</i> L.	Einjähriges Bingelkraut

Liste der im Text genannten Pflanzenarten (Fortsetzung)

wissenschaftlicher Name	deutscher Name
<i>Myosotis arvensis</i> (L.) Hill.	Acker-Vergissmeinnicht
<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	Buschbohne
<i>Polygonum convolvulus</i> L.	Windenknöterich
<i>Polygonum lapathifolium</i> L.	Ampfer-Knöterich
<i>Polygonum pensylvanicum</i> L.	Pennsylvanischer Knöterich
<i>Polygonum persicaria</i> L.	Floh-Knöterich
<i>Portulaca oleracea</i> L.	Gelber Portulak
<i>Raphanus raphanistrum</i> L.	Hederich
<i>Setaria faberi</i> Herrm.	Große Borstenhirse
<i>Setaria viridis</i> (L.) P. B.	Grüne Borstenhirse
<i>Sinapis alba</i> L.	Weißer Senf
<i>Sinapis arvensis</i> L.	Ackersenf
<i>Solanum nigrum</i> L.	Schwarzer Nachtschatten
<i>Sonchus arvensis</i> L.	Acker-Gänsedistel
<i>Sonchus asper</i> (L.) Hill	Dornige Gänsedistel
<i>Sorghum halepense</i> (L.) Persoon	Wilde Mohrenhirse
<i>Stellaria media</i> (L.) Villars	Vogelmiere
<i>Thlaspi arvense</i> L.	Acker-Hellerkraut
<i>Tripleurospermum inodorum</i> C.H. Schultz	Geruchlose Kamille
<i>Veronica persica</i> Poiret	Persischer Ehrenpreis
<i>Xanthium strumarium</i> L.	Gemeine Spitzklette

1 Einleitung und Literaturübersicht

Zahlreiche herbologische Fragestellungen befassen sich mit Interaktionen zwischen Kulturpflanze und Unkraut, wobei sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf den Kulturpflanzenbestand Gegenstand der Untersuchungen sein können. In der Regel konzentrieren sich dabei die Untersuchungen auf den Einfluss der Konkurrenz einzelner Unkrautarten oder einer gemischten Verunkrautung auf den Ertrag der landwirtschaftlichen Kultur. Trotz intensiver Unkrautbekämpfung, unabhängig davon, ob sie mechanisch oder chemisch erfolgt, treten jährlich Ertragsverluste in der Größenordnung von bis zu 10 % auf (ZIMDAHL 1980, HEEMST VAN 1985, OERKE *et al.* 1994). Die Notwendigkeit der Unkrautbekämpfung für eine nachhaltige Ertragssicherung ist demnach unumstritten, zumal die Verluste bei unterlassener Bekämpfung in Abhängigkeit von Kultur und den Unkrautarten und -dichten bis zu 100 % betragen können (HEEMST VAN 1985).

In der Unkrautbekämpfung können unterschiedliche Strategien angewandt werden, die AULD *et al.* (1987) und COUSENS (1985) zusammenfassend beschreiben. So kann beispielsweise bei Neophyten eine Strategie notwendig sein, die eine vollständige Eliminierung der Art vorsieht. Ökonomischen Aspekten kommt dabei eine untergeordnete Bedeutung zu und Schadensschwellen bleiben unberücksichtigt. In einem sehr engen Zusammenhang zur vollständigen Eliminierung steht die Versicherungsstrategie zur Vermeidung von Ertragseinbußen, deren Anwender im Prinzip keine Unkrautkonkurrenz tolerieren wollen und Unkrautbekämpfung um „jeden Preis“ durchführen. Als prophylaktische und präventive Maßnahmen werden dabei häufig Vorauflauf- bzw. Vorsaaatherbizide eingesetzt. Auch hierbei bleiben ökonomische Aspekte und Schadensschwellen weitgehend unberücksichtigt. Diese Strategie wurde über eine lange Zeit bis in die Gegenwart hinein sehr häufig verfolgt.

Die Notwendigkeit zur Kostenreduzierung, zunehmende Umweltauflagen und die Zunahme resistenter Unkrautbiotypen haben zur Entwicklung neuer Strategien im Unkrautmanagement geführt. Dabei wird auf eine gegebene (Unkraut-) Situation reagiert und es wird keine prophylaktische Maßnahme durchgeführt. Primäres Ziel ist es dabei, die Verunkrautung nur auf ein zur Vermeidung von Ertragsverlusten notwendiges Niveau zu reduzieren. Man will zum einen die ausgebrachten Herbizidmengen und damit die Kosten verringern, zum anderen ökologisch positive Wirkungen der Unkräuter nutzen.

Die Entwicklung eines solchen Unkrautmanagementsystems setzt die vollständige Kenntnis über das Verhalten, die Populationsdynamik und die Konkurrenzwirkung der vorkommenden Unkräuter voraus. Wesentlicher Bestandteil eines effektiven Unkrautmanagements ist die Integration von Schadensschwellen in Entscheidungsmodelle zur Unkrautbekämpfung. Zur Ermittlung der Schadensschwellen werden häufig Besatz-Verlust-Relationen für einzelne Unkrautarten erstellt, um daraus quantitative Aussagen über zu erwartende Ertragsverluste in den einzelnen Kulturen ableiten zu können. Kernfrage ist dabei: Was für eine Ertragsreduktion wird eine gegebene Unkrautdichte verursachen, wenn keine Bekämpfung erfolgt? Diese Untersuchungen sind wichtige Bestandteile für die Entscheidung, ob eine Bekämpfung notwendig ist. Dabei wird jedoch eine ganz entscheidende Frage vernachlässigt: Zu welchem Zeitpunkt muss die Bekämpfung erfolgen, um keine Ertragsminderungen zu verursachen? Mit anderen Worten: Wie lange kann Unkraut toleriert werden - wann beginnt die Konkurrenz? Dieser Zeitpunkt spielt eine wichtige Rolle bei Untersuchungen zur Kritischen Periode.

1.1 Konkurrenz zwischen Pflanzen

Generell ist Konkurrenz ein Schlüsselprozess, der die Artenzusammensetzung eines natürlichen Ökosystems bzw. eines Agrarökosystems beeinflusst (KROPFF und VAN LAAR 1993). DARWIN bezeichnete Konkurrenz als den zentralen Faktor für Selektionsprozesse, weshalb die Konkurrenz fortan als das wichtigste Instrument für das Erscheinen und Leben von Pflanzen und insbesondere für die Struktur und Dynamik von Pflanzengesellschaften angesehen wurde (GRACE und TILMAN 1990). Die ersten wissenschaftlichen Untersuchungen über Konkurrenzefekte zwischen Unkraut und Kultur stammen aus dem 14. Jahrhundert (GRACE und TILMAN 1990).

Konkurrenz im Zusammenhang mit Pflanzen beschreibt „die Interaktion zwischen Pflanzen und Umwelt“. Pflanzen modifizieren während ihres Wachstums die Umwelt, die sie umgibt. Die modifizierte Umwelt im Gegenzug beeinflusst wiederum das Wachstum der einzelnen Pflanzen (ASPINALL und MILTHORPE 1959). In diesem Sinne konkurrieren Pflanzen, unabhängig davon wie dicht sie stehen, nicht miteinander, solange eine ausreichende Wasser-, Nährstoff- und Lichtversorgung aller Pflanzen gewährleistet ist. BAEUMER (1992) definiert Konkurrenz als einen in der Zeit ablaufenden Prozess, dessen Intensität mit dem Größerwerden der einzelnen Pflanzen zunimmt. Erst wenn ein Wachstumsfaktor ins Minimum gerät beginnt die Konkurrenz, wobei für den Beginn der Konkurrenz die Bedürfnisse, die die einzelnen Arten an ihre Umwelt stellen, maßgebend sind.

In Untersuchungen zur Konkurrenz zwischen Pflanzen werden je nach Forschungsschwerpunkt sehr unterschiedliche Fragestellungen bearbeitet. Pflanzensoziologische und ökologische Untersuchungen beschäftigen sich primär mit Interaktionen zwischen Pflanzen, um Erkenntnisse über die Stabilität von Pflanzengesellschaften und der Aufrechterhaltung der Biodiversität zu gewinnen (GRACE und TILMAN 1990). In landwirtschaftlichen Kulturen besteht die Hauptaufgabe darin, den Kulturpflanzenbestand und die Unkräuter so zu steuern, dass Ertragseinbußen vermieden werden. Dies beinhaltet sowohl die Optimierung der Kulturpflanzendichte als auch die Entwicklung von Parametern zur Vorhersage von Ertragsverlusten durch Unkräuter und die Entwicklung von Bekämpfungsstrategien mit minimalem Herbizidinput (ZIMDAHL 1980, ALTIERI und LIEBMANN 1988).

Pflanzen konkurrieren um die Wachstumsfaktoren Licht, Wasser und Nährstoffe. Der Standort, häufig zusätzlich als Faktor angeführt, ist strenggenommen keiner, da auch hier nur Licht, Wasser und Nährstoffe limitierend wirksam sind und die Interaktionen zwischen diesen Faktoren bei zunehmender Dichte lediglich intensiviert werden.

Bei der Konkurrenz zwischen Zuckerrübe und Unkraut spielt Licht die wichtigste Rolle (SCHÄUFELE 1986 und 1991, KROPFF und SPITTERS 1992). Aufgrund der geringen Wuchshöhe der Zuckerrüben kommt es zu einer schnellen Beschattung der Rüben durch Unkraut. Der Faktor Licht unterscheidet sich in einem Punkt ganz wesentlich von den Ressourcen Wasser und Nährstoffe: Licht kann nicht gespeichert werden. Die Lichtausnutzung resultiert einerseits aus der Lichtabsorption (Blattform, -stellung) und andererseits aus der Lichtverwertung durch die Pflanzen. Konkurrenz um Licht ist demnach nicht nur Konkurrenz zwischen Pflanzen, sondern findet ebenso zwischen verschiedenen Blättern ein und derselben Pflanze statt (WITTS und WELBANK 1961).

Im Gegensatz zu Licht kann Wasser durch Bewässerung als limitierender Faktor ausgeschlossen werden und ist zusätzlich im Boden bedingt speicherbar. Nach KROPFF *et al.* (1995) ist die Konkurrenz um Wasser unter Feldbedingungen bei der Interaktion zwischen Zuckerrübe und Unkraut zu vernachlässigen, da der Wasserbedarf der Zuckerrübe zwischen dem Reihenschluss und Ernte am höchsten ist, während er bei den Unkräutern zu einem

schluss und Ernte am höchsten ist, während er bei den Unkräutern zu einem früheren Zeitpunkt auftritt. Diese beginnen nach dem Reihenschluss der Zuckerrüben in der Regel bereits mit der Abnahme ihrer Biomasse durch den Übergang von der vegetativen in die generative Wachstumsphase.

Der Konkurrenzfaktor Nährstoff lässt sich von allen Faktoren am einfachsten steuern und regulieren. Insbesondere bei Kulturen mit einer langsamen Jugendentwicklung, wie der Zuckerrübe, ist der Zeitpunkt der Düngung entscheidend für die Intensität der Interaktionen zwischen Unkraut und Kultur. Zu frühe und intensive Düngung führt zu einem Entwicklungsvorteil für Unkräuter (BRÄUTIGAM 1998). Tritt dadurch eine Mangelsituation auf, wird zunächst das assimilationsverbrauchende Organ in seiner Ausbildung gehemmt, das bei Zuckerrüben der Rübenkörper darstellt (HEYLAND 1996). Die Assimilateinlagerung wird gehindert und gestört, wodurch Ertragsverluste auftreten.

Unkräuter verfügen über ein unterschiedliches Potential die Umwelt zu modifizieren und somit über eine unterschiedliche Konkurrenzkraft. Diese kann mit Hilfe von Konkurrenzindizes quantifiziert werden (COUSENS 1985). Die Konkurrenzindizes quantifizieren die Konkurrenzkraft einzelner Unkrautarten mit Hilfe biologischer Kenngrößen. Die Indizes sind unkrautspezifisch und variieren in Abhängigkeit der Kulturpflanzen, in denen die Unkräuter vorkommen. Damit wird deutlich, dass die Konkurrenzkraft der Kulturpflanzen für die Intensität der Interaktionen zwischen Unkraut und Kultur ebenso maßgebend sind wie die des Unkrautes. Konkurrenzindizes sind demnach kulturspezifisch, standorts- und jahressabhängig, u. U. sogar sortenspezifisch (NIEMANN 1988). Die Standortabhängigkeit der Indizes ergibt sich aus der großen morphologischen und physiologischen Variabilität innerhalb einer Art als Reaktion auf unterschiedliche abiotische Wachstumsbedingungen (KROPFF und VAN LAAR 1993). Neben den genannten Abhängigkeiten der Unkrautindizes stellt der Auflaufzeitpunkt der Unkräuter eine zusätzliche Einflussgröße auf deren Konkurrenzkraft dar. Unkräuter keimen in der Regel in sukzessiven Auflaufwellen, die in ihrer Konkurrenzkraft unterschiedlich zu bewerten sind. Die Konkurrenzkraft nimmt in der Regel mit später einsetzendem Auflaufzeitpunkt ab. Für eine vollständige Charakterisierung der Konkurrenzkraft einer Unkrautart in einer Kultur an einem Standort müssen demnach die Indizes in Abhängigkeit des relativen Auflaufzeitpunktes erarbeitet werden, was den experimentell erforderlichen Arbeitsaufwand erhöht (KROPFF und SPITTERS 1992). Der relative Auflaufzeitpunkt beschreibt das zeitliche Verhältnis zwischen dem Auflaufen der Kulturpflanze und dem des Unkrautes. WELLMANN (1999) beschreibt die Abhängigkeit des Rübenertrages vom Zeitpunkt der einsetzenden Verunkrautung am Beispiel von *Chenopodium album* und *Chamomilla recutita*. Er zeigt, dass mit zunehmendem Entwicklungsstadium der Zuckerrüben zum Zeitpunkt der einsetzenden Verunkrautung der Ertragsverlust pro Unkrautpflanze und damit der Konkurrenzindize abnimmt. *C. album* führte dabei generell zu höheren Verlusten als *C. recutita*. Neben der Bedeutung des Auflaufzeitpunktes konnte damit auch ein deutlicher Einfluss der Unkrautart auf den Ertragsverlust gezeigt werden, wobei die Konkurrenzwirkung von *C. album* eindeutig höher einzustufen war als die von *C. recutita*.

Zur Ermittlung der Konkurrenzindizes erarbeitete COUSENS (1985) ein Modell, das einen hyperbolen Zusammenhang zwischen Unkrautdichte und Ertragsverlust für Modellunkräuter mit Hilfe biologischer Kenngrößen beschreibt. Für eine Schadensprognose einer gemischten Verunkrautung im Bestand sind diese Kenngrößen jedoch nur eingeschränkt anwendbar, da bei der experimentellen Entwicklung der Indizes für einzelne Arten Interaktionen zwischen verschiedenen Unkräutern im Bestand nicht berücksichtigt werden können.

Unterschiedliche Konkurrenzwirkungen einzelner Unkrautarten können dazu führen, dass bei Auftreten konkurrenzschwacher Unkrautarten eine Unkrautbekämpfung nicht nötig ist, während sie bei konkurrenzstarken Arten zur Ertragsicherung unverzichtbar ist. Dies kann am Beispiel der Sojabohne verdeutlicht werden, bei der unter Einfluss der Unkrautart *Setaria faberi* keine Bekämpfung notwendig ist (KNAKE und SLIFE 1962), jedoch bei *Abutilon theophrasti* (OLIVER 1979). ZIMDAHL (1980) folgerte daraus, dass die Konkurrenz, wenn überhaupt definierbar, ein Maß für eine spezielle Kulturpflanzen/Unkraut-Interaktion ist und keine spezifische Eigenschaft einer Kulturpflanze oder der Verunkrautung.

Es wird deutlich, dass die Konkurrenzkraft der Kulturpflanzen bzw. des Kulturpflanzenbestandes eine wichtige Rolle für die Intensität der Interaktionen spielt. Deshalb muss für die Prognose von Ertragsreduktionen neben der unterschiedlichen Konkurrenzkraft der Unkrautarten auch die Konkurrenzkraft der Kultur an den jeweiligen Standorten berücksichtigt werden (NIEMANN 1988, PALLUTT und RODER 1992). Besonders Kulturen mit langsamer Jugendentwicklung und weitem Reihenabstand, wie z.B. die Zuckerrüben oder Mais, reagieren sehr sensibel auf Unkrautkonkurrenz zu frühen Entwicklungsstadien (SCHÄUFELE und WELLMANN 1997, BRÄUTIGAM 1998). Kulturpflanzen mit einer schnellen Jugendentwicklung reagieren dagegen unempfindlicher auf Unkrautkonkurrenz. So kann in Getreide und Raps beispielsweise aufgrund der schnellen Jugendentwicklung unter Umständen auf eine Unkrautbekämpfung verzichtet werden (GEROWITT und HEITEFUß 1993). Die Konkurrenzkraft der Kulturpflanzen kann demnach ausreichend sein, Unkraut im ertragsmindernden Umfang nachhaltig zu unterdrücken und eine gewisse Unkrautkonkurrenz zu tolerieren. VERSCHWELE und NIEMANN (1993) beschrieben sogar eine sortenabhängige Konkurrenzkraft bei Winterweizen, wobei ausschlaggebende Größen der Bestockungsgrad und die Blattstellung (planophil oder erektophil) sind. Im Fall der Zuckerrübe ist der Einfluss der Blattstellung auf die Konkurrenzfähigkeit von Zuckerrüben jedoch zu vernachlässigen (BRÄUTIGAM 1998).

Auch pflanzenbauliche Anbaumaßnahmen beeinflussen die Intensität der Kulturpflanzen/Unkraut-Interaktionen, wobei die Unkrautbekämpfung, die Bodenbearbeitung, die Düngung und die Fruchtfolge maßgebende Einflussgrößen darstellen (BRÄUTIGAM 1998). Besondere Bedeutung kommt der Düngung zu, wobei die Stickstoffdüngung ausschlaggebend ist. Frühe Stickstoffgaben fördern nicht ausschließlich die Kulturpflanzen, sondern auch Unkräuter. CLAUPEIN und BAEUMER (1992) stellten bei einer Stickstoffdüngung von 180 kg/ha eine zweieinhalb mal höhere Unkrautdichte bei *Apera spica-venti* fest als auf ungedüngten Flächen. Jedoch wird der Einfluss der Düngung auf die Schadwirkung der Unkräuter in der Literatur generell sehr unterschiedlich bewertet.

Neben der Düngung hat die Art der Grundbodenbearbeitung einen großen Einfluss auf die Verunkrautung (KOCH 1979). Nichtwendende Bodenbearbeitung führt zu einer Erhöhung des Unkrautsamenpotentials in den oberen Bodenschichten (WAHL und HURLE 1988, BRÄUTIGAM 1990), während bei wendender Bearbeitung die Samen bis zur Pflugsohle verlagert werden. Ein weiterer Faktor ist die Fruchtfolge, die ganz entscheidend die Zusammensetzung der Unkrautflora beeinflusst.

Unkräuter und Kulturpflanzen haben unter verschiedenen klimatischen Verhältnissen unterschiedliche Konkurrenzwirkungen (KROPFF und VAN LAAR 1993). Verschiedene Umwelten bedingen darüber hinaus ein unterschiedliches Ertragspotential. Die Abhängigkeit der Schadwirkung der Unkräuter vom Ertragsniveau wird kontrovers diskutiert. So zeigten BEER und HEITEFUSS (1981), dass mit steigendem Ertragsniveau die unkrautbedingten Ertragsverluste zunehmen, während MOSS (1985) abnehmende Ertragsverluste bei steigendem Ertragsniveau fand.

1.2 Schadensschwellen in der Unkrautbekämpfung

In der Unkrautbekämpfung gibt es verschiedene Schadensschwellen. Einige werden in der praktischen Unkrautbekämpfung angewandt und sind in Entscheidungsmodelle integriert.

COUSENS *et al.* (1987) unterscheiden vier verschiedene Schadensschwellen: die *Konkurrenzschadensschwelle*, die *Wirtschaftliche Schadensschwelle*, die *Sicherheits Schadensschwelle*, und die *Zeitbezogene Schadensschwelle*. Das Prinzip der *Zeitbezogenen Schadensschwelle* wird getrennt in Kapitel 1.3 vorgestellt.

Die *Konkurrenzschadensschwelle* beschreibt die Dichte einer Unkrautart, die noch keine statistisch nachweisbaren Ertragseinbußen verursacht. Der Ertrag wird folglich erst dann beeinträchtigt, wenn eine bestimmte Unkrautdichte überschritten wird. Zwischen Ertrag und Unkrautdichte besteht ein hyperboler Zusammenhang. Besatz-Verlust-Relationen, aufgestellt auf der Basis der Unkrautdichte, werden heute üblicherweise mithilfe einer hyperbolen Funktion erstellt (COUSENS 1985). Die Anwendung dieser Schadensschwelle ist nur sehr eingeschränkt möglich, da biologische Kenngrößen zur Quantifizierung der Konkurrenzkraft einzelner Arten bislang nur vereinzelt erarbeitet wurden. Da Unkräuter in zeitlichen Wellen auflaufen, und damit die Konkurrenzkraft einer Art zusätzlich vom Zeitpunkt des Auflaufens abhängig ist, bedarf es eines großen experimentellen Aufwandes zur Ableitung der Konkurrenzindizes der einzelnen Arten in Abhängigkeit vom Auflaufzeitpunkt und von der Kulturpflanze. Zusätzlich ist die Konkurrenzwirkung einer Unkrautart in einer gemischten Unkrautpopulation anders zu bewerten als wenn sie isoliert betrachtet wird (KROPFF und VAN LAAR 1993). Dieses Schadschwellenkonzept, das alleine auf der Unkrautdichte beruht, berücksichtigt unterschiedliche Entwicklungsstadien nicht und vernachlässigt damit den Konkurrenzvorteil, den früh aufgelaufene Unkräuter gegenüber spät aufgelaufenen haben (KROPFF und SPITTERS 1991).

Die *Wirtschaftliche Schadensschwelle* ist die am häufigsten und am längsten in der Praxis angewandte Schadensschwelle. Sie ist definiert als „Mindestdichte von Schaderregern, durch die Ertragsverluste verursacht werden, die den Kosten der geeigneten Bekämpfungsmaßnahmen entsprechen“ (STERN *et al.* 1959). Bezogen auf die Unkrautbekämpfung bezieht sie sich auf das Ausmaß der Verunkrautung, das bei Nichtbekämpfung einen Schaden in gleicher Höhe verursachen würde wie Kosten für die Bekämpfung entstehen (KEES *et al.* 1993 a). Erst bei Überschreitung einer bestimmten Unkrautdichte ist die Unkrautbekämpfung somit wirtschaftlich gerechtfertigt. Da auch hier die Unkrautdichte die Bezugsgröße darstellt, besteht ein Zusammenhang zur Konkurrenz- bzw. Dichtebezogenen Schadensschwelle. Die vielfältigen Einflussgrößen, die die Konkurrenzwirkung von Unkrautarten beeinflussen und damit Ertragsverluste verursachen, wurden bereits aufgezeigt. Die verschiedenen Einflussgrößen machen eine standorts- und jahresunabhängige Vorhersage von Ertragsverlusten, ausgehend von einer gegebenen Unkrautdichte, nahezu unmöglich. Vorhersagen über zu erwartende Ertragsminderungen sind jedoch für die Anwendung der *Wirtschaftlichen Schadensschwelle* unumgänglich. Unter Einbeziehung stark variierender Einflussfaktoren wurden deshalb als Bezugsgrößen zur Anwendung der Schadensschwelle „Schwellenwerte“ für dikotyle und monokotyle Unkräuter definiert, die eine standorts- und jahresunabhängige Orientierungsgröße für Unkrautdichten darstellen, ab denen die Unkrautbekämpfung ökonomisch gerechtfertigt ist. Zur Optimierung der *Wirtschaftlichen Schadensschwelle* sollte jedoch nicht nur die aktuelle Verunkrautungssituation in einer Kultur berücksichtigt werden, sondern zusätzlich die Veränderungen von Unkrautpopulationen bei Nichtbekämpfung in nachfolgenden Kulturen und der gesamten Fruchtfolge ökonomisch bewertet werden. Langfristige Perioden werden somit in die ökonomische Bewertung mit aufgenommen. Zur Anwendung dieser *Langfristigen Wirtschaftlichen Schadensschwelle* bedarf

es jedoch neben einer genauen Kenntnis der Konkurrenzwirkung zusätzlicher Informationen über die Populationsdynamik der Unkräuter (AULD und TISDELL 1986).

Die Schwellenwerte der Unkrautdichten, die Entscheidungsgrößen bei der Anwendung der *Wirtschaftlichen Schadensschwellen* sind, weisen eine hohe Variabilität auf. Da der Landwirt das Risiko von Ertragsminderungen jedoch reduzieren möchte, wird häufig schon bei Überschreitung der sog. *Sicherheitsschadensschwelle* Unkrautbekämpfung durchgeführt, die bereits bei Unkrautdichten angewandt wird, bei denen noch keine Ertragsminderung zu erwarten ist und somit eine ökonomische Rechtfertigung nicht gegeben ist.

In der Literatur wird die Anwendung von Schadensschwellen durchaus skeptisch und kontrovers diskutiert (JENSEN *et al.* 1997). COLBE und MORTENSEN (1992) fassten folgende Kritikpunkte zusammen: Die Tatsache, dass Unkräuter zeitlich versetzt auflaufen, erschwert eine Vorhersage über zu erwartende Unkrautdichten zu einem frühen Zeitpunkt in der Vegetationsperiode. Die heterogene Verteilung der Unkräuter auf der Fläche macht eine Festlegung von Schadensschwellen basierend auf einer durchschnittlichen Unkrautdichte unrealistisch. Jedoch wird durch eine zukünftige optoelektronische Online-Detektierung im Rahmen von "Precision Farming" eine punktuelle Erfassung der Unkrautarten und -dichten möglich sein, womit Schadensschwellen punktuell angewandt werden können und die heterogene Verteilung keine Beeinflussung mehr zur Schadensschwellenumsetzung darstellt. Ein weiterer Kritikpunkt zur Anwendung von Schadensschwellen besteht darin, dass die Bezugsgröße immer das zu erwartende Ertragspotential ohne einwirkende Unkrautkonkurrenz ist. Dieses ist jedoch zum Zeitpunkt der Entscheidung über eine Bekämpfung unbekannt. Folglich kann der ökonomische Schaden nicht exakt vorhergesagt werden. Neben dem Ertragspotential ist in der Regel auch der Preis, den die Kultur erzielen wird, unbekannt. Dies schränkt die Anwendung der ökonomischen Schadensschwelle zusätzlich ein.

1.3 Prinzip der Zeitbezogenen Schadensschwelle (Kritische Periode)

Ein ganz anderer Typ Schadensschwelle ist die *Zeitbezogene Schadensschwelle*. Ein synonym benutzter Begriff ist der der Kritischen Periode. Im Folgenden wird ausschließlich der Begriff Kritische Periode benutzt, da der Begriff Schadensschwelle einen fest etablierten Parameter voraussetzt, der eine standorts- und jahresunabhängige Beschreibung der Kritischen Periode ermöglicht. Dieser Parameter ist bislang nicht etabliert, soll in der Arbeit jedoch für Zuckerrüben ermittelt werden.

Die Kritische Periode berücksichtigt ausschließlich den Zeitpunkt, zu dem eine Unkrautbekämpfung erfolgen muss und lässt ökonomische Aspekte unbeachtet. Sie gibt die Zeitspanne an, in der ein Bestand unkrautfrei sein muss, um Ertragsverluste zu vermeiden.

Ein Konzept zur Ermittlung der Kritischen Periode etablierten NIETO *et al.* (1968), die erste Untersuchungen in Mais und Bohnen in Mexiko durchführten. Zwei Einflussfaktoren geben dabei die Terminierung der Kritischen Periode vor, die in Abbildung 1 dargestellt sind. Einflussfaktor ist zum einen der Ertragsverlauf bei einer Verunkrautung **bis** zu einem definierten Zeitpunkt (Faktor 1 in Abb. 1) und zum anderen der Ertragsverlauf bei einer Verunkrautung **ab** einem definierten Zeitpunkt (Faktor 2 in Abb. 1). Die schraffierte Fläche in Abbildung 1 markiert die Kritische Periode und damit die Zeitspanne, in der eine Verunkrautung Ertragsverluste verursacht.

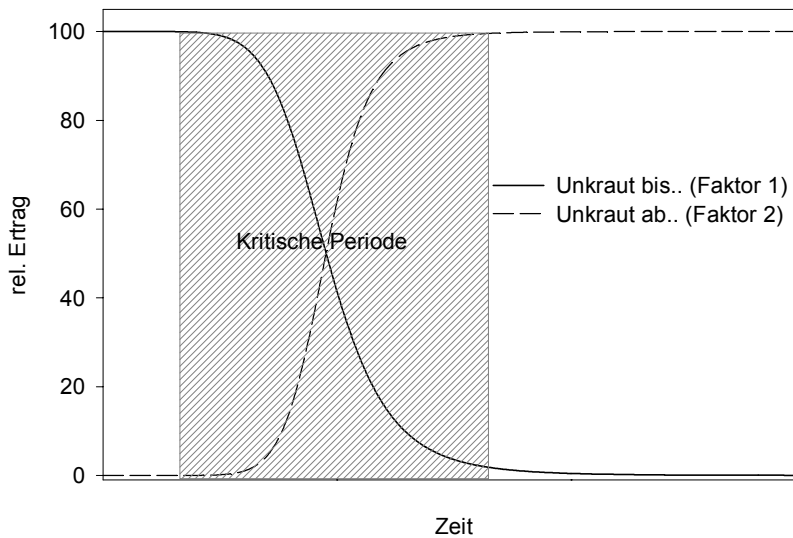


Abb. 1: Theoretischer Zusammenhang der Kritischen Periode
(nach JENSEN et al. 1997, verändert)

Der Einflussfaktor, bei dem bis zu einem definierten Zeitpunkt die Verunkrautung besteht, wird im folgenden Faktor 1 und analog dazu der Einflussfaktor, bei dem ab einem definierten Zeitpunkt Verunkrautung einsetzt, Faktor 2 genannt.

Die Untersuchung der Kritischen Periode geschieht methodisch so, dass die Bestände innerhalb verschieden definierter Zeitintervalle unkrautfrei gehalten werden. Für den Faktor 1 trifft dies für die Zeitspanne zu, nach der Verunkrautung ausgeschlossen werden muss. Die Varianten des Faktors 2 werden hingegen bis zu dem Zeitpunkt unkrautfrei gehalten, ab dem Verunkrautung zugelassen werden soll. Als Vergleichsgröße dienen über die gesamte Wachstumsperiode unkrautfrei gehaltene Varianten.

Aus verschiedenen Gründen kommt der Kritischen Periode heute eine wichtige Bedeutung zu. So diktiert der Zeitpunkt, bis zu dem Unkraut in den Beständen belassen werden kann, weltweit die Größe vieler landwirtschaftlicher Unternehmen, in denen moderne Unkrautbekämpfungsverfahren nicht eingesetzt werden können. Ein Zitat von HOLM (1976) beschreibt diesen Sachverhalt:

„In many places of the world, the size of a man's holding is governed not by the amount of land he can buy, but how much he and his family can plant before they must start weeding.“

Aber auch der Einsatz selektiver Herbizide hat dem Konzept der Kritischen Periode nicht zum Durchbruch verholfen. Der Applikationszeitpunkt richtet sich bislang nicht nach dem Entwicklungsstadium der Kultur, bis zu dem Unkräuter im Bestand belassen werden können. Mangelnde herbizide Wirkung der Wirkstoffe bedingen eine Orientierung des Behandlungszeitpunktes am Entwicklungsstadium der Unkräuter. Nicht die Notwendigkeit, sondern die Wirksamkeit der Herbizide bestimmten bislang den Zeitpunkt der Bekämpfung. Das Herbizid beeinflusst den Applikationszeitpunkt auch dadurch, dass aufgrund nicht vollständiger Selektivität die Kultur vor bzw. nach einem bestimmten Entwicklungsstadium geschädigt wird. Jedoch scheint der Anbau herbizidresistenter Kulturpflanzen in Kombination mit der Anwendung der jeweils nicht-

selektiven Wirkstoffe aufgrund der hohen Wirksamkeit der Herbizide erstmals die Möglichkeit zu bieten, die Kritische Periode in Entscheidungsmodelle zur Unkrautbekämpfung zu integrieren.

Primäres Ziel der Unkrautbekämpfung ist, die Verunkrautung auf ein nicht schädliches Ausmaß zu reduzieren. Ein weiteres Ziel, dem in jüngerer Zeit zunehmende Bedeutung beigemessen wird, ist die Erhöhung der Artenvielfalt, um positive Wirkungen der Unkräuter zu nutzen. Darüber hinaus ist das Auftreten herbizidresistenter Unkräuter zu vermeiden (AMMON *et al.* 1986). Das Konzept der Kritischen Periode scheint hierfür geeignet, da die Bestände nur während einer bestimmten Dauer unkrautfrei sein müssen. Bis zum Beginn der Kritischen Periode „schadet“ Unkraut nicht, zum Ende dieser Periode ist Neuaufbau von Unkräutern zur Erhaltung der Artenvielfalt wünschenswert (AMMON *et al.* 1986). Das Ziel der Unkrautbekämpfung ist demnach nicht die Unkrautvernichtung, sondern die Lenkung der Unkrautflora zur Vermeidung von Schäden (KOCH und HURLE 1978).

1.4 Kritische Perioden in den wichtigsten landwirtschaftlichen Kulturen

In den bisherigen Arbeiten zur Ermittlung der Kritischen Periode in Kulturen wurde keine einheitliche Bezugsgröße gewählt, bis bzw. ab der Unkraut toleriert werden kann. Die meisten Autoren verwenden jedoch als Bezugsgröße die Verunkrautungsdauer in Tagen nach dem Feldaufgang der Kultur. Dies ist ein Parameter, der keinen unmittelbaren Bezug zum Wachstum der Pflanzen hat. Gleiches trifft für den Parameter „Tage nach der Saat“ zu. Ein Vergleich der Ergebnisse verschiedener Untersuchungen wird dadurch erschwert. Für Konkurrenzuntersuchungen ist eine Bezugsgröße nötig, die ein direktes Maß zur Beschreibung eines Entwicklungsprozesses der Pflanzen darstellt, wie zum Beispiel das Entwicklungsstadium (MÄRLÄNDER 1991, KROPFF *et al.* 1992). Ein Vergleich von Konkurrenzuntersuchungen wird somit möglich, da der Einfluss von Produktionsfaktoren, des Standortes, des Jahres und des Aussaatzeitpunktes auf die Entwicklung der Pflanzen kompensiert werden (RÖVER 1994, BRÄUTIGAM 1998). In neueren Arbeiten wurde dieser Forderung Rechnung getragen, und als Parameter das Entwicklungsstadium der Kultur gewählt.

Im Folgenden werden Kritische Perioden für einige Kulturen vorgestellt. Dabei werden auch solche Arbeiten berücksichtigt, die nur einen der beiden Einflussfaktoren untersuchen. Zusätzlich werden Arbeiten vorgestellt, in denen nur der Einfluss einzelner Unkrautarten auf die Kritische Periode untersucht wird.

1.4.1 Mais

Die meisten Studien zur Ermittlung der Kritischen Periode in Mais definieren diese in Bezug zu der Konkurrenzdauer in Tagen nach der Saat bzw. dem Feldaufgang. Erste Untersuchungen machten NIETO *et al.* (1968) in Mexiko. Sie fanden bei Mais unter Einfluss einer gemischten Verunkrautung keine Ertragsminderungen bis 28 Tage nach der Saat. LI (1960) stellte hingegen in New Jersey (USA) bereits bei einer Verunkrautungsdauer bis 21 Tage nach dem Feldaufgang mit *Amaranthus retroflexus* und *Setaria faberi* irreversible Ertragsabnahmen fest. Dies bestätigten GHOSLEH *et al.* (1996) für texanische Anbaubedingungen unter Einfluss des Unkrautes *Sorghum halepense*. Bis 42 Tage nach dem Feldaufgang konnte nach YOUNG *et al.* (1982) in Minnesota unter Einfluss der konkurrenzschwachen Unkrautart *Agropyron repens* toleriert werden. Unter indischen Anbaubedingungen in Punjab trat jedoch bereits 14 Tage nach dem Feld-

aufgang eine Ertragsabnahme auf, wobei die Flächen bewässert wurden (SANDHU und GILL 1973). Unter trockenen Bedingungen hingegen konnte Unkraut länger toleriert werden. Erst 28 Tage nach dem Feldaufgang begann der Ertrag in diesem Fall abzunehmen. Die aufgeführten Untersuchungen, die alle nur den Faktor 1 (Unkraut bis..) der Kritischen Periode untersuchten, verdeutlichen den Standorts- und Jahreseinfluss auf die Festlegung der Kritischen Periode mit Bezug zu den Parametern Tage nach der Saat und dem Feldaufgang. Dies setzt sich bei einem Vergleich der Arbeiten fort, die beide Einflussfaktoren untersuchten und somit die notwendige unkrautfreie Zeit genau bestimmten. ZIMDAHL (1980) gibt dabei einen Überblick über 11 Studien in denen die Bestände unter Berücksichtigung aller Untersuchungen zwischen dem 14. und 42. Tag nach der Saat keine Verunkrautung tolerierten. BENSON (1982) hingegen fasste 7 Studien aus 6 Ländern zusammen und schlussfolgerte zusammenfassend eine notwendige unkrautfreie Periode zwischen dem 20. und 30. Tag nach dem Aufgang.

Die vorgestellten Ergebnisse aus verschiedenen Maisanbaugebieten der Welt zeigen, dass die Kritische Periode bezogen auf „Tage nach der Saat bzw. dem Feldaufgang“ nicht einheitlich ist. Die uneinheitlichen Ergebnisse unterstreichen die Forderung nach einem Parameter zur Festlegung der Kritischen Periode, der einen Bezug zu Wachstumsprozessen der Kultur hat. Standorts- und jahresabhängige Einflussgrößen, wie zum Beispiel eine kalte Witterung in der frühen Wachstumsperiode, führen zu einem späteren Beginn der Kritischen Periode mit Bezug zu den Parametern „Tage nach Aufgang bzw. der Saat“. Diese „Verzögerung“ könnte kompensiert werden, wenn eine Beziehung zum Entwicklungsstadium der Kultur hergestellt würde.

Als Orientierungsgröße für eine standorts- und jahresunabhängige Aussage lässt sich jedoch die Zeitspanne zwischen dem 14. Tag und dem 42. Tag aus den Untersuchungen ableiten. Hierbei wurden die jeweiligen Extremwerte unabhängig vom Versuchsstandort herangezogen. So wurde für den Faktor 1 (14 Tage) die Untersuchung herangezogen, die die kürzeste Zeit, beginnend mit dem Auflaufen des Mais, Verunkrautung tolerierte. Für den Faktor 2 (42 Tage) wurde die Untersuchung gewählt, die ab dem spätesten Zeitpunkt eine Verunkrautung zulassen konnte. Die Angaben zu beiden Faktoren müssen somit nicht von den gleichen Untersuchungen stammen und sollen eine standorts- und jahresunabhängige Orientierungsgröße darstellen.

Untersuchungen zur Kritischen Periode in Abhängigkeit des Entwicklungsstadiums machten LAUDIEN (1972) und KOCH und KEMMER (1980). Während LAUDIEN (1972) unter dem Einfluss eines hohen Hirse-Besatzes die Kritische Periode zwischen dem 2- und 6-Blattstadium des Mais ermittelte, traten bei KOCH und KEMMER (1980) erst ab dem 4- (6) Blattstadium Ertragsminderungen auf. PETERSEN (1999) bestätigte die Ergebnisse von KOCH und KEMMER (1980) unter Berücksichtigung der natürlichen Verunkrautung am Standort Hohenheim. Unter zusätzlichem Einfluss von eingesätem *Sinapis alba* konnte die Verunkrautung jedoch nur bis zum 2-Blattstadium toleriert werden. Bei einer Verunkrautung bis zum 4-Blattstadium betrug die Verluste auf 40 % zu.

Zusammenfassend können zwar auch keine einheitlichen Entwicklungsstadien für die Kritische Periode im Mais abgeleitet werden, dennoch ist die Spannbreite der Untersuchungsergebnisse im Vergleich zum Parameter „Tage nach der Saat bzw. dem Feldaufgang“ geringer. Unkrautfreiheit vom 2- bis 8-Blattstadium integriert alle vorgestellten Ergebnisse und scheint demnach als Richtwert in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium geeignet zu sein. Als kritisch muss hierbei jedoch die geringe Anzahl an Untersuchungen betrachtet werden.

1.4.2 Sojabohne

Für Sojabohnen liegen in der Literatur nur Untersuchungen mit Bezug zur Konkurrenzdauer in Tagen nach der Saat bzw. dem Feldaufgang vor.

ZIMDAHL (1980) folgert aus den Ergebnissen von 14 Untersuchungen eine notwendige unkrautfreie Periode von dem 21. Tag bis zum 56. bzw. 63. Tag nach dem Aufgang der Sojabohnen. Die notwendige unkrautfreie Periode variiert somit zwischen 5 und 6 Wochen. COBLE *et al.* (1981) legten die Kritische Periode unter Einfluss von *Ambrosia artemisiifolia* zwischen 28 und 42 Tagen nach dem Auflaufen der Sojabohnen fest und konnten damit die Ergebnisse von ZIMDAHL (1980) nicht bestätigen. Andere Autoren (COBLE und RITTER 1978, BLOOMBERG 1982 *et al.* und IRONS und BURNSIDE 1982), die die Kritische Periode unter Einfluss von *Xanthium strumarium*, *Avena fatua*, *Cassia obtusifolia*, *Polygonum pensylvanicum* und *Helianthus annuus* untersuchten, stimmen mit COLBE *et al.* (1981) überein. Abweichend davon forderte HARRISON *et al.* (1985) bei optimalen Witterungsverhältnissen Unkrautfreiheit von *Setaria faberi* bereits 15 Tage nach Feldaufgang. Trockene Witterung erforderte eine Unkrautfreiheit bei gleicher Dichte erst 30 Tage nach dem Feldaufgang, da Interaktionen zwischen Unkraut und Kultur aufgrund verlangsamten Wachstums erst später begonnen haben. Weitere Studien zeigten, dass *Abutilon theophrasti* keine Ertragseinbußen verursachten, wenn es nicht innerhalb der ersten 21 bis 23 Tage nach dem Auflaufen der Sojabohnen keimte (HAGOOD *et al.* 1980). Das Ausmaß der Ertragsreduktion durch *Abutilon theophrasti* und die Länge der kritischen Periode erwies sich immer abhängig von der Unkrautdichte. Hohe Unkrautdichten in der frühen Wachstumsperiode der Sojabohne bedingen höhere Ertragsverluste (HAGOOD *et al.* 1980).

Unterschiede in der Konkurrenzwirkung einzelner Unkrautarten bearbeiteten COWAN *et al.* (1998). Sie verglichen die Wirkungen von *Amaranthus retroflexus* und *Echinochloa crus-galli* bei über der gesamten Wachstumsperiode anhaltenden Verunkrautung. Bei gleicher Dichte von *A. retroflexus* und *E. crus-galli* betrug die Verluste durch *A. retroflexus* 99 %, während sie für *E. crus-galli* lediglich 33 % betrug. Zum Vergleich ordneten sie der Konkurrenzkraft von *A. retroflexus* einen Index von 1,0 zu und leiteten daraus einen Konkurrenzindex von lediglich 0,1-0,4 für *E. crus-galli* ab. Die Spannweite ergibt sich durch den Einfluss verschiedener Dichten.

Als standorts- und jahresunabhängige Orientierungsgröße mit Bezug zur Verunkrautungsdauer in Tagen nach dem Feldaufgang kann als zusammenfassende Betrachtung der genannten Literaturstellen der Zeitraum von dem 28. Tag bis zum 42. Tag als Kritische Periode genannt werden. Dabei wurde wie oben (Kap. 1.4.1) beschrieben vorgegangen. Lediglich bei ZIMDAHL (1980) ist die Periode länger. Sie beginnt dort früher und endet später.

MULUGETA und BOERBOOM (2000) versuchten erstmals die Kritische Periode in das Unkrautmanagement glyphosatresistenter Sojabohnen zu integrieren. Neben den Glyphosataufwandsmengen und Anwendungszeitpunkten variierten sie zusätzlich Anbaumaßnahmen, besonders die Reihenabstände (18 cm und 76 cm) und die Bodenbearbeitung (reduzierte und keine Bodenbearbeitung). Unabhängig von der Bodenbearbeitung lag der Beginn der Kritischen Periode zwischen 52 und 66 Tagen nach der Saat bei 18 cm Reihenweite, während sie bei 76 cm Reihenweite bereits nach 40 Tagen begann. Vollständig umgesetzt werden konnte der Beginn der Periode bei beiden Anbausystemen durch einmalige Applikation von Glyphosat mit 0,63 kg/ha a.i. (18 cm) bzw. 0,84 kg/ha a.i. (76 cm).

1.4.3 Reis

Obwohl Reis die bedeutendste landwirtschaftliche Kulturpflanze ist, gibt es nur wenige Arbeiten zur Kritischen Periode. ALTIERI und LIEBMANN (1988) führen hierfür die geringe Bedeutung von Reis zur Ernährung in den „entwickelten Ländern“ an. ZIMDAHL (1980) legt die Kritische Periode auf der Grundlage von fünf Versuchen zwischen 21 Tagen und 42 Tagen nach dem Pflanzen des Reises fest. Zwei weitere Studien definieren die Periode zwischen 28 und 42 Tagen nach dem Pflanzen (BENSON 1982). In Untersuchungen von PARK und KIM (1971) in Korea konnte Verunkrautung mit *Echinochloa crus-galli* bis 30 Tage nach dem Pflanzen toleriert werden. Unkrautkonkurrenz mit *Commelina diffusa* hingegen führte bei SMITH (1984) sogar bis zu 80 Tagen nach dem Pflanzen zu keinen Ertragsminderungen. VESCOVI *et al.* (1996) untersuchten die Kritische Periode in Modellversuchen unter Einfluss der im Reisanbau in Italien wirtschaftlich bedeutenden Art *Heteranthera reniformis*, ohne eine definierte Dichte des Unkrautes einzustellen. Verunkrautung bis 15 Tage nach dem Auflauf führte bereits zu einer 11%igen Ertragsminderung. Ständige Verunkrautung führte zu über 30%igen Ertragsreduktionen. Unkraut ab 60 Tagen nach der Saat führte zu keinen nachweisbaren Ertragsabnahmen.

1.4.4 Gemüse

Gemüsearten reagieren sehr empfindlich auf Unkrautkonkurrenz, so dass hohe Ansprüche an die Unkrautbekämpfung gestellt werden (KEES *et al.* 1993 b). BÖRNER (1995) fasst zusammen, dass Verunkrautung bei gesäten Gemüsearten bis zum 2-Blattstadium der Kultur, bei gepflanzten Arten bis zum 2-Blattstadium der Unkräuter toleriert werden kann.

MÜLLER-SCHÄRER und BAUMANN (1993) hingegen differenzieren zwischen einzelnen Gemüsearten hinsichtlich ihrer Konkurrenzkraft. Danach sind Kohlarten, Rote Beete, Buschbohnen, Kopfsalat und Karotten relativ konkurrenzstark, so dass Unkrautfreiheit lediglich in der ersten Hälfte der Vegetationsperiode notwendig ist. Sellerie, Lauch und Zwiebeln ordnen sie als weniger konkurrenzstark ein und fordern eine unkrautfreie Periode, die über die erste Hälfte der Kulturperiode hinausgeht. Als sehr konkurrenzschwach gilt nach den Autoren Schnittgemüse, wie Spinat, Mangold, Feldsalat, Schnittlauch und Petersilie und sie folgern, dass für diese Kulturen keine Kritische Periode existiert und folgedessen Verunkrautung während der gesamten Vegetationsperiode auszuschließen ist. Ergebnisse aus England bestätigten diese Einstufung jedoch nicht. Rote Beete (HEWSON und ROBERTS 1972), Buschbohnen (HEWSON *et al.* 1973) wie auch Feldsalat (ROBERTS *et al.* 1977) erwiesen sich als sehr konkurrenzempfindlich. Die Autoren forderten deshalb für diese Arten, abweichend von MÜLLER-SCHÄRER und BAUMANN (1993), kontinuierliche Unkrautfreiheit während der gesamten Vegetationsperiode. WEAVER (1984) beschreibt unter kanadischen Anbaubedingungen für Kohl eine Kritische Periode zwischen dem 21. und 28. Tag nach dem Pflanzen. Eine einmalige Bekämpfungsmaßnahme war zur Vermeidung von Ertragsverlusten ausreichend.

Auch für Tomaten existiert eine Kritische Periode, wie Arbeiten von WEAVER (1983) und SALIMI *et al.* (2002) zeigen. Der Beginn der Kritischen Periode variiert in den Arbeiten zwischen dem 25. und 39. Tag nach dem Pflanzen und endete mit dem 70. bzw. 72. Tag.

1.4.5 Zuckerrübe

Nahezu alle Untersuchungen, die zur Ermittlung der Konkurrenzwirkung von Unkraut auf den Rübenertrag durchgeführt worden sind, beziehen sich die Konkurrenzwirkungen auf die Dauer in Tagen nach dem Feldaufgang oder der Saat der Rüben.

SCOTT und MOSEY (1972) berichteten von Ertragsminderungen bei einer über Ende Mai andauernden Verunkrautung unter englischen Anbauverhältnissen, was einer Verunkrautungsdauer von 28 Tagen entsprach. Darüber hinaus anhaltende Verunkrautung führte zu einer durchschnittlichen täglichen Ertragsabnahme von 1,5 %. Einsetzende Verunkrautung ab 56 Tagen nach Feldaufgang führte zu keinen Ertragsminderungen mehr, so dass die Kritische Periode zwischen dem 28. Tag und dem 56. Tag nach dem Feldaufgang lag. SCOTT und WILCOCKSON (1974) setzten unter gleichen Anbaubedingungen die Untersuchungen fort und integrierten als zusätzliche Fragestellung die Untersuchung des Saatzeitpunktes auf die Festlegung der Kritische Periode. Dabei lag bei früherer Saat im März die Periode erneut zwischen dem 28. Tag und dem 56. Tag nach dem Feldaufgang. Eine spätere Saat Anfang Mai verkürzte die Periode um 14 Tage, wobei sich der Beginn der Periode nicht veränderte. HACK (1981) machte aufbauend auf der Kenntnis, dass Unkrautvorkommen und Auflaufdynamik der Unkräuter von Standort und Jahr abhängig sind, vergleichende dreijährige Untersuchungen mit der Fragestellung, ob sich die von SCOTT und WILCOCKSON (1974) erarbeiteten Kritischen Perioden unter englischen Bedingungen auf deutsche Anbaugelände übertragen lassen. Im Versuchsjahr 1976 wurde dabei genau die gleiche Periode festgestellt. Die Fortführung der Versuche in den Jahren 1980 und 1981 hingegen ergaben eine verkürzte Periode. In beiden Jahren konnte auch hier Unkraut erneut bis 28 Tage nach der Saat toleriert werden, während Unkraut ab dem 42. Tag nach dem Feldaufgang bereits nicht mehr im ertragsmindernden Umfang auflief. Somit war in diesen Jahren eine Unkrautfreiheit von lediglich 14 Tagen zur Vermeidung von Ertragsverlusten notwendig. Schlussfolgernd stellte der Autor fest, dass eine Abhängigkeit von Aussaat und Witterung gegeben ist und demnach die Ergebnisse von SCOTT und WILCOCKSON (1974) nicht allgemeingültig sind. EL TITI (1986 a) bestätigte den Umwelteinfluss auf die Festlegung der Kritischen Periode im Rahmen einer vierjährigen Versuchsreihe in Süddeutschland. Die Ergebnisse variierten jahresabhängig sehr stark voneinander und schwankten zwischen 30 und 50 Tagen nach dem Feldaufgang, bis zu dem die Bestände verunkrauten konnten. Die Zusammensetzung der Unkrautflora hatte dabei einen maßgebenden Einfluss auf den Zeitpunkt, bis zu dem Unkraut toleriert werden konnte. Neben dem Zeitpunkt bis zu dem die Varianten verunkrauten konnten, variierte im gleichen Ausmaß der Zeitpunkt, ab dem einsetzende Verunkrautung keine Ertragsminderungen mehr verursachte. Eine erst ab 30 Tage nach Feldaufgang einsetzende Verunkrautung führte jedoch in keinem Versuchsjahr zu Ertragsabnahmen, während Verunkrautung ab 10 oder 20 Tagen nach Aufgang der Rüben in der Lage war, den Ertrag nachhaltig zu vermindern. Fortgeführt wurden die Untersuchungen in Deutschland im Raum Göttingen. In einer Arbeit von SCHÄUFELE und WELLMANN (1997) variierte die tolerierbare Verunkrautungsdauer jahresabhängig zwischen 49 Tagen und 63 Tagen nach dem Feldaufgang. Als Ursache für die großen Unterschiede nannten die Autoren primär die sich relativ langsam entwickelnde Verunkrautung in den Versuchen.

Unter schweizerischen Anbaubedingungen traten bei MEYER *et al.* (1986) bei einer über 21 Tagen anhaltenden Verunkrautung Ertragsminderungen auf. Hingegen führte einsetzende Verunkrautung ab 56 Tagen nach dem Aufgang zu keinen Ertragsminderungen mehr. Somit war an diesem Standort eine unkrautfreie Periode von 35 Tagen notwendig. Unter griechischen

Anbaubedingungen zeigte sich ebenso eine hohe Variabilität der notwendigen unkrautfreien Periode, die zwischen 10 und 30 Tagen schwankte (STROUTHOPULOS 1975).

IVASHCHENKO (1990) untersuchte in der Ukraine im Oblast Kiew den Zeitpunkt, ab dem Unkrautkonkurrenz keine Ertragsminderungen hervorrief und gibt dabei eine Zeitspanne von 60 bis 80 Tagen nach dem Feldaufgang an. Dies ist der späteste Zeitpunkt, ab dem Verunkrautung toleriert werden konnte. Hohe Dichten konkurrenzstarker Unkrautarten werden vom Autor dafür verantwortlich gemacht (IVASHCHENKO 1990 und 1991).

Entwicklungsstadien und unterschiedliche Entwicklungsgeschwindigkeiten der Rüben blieben in den vorgestellten Arbeiten völlig unberücksichtigt. Lediglich MEYER *et al.* (1986) und BRÄUTIGAM (1998) führten Konkurrenzuntersuchungen mit Bezug zu den Entwicklungsstadien der Zuckerrüben durch. MEYER *et al.* (1986) definierten die Periode zwischen dem 4- und 8-Blattstadium der Rüben als konkurrenzempfindliche Phase, während BRÄUTIGAM (1998) die Kritische Periode zwischen dem 7-Blattstadium und dem Reihenschluss der Rüben ermittelte.

1.4.6 Andere Kulturen

Wassermelonen

Eine Studie in North Carolina befasste sich mit dem Einfluss von *Digitaria sanguinalis* auf die Terminierung der Kritischen Periode bei *Citrullus lanatus*. Unabhängig von der Dichte war eine Unkrautfreiheit bis 42 Tage nach der Pflanzung der Melonen zur Vermeidung von Ertragsverlusten notwendig (MONKS und SCHULTHEISS 1996).

Erdnüsse

In Florida zeigte eine Untersuchung in *Arachis hypogaea* für die bedeutendste Unkrautart, *Xanthium strumarium*, eine notwendige Unkrautfreiheit von der zweiten bis einschließlich der zwölften Woche nach dem Feldaufgang (ROYAL *et al.* 1997).

Tee

Untersuchungen in Tee zeigen in Sri Lanka eine Periode von der achten bis einschließlich der sechzehnten Woche (PREMATILAKE *et al.* 1999) nach dem Pflanzen, in der eine Unkrautfreiheit zur Vermeidung von Verlusten notwendig ist.

Kartoffeln

BAZIRAMAKENGA und LEROUX (1994) erarbeiteten die Kritische Periode für Kartoffeln unter kanadischen Anbaubedingungen in Quebec unter Einfluss von *Agropyron repens* für 3 Dichten. Mit zunehmender Dichte begann die Kritische Periode zu früheren Zeitpunkten (15 Tage bis 3 Tage nach Feldaufgang). Bei hohen Dichten begann die Periode zeitgleich mit dem Feldaufgang der Kartoffeln. Das Ende variierte in Abhängigkeit von der Dichte von *Agropyron repens* zwischen 23 und 68 Tagen nach dem Feldaufgang.

Getreide

WELSH *et al.* (1997 und 1999) erarbeiteten die Schadensschwelle in organisch angebautem Winterweizen mit einer gemischten Verunkrautung (hauptsächlich *Alopecurus myosuroides* und *Tripleurospermum inodorum*) in Südeuropa und beobachteten eine negative Korrelation zwischen Verunkrautungsdauer und Ertrag. In diesen Untersuchungen wurde abweichend von den bislang vorgestellten Untersuchungen die Temperatursumme als Bezugsgröße für die Erarbei-

tion der Kritischen Periode gewählt. Die Temperatursumme ist ein geeigneter Parameter, um den Zusammenhang zwischen Temperatur und Entwicklungsgeschwindigkeit von Pflanzen zu beschreiben (MILFORD *et al.* 1985 a, BÜCHSE und RÖVER 1994). WELSH *et al.* (1997 und 1999) forderten für Getreide eine Unkrautfreiheit von 506 °Cd bis 1023 °Cd. Als Bewertungsgrundlage diente eine Ertragsminderung des Getreides um 5 %.

1.4.7 Zusammenfassung der Literaturlauswertung

Die Ergebnisse der vorgestellten Untersuchungen zur Kritischen Periode in den verschiedenen Kulturen zeigen, dass es in keiner Kultur eine einheitliche, standorts- und jahresunabhängige Periode mit Bezug zu den Parametern „Tage nach Feldaufgang“ bzw. „Saat“ gibt. Standortabhängige Faktoren, die für die Intensität der Interaktion zwischen Unkraut und Kultur verantwortlich sind (Kap. 1.1), haben maßgebend Einfluss auf die Terminierung der Kritischen Periode.

In Tabelle 1 wurde dennoch versucht, eine zusammenfassende Darstellung der im Text dargestellten Kritischen Perioden aufzuzeigen. Dabei handelt es sich um Orientierungsgrößen für eine standorts- und jahresunabhängige Aussage für die jeweiligen Kulturen. Hierfür wurden die jeweiligen Extremwerte aller Untersuchungen herangezogen. Für den Faktor 1 wurden die Untersuchungen herangezogen, die, beginnend mit dem Auflaufen der Kultur, die kürzeste Zeit Verunkrautung tolerierte. Für den Faktor 2 wurde hingegen die Untersuchung herangezogen, bei der ab dem spätesten Zeitpunkt eine Verunkrautung toleriert werden konnte. Die Angaben zu beiden Faktoren müssen somit nicht von den gleichen Untersuchungen stammen. Zusätzlich wurden nur die Arbeiten berücksichtigt, die die Periode in Abhängigkeit der gesamten natürlichen Verunkrautung untersuchten. Arbeiten, die ausschließlich die Wirkung einzelner Unkrautarten ermitteln als auch Arbeiten, die nur einen Faktor der Kritischen Periode ermittelten, blieben dabei unberücksichtigt.

Tab.1: Orientierungsgrößen für Kritische Perioden in ausgewählten Kulturen

Kultur	Beginn Faktor 1	Ende Faktor 2	Differenz (Tage)
Mais	14 T. n. F. ¹⁾ 4 BS ²⁾	42 T. n. F. 8 BS	28
Soja	21 T. n. F.	63 T. n. F.	42
Reis	21 T. n. P. ³⁾	42 T. n. P.	21
Zuckerrübe	21 T. n. F. 4 BS	56 T. n. F. Reihenschluss	35

¹⁾ Tage nach Feldaufgang; ²⁾ Blattstadien; ³⁾ Tage nach Pflanzung

Bei der Interpretation der Tabelle muss stets der zum Teil geringe Datenumfang beachtet werden und die Zusammenstellung demzufolge entsprechend kritisch beurteilt werden.

Die meisten Arbeiten wurden für Mais und Zuckerrüben durchgeführt. Als Orientierungsgröße für eine standorts- und jahresunabhängige Aussage ist für den Mais eine unkrautfreie Periode vom 14. Tag bis zum 45. Tag nach dem Feldaufgang zu fordern. In Zuckerrüben beginnt

diese 21 Tage nach dem Aufgang und endet 56 Tage nach diesem. Diese beiden Kulturen sind die einzigen, in denen die Kritische Periode zusätzlich in Bezug zu den Entwicklungsstadien erarbeitet wurden. Für beide beginnt die Kritische Periode zum 4-Blattstadium und endet für den Mais bereits zum 8-Blattstadium, während die Zuckerrüben bis zum 12-Blattstadium unkrautfrei sein sollten. Für Soja und Mais beginnt die Kritische Periode einheitlich 21 Tage nach dem Feldaufgang, endet jedoch zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Während in Soja erst ab dem 63. Tag keine Ertragsverluste festgestellt wurden, trifft dies für Reis schon ab dem 42. Tag zu.

Die Ergebnisse von fast allen vorgestellten Untersuchungen, in denen der Bezug zu der Verunkrautung in Tagen nach der Saat bzw. dem Feldaufgang gewählt wurde, zeigen die zeitliche Definition der Versuchsglieder. In den meisten, hauptsächlich älteren Untersuchungen, wurde die Staffelung in Wochen nach dem Feldaufgang (alle Tagesangaben sind durch sieben teilbar) festgelegt, womit die Trennschärfe bei einer statistischen Verrechnung sehr eingeschränkt ist. Exakte Tagesangaben können somit nicht ermittelt werden.

Hervorzuheben ist noch, dass alle Gemüsearten sehr konkurrenzempfindlich sind und deshalb auf die Angabe einer Kritischen Periode verzichtet wurde und kontinuierliche Unkrautfreiheit gefordert wird.

1.5 Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben

1.5.1 Konventionelle Verfahren

Bislang orientiert sich der Zeitpunkt der Unkrautbekämpfung bei Anwendung selektiver Herbizide an der Wirksamkeit der Wirkstoffe. Eine nicht ausreichende herbizide Wirkung diktierte die Anwendung zu Zeitpunkten, zu denen noch keine irreversible Schädigung durch Unkrautkonkurrenz auf die Zuckerrüben ausgeübt wurde. In der landwirtschaftlichen Praxis hat sich das Konzept der reduzierten Herbizidaufwandmengen in den letzten Jahren weitestgehend etabliert. Dies sieht Nachauflaufbehandlungen im Keimblattstadium der Unkräuter (NAK_x - Nachauflaufbehandlung im Keimblattstadium der Unkräuter) in Abhängigkeit des Auflaufverhaltens der Unkräuter vor. In der Regel erfolgt eine drei- bis viermalige Behandlung im Nachauflaufverfahren (BEUSMANN 1994, SCHÄUFELE 1997, BÖTTGER und DENECKE 1998). Die Bekämpfung erfolgt damit zu einem Zeitpunkt, zu dem die tatsächlich auflaufende Unkrautflora noch nicht abgeschätzt werden kann. Zum anderen bleibt die Kritische Periode dabei absolut unberücksichtigt. Damit sind wesentliche Forderungen des modernen Unkrautmanagement nicht erfüllt, das ein Steuern der Unkrautpopulationen unter Ausnutzung der positiven Effekte der Unkräuter vorsieht. Das Konzept der Reduzierten Aufwandmengen ermöglichte es jedoch, die Bekämpfungskosten und die absolut ausgebrachte Wirkstoffmenge gegenüber der früher üblichen Kombination aus einer Vorauflauf- und einer Nachauflaufspritzung deutlich zu reduzieren (WITZENBERGER *et al.* 1989). Deshalb werden in Zuckerrüben und Mais zur Zeit auf über 50 % der Flächen ausschließlich Nachauflaufherbizide ausgebracht (BEUSMANN 1994).

1.5.2 Bekämpfung in glufosinatresistenten Zuckerrüben

Völlig neue Strategien der Unkrautbekämpfung können beim Anbau herbizidresistenter Sorten und der damit verbundenen Anwendung nicht-selektiver Herbizide praktiziert werden. Zum einen wird sich der Bekämpfungszeitpunkt nicht mehr am Entwicklungsstadium der Unkräuter

orientieren, sondern an dem der Zuckerrüben. Damit wird die Unkrautbekämpfung wesentlich vereinfacht. Zusätzlich können durch den Anbau herbizidresistenter Zuckerrüben nach BEUSMANN (1994) die Unkrautbekämpfungskosten im Vergleich zur konventionellen Nachaufaufmethode um 50 % reduziert werden. Dies wird primär durch einen Rückgang der Anwendungen verursacht, die nach HEITEFUSS *et al.* (1994) bei konventioneller Behandlung von 3,9 auf 2 Behandlungen durch den Anbau herbizidresistenter Sorten zurückgehen wird. Eine endgültige Kalkulation der Wirtschaftlichkeit des Anbaus von glufosinat- aber auch glyphosatresistenten Zuckerrüben ist zum derzeitigen Stand jedoch nicht möglich und kann erst nach der Wertprüfung und der Markteinführung erfolgen (PLATTE *et al.* 1998). Die Leistungen der Sorten, als auch ihre Kosten und die der Herbizide sind bislang unbekannt.

Ziel bislang durchgeführter Untersuchungen mit glufosinatresistenten Zuckerrüben war es, generelle Strategien für die Unkrautbekämpfung in diesem System zu entwickeln, ohne dabei ausdrücklich den Aspekt der Integration der Kritische Periode zu berücksichtigen. Die vollständige Integration der Kritischen Periode in Entscheidungsmodelle zur Unkrautbekämpfung setzt voraus, dass mit dem Glufosinateinsatz so lange gewartet werden kann, bis irreversible Schäden durch die Unkrautkonkurrenz beginnen. Ohne dabei den standorts- und jahresspezifischen experimentellen Nachweis zu erbringen wird dennoch als wesentlicher Vorteil des Anbaus herbizidresistenter Zuckerrüben von zahlreichen Autoren die Anwendbarkeit der Kritischen Periode genannt, wobei der jeweils späteste Zeitpunkt einer beginnenden Behandlung das 4-Blattstadium der Zuckerrüben war (MÄRLÄNDER 1996, READ und BUSH 1998, SCHÄUFELE und HARMS 1998, SCHÄUFELE *et al.* 1998, WEVERS 1998, BÜCKMANN *et al.* 2000, PETERSEN *et al.* 2000). Spätere Anwendungstermine blieben bei den Untersuchungen unberücksichtigt.

Im Folgenden soll der Wirkstoff Glufosinat und der zugrundeliegende Resistenzmechanismus in den transgenen Pflanzen vorgestellt werden.

1.5.2.1 Glufosinat

Glufosinat (DL-Homoalanin-4yl(methyl)phosphinat) ist ein natürlich vorkommendes Toxin, das als Bestandteil des Tripeptids Bialaphos (Phosphinothricyl-alanyl-alanin) 1972 erstmals aus dem Bodenbakterium *Streptomyces viridochromogenes* und später ebenso aus *S. hygroscopicus* isoliert wurde (BAYER *et al.* 1972, KONDO *et al.* 1973). In Form der freien Säure wird Glufosinat als Phosphinotricin bezeichnet. Die Vorstufe von Phosphinotricin, das Desmethylphosphinotricin, wird von den beiden *Streptomyces*-Stämmen an seiner Amino-Gruppe acetyliert. Das entstehende N-acetyl-desmethyl-phosphinotricin wird anschließend umgewandelt und mit 2 Aminosäuren Alanin verknüpft. Eine anschließende Methylierung führt zu L-Phosphinotricin (PRADO DE *et al.* 1997).

Glufosinat wurde zunächst als nicht-selektives Nachaufaufherbizid für den Einsatz in „non crop areas“ und Dauerkulturen und zum Unkrautmanagement bei reduzierter Bodenbearbeitung entwickelt (BELLINDER *et al.* 1985). Es ist ein blattaktiver Wirkstoff und liegt im Handelsprodukt Basta als Monoammoniumsalz vor (SCHWERDTLE *et al.* 1981). Das Herbizid wird nicht im Phloem transportiert und nicht in Speicherorganen angereichert (BÖGER 1994). Glufosinat kommt ausschließlich als Racemat und damit als Gemisch aus optischen Isomeren im Molverhältnis 1:1 vor. Während L-Glufosinat als herbizide Wirksubstanz identifiziert wurde, wird D-Glufosinat keine Aktivität zugesprochen (GÖTZ *et al.* 1983).

Die Wirkung von Glufosinat beruht auf einer Inhibierung der Glutaminsynthetase, die das Schlüsselenzym für den Stickstoffmetabolismus in höheren Pflanzen ist (BAYER *et al.* 1972,

BELLINDER *et al.* 1985). Eine Assimilation des toxischen Ammoniaks ist damit unterbunden (LEASON *et al.* 1982) und es kommt zu einer Akkumulation des Ammoniaks in den Zellen (Abb. 2). Erhöhte Ammoniakkonzentration führen zu Chlorosen und Nekrosen und anschließend zum Absterben der Zellen (DEVINE *et al.* 1993, MASCHHOFF *et al.* 2000).

Zusätzlich führt die Inhibierung der Glutaminsynthetase auf zweierlei Weise zu einer Verringerung der Photosyntheseleistung in der Pflanzen, die als sekundäre Wirkungsmechanismen von Glufosinat bekannt sind (KÖCHER 1989, WENDLER und WILD 1990). Einer dieser sekundären Mechanismen steht, als Folge der zellwandzerstörenden Eigenschaft von Ammoniak, in einem engen Zusammenhang mit dessen Akkumulation. Die Zellwandzerstörung führt in den Pflanzen zu einer Entkopplung der Photophosphorylierung (Abb. 2). Bei der Photophosphorylierung wird im Photosystem II physikalische Energie (Licht) in chemische (ATP) überführt, welche zur CO₂-Fixierung im Calvinzyklus der Dunkelreaktion dient. Dazu übergibt das vom Photosystem II gebildete Plastochinon (QH₂) Elektronen an den Cytochrom-bf-Komplex. Der dadurch induzierte Protonenfluss über die Thylakoidmembranen in den Chloroplasten aktiviert eine ATP-Synthase und somit die ATP-Produktion, was aber im Falle einer Entkopplung der Photophosphorylierung ausbleibt.

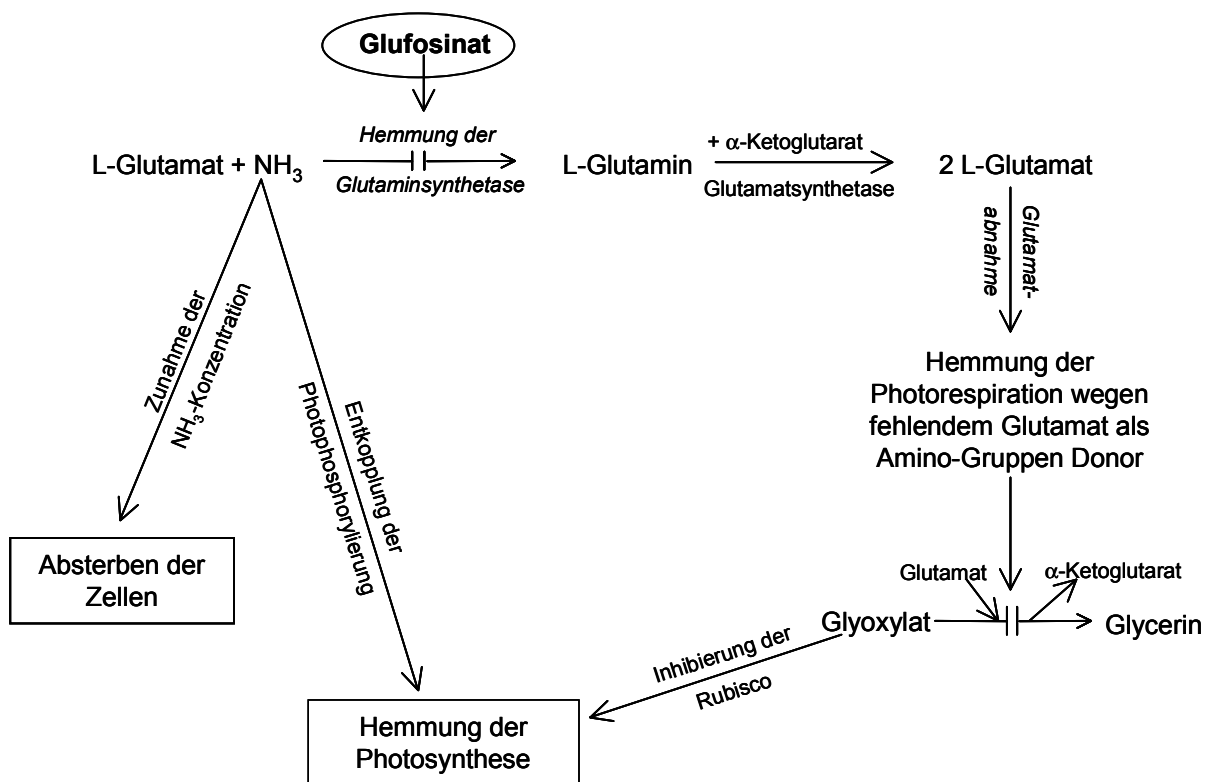


Abb. 2: Eingriff von Glufosinat in metabolische Prozesse behandelter Pflanzen

Der zweite Reduzierungsmechanismus der Photosynthese beruht auf einer verminderten Aktivität der Ribulose-1,5-bisphosphatcarboxylase (Rubisco) im Calvinzyklus, was eine verminderte CO₂-Fixierung in der Dunkelreaktion der Photosynthese zur Folge hat. Im Einzelnen begründet sich die verminderte Fixierung durch folgende Mechanismen (Abb. 2): Die Hemmung der Glutaminsynthetase führt dazu, dass die Bildung von Glutamin gehemmt wird. Glutamin fehlt folglich als Substrat für die Glutamatsynthetase, so dass eine Übertragung einer Amino-Gruppe

des Glutamins auf α -Ketoglutarat zum Glutamat unterbleibt. Glutamat steht nun als Amino-Gruppen Donor während der Photorespiration (Lichtatmung) in den Peroxisomen nicht mehr zur Verfügung. Im Normalzustand ist Glutamat der Amino-Gruppe Donor für die Transaminierung von Glyoxylat zu Glycin unter Bildung α -Ketoglutarat in den Peroxisomen. Durch die Inhibierung der Transaminierung kommt es zu einer Glyoxylatanreicherung, was über eine negative Rückkopplung die Aktivität der Ribulose-1,5-bisphosphatcarboxylase (Rubisco) hemmt. Dadurch kommt es zu einer verminderten CO_2 -Fixierung in der Dunkelreaktion der Photosynthese. Bei Bedingungen, unter denen die Photorespiration nicht stattfand, fanden die Autoren jedoch keine oder nur eine unwesentliche Verminderung der Photosyntheseleistung, obwohl es dabei nachweislich zu einer NH_3 -Akkumulation kam. Daraus wurde geschlussfolgert, dass die Verminderung der Photosyntheseleistung mit einer Inhibierung eines Schrittes während der Photorespiration korreliert sein muss, und somit die NH_3 -Akkumulation nicht primär für die Abnahme der Photosynthese verantwortlich sein kann.

1.5.2.2 Resistenzmechanismus glufosinatresistenter Kulturen

In den Bodenbakterien *Streptomyces viridochromogenes* und *S. hygroscopicus* wurde nicht nur die herbizide Wirksubstanz Glufosinat, sondern auch die entsprechenden detoxifizierenden Resistenzgene entdeckt. Es sind dies das Phosphinothricin-acetyltransferase Gen (PAT) (*S. viridochromogenes*) und das Bialaphos-Resistenz-Gen (BAR) (*S. hygroscopicus*). Beide Gene verfügen über eine unterschiedliche Primärstruktur, codieren aber dennoch für das gleiche Enzym: die Phosphinothricinacetyltransferase (RASCHKE und DONN 1995). Den mit dem Resistenzgen modifizierten Kulturpflanzen liegt der in Abbildung 3 aufgezeigte Resistenzmechanismus gegenüber Glufosinat zugrunde.

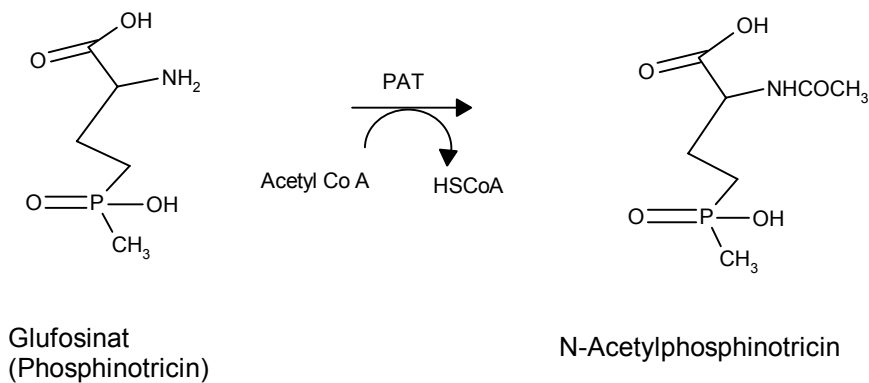


Abb.3: Acetylierung von Glufosinat durch das PAT-Gen (Phosphinotricin-Acetyltransferase)

Die Phosphinothricinacetyltransferase (PAT) acetyliert Glufosinat. Es entsteht N-Acetylphosphinotricin (Abb. 3), das nicht mehr an das katalytische Zentrum der Glutaminsynthase binden kann, womit der Wirkungsmechanismus von Glufosinat in transgenen, resistenten Pflanzen aufgehoben ist (DONN und ECKES 1992). Das identifizierte PAT Gen von *S. viridochromogenes* hat einen für Pflanzen atypisch hohen Gehalt an den Basenpaaren Guanin und Cytosin, weshalb ein synthetisches Gen hergestellt wurde, das aus pflanzentypischen Codons aufgebaut ist, aber die gleiche Aminosäuresequenz kodiert (DONN und ECKES 1992). Zusätzlich

wurde die 35 S Promotorsequenz aus dem Cauliflower-Mosaik-Virus auf Maisprotoplasten in Zellsuspensionen übertragen. Nach erfolgter Selektion mit Glufosinat wurden die transformierten Zellen zu in vitro-Pflanzen weiterkultiviert. Die 35 S Promotor Sequenz arbeitet konstitutiv, das heißt das PAT Gen wird ständig in der transformierten Pflanze exprimiert. Folglich sollte eine Glufosinatresistenz unabhängig vom Entwicklungsstadium der Kulturpflanzen gegeben sein.

Die acetylierenden Enzyme (detoxifizierende PAT Gene) beider Bakterienstämme wurden sehr detailliert untersucht. Nur 28 der insgesamt 184 Aminosäuren sind verschieden, womit sie über einen hohen Grad an genetischer Homogenität verfügen. Beide Enzyme haben eine außerordentlich hohe Substratspezifität (DONN 1997), was Ergebnis eines evolutionären Prozesses ist, der über einen Zeitraum von Millionen von Jahren stattfand und der eine hohe Selektivität bedingt. Weil bereits Spuren des PAT-Gens in transgenen Zellen ausreichend für die Inaktivierung des aktiven Glufosinatisomers L-Phosphinothricin sind, sind die korrespondierenden Gene von *Streptomyces hygroscopicus*, zuerst beschrieben als Bialaphos-Resistenz Gen (BLOCK DE *et al.* 1987), und das Gen von *S. viridochromogenes*, erst beschrieben als PAT Gen (WRATHER und FREYTAG 1991), hervorragende Markergene. Sie ermöglichten die Entwicklung von Gentransfermethoden in Getreide, wo das bis dahin üblicherweise eingesetzte Markergen NPTII, das die Kanamycin-Resistenz überträgt, nicht effizient genug war (NEHRA *et al.* 1994, VASIL 1996).

1.6 Fragestellung

Der Literaturüberblick der Kritischen Perioden in verschiedenen Kulturen (Kap. 1.4) zeigt, dass bislang kein Parameter für eine standorts- und jahresunabhängige Aussage der Kritischen Periode existiert und somit die Frage unbeantwortet ist, ob eine einheitliche Zeitbezogene Schadensschwelle für einzelne Kulturen existiert.

Die meisten Untersuchungen hatten als Bezugsgröße die Verunkrautungsdauer in Tagen nach der Saat bzw. dem Feldaufgang. Dies sind Parameter, die keinen unmittelbaren Bezug zum Wachstum der Pflanzen haben und somit standortsabhängige Einflussgrößen, wie zum Beispiel die Witterung (Jahreseffekt), bei einer Auswertung von verschiedenen Untersuchungen nicht kompensiert werden. Dafür ist in Konkurrenzuntersuchungen eine Bezugsgröße notwendig, die ein direktes Maß zur Beschreibung eines Entwicklungsprozesses der Pflanzen darstellt (MÄRLÄNDER 1991, KROPFF *et al.* 1992). In der vorliegenden Arbeit war es deshalb primäre Aufgabe, die Kritische Periode in Abhängigkeit des Entwicklungsstadiums der Zuckerrübe zu ermitteln und darüber hinaus zu beurteilen, ob der Parameter für eine standorts- und jahresunabhängige Beschreibung der Kritischen Periode geeignet ist. Damit wird in der Arbeit eine Forderung von MÄRLÄNDER (1991) erfüllt, der für Konkurrenzuntersuchungen in Zuckerrüben einen Bezug zum Entwicklungsstadium fordert. Ein Vergleich von Konkurrenzuntersuchungen wird somit möglich, da der Einfluss von Produktionsfaktoren, des Standortes, des Jahres und des Aussaatzeitpunktes auf die Entwicklung der Pflanze kompensiert werden (RÖVER 1994, BRÄUTIGAM 1998).

Als weiteren Parameter mit Bezug zum Wachstum der Rüben wurde mit der gleichen Fragestellung die Kritische Periode in Abhängigkeit der Temperatursumme ermittelt.

Darüber hinaus wurden neben den genannten Parametern zusätzliche wachstumsbeschreibende Größen erhoben und berechnet, die sowohl die Entwicklung der Zuckerrüben als auch

die der Unkräuter getrennt voneinander aber auch deren Interaktionen und damit die Konkurrenz quantifizieren. Dies waren im Einzelnen:

- der Zuckerrübendeckungsgrad in Abhängigkeit von der Konkurrenzdauer,
- der Unkrautdeckungsgrad in Abhängigkeit von der Konkurrenzdauer,
- der relative Unkrautdeckungsgrad und
- die Konkurrenz um den Wachstumsfaktor Licht in Abhängigkeit von der Konkurrenzdauer.

Kernpunkt dieser Parameter waren die Fragestellungen, ob es einen einheitlichen standortsunabhängigen Unkrautdeckungsgrad gibt der toleriert werden kann, bevor irreversible Ertragsabnahmen auftreten und ob es einen einheitlichen Zuckerrübendeckungsgrad gibt, bis zu dem eine Verunkrautung toleriert werden kann. Der Unkrautdeckungsgrad beschreibt dabei den Wachstumsverlauf der Unkräuter als zusammenfassender Parameter für die Anzahl und Größe der Unkräuter. Als Größe, die das Wachstum der Zuckerrüben und der Unkräuter gleichermaßen berücksichtigt und zusätzlich ein Maß für die Interaktion zwischen Unkraut und Zuckerrüben darstellt, wurde aus dem Zuckerrüben- und dem Unkrautdeckungsgrad der relative Unkrautdeckungsgrad errechnet und auf seine Eignung zur standorts- und jahresunabhängigen Beschreibung der Kritischen Periode untersucht. Aufgrund der herausragenden Bedeutung des Lichtes im Vergleich aller Konkurrenzfaktoren wurde zusätzlich die Frage untersucht, ob es eine einheitliche Beschattung gibt die Zuckerrüben tolerieren können, bevor Ertragsverluste auftreten. Abweichend von den ersten beiden Parametern wurden die letztgenannten Parameter ausschließlich auf ihre Eignung zur standortsunabhängigen Beschreibung des Beginns der Kritischen Periode überprüft.

Die Erarbeitung eines einheitlichen Parameters zur Beschreibung der Kritischen Periode hat eine besondere Bedeutung in Verbindung mit dem zu erwartenden Anbau herbizidresistenter Zuckerrüben. Der dadurch mögliche Einsatz nicht-selektiver Wirkstoffe scheint erstmals die Möglichkeit zu bieten, die Kritische Periode in Entscheidungsmodelle zur Unkrautbekämpfung zu integrieren und somit mit der Unkrautbekämpfung so lange warten zu können, bis die Konkurrenz beginnt. Zur Prüfung dieser Möglichkeit wurden Feldversuche mit einer glufosinatresistenten Transformante angelegt.

Da in den Feldversuchen eine eingeschränkte Sensitivität der glufosinatresistenten Transformante festgestellt wurde, sollten in Modelluntersuchungen zusätzlich die Ursachen dafür erarbeitet werden.

2 Material und Methoden

2.1 Feldversuche zur Ermittlung der Kritischen Periode in Abhängigkeit des Entwicklungsstadiums der Zuckerrüben, des Standortes und des Jahres

Zur Überprüfung der Fragestellung, ob eine standorts- und jahresunabhängige Kritische Periode in Zuckerrüben in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium der Zuckerrüben existiert und ob somit der Parameter zur einheitlichen Beschreibung des Beginns und des Endes der Periode geeignet ist, wurden in den Jahren 1998 bis 2000 Feldversuche an vier verschiedenen Standorten angelegt. Dabei wurden die Definitionen der Versuchsglieder in Abhängigkeit von den Entwicklungsstadien der Zuckerrüben festgelegt (Kap. 2.1.2; Tab. 3). Zur Überprüfung der Standortunabhängigkeit des Parameters war es notwendig, die Versuche an Standorten durchzuführen, die sich in ihren klimatischen Wachstumsbedingungen klar voneinander abgrenzten, um über eine breite Datenbasis zur Beurteilung des Parameters zu verfügen. Während im Jahr 1998 ausschließlich der Standort Hohenheim berücksichtigt wurde, wurden die Versuche in den Jahren 1999 und 2000 zusätzlich um jeweils zwei Standorte in der Ukraine erweitert (Abb. 4). Im Einzelnen waren dies neben Hohenheim im Jahr 1999 die Standorte Vinnitsa und Poltava und 2000 die Standorte Vinnitsa und Petrivzi (Abb. 4).



Abb. 4: Karte der Ukraine mit den beiden Versuchsstandorten

Im Folgenden werden die Standorte in allen Tabellen mit HOH (Hohenheim), POL (Poltava), PET (Petrivzi) und VIN (Vinnitsa) abgekürzt und das Versuchsjahr nach dem Standort angefügt. Nach WOLF (1995) werden Standort und pflanzenbauliche Maßnahmen zusammen mit dem Einfluss des Jahres als Umwelt definiert, wobei der Faktor Jahr den Einfluss der Witterung charakterisiert. Nach RADOSEVICH *et al.* (1997) dürfen die Veränderungen der klimatischen Bedingungen von einer Vegetationsperiode zur anderen an einem Standort nicht unterschätzt wer-

den, da Umweltbedingungen und Ressourcen Keimung und Wachstumsrate von Kultur und Unkraut unterschiedlich stark beeinflussen.

2.1.1 Standorte

Die Feldversuche am Standort Hohenheim wurden auf Flächen der Versuchsstation „Heidfeldhof“ (Gemarkung Plieningen, Filderebene bei Stuttgart) durchgeführt. Detaillierte Angaben zu den Versuchsstandorten sind in Tabelle 2 aufgelistet. Sowohl der jährliche Niederschlag (697 mm) als auch die Durchschnittstemperatur (8,8 °C) des Standortes Hohenheim liegen über den jeweiligen Jahresmittelwerten der Standorte in der Ukraine. Die Standorte Poltava, Petrivzi und Vinnitsa sind geographisch der Waldsteppenzzone der Ukraine zuzuordnen. Diese stellt, neben der Wald- und der Steppenzzone, den zentralen Teil der Republik dar und bietet die besten klimatischen Voraussetzungen für die Zuckerrübenproduktion in der Ukraine (SCHUBERT 1995). Das Klima wird maßgebend von der kontinentalen Lage des Landes bestimmt. Die mittleren Jahrestemperaturen in der Waldsteppenzzone schwanken zwischen 6 und 8 °C. Die Summe der jährlichen Niederschläge nimmt von Nordwest nach Südost von 800 mm auf unter 600 mm ab, in Gebirgs- und Vorgebirgsgebieten von 500 mm auf 430 mm.

Poltava und Petrivzi befinden sich im Oblast Poltava (entspricht einem Bundesland in Deutschland), das zentral im östlichen Teil der Ukraine liegt (Abb. 4). Die Versuche in Poltava wurden auf der Versuchsstation der landwirtschaftlichen Hochschule Poltava in Kovalivka, 5 km östlich von Poltava angelegt. Die Versuche am Standort Petrivzi wurden auf Demonstrationsflächen der Firma Aventis Crop Science Ukraine durchgeführt. Petrivzi liegt 7 km westlich von der Kreisstadt Mirgorod. Die Standorte Poltava und Petrivzi liegen ca. 50 km Luftlinie voneinander entfernt.

Der Standort Vinnitsa befindet sich im gleichnamigen Oblast, der zentral im Westen der Ukraine liegt. Die Versuche wurden auf Demonstrationsflächen der Aventis Crop Science Ukraine durchgeführt.

Tab. 2: Charakterisierung der Versuchsstandorte

	Bodenart	Bodentyp	Niederschlag [mm/Jahr]*	Temperatur [°C]*	Höhe ü. N.N.
HOH	schluffiger Lehm	Parabraunerde	697	8,8	400
POL	sandiger Lehm	Tschernosom	451	6,9	160
PET	sandiger Lehm	Tschernosom	448	6,8	135
VIN	schluffiger Lehm	Tschernosom	574	7,2	195

* langjähriges Jahresmittel

Geringere durchschnittliche Niederschläge/Jahr und eine Abnahme der Temperatur verdeutlichen den kontinentalen Einfluss der Standorte in der Ukraine, der im Osten des Landes (Poltava und Petrivzi) ausgeprägter ist als im Westen (Vinnitsa).

Da die Witterungsbedingungen einen maßgeblichen Einfluss auf die standortabhängigen Versuchsbedingungen haben und somit von einem Einfluss auf die Intensität der Interaktionen zwischen Unkrautflora und Zuckerrüben auszugehen ist, sind im Anhang 1 bis 7 detaillierte Witterungsangaben für die Vegetationsperioden der einzelnen Standorte graphisch dargestellt. Die Witterungsdaten für Hohenheim wurden von der Wetterstation des Instituts für Meteorologie der Universität Hohenheim ca. 2 km vom Versuchsstandort entfernt aufgezeichnet. Die Witterungsdaten der Ukraine stellten staatliche Wetterämter der nächstliegenden Kreisstädte zur Verfügung, wobei jedoch nur Monatsmittelwerte verfügbar waren. Die Distanz von der Versuchsfläche bis zu den Messstellen betrug bis zu 7 km.

2.1.2 Versuchsanlage und Versuchsglieder

Das Konzept der Versuchsanlage wurde vom theoretischen Zusammenhang der Kritischen Periode (Kap. 1.3, Abb. 1) abgeleitet, wobei zwei Einflussfaktoren die Terminierung der Periode vorgaben. Erster Einflussfaktor ist der Ertragsverlauf bei einer Verunkrautung **bis** zu definierten Zeitpunkten (Faktor 1 in Abb. 1), der zweite der Ertragsverlauf bei einer Verunkrautung **ab** (Faktor 2 in Abb. 1) definierten Zeitpunkten.

Zur Ermittlung der Kritischen Periode wurde an jedem Standort und Jahr entsprechend der beiden Einflussfaktoren zwei einfaktorielle Versuche als randomisierte Blockanlage angelegt. Innerhalb eines Blockes kam jedes Versuchsglied zufallsverteilt einmal vor, so dass „vollständige“ Blöcke vorlagen (MUNZERT 1992). Die Blöcke der untersuchten Faktoren wurden alternierend nebeneinander angelegt. Jedes Versuchsglied wurde in vierfacher Wiederholung untersucht, so dass sich pro Einflussfaktor jeweils vier vollständige Blöcke ergaben. Die Versuchsglieder der Blöcke wurden vollständig randomisiert.

Die Definitionen der Entwicklungsstadien der Zuckerrüben, bis zu bzw. ab denen die Varianten verunkrauteten, sind in Tabelle 3 aufgeführt. Die Definition der Versuchsglieder trifft für alle Versuche mit Ausnahme von Hohenheim 1998 zu. Dort wurden die Entwicklungsstadien 2-, 6-, und 10-Blattstadium der Zuckerrüben nicht berücksichtigt. Die Entwicklungsstadien wurden eng gestaffelt, um den Ertragsverlauf in Abhängigkeit der Konkurrenzwirkung durch die Unkräuter besser beschreiben zu können. Die Definition der Entwicklungsstadien konnte deshalb nicht nach dem BBCH-Code (MEIER *et al.* 1993) erfolgen, da dieser die notwendige exakte Definierung für das 10- und 12-Blattstadium, als auch für den Zeitpunkt 2 Wochen nach Reihenschluss der Zuckerrüben nicht berücksichtigt. Als Bezugsgröße für die Umsetzung der vorgegebenen Definitionen dienten die Entwicklungsstadien der Zuckerrüben der nie verunkrauteten Varianten (Unkraut bis Saat – Faktor 1; Unkraut ab Ernte – Faktor 2). Die Entwicklungsstadien galten als erreicht, wenn an 50 % der Pflanzen das betreffende Laubblatt größer als 5 mm war (MILFORD *et al.* 1985 b).

Die Parzellengröße variierte in Abhängigkeit des ausgesäten Reihenabstandes der Rüben. Die Versuche in der Ukraine wurden mit einem Reihenabstand von 0,45 m, die in Hohenheim mit einem Abstand von 0,50 m ausgesät. Jede Parzelle hatte 5 Rübenreihen und war 10 m lang. Die Parzellengrößen betragen somit 25 m² in den Versuchen in Hohenheim und 22,5 m² in allen Versuchen der Ukraine. Im Versuchsjahr 2000 betrug die Parzellengröße in Hohenheim 50 m², da zwei zusätzliche Erntetermine bei der Auswertung der Versuchsfrage berücksichtigt

wurden. Der Abstand zwischen den Parzellen betrug an den Querseiten einheitlich 0,5 m, an den Längsseiten entsprach der Abstand jeweils einem Reihenabstand der Rüben (0,45 m bzw. 0,50 m).

Tab 3: Versuchsglieder der jeweils einfaktoriellen Versuche zur Ermittlung der Kritischen Periode

Unkraut bis ... bzw. Unkraut ab...
... Saat
... 2 Blattstadium
... 4 Blattstadium
... 6 Blattstadium
... 8 Blattstadium
... 10 Blattstadium
... 12 Blattstadium
... Reihenschluss
... 2 Wochen nach Reihenschluss
... Ernte
der Zuckerrüben

2.1.3 Allgemeine Angaben

Fruchtfolge

In der Ukraine war die Vorfrucht Winterweizen, wie es landesüblich ist (Suskow 1982). Zur Grundbodenbearbeitung im Herbst wurde gepflügt und im Frühling vor der Saat geeggt. In Hohenheim folgten die Zuckerrüben auf Winter- (1998 und 2000) bzw. Sommergerste (1999). Nach der Stoppelbearbeitung wurde Senf (1999) bzw. Phacelia (1998 und 2000) als Zwischenfrucht eingesät, die im Oktober abgemulcht wurden. Nach dem Pflug im Herbst erfolgte die Saatbettbereitung im Frühjahr mit einer Kreiselegge.

Aussaat

Die Aussaat der Zuckerrüben in der Ukraine erfolgte per Hand mit einer einreihigen Einzelkornsämaschine (Fa. Sembdner, Osnabrück) auf Endablage mit einer Saattiefe von 2,5 cm. Die Aussaat erfolgte standortsüblich Mitte bis Ende April (Tab. 4). Aufgrund der langen Spätfrostgefahr liegen die Saattermine generell später als in Deutschland. In der Ukraine wurde einheitlich die ukrainische Zuckerrübensorte J.O. 45 (Jaltuschkiwskii odnonasinni 45) mit einer Aussaatstärke von 95.000 Pillen/ha ausgesät. Die Samen waren mit Curater (Insektizid, 50 g Carbofuran/Einheit, 1 Einheit = 100.000 Pillen) gebeizt. Um den Wasserbedarf bei der Keimung herabzusetzen, war die ukrainische Sorte lediglich inkrustiert, wodurch die üblichen geringen Niederschlagsmengen zur Aussaat kompensiert werden sollten.

Die Aussaat der Versuche in Hohenheim (Zuckerrübensorte Patricia - rizomaniatolerant-) erfolgte mit einer Aussaatstärke von 175.000 Pillen/ha am 23. April 1998, 18. März 1999 und 21.

April 2000. Die Saat erfolgte mit einer pneumatischen Einzelkorndrillmaschine der Firma Accord (Typ Mono Air). Die Saattiefe betrug immer 2,5 cm. Die Pillen waren mit Tachigaren (Fungizid, 8 g Hymexazol/Einheit), Tutan (Fungizid, 394 g Thiram/dt Saatgut) und Gaucho (Insektizid, 90 g Imidacloprid/Einheit) gebeizt. Für den Standort Hohenheim waren die Saatzeitpunkte im Jahr 2000 (6.4.), aber insbesondere 1998 (23.4.) relativ spät. Anhaltende Niederschläge (Anhang 1 und 3) ließen eine Aussaat zu einem früheren Zeitpunkt jedoch nicht zu (Tab. 4.).

In den Versuchen in Hohenheim 1999, Poltava 1999 und Vinnitsa 2000 führten geringe Niederschläge unmittelbar nach der Saat zu einem verzögerten Aufgang der Zuckerrüben, so dass drei Wochen nach der Saat erst 50 % der Zuckerrüben aufgelaufen waren. In Vinnitsa 2000 führte zusätzlich der relativ späte Saatzeitpunkt (30.4.2000) zu einem verzögerten Auflaufen der Rüben. In den Versuchen Hohenheim 1998, Hohenheim 2000, Petrivzi 2000 und Vinnitsa 1999, mit ausreichenden Niederschlägen, war der Aufgang bereits zwei Wochen nach der Saat abgeschlossen.

Tab. 4: Aussaat der Versuche

	HOH 98	HOH 99	HOH 00	POL 99	PET 00	VIN 99	VIN 00
Sorte	Patricia*	Patricia	Patricia	J.O.45**	J.O.45	J.O.45	J.O.45
Aussaattermin	23.4.	18.3.	6.4.	9.4.	10.4.	16.4.	30.4.
Auflauftermin	6.5.	8.4.	21.4.	25.4.	20.4.	29.4.	18.5.
Saatstärke [Pillen/ha] in 1000	175.0	175.0	175.0	95.0	95.0	95.0	95.0
Bestandesdichte [Pfl./ha] in 1000	85.0	86.0	85.6	51.6	72.2	66.5	67.0

*rizomaniatolerant; ** Jaltuschkiwskii odnonasinni 45 (ukrainische Sorte; nicht pilliert)

Düngung

Die Nährstoffgehalte der Versuchsflächen zeigt Tabelle 5.

Tab 5.: Bodenanalyse der Versuchsflächen

		HOH 98	HOH 99	HOH 00	POL 99	PET 00	VIN 99	VIN 00
Humus	[%]	1,9	1,8	2,1	-	-	-	-
pH-Wert (CaCl ₂)	[mg/100 g]	6,9	7,0	6,8	7,1	6,7	7,0	6,8
Phosphor	[mg/100 g]	3,6	12,0	15,0	1,4	0,9	2,5	0,8
Magnesium	[mg/100 g]	3,0	6,0	27,0	13,0	2,7	7,0	2,0
Kalium (CAL)	[mg/100 g]	38,0	31,0	21,0	6,4	7,0	13,0	4,0
N _{min} *	[kg/ha]	51,0	69,0	58,0	-	-	-	-

*vor Saat; - nicht analysiert

In allen Versuchen der Ukraine wurden die Flächen im Herbst ausschließlich mit 80 t/ha Stallmist gedüngt. In Hohenheim wurde die Stickstoffdüngung nach der N_{min}-Methode (0-90 cm)

mit Probennahmen ca. 3 Wochen vor der Saat durchgeführt. Dabei wurde in allen Jahren durchschnittlich 70 kg/ha N als Startgabe gedüngt, um den standortüblichen Sollwert von 130 kg N/ha zu erreichen. Zusätzlich wurden als Spätdüngung in der letzten Maidekade 75 kg/ha (1998 und 2000) und 80 kg/ha N (1999) (Ammonsulfatsalpeter 26 % N) gedüngt. Alle Versuchsfelder in Hohenheim wurden im Vorjahr der Aussaat mit 50 kg/ha K₂O und 100 kg/ha P₂O₅ (Rekaphos) gedüngt.

Vereinzeln der Rüben

Die Versuche in Hohenheim wurden zum 2-Blattstadium der Zuckerrüben vereinzelt, wobei die Pflanzen vom Parzellenrand aus an der Bodenoberfläche mit einer scharfen Hacke abgeschnitten wurden. Eine Beeinflussung auf das Auflaufverhalten der Unkräuter durch Bodendruck oder -bewegung konnte so ausgeschlossen werden. Nach dem Vereinzeln ergab sich in Hohenheim in allen 3 Jahren eine einheitliche Bestandesdichte von 85.000 - 86.000 Pflanzen/ha. In der Ukraine erfolgte die Aussaat der Rüben aufgrund der Saattechnik auf Endablage.

Unkrautflora

Mit Ausnahme des Versuches in Hohenheim 1998 wurde bei allen Versuchen ausschließlich die natürlich vorkommende Unkrautflora berücksichtigt. In Hohenheim 1998 wurde neben der natürlichen Unkrautflora zusätzlich *Sinapis alba* in die Versuchsglieder entsprechend ihrer Definition mit einer Aussaatstärke von 100 Samen/m² gesät. In den Versuchsgliedern des Faktors 1 (Unkraut bis...) wurde der Senf unmittelbar vor Aussaat der Zuckerrüben maschinell ausgesät. In den Versuchsgliedern des Faktors 2 (Unkraut ab...) wurde der Senf von Hand zu den definierten Entwicklungsstadien gesät. Eine oberflächige Einarbeitung erfolgte mit einem Handrechen.

Zur Erfassung der Unkrautarten und -dichten wurden in allen Versuchsgliedern des Faktors 2 unmittelbar vor der Ernte die Unkrautarten und -dichten ausgezählt. Damit wurde die Gesamtverunkrautung bei ständig anhaltender Unkrautkonkurrenz und die Auflaufdynamik in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der einsetzenden Verunkrautung erfasst. Dazu wurde ein 0,25 m² großer Zählreifen jeweils 4 mal/Wiederholung und Versuchsglied ausgezählt. Die angegebenen Werte der Versuchsglieder sind Mittelwerte aus 16 Auszählungen.

Unkrautregulierung

Die Unkrautregulierung erfolgte in allen Versuchsgliedern ausschließlich mit der Handhacke. Die Versuchsglieder des Faktors 1 verunkrauteten bis zu den in der Tabelle 3 aufgeführten Entwicklungsstadien und wurden anschließend kontinuierlich unkrautfrei gehalten. Nach dem Hacken wurde das Unkraut aus den Versuchsgliedern entfernt. Um in den Versuchsgliedern, die bis zu den bestimmten Entwicklungsstadium der Zuckerrüben unkrautfrei gehalten werden mussten (Faktor 2) Unkrautkonkurrenz zu vermeiden, wurden auflaufende Unkräuter kontinuierlich vom Parzellenrand aus gejätet.

2.1.4 Ertrags- und Qualitätsbestimmung

Die Ernte erfolgte zu standortsüblichen Terminen. In Hohenheim war dies Mitte Oktober (21.10., 11.10. und 16.10.). In der Ukraine erfolgt die Ernte bereits Mitte September bis Anfang Oktober (Poltava 1999: 6.9., Petrivzi 2000: 3.10., Vinnitsa 1999: 16.9.; Vinnitsa 2000: 22.9.).

Um Randeffekte ausschließen zu können, wurden ausschließlich die Kernbereiche der Parzellen (mittleren 3 Reihen) beerntet. Die Reihen 1 und 5 wurden, wie ebenso die Rüben der Stirnseiten der mittleren Reihen, verworfen. BRÄUTIGAM (1998) quantifizierte den möglichen Einfluss des Randeffektes auf den Ertrag. In einer ständig verunkrauteten Variante entfielen dabei 50 % des Gesamtgewichtes des Versuchsgliedes auf die Stirnrüben, während es bei einer ständig unkrautfreien Variante immer noch 20 % waren.

Zur Ernte wurden die Rüben auf dem Feld mit einer Köpfschippe geköpft und mit einem Rübenheber von Hand gerodet, gereinigt und gewogen. Zur Ermittlung des Bereinigten Zuckergehaltes wurden die qualitätsbestimmenden Inhaltsstoffe Zucker-, Kalium-, Natrium- und α -Amino-N-Gehalt durch industrielle Aufarbeitung und Qualitätsanalyse ermittelt. Dabei wurde der Saccharose-Gehalt polarimetrisch (ICUMSA 1994), der Gehalt an Kalium und Natrium photometrisch (BUCHHOLZ *et al.* 1995) und der α -Amino-N-Gehalt der Proben durch das fluorometrische OPT-Verfahren nach BURBA und GEORGI (1975 und 1976) bestimmt. Für alle Proben wurde eine Doppelbestimmung durchgeführt. Aus dem Zucker-, Natrium-, Kalium- und α -Amino-N-Gehalt wurden nach der Braunschweiger Formel (1) der Standard-Melasseverlust und anschließend der Bereinigte Zuckergehalt bestimmt.

$$SMV = 0,12 * W_{K+Na} + 0,24 * W_{\alpha-N} + 0,48 \quad (1)$$

SMV: Standardmelasseverlust; W : Stoffmengengehalt der Rüben in mmol/100 g; K+Na: Summe von Kalium und Natrium; α -N: α -Amino-N ; (nach BUCHHOLZ *et al.* 1995)

Im Bereinigten Zuckergehalt (Formel 2) ist nach BUCHHOLZ *et al.* (1995) der Zuckergehalt sowohl durch den Melasseverlust als auch durch Fabrikationsverluste vermindert. Die Fabrikationsverluste werden in der Formel mit dem Faktor 0,6 % der ausbeutbaren Rüben angesetzt, wobei Schwankungen in Abhängigkeit von der Arbeitsweise und Ausrüstung auftreten können.

$$BZG = ZG - SMV - 0,6 \quad (2)$$

BZG: Bereinigter Zuckergehalt; ZG: Zuckergehalt (Polarisation) in °Z; SMV: Standardmelasseverlust (nach BUCHHOLZ *et al.* 1995)

Aus dem Bereinigten Zuckergehalt errechnet sich der Bereinigte Zuckerertrag (Formel 3).

$$BZE = \frac{RE * BZG}{100} \quad (3)$$

BZE: Bereinigter Zuckerertrag; RE: Rübenertrag; BZG: Bereinigter Zuckergehalt

2.1.5 Statistische Auswertung

Alle Ergebnisse wurden mit dem Programm-Paket SAS (Statistical Analyse System) Version 6.12 ausgewertet. Zur Ermittlung der Kritischen Periode innerhalb der einzelnen Versuche wurden alle erhobenen Parameter nach einer Überprüfung der Residuen auf Normalverteilung (Shapiro-Wilks-Test) einer einfaktoriellen Varianzanalyse (Prozedur GLM) mit anschließendem multiplem Mittelwertvergleich nach TUKEY (Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 5\%$) unterzogen. Die Überprüfung der Varianzhomogenität erfolgte mit dem Levene-Test in der Modifikation nach BROWN und FORSYTHE (DUFNER *et al.* 1992). Bei nicht vorhandener Homoskedastizität wurde

eine Transformierung bzw. eine Gewichtung mit dem Kehrwert der Standardabweichung vorgenommen ($1/\text{STABW}$).

Zur Errechnung der standorts- und jahresunabhängigen Kritischen Periode, über alle Versuche hinweg, wurde die Prozedur LS Means (Least Square Means) benutzt, da die Daten des Versuches von Hohenheim 1998 im Vergleich zu denen der anderen Versuche nicht balanciert waren. Die Prozedur LS Means schätzt die geringsten Mittel bei unbalancierten Designs als Klassen bzw. Subklassen im Vergleich zu den arithmetischen Mitteln der balancierten Daten des Designs. Die resultierenden Mittelwerte sind einfache Schätzwerte der Mittelwerte der Klassen bzw. Subklassen, die erwartet werden würden, wenn es sich um balancierte Daten handelte.

2.2 Ertragsverlust in Abhängigkeit von der Unkrautdichte und der Verunkrautungsdauer

Neben der Konkurrenzkraft der Zuckerrüben spielt die Konkurrenzkraft der Verunkrautung in Abhängigkeit vom Zeitpunkt einsetzender Verunkrautung eine entscheidende Rolle für die Intensität der Interaktionen. Die Konkurrenzkraft der gesamten Unkrautflora wurde deshalb im Folgenden in Abhängigkeit vom Auflaufzeitpunkt analysiert. Hierbei blieben einzelne Arten unberücksichtigt, das heißt die Unkrautflora wurde als Gesamtheit quantifiziert. Dazu wurden Besatz-Verlust Relationen nach dem Modell von COUSENS (1985) erarbeitet, welches sich zur Quantifizierung der Konkurrenzwirkung einzelner Unkrautarten etabliert hat. In der Arbeit wurde erstmals versucht, dieses Modell zur Quantifizierung der Konkurrenzkraft einer gesamten Unkrautflora anzuwenden. Das Modell beinhaltet zwei biologische Kenngrößen, bei denen es sich um dimensionslose Parameter handelt, die in ihrer ursprünglichen Form die Konkurrenzkraft einer Unkrautart charakterisieren (Formel 4). Die biologische Kenngröße I beschreibt dabei den Ertragsverlust, wenn die Unkrautdichte gegen null tendiert, und die Kenngröße A den Ertragsverlust, wenn die Dichte gegen unendlich tendiert und damit der maximale Ertragsverlust der von einer Unkrautart in der jeweilig untersuchten Kultur verursacht wird.

Da jedoch hier die Verunkrautung als Gesamtheit betrachtet wurde, können die Kenngrößen lediglich zur Interpretation der Konkurrenzwirkung der gesamten Verunkrautung herangezogen werden. Zusätzlich können im Umkehrschluss Aussagen über die Konkurrenzfähigkeit der Zuckerrüben in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium abgeleitet werden.

Für alle sieben Versuche wurden durch nicht-lineare Regressionen die Besatz-Verlust-Relationen nach der hyperbolen Funktion (Formel 4) von COUSENS (1985) berechnet. Über einen F-Test ($\alpha = 0,05$) wurde anschließend geprüft, ob die Messwerte hinreichend genau durch die Besatz-Verlust Relationen beschrieben wurden.

$$Y_L = \frac{I d}{1 + I d / A} \quad (4)$$

Y_L = Ertragsverlust; d = Unkrautdichte; I = Ertragsverlust, wenn $d \rightarrow 0$; A = Ertragsverlust, wenn $d \rightarrow \infty$ (COUSENS 1985)

Wenn die Messwerte gemäß F-Test nicht hinreichend genau durch das Modell von Cousens beschrieben wurden, wurden für die entsprechenden Entwicklungsstadien der Zuckerrüben die Korrelation zwischen relativen Ertrag und der Unkrautdichte berechnet.

2.3 Entwicklung von Unkraut und Zuckerrüben in Abhängigkeit von der Verunkrautungsdauer

Zur Erarbeitung eines Parameters zur standorts- und jahresunabhängigen Beschreibung der Kritischen Periode wurde neben dem Parameter „Entwicklungsstadium der Zuckerrübe“ (Kap. 2.1) zusätzlich der Unkraut- und auch der Zuckerrübendeckungsgrad hinsichtlich ihrer Eignungen untersucht. Beide Deckungsgrade bedingen sich gegenseitig und beschreiben zusätzlich den jeweiligen Einfluss auf die Intensität der Interaktionen zwischen Unkraut und Zuckerrübe. Darauf aufbauend gibt es einen Parameter, der die Intensität der Interaktionen zusammenfassend mit einer Kenngröße quantifiziert: der relative Unkrautdeckungsgrad. Neben oben genannten Parametern wurde zusätzlich der relative Deckungsgrad auf seine Eignung zur standorts- und jahresunabhängigen Vorhersage der Kritischen Periode überprüft.

Zum Erfassen der Wachstumsverläufe von Unkraut und Zuckerrübe in Abhängigkeit der Verunkrautungsdauer wurde in Hohenheim 1999, Hohenheim 2000 und Poltava 1999 wöchentlich der Deckungsgrad der Zuckerrüben und der Unkräuter (gesamt) in den ständig verunkrauteten Varianten des Faktors 1 in allen Wiederholungen bonitiert. Die Bonituren wurden vom Parzellenrand aus für den Kernbereich der Versuchsglieder mit einem 0,25 m² großen Zähl- und Schätzrahmen durchgeführt, der viermal pro Variante repräsentativ ausgelegt wurde (BBA 1985).

Aus den Deckungsgraden der Zuckerrüben und der Unkräuter zu Beginn der Kritischen Periode lässt sich der relative Unkrautdeckungsgrad (Formel 5) berechnen. Er ist definiert als der prozentuale Anteil des Unkrautdeckungsgrads am Gesamtdeckungsgrad (KROPFF und SPITTERS 1991).

$$rUKDG = \frac{UKDG}{UKDG + KDG} * 100 \quad (5)$$

rUKDG: relativer Unkrautdeckungsgrad (%); UKDG: Unkrautdeckungsgrad (%); KDG: Kulturdeckungsgrad (%) (KROPFF und SPITTERS 1991)

2.4 Quantifizierung des Konkurrenzfaktors Licht in Abhängigkeit von der Verunkrautungsdauer

Der Faktor Licht stellt nach KROPFF und SPITTERS (1992) und KROPFF *et al.* (1992) den entscheidenden Faktor für die Interaktionen zwischen Zuckerrübe und Unkraut dar, wofür sie die geringe Wuchshöhe der Zuckerrüben verantwortlich machen. Da, abgeleitet aus dem Unkrautdeckungsgrad, eine direkte Quantifizierung der Konkurrenzwirkung Licht nicht vorgenommen werden kann, wurde zusätzlich die Beschattung der Zuckerrüben durch die Unkräuter in Abhängigkeit von der Verunkrautungsdauer gemessen, um damit eine Beurteilung für den Konkurrenzfaktor Licht zur Beschreibung der Kritischen Periode abzuleiten. Hintergrund der Untersuchung war die Fragestellung, ob die Zuckerrüben eine einheitliche standorts- und jahresunabhängige Beschattung durch die Unkräuter tolerieren können, bevor es zu Ertragsminderungen kommt.

Die Messungen wurden in Poltava 1999 und Hohenheim 2000 in den ständig verunkrauteten Versuchsgliedern des Faktors 1 (Unkraut bis...) zu den im Versuchsplan definierten Entwicklungsstadien der Zuckerrüben durchgeführt. Dazu wurden 4 Messungen je Wiederholung im

Kernbereich der Parzellen durchgeführt, so dass die Beschattungswerte Mittelwerte aus 16 Einzelwerten darstellen.

Gemessen wurde die photosynthetisch aktive Strahlung mit Strahlungssensoren der Firma Licor (Lincoln, USA – Quantumsensoren 190 SA und 191 SA) in der Einheit $\mu\text{mol Photonenflussdichte m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Die Beschattung ergab sich aus der Differenz der Photonenflussdichte über dem Bestand (Zuckerrüben und Unkräuter) und direkt oberhalb des Zuckerrübendaches.

2.5 Ertragsverlauf in Abhängigkeit von der „Temperatursumme“ und der Verunkrautungsdauer in „Tagen nach Feldaufgang“

Der Temperatursummenansatz ist ein zulässiges Instrument, den Zusammenhang zwischen Temperatur und Entwicklungsrate von Zuckerrüben zu beschreiben (MILFORD *et al.* 1985 a, BÜCHSE und RÖVER 1998). Dieser Parameter wurde zusätzlich als Größe zur standorts- und jahresunabhängigen Beschreibung der Kritischen Periode untersucht. Die Kernfrage hierzu lautet: Gibt es eine gemeinsame Temperatursumme, bis zu und ab der Unkraut im Bestand belassen werden kann, ohne Ertragsminderungen zu verursachen? Die Temperatursumme errechnet sich nach GALLAGHER (1976) aus der Formel (6):

$$TS = \sum (TAV - TB) \quad (6)$$

wobei gilt (7),

$$TAV - TB \geq 0 \quad (7)$$

TS: Temperatursumme; TAV: Average Daily Temperature; TB: Basistemperatur, unter der die physiologischen Wachstumsprozesse aussetzen (GALLAGHER 1976)

Die Basistemperatur für das Blattflächenwachstum von Zuckerrüben liegt bei 3 °C (MILFORD *et al.* 1985 a und c).

Zur Untersuchung der Fragestellung wurden Ertragsverläufe, entsprechend des theoretischen Zusammenhanges zur Ermittlung der Kritischen Periode (Kap. 1.3, Abb. 1), regressionsanalytisch berechnet. Bedingung für eine Regressionsanalyse war die Anwendung eines Modells, das die sigmoiden Ertragsverläufe der Kritischen Periode hinreichend genug beschreibt. Diese Voraussetzung erfüllt das Modell von STREIBIG (1988), das bislang primär zur Erstellung von quantitativen Dosis-Wirkungsbeziehungen in der Ökotoxikologie und Pharmakologie eingesetzt wurde. SEEFELDT *et al.* (1995) und MICHEL *et al.* (1999) beschrieben die Anwendung des Modells zur Untersuchung der Wirksamkeit von Herbiziden. In der vorliegenden Arbeit wurde somit erstmals versucht, dieses Modell zur Beschreibung einer quantitativen Ertrags-Verlust-Beziehung einzusetzen.

Das Modell (Formel 8) setzt sich aus vier Parametern zusammen und beschreibt den Ertragsverlauf für beide Faktoren der Kritischen Periode. Um der Prämisse der Varianzhomogenität gerecht zu werden, erfolgte eine Gewichtung der Daten mit dem reziproken Wert der Standardabweichung (MICHEL *et al.* 1999). Mittels F-Test ($\alpha = 0,05$) wurde anschließend geprüft, ob die Messwerte hinreichend genau durch die berechneten Ertragsverläufe beschrieben werden. Darüber hinaus wurde mittels F-Test die Hypothese paralleler bzw. identischer Ertragsverläufe überprüft. Dazu wurden alle Regressionsparameter einzeln für die Ertragsverläufe bestimmt, die nachfolgend schrittweise gleichgesetzt wurden. Nach jedem Schritt wird über einen F-Test geprüft, ob signifikante Unterschiede auftraten. Die Hypothese identischer Ertragsverläufe ist dann

gültig, wenn sich alle Regressionsparameter nicht signifikant voneinander unterscheiden. Wäre dies der Fall, ist der gewählte Parameter zur Beschreibung des Verlaufs der Periode unabhängig von Standort und Jahr geeignet.

$$Y = C + \frac{D - C}{1 + e^{[b(\ln x - \ln EV_{50})]}} \quad (8)$$

Y: relativer Ertragsverlust; C: maximaler Ertragsverlust bei ständiger Verunkrautung; D: Ertrag bei kontinuierlicher Unkrautfreiheit; EV_{50} : Zeitpunkt, bis zu (Faktor 1) bzw. ab (Faktor 2) dem Unkrautkonkurrenz 50%ige Ertragsverluste verursachen; b: Steigung im linearen Bereich um den EV_{50} (STREIBIG und KUDSK 1993; verändert)

Als Vergleichsgröße der Ertragsverläufe zwischen den Standorten wurde der EV_5 -Wert nach der Formel (9) von STREIBIG *et al.* (1995) interpoliert.

$$EV_5 = EV_{50} * \left(\frac{EV_5}{100 - EV_5} \right)^{1/b} \quad (9)$$

EV_5 = Ertragsverlust bei anhaltender Verunkrautung bis zu bzw. ab dem Zeitpunkt x; EV_{50} : Zeitpunkt bzw. Temperatursumme bis zu (Faktor 1) bzw. ab (Faktor 2) dem Unkrautkonkurrenz 50%ige Ertragsverluste verursachen. b: Steigung im linearen Bereich um den EV_{50}

Als Vergleichsgröße der tolerierbaren Verunkrautungsdauer zwischen den Standorten ist der EV_5 -Wert eine geeignete Vergleichsgröße, da die 5%ige Schadwirkung im experimentellen Versuchswesen eine wichtige Erfahrungsgröße darstellt, die gerade noch im Freiland ermittelt werden kann (NEURURER 1975, CHANDLER 1996, MONTEMURRO 1999, WELSH *et al.* 1999 und AMADOR-RAMIREZ 2002). Der EV_5 -Wert gibt die Temperatursumme an, bis zu (Faktor 1) bzw. ab (Faktor 2) der die Unkrautkonkurrenz eine 5 %ige Ertragsminderung zur Ernte verursacht.

Die Ertragsverläufe wurden neben dem Parameter „Temperatursumme“ zusätzlich für den Parameter „Konkurrenzdauer in Tagen nach dem Feldaufgang“ berechnet, um die Standortabhängigkeit dieses Parameters zu verdeutlichen.

2.6 Feldversuche zur Unkrautbekämpfung in glufosinatresistenten Zuckerrüben

Ziel der in Poltava 1999 und Vinnitsa 2000 durchgeführten Versuche war: Möglichkeiten einer Integration der Kritischen Periode in das Unkrautmanagement mit herbizidresistenten Sorten zu untersuchen. Der Kernfrage der Untersuchungen lautete deshalb: Bis zu welchem Entwicklungsstadium der Zuckerrübe Unkraut mit Glufosinat bekämpft werden kann. Dazu wurden Versuche mit glufosinatresistenten Zuckerrüben parallel zu den Versuchen zur Ermittlung der Kritischen Periode angelegt, in denen das Unkraut mechanisch entfernt wurde. Der Beginn der Behandlungen mit Glufosinat orientierte sich jeweils an den Entwicklungsstadien der Zuckerrüben, zu denen das Unkraut aus den Versuchen zur Ermittlung der Kritischen Periode mechanisch entfernt wurde. Die Fragestellung der Versuche machte es erforderlich, die Glufosinatbehandlungen in Abhängigkeit von den Entwicklungsstadien der Zuckerrüben zu terminieren, und nicht, wie allgemein bei der Unkrautbekämpfung mit selektiven Wirkstoffen in Zuckerrüben üblich, in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium der Unkräuter (Kap. 1.5). Neben dem Zeitpunkt der Behandlung variierten zusätzlich die Glufosinataufwandmengen. Die Untersuchungen beschränkten sich auf die Umsetzbarkeit des Beginns der Kritischen Periode und ermöglichten

einen standortspezifischen Vergleich zwischen dem eigentlichen Beginn der Periode und dem spätest möglichen Termin der Unkrautbekämpfung.

2.6.1 Zuckerrübentransformante

In den Feldversuchen wurde die transgene glufosinatesistente Zuckerrübentransformante 120-7 eingesetzt. Die Transformante enthält auf einem etwa 4,6 kb langen DNA-Fragment ein synthetisches Pat-Gen, das von einer 35S Promotor- und Terminatorregion des Cauliflower Mosaik Virus kontrolliert wird. Die Nukleinsäure der kodierten Region des Pat-Gens wurde für die Transformation in die Zuckerrüben chemisch synthetisiert, wobei es jedoch vom Pat-Gen des Bodenbakteriums *Streptomyces viridochromogenes* abgeleitet wurde. Zusätzlich enthält die Transformante als Selektionsmarker das Neomycin-Phosphotransferase-Gen (*nptII*-Gen) unter der Kontrolle des Promotors des Nopalinsynthase-Gens aus *Escherichia coli* und des Terminators des Octopinsynthase-Gens aus *Agrobacterium tumefaciens* (RKI 1996).

Die Expression des synthetischen Pat-Gens führt zur Produktion einer spezifischen N-Acetyltransferase im Cytoplasma der Pflanzenzellen. Durch die Aktivität der neu eingeführten Eigenschaft wird Glufosinat N-acetyliert. Das N-acetylierte Glufosinat ist herbizid nicht mehr aktiv und verleiht der Zuckerrübe Resistenz gegenüber Glufosinat (DONN und ECKES 1992).

2.6.2 Versuchsanlage

Die Versuche wurden als randomisierte Blockanlage mit 4 Wiederholungen angelegt. Die Parzellengröße entsprach der in den Versuchen zur Ermittlung der Kritischen Periode (Kap. 2.1.2). Der Abstand zwischen den Versuchsgliedern betrug an der Stirnseite 0,5 m und an der Längsseite 0,45 m (1 Reihenabstand).

2.6.3 Allgemeine Angaben

Vorfrucht, Bodenbearbeitung, Düngemaßnahmen, Aussaattechnik, Aussaatdichte und auch der Aussaatzeitpunkt entsprachen den Versuchen zur Ermittlung der Kritischen Periode (Kap. 2.1.3). Dies war zur Überprüfung der standortspezifischen Anwendbarkeit der Kritischen Periode eine Voraussetzung.

Der früheste Behandlungsbeginn mit Glufosinat war zum 2-Blattstadium der Zuckerrüben. Nachfolgend begannen die Behandlungen zum 4-, 6- und 8- Blattstadium. Die maximale Aufwandmenge von Glufosinat, unabhängig ob einmalig oder gesplittet appliziert, betrug 1600 g/ha (8 l/ha). Da in Vinnitsa 2000 versucht wurde, die Ergebnisse aus Poltava 1999 zu bestätigen, wurden in Vinnitsa lediglich die in Poltava 1999 minimal notwendigen Aufwandmengen wiederholt. Darüber hinaus sollten in Vinnitsa die Behandlungszeitpunkte optimiert und die Aufwandmengen reduziert werden. Deshalb wurde dort Schwefelsaures Ammoniak (10 kg/ha) als Additiv in einigen Varianten eingesetzt. Die Versuche beinhalteten ebenso praxisübliche Varianten, in denen die selektiven, konventionellen Herbizide Betanal Progress OF, Goltix WG und Fusilade ME im Nachauflaufverfahren eingesetzt wurden. Die Anwendungen in diesen Varianten erfolgten im NAK-Verfahren (Nachauflaufverfahren im Keimblattstadium der Unkräuter) in Abhängigkeit vom Auflaufverhalten der Unkräuter.

Die einzelnen Behandlungen der Varianten sind im Ergebnisteil (Kap. 3.3), dargestellt. Einen Überblick über die Herbizide gibt Tabelle 6.

Tab. 6: Eingesetzte Herbizide und Zusatzstoffe

Wirkstoff		a.i.
<u>selektive Herbizide</u>		
Betanal Progress OF	Phenmedipham	(75,5 g/l)
	Desmedipham	(25,2 g/l)
	Ethofumesat	(150,9 g/l)
Goltix WG	Metamitron	(700,0 g/l)
Fusilade ME	Fluazifop-P	(125,0 g/l)
<u>nicht-selektives Herbizid</u>		
Basta	Glufosinat-Ammonium	(200,0 g/l)
<u>Zusatzstoff</u>		
Schwefelsaures Ammoniak	Ammoniumsulfat	

Die Herbizidapplikationen wurde mit einer fahrbaren Parzellenspritze durchgeführt. Die Wasseraufwandmenge betrug 200 l/ha, bei einem Druck von 3 bar. Es wurde eine Flachstrahldüse (110 02) der Firma Spraying Systems (Hamburg) verwendet.

Die Wirkungen gegen die Unkräuter wurden in Poltava 1999 2 Wochen nach der ersten und der letzten Behandlung und zusätzlich zum Reihenschluss der Zuckerrüben bonitiert. In Varianten mit nur einer Applikation erfolgte die Bonitur 2 und 4 Wochen nach der Behandlung und zum Reihenschluss. Neben der Unkrautwirkung wurde ebenso die Phytotoxizität bonitiert. In Vinnitsa 2000 erfolgten die Bonituren ausschließlich zum Reihenschluss.

2.6.4 Ertragsbestimmung

Die Versuche wurden zeitgleich mit den Versuchen zur Ermittlung der Kritischen Periode geerntet. Beerntet wurde der Kernbereich der Parzellen; die Rüben der Randreihen und die Kopf- und Stirnrüben der beernteten Rübenreihen wurden verworfen.

2.6.5 Statistische Auswertung

Die Zuckerrübenenerträge wurden im Vergleich zu einer ständig mechanisch (Handhacke) unkrautfrei gehaltenen Variante mit dem Programm-Paket SAS Version 6.12 verrechnet. Nach Überprüfung der Residuen auf Normalverteilung (Schapiro-Wilks-Test) folgte eine varianzanalytische Verrechnung mit multiplem Mittelwertsvergleich nach TUKEY (Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha = 5 \%$). Signifikante Unterschiede sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet.

2.7 Modellversuche zur Sensitivität glufosinatresistenter Zuckerrüben

In den Feldversuchen mit glufosinatresistenten Zuckerrüben konnte bei Applikation hoher Glufosinataufwandmengen insbesondere zu hohen Entwicklungsstadien der Rüben Schadsymptome an den Zuckerrüben beobachtet werden. Neben Wachstumsdepressionen traten besonders Vergilbungen an den Blattspitzen, dem Ort der höchsten Transpiration, auf. In Modelluntersuchungen sollten die Ursachen für diese nachlassende Sensitivität der Rüben untersucht werden. Neben dem Einfluss des Entwicklungsstadiums zum Zeitpunkt der Behandlung wurden zusätzlich verschiedene Klimabedingungen berücksichtigt. Die Untersuchungen wurden für das 2- und 6-Blattstadium der Zuckerrüben unter standardisierten Bedingungen in der Klimakammer (Phytozelle Phz 18 s, Firma York – Mannheim) und auch unter Halbfreilandbedingungen in der Vegetationshalle durchgeführt. In der Klimakammer wurde der Einfluss der Luftfeuchtigkeit, in der Vegetationshalle der Einfluss der Lichtintensität untersucht.

2.7.1 Klimabedingungen

Zur Untersuchung des Einflusses der Luftfeuchtigkeit wurden die Pflanzen unter konstanten Bedingungen in der Klimakammer angezogen und nach der Applikation dort weiterkultiviert. Zwei Intensitäten bezüglich der relativen Luftfeuchte (50 % und 80 %) wurden untersucht (Tab. 7).

Der Einfluss der Lichtintensität zum Zeitpunkt der Behandlung und unmittelbar danach wurde unter Halbfreilandbedingungen in der Vegetationshalle untersucht, wobei zwei verschiedene Intensitätsstufen untersucht wurden. Eine 50%ige Reduzierung der Lichtintensität wurde mit Beschattungsnetzen erzielt. Mindestens 5 Tage vor der Behandlung wurde mit der Beschattung begonnen, die bis zum Ende der Messungen kontinuierlich fortgesetzt wurde. Die einzelnen Versuchsbedingungen zeigt Tabelle 7.

Tab. 7: Klimabedingungen zur Untersuchung der Sensitivität glufosinatresistenter Zuckerrüben

	rel. Luftfeuchte	Temp.	Lichtintensität	Tag/Nacht
Klimakammer	80 %	24/16 °C	300 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\text{ s}^{-1}$	12/12 h
	50 %	24/16 °C	300 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\text{ s}^{-1}$	12/12 h
Vegetationshalle	30-50 %	37/12 °C	1361 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\text{ s}^{-1}$	
	30-50 %	37/12 °C	646 $\mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\text{ s}^{-1}$	

2.7.2 Untersuchungsparameter

Zur Quantifizierung der Sensitivität wurden die Parameter Ammoniakkonzentration und Chlorophyllfluoreszenz erhoben.

Ammoniakkonzentration

Der primäre Wirkungsmechanismus von Glufosinat besteht in der Inhibierung der Glutaminsynthetase. Diese ist ein essentielles Enzym im Stickstoffhaushalt der Pflanzen, das NH_3 auf Glutamat überträgt. Die Inhibierung der Glutaminsynthetase führt zu einer Akkumulation von NH_3 in den Pflanzen, das zelltoxisch wirkt. Das transferierte Pat-Gen in glufosinatresistenten Sorten acetyliert den Wirkstoff Glufosinat, wodurch seine Bindung an das katalytische Zentrum der Glutaminsynthetase nicht mehr erfolgen kann und deshalb unter Verbrauch von NH_3 Glutamin synthetisiert wird. Sollte aber keine vollständige Resistenz bei den transgenen Zuckerrüben vorliegen, kommt es folgedessen zu einer NH_3 -Anreicherung, die somit ein sehr indirekter Parameter zur Quantifizierung der Sensitivität glufosinatresistenter Kulturpflanzen ist.

Die NH_3 -Bestimmung erfolgte nach der Methode von WEATHERBURN (1967). Bei diesem Nachweisverfahren für Ammoniak handelt es sich um eine Farbreaktion zwischen NH_3 und Phenol, bei der in Gegenwart von Hypochlorit der Farbkomplex Indophenol-Blau entsteht. Unter Zugabe des Katalysators Nitroprussid lässt sich die Farbentwicklung deutlich steigern (WEATHERBURN 1967). Der Farbkomplex wurde quantitativ bei 625 nm photometrisch bestimmt und über eine Eichgerade die NH_3 -Konzentration in der Blattmasse ermittelt.

Es wurden jeweils 200 mg Blattproben vom ältesten und jüngsten Blatt der Zuckerrüben im 6-Blattstadium und vom jüngsten Blatt der Rüben im 2-Blattstadium 0, 2, 4, 8, 12, 24 und 48 h nach der Applikation entnommen. Die Angaben zu den Entwicklungsstadien beziehen sich auf den Zeitpunkt der Behandlung.

Chlorophyllfluoreszenz

Ein sekundärer Wirkungsmechanismus des Glufosinats in nicht resistenten Pflanzen ist die Reduzierung der Photosyntheseleistung durch Entkopplung der Photophosphorylierung in der Lichtreaktion II der Photosynthese. Die Chlorophyllfluoreszenz bietet die Möglichkeit, den photosynthetischen Elektronentransport in Pflanzen zu untersuchen, der als Indikator für eine Schädigung des Photosyntheseapparates genutzt werden kann. Diese Schädigung sollte bei glufosinatresistenten Sorten mit vollständiger Kulturverträglichkeit ausbleiben. Die absorbierte Lichtenergie wird innerhalb des Photosystems II über Pigmente übertragen und durch Elektronentransport weitergeleitet. Die Abgabe der Energie durch die angeregten Chlorophyllpigmente kann neben der Energienutzung für photochemische Prozesse ebenso durch Wärmeübertragung und Fluoreszenz erfolgen. In den Blättern tritt Fluoreszenz jedoch nahezu ausschließlich im Photosystem II der Lichtreaktion auf, die bei einer Entkopplung der Photophosphorylierung zunimmt. Nach dem Emittieren eines Lichtimpulses nimmt die Fluoreszenz kurzzeitig stark zu, bevor sie auf ein niedrigeres Niveau (terminale Fluoreszenz) zurückfällt. Das Niveau der terminalen Fluoreszenz ist ein Maß für die photochemische Energienutzung durch das Photosystem II und damit für die Schädigung des Photosynthese-Apparates.

Die Messung der Chlorophyllfluoreszenz erfolgte mit einem Puls-Amplituden-Modulations-Fluorometer (PAM) unter Anwendung eines Sättigungsimpulses von 644 nm. Der Impuls führt zu einer Reduzierung aller Bindungsstellen des Elektronentransports im Photosystem II. Da die Reoxidation der Plastochinone ein länger andauernder Prozess ist und die Energiefreisetzung in Form von Wärme unmittelbar nach dem Impuls noch nicht erfolgt, ist die Fluoreszenz kurz nach dem Emittieren des Lichtimpulses der einzig ablaufende Prozess (SCHREIBER *et al.* 1994 und 1995).

Zur Quantifizierung des ablaufenden Elektronentransportes im Photosystem II dient die effektive Quantenausbeute (Y) (Formel 10). Sie kann als Maß dafür angesehen werden, inwiefern die Pflanze befähigt ist, die von ihr absorbierte Lichtenergie zu nutzen und wird folgendermaßen berechnet:

$$Y = (F_M - T_F) / F_M \quad (10)$$

Y = effektive Quantenausbeute ; F_M = maximale Fluoreszenzausbeute ; T_F : terminale Fluoreszenz

Zur Untersuchung wurde die PAM der Firma Walzer GmbH (Effeltrich) eingesetzt. Die Messungen erfolgten 0, 2, 4, 8, 12, 24, 48, 72 ...240 h nach Behandlung am jüngsten und ältesten Blatt der Zuckerrüben im 6-Blattstadium und ausschließlich am jüngsten Blatt der Zuckerrüben zum 2-Blattstadium. Die Angaben zu den Entwicklungsstadien beziehen sich auf den Zeitpunkt der Behandlung. Die Messungen erfolgten immer an der gleichen Stelle des jeweiligen Blattes, die vor der Behandlung markiert wurde. So kann der Verlauf einer eventuellen Regeneration an jeweils der gleichen Pflanze erfasst werden. Die Ergebnisse werden als Relativwerte in Bezug zur jeweils unbehandelten Variante dargestellt.

2.7.3 Allgemeine Angaben

Die Versuche wurden mit der Transformante 120-7 (Kap. 2.6.1) durchgeführt. Je zwei Rübenpillen wurden in mit Komposterde befüllte Vierkanttöpfe (11 cm x 11 cm x 12 cm) 2 cm tief ausgesät und nach dem Auflaufen vereinzelt. Die Anzucht erfolgte je nach Variante unter den bereits beschriebenen Klimabedingungen in der Vegetationshalle oder in der Klimakammer bis zum 2- bzw. 6-Blattstadium. Die Rüben wurden nach Bedarf gegossen, eine Düngung wurde nicht durchgeführt. Die Versuche zur Ammoniakbestimmung erfolgten mit 4 Wiederholungen, die Fluoreszenzmessungen wurden an 8 Einzelpflanzen durchgeführt.

Zur Behandlung wurde Glufosinat in destilliertem Wasser gelöst (200 g/l Glufosinat-Ammonium) und in einem automatisierten Spritzstand (Agro, Langenthal, Schweiz) mit einer Aufwandmenge von 600 g/ha Glufosinat appliziert. Die Wasseraufwandmenge betrug 400 l/ha. Die Ausbringung erfolgte mit einer Flachstrahldüse des Typs 8004 (Teejet, Spraying Systems Hamburg) bei einem Druck von 2,5 bar. Nach der Behandlung wurden die Pflanzen wieder unter den entsprechenden Klimabedingungen weiterkultiviert.

3 Ergebnisse

3.1 Verunkrautung der Standorte

Unkrautarten unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Konkurrenzwirkung auf die Kulturpflanzen. Bei Zuckerrüben hat der Habitus der Unkräuter einen großen Einfluss, da die niedrigwachsenden Zuckerrüben sehr empfindlich auf Konkurrenz um Licht reagieren. Hochwachsende und auslandende Unkrautarten beeinflussen somit den Rübenertrag stärker als niedrigwachsende (SCHÄUFELE 1986 und 1991, KROPFF und SPITTERS 1992). Eine Zielsetzung der vorliegenden Arbeit war es, die Kritische Periode in Abhängigkeit der gesamten Verunkrautung in den Versuchen zu erarbeiten. Auswirkungen einzelner Unkrautarten auf die Terminierung der Periode wurden nicht hergeleitet. Dennoch soll versucht werden die Konkurrenzwirkung der Verunkrautung als Gesamtheit, ausgehend von den häufigsten Unkrautarten der Versuche, zu quantifizieren und deren Auswirkungen auf die Terminierung der Periode abzuleiten. Dazu wurden die aus der Literatur bekannten Ergebnisse über die Konkurrenzwirkungen einzelner Arten als Bewertungsgrundlage herangezogen.

Im Folgenden werden die häufigsten Unkrautarten und -dichten der ständig verunkrauteten Varianten aller Versuche vorgestellt (Kap. 3.1.1). Diese Dichten und Arten dienen als Diskussionsgrundlage für die tolerierbare Verunkrautungsdauer beginnend mit dem Feldaufgang der Zuckerrüben (Faktor 1 - Unkraut bis..). Darüber hinaus wird die Unkrautsituation zur Ernte in Abhängigkeit des Zeitpunktes einsetzender Verunkrautung dargestellt (Kap. 3.1.2), der zwischen den Varianten des Faktors 2 (Unkraut ab..) variiert. Diese Angaben spielen bei der Interpretation des Zeitpunktes, ab dem Verunkrautung toleriert werden kann, eine entscheidende Rolle. Bei den Angaben der Arten und Dichten ist einschränkend zu berücksichtigen, dass die Erhebungen ausschließlich zur Ernte durchgeführt wurden. Deswegen können die Angaben nur Anhaltspunkte darstellen, da einsetzende Seneszenz im Laufe der Vegetationsperiode sicherlich zu einer Abnahme der Dichten bis zur Ernte geführt hat. Gleichzeitig laufen aber auch durch die abnehmende Beschattung der Bodenoberfläche neue Unkräuter auf (NEURURER 1975). Die Erfassung der Verunkrautung musste jedoch zur Ernte durchgeführt werden, da in den Varianten des Faktors 2 der Zeitpunkt einsetzender Verunkrautung variierte und somit die Auszählung zu einem späten Entwicklungsstadium (Ernte) Voraussetzung für eine repräsentative Wiedergabe der Situation war.

3.1.1 Häufigste Unkrautarten der Standorte

Die fünf häufigsten Unkrautarten (Leitverunkrautung) bei ständiger Verunkrautung zum Zeitpunkt der Ernte der Zuckerrüben zeigt Tabelle 8. Alle Unkrautarten sind im Anhang 8 aufgeführt.

Hohenheim

Die Gesamtdichte zur Ernte variierte zwischen den Jahren in Hohenheim zwischen 173,8 (1998) Pfl./m² und 77,3 Pfl./m² (2000). Die hohe Gesamtdichte 1998 begründet sich durch die Aussaat des Modellunkrautes *Sinapis alba* zusätzlich zu der natürlichen Verunkrautung. *Sinapis alba* wurde entsprechend der Definition der Versuchsglieder mit einer Aussaatstärke von 100 Samen/m² in die Varianten gesät. Ziel der Aussaat des Modellunkrautes war es, die Unkraut-

konkurrenzsituation in der Ukraine zu simulieren, da *Sinapis alba* einen mit *Amaranthus* spp. und *Chenopodium album* vergleichbaren Habitus hat. In der Ukraine gehören beide Arten zu den wirtschaftlich bedeutendsten Unkrautarten in Zuckerrüben (IVASHCHENKO 1998 und 2000). Neben *Matricaria* spp. dominierte *Sinapis alba* die Verunkrautung 1998. In den Jahren 1999 und 2000 dominierte ebenso *Matricaria* spp., wobei jedoch zusätzlich *Alopecurus myosuroides*, *Capsella bursa-pastoris*, *Lamium purpureum*, *Matricaria* spp., *Thlaspi arvense* und *Veronica persica* zu den wichtigsten Arten zählten. Mit Ausnahme von *Sinapis alba* zählen alle aufgetretene Arten zu den wichtigsten in der Zuckerrübenproduktion in Deutschland (PETERSEN und HURLE 1998).

Tab. 8 : Häufigste Unkrautarten und ihre Dichten [Pfl./m²] der Versuchsflächen in den immer verunkrauteten Varianten

	HOH 98	HOH 99	HOH 00	POL 99	PET 00	VIN 99	VIN 00
<i>Alopecurus myosuroides</i>		28,0	11,0				
<i>Amaranthus retroflexus</i>				6,7	6,3	252,5	4,2
<i>Capsella bursa-pastoris</i>			9,8				1,6
<i>Chenopodium album</i>	3,3				9,4	11,5	7,8
<i>Cirsium arvense</i>	1,0						
<i>Digitaria ischaemum</i>				21,9			
<i>Digitaria sanguinalis</i>				91,8	1,6		68,8
<i>Echinochloa crus-galli</i>				236,3	3,1		78,1
<i>Galeopsis tetrahit</i>						16,3	
<i>Lamium purpureum</i>		34,3	9,8				
<i>Matricaria</i> spp.	80,3	34,3	25,5				
<i>Polygonum convolvulus</i>	0,8						
<i>Raphanus raphanistrum</i>				4,8			
<i>Sinapis alba</i>	87,3						
<i>Sinapis arvense</i>						17,5	
<i>Solanum nigrum</i>					129,7		
<i>Thlaspi arvense</i>		4,3				24,3	
<i>Veronica persica</i>		0,8	8,5				
Rest	1,1	2,6	12,7	15,7	6,3	9,1	7,8
Σ aller Unkräuter	173,8	104,3	77,3	377,2	156,4	331,2	168,3

Poltava

In Poltava kam es mit 377,2 Pfl./m² zur höchsten Gesamtverunkrautung aller Versuche. Eindeutig dominierten die Hirse-Arten *Echinochloa crus-galli*, *Digitaria sanguinalis* und *D. ischaemum* die Verunkrautung. Darüber hinaus gehörten *Amaranthus retroflexus* als auch *Chenopodium album* an diesem Standort zu den bedeutendsten Arten, wenngleich sie in einem deutlich geringeren Umfang auftraten als die Hirse-Arten.

Petrivzi

In Petrivzi betrug die maximale Dichte 156,4 Pfl./m², wobei *Solanum nigrum* dominierte. *Echinochloa crus-galli* und *Digitaria sanguinalis*, *Amaranthus retroflexus* und *Chenopodium album* traten in einem geringeren Umfang auf.

Vinnitsa

In Vinnitsa war die Gesamtdichte 1999 mit 331,2 Pfl./m² doppelt so hoch wie im Jahr 2000

(168,3 Pfl./m²). Neben den Dichten waren die Unkrautarten in den Versuchsjahren sehr unterschiedlich, obwohl die Versuche auf benachbarten Flächen desselben Betriebes angelegt waren. In Vinnitsa 1999 war *Amaranthus retroflexus* die dominanteste Art, gefolgt von *Thlaspi arvense*, *Sinapis arvensis*, *Galeopsis tetrahit* und *Chenopodium album*. In Vinnitsa 2000 waren, wie in Poltava 1999, Hirse-Arten (*Echinochloa crus-galli* und *Digitaria sanguinalis*) die wichtigsten Arten. *Chenopodium album*, *Amaranthus retroflexus* als auch *Capsella bursa-pastoris* traten nur in sehr geringem Umfang auf.

Generell konnten die aufgetretenen Unkrautarten und -dichten den klimatischen Wachstumsbedingungen der Standorte zugeordnet werden. Wärmeliebende Unkrautarten mit hohem Temperaturoptimum prägten die Verunkrautung in der Ukraine, während in Hohenheim für Deutschland typische Arten der gemäßigten Zone in Zuckerrüben auftraten (Tab. 8) (PETERSEN und HURLE 1998; IVASHCHENKO 2000). Die hier beschriebenen Unkrautarten und -dichten entsprechen der Situation zur Ernte der Zuckerrüben in den ständig verunkrauteten Varianten. Der Einfluss des Zeitpunktes einsetzender Verunkrautung auf die Verunkrautung zur Ernte wird in Kapitel 3.1.2 behandelt.

3.1.2 Unkrautarten und -dichten in Abhängigkeit des Zeitpunktes einsetzender Verunkrautung (Faktor 2)

Neben der Verunkrautung bei ständig anhaltender Verunkrautung (Kap. 3.1.1) wurde zusätzlich die Verunkrautung zur Ernte in Abhängigkeit des Zeitpunktes (Entwicklungsstadium der Zuckerrüben) der einsetzenden Verunkrautung ermittelt. Der Beginn der einsetzenden Verunkrautung variierte laut Definition der Varianten (Kapitel 2.1.2, Tab. 3) ausschließlich innerhalb der Varianten des Faktors 2.

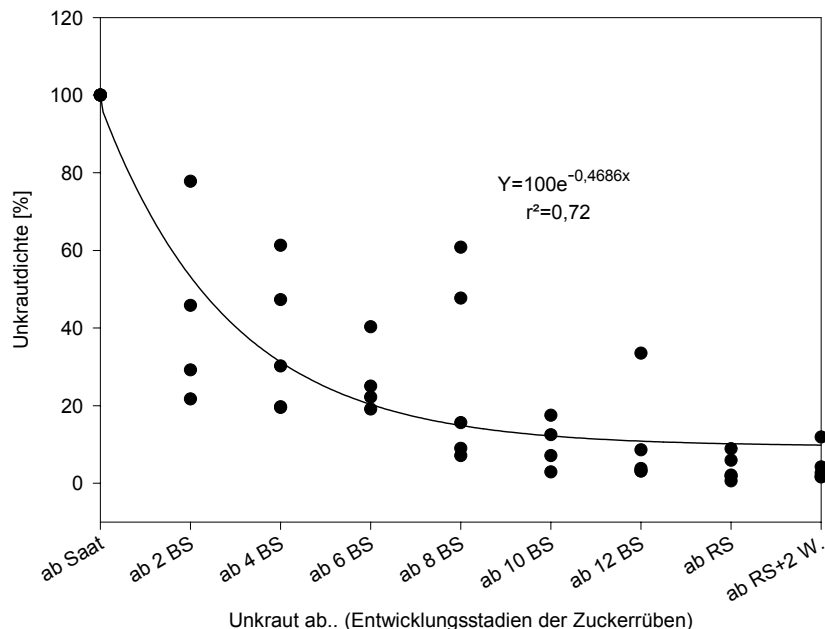


Abb.5: Unkrautdichten [%] zur Ernte in Abhängigkeit des Zeitpunktes (Entwicklungsstadium der Zuckerrüben) einsetzender Verunkrautung.
BS: Blattstadium; RS: Reihenschluss; RS+2W.: 2 Wochen nach Reihenschluss

Generell nahm die gesamte Unkrautdichte zum Zeitpunkt der Ernte mit zunehmend später einsetzender Verunkrautung exponentiell ab (Abb. 5), was als Prinzip der Auflaufdynamik in Zuckerrüben in Abhängigkeit des Zeitpunktes einsetzender Verunkrautung angesehen werden kann. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass beide Versuchsjahre des Standortes Vinnitsa bei der Errechnung der Regression nicht berücksichtigt wurden. Anhaltende Trockenheit führte dort in beiden Jahren zu einer Abnahme der Dichte durch eine Verzögerung der Verunkrautung von der Saat auf das 2-Blattstadium der Zuckerrüben um 99,5 % (Vinnitsa 1999) bzw. 98,1 % (Vinnitsa 2000) (Tab. 9). Dies wurde als nicht repräsentativ angesehen und somit in Abbildung 5 nicht berücksichtigt. Der exponentielle Verlauf der Kurve in Abbildung 5 zeigt, dass die Zeitspanne zwischen der Saat und dem 2-Blattstadium einen großen Einfluss auf die Verunkrautung zur Ernte hat. Unkrautfreiheit während dieser Zeitspanne führt somit zu einer starken Reduzierung der Verunkrautung, so dass unter Umständen lediglich während dieser Spanne eine Unkrautfreiheit notwendig sein muss. Die Ertragsergebnisse des Standortes Vinnitsa bestätigen dies, da nach dem 2-Blattstadium in beiden Jahren Unkraut nicht mehr im ertragsmindernden Umfang keimte (Kap. 3.2.1.2, Tab. 13). Die Verrechnung in Tabelle 9, in der die zu Abbildung 5 gehörenden relativen Unkrautdichte und deren Verrechnung gezeigt sind, unterstreicht die Bedeutung dieser Zeitspanne. Lediglich bei einer Verzögerung der Verunkrautung von der Saat auf das 2-Blattstadium reduzierte sich die relative Dichte in allen Versuchen signifikant. Bei einer Verzögerung vom 2-Blattstadium auf das 4-Blattstadium traten signifikante Abnahmen ausschließlich in Poltava 1999 auf. Mit später einsetzender Verunkrautung nahm mit Ausnahme vom Standort Vinnitsa die Dichte zur Ernte kontinuierlich ab, was durch den flacheren Verlauf der Regressionskurve in Abbildung 5 visualisiert ist.

Tab. 9: Einfluss des Zeitpunktes einsetzender Verunkrautung auf die rel. Unkrautdichte zum Zeitpunkt der Ernte.

Unkraut ab..	HOH 98	HOH 99	HOH 00	POL 99	PET 00	VIN 99	VIN 00	GD 5 % (Tukey)
.. Saat	100	100	100	100	100	100	100	0
.. 2 BS ZR	n. e.	45,8	21,7	77,8	29,2	0,5	1,9	17,6
.. 4 BS ZR	61,3	47,3	19,7	19,5	30,2	0,5	4,7	19,8
.. 6 BS ZR	n. e.	40,3	19,1	22,2	25,0	0,3	1,9	17,4
.. 8 BS ZR	60,8	47,7	9,0	7,1	15,6	0,3	7,5	13,5
.. 10 BS ZR	n. e.	17,5	7,1	2,9	12,5	0,1	5,6	7,4
.. 12 BS ZR	33,5	8,6	3,8	3,1	3,2	0,1	3,7	8,4
.. RS ZR	8,9	5,9	0,6	1,8	2,1	0,1	2,8	3,8
.. RS + 2 W.	11,9	2,6	1,6	1,7	4,2	0,1	1,9	4,1
GD 5 % (Tukey)	17,9	29,2	23,3	11,4	16,5	32,6	17,3	
100= (Pfl./m ²)	173,8	104,3	77,3	377,2	156,4	331,2	168,3	

BS= Blattstadien; RS: Reihenschluss; RS+2.W.: 2 Wochen nach Reihenschluss; n. e.: nicht erhoben

Trotz ähnlicher Signifikanzverhältnisse variierten die Abnahmen zwischen den Versuchen und zeigten somit eine Standorts- und Jahresabhängigkeit. Resultierend aus der Abnahme der relativen Unkrautdichten nahmen die absoluten Unkrautdichten mit später einsetzender

Verunkrautung ebenso ab. Diese Abhängigkeit soll im Folgenden für die einzelnen Versuche unter Berücksichtigung der häufigsten Unkrautarten gezeigt werden (Tab. 10).

Hohenheim

1998 trat abweichend von den anderen Jahren die größte Abnahme der Dichten bei einer Verunkrautung ab dem 4-Blattstadium der Zuckerrüben auf. Die 2-Blattvariante wurde dort nicht angelegt. Die Gesamtdichte innerhalb dieser Zeitspanne nahm um 38,7 % von 173,8 auf 106,5 Pfl./m² signifikant ab. Die Gesamtdichte blieb konstant bei Verunkrautung ab dem 8-Blattstadium (105,8 Pfl./m²). Später einsetzende Verunkrautung führte zu einer stetigen Abnahme der Dichten bis zu einem minimalen Wert von 20,8 Pfl./m², zwei Wochen nach Reihenschluss. Insbesondere für *Matricaria* spp. und *Sinapis alba* zeigte sich eine Abhängigkeit der Dichte vom Zeitpunkt einsetzender Verunkrautung. Signifikant nahmen die Dichten beider Arten bei einer Verschiebung von der Saat auf das 4-Blattstadium ab. Jedoch stieg die Dichte von *Sinapis alba* bei Unkraut ab dem 8-Blattstadium wieder an, wohingegen *Matricaria* spp. weiterhin abnahm. Der Einfluss des Zeitpunktes auf die übrigen Arten war vergleichsweise gering.

Im Jahr 1999 führte eine Verzögerung der Unkrautkeimung von der Saat auf das 2-Blattstadium zu einer Abnahme der Gesamtdichte zur Ernte um 54,2 % (104,3 Pfl./m² und 47,8 Pfl./m²). Bis einschließlich zum 8-Blattstadium blieb die Dichte zur Ernte anschließend nahezu auf demselben Niveau, bevor bei Verunkrautung ab dem 10-Blattstadium die Dichte kontinuierlich abnahm (Min. 2,8 Pfl./m² ab 2 Wochen nach Reihenschluss).

Im Jahr 2000 war die Reduzierung der Unkrautdichten mit 78,3 % bei Verschiebung der Verunkrautung von der Saat (77,3 Pfl./m²) auf das 2-Blattstadium (16,8 Pfl./m²) am stärksten. Ab einer Verunkrautung ab dem 6-Blattstadium nahm die Dichte kontinuierlich zur Ernte hin ab. Für alle aufgetretenen Unkrautarten zeigte sich eine eindeutige Abhängigkeit der Dichte vom Zeitpunkt der Keimung.

Poltava

In Poltava 1999 hatte der Zeitpunkt zwischen Aussaat und 2-Blattstadium keinen vergleichbaren Einfluss auf die Unkrautdichte zur Ernte. Die Gesamtunkrautdichte nahm lediglich von 377,2 Pfl./m² auf 293,5 Pfl./m² um 22,2 % ab. Insbesondere für die Hirse-Arten hatte diese Zeitspanne keinen bedeutenden Einfluss (350 Pfl./m² und 291,5 Pfl./m²). Die stärkste Abnahme zeigte sich hinsichtlich der Gesamtverunkrautung zwischen dem 2- und 4-Blattstadium, wobei die Hirse-Arten mit einer Abnahme von 291,5 Pfl./m² auf 115,5 Pfl./m² (58,3 %) am deutlichsten beeinflusst wurden. Bis zum 6-Blattstadium blieb die Dichte nahezu unverändert, während sie anschließend weiter abnahm. Die geringste Dichte betrug in Poltava zur Ernte 11,5 Pfl./m² bei einer Verunkrautung beginnend zwei Wochen nach Reihenschluss.

Tab. 10: Einfluss des Zeitpunktes einsetzender Verunkrautung in Abhängigkeit der Entwicklungsstadien der Zuckerrüben auf die absoluten Unkrautdichten [Pfl./m²]

Unkraut ab	HOH 98						HOH 99						HOH 00											
	Gesamt	AMARE	CHEAL	CIRAR	MATSS	SINAL	HERBA	Gesamt	ALOMY	LAMPU	MATSS	THLAR	HERBA	Gesamt	ALOMY	CAPBP	LAMPU	MATSS	HERBA					
Saat	173,8	3,3	1,0	80,3	87,3	2,0	104,3	28,0	34,3	34,3	4,3	3,5	77,3	11,0	9,8	9,8	25,5	21,3						
2 BS ¹⁾	- ⁴⁾	-	-	-	-	-	47,8	11,3	17,5	14,8	1,5	2,8	16,8	2,8	1,8	1,8	3,5	7,0						
4 BS	106,5	3,8	1,3	43,0	55,8	2,8	49,3	8,5	18,0	19,0	1,5	2,3	15,5	3,3	0,3	2,0	4,3	5,5						
6 BS	-	-	-	-	-	-	42,0	12,0	15,0	12,3	0,5	1,3	14,8	2,3	0,3	1,3	3,0	8,0						
8 BS	105,8	0,3	1,3	7,0	97,3	-	49,8	11,3	15,0	18,8	0,8	4,0	7,0	1,5	0,5	0,8	1,3	3,0						
10 BS	-	-	-	-	-	-	18,3	6,8	2,5	4,0	1,5	3,5	5,5	0,5	1,3	-	-	3,8						
12 BS	58,3	1,0	0,8	7,0	49,5	-	9,0	3,8	0,3	2,5	0,3	2,3	3,0	0,5	-	-	0,3	2,3						
RS ²⁾	15,5	0,8	0,3	5,8	16,3	0,8	6,3	2,5	0,3	2,0	-	1,5	0,5	-	-	-	0,3	0,3						
RS+2.W. ³⁾	20,8	0,5	-	4,0	8,0	0,0	2,8	1,8	-	0,3	-	0,8	1,3	-	-	-	-	1,3						
GD 5%	29,5	1,4	1,3	12,7	15,5	0,1,7	29,3	23,1	7,7	4,8	2,1	4,1	17,4	2,7	1,8	4,8	6,3	4,5						
Unkraut ab	POL 99						PET 00						VIN 99						VIN 00					
	Gesamt	AMARE	CHEAL	HIRSE	RAPRA	HERBA	Gesamt	AMARE	CHEAL	HIRSE	SOLNI	HERBA	Gesamt	AMARE	GAETE	RAPRA	THLAR	HERBA	Gesamt	AMARE	CAPBP	CHEAL	HIRSE	HERBA
Saat	377,2	6,8	3,3	350,0	4,8	12,4	156,4	6,3	9,4	4,7	129,7	156,4	331,2	252,5	16,3	17,5	24,3	19,5	168,3	4,7	7,8	150,0	4,7	
2 BS	293,5	1,3	0,8	291,5	-	-	43,8	1,6	4,7	10,9	23,4	3,1	1,5	0,3	-	0,25	0,5	0,5	3,2	-	-	3,1	-	
4 BS	131,0	6,5	2,3	115,5	6,8	-	45,3	-	1,6	23,4	15,6	4,7	1,5	0,3	0,3	-	0,3	0,8	7,8	1,6	1,6	4,7	-	
6 BS	149,5	4,8	5,0	132,3	7,5	-	38,5	1,6	1,6	10,9	15,6	7,8	1,0	0,5	0,3	-	-	0,3	3,1	-	-	3,1	-	
8 BS	47,8	2,8	0,5	38,5	6,0	-	23,5	-	3,1	3,1	14,1	3,1	1,0	-	-	-	0,3	0,8	12,5	4,7	1,6	6,3	-	
10 BS	19,8	0,3	-	14,0	5,5	-	18,8	-	1,6	3,1	12,5	1,6	0,3	-	-	-	-	0,3	9,4	-	-	3,1	4,7	1,6
12 BS	20,8	-	0,3	14,8	4,8	-	4,7	-	3,2	-	1,6	0,0	0,5	-	-	0,3	-	0,3	6,3	-	1,6	4,7	-	
RS	12,3	0,5	-	8,3	3,5	-	3,1	-	-	-	1,6	1,6	0,5	0,3	0,3	-	-	0,3	4,7	-	-	4,7	-	
RS+2.W.	11,5	0,3	-	7,0	4,3	-	6,3	1,6	-	-	3,1	1,6	0,3	-	-	-	-	0,3	3,1	-	-	3,1	-	
GD 5%	74,3	5,2	4,2	159,3	2,0	6,1	23,8	3,1	3,9	8,6	21,9	2,4	103,4	91,4	6,7	5,7	9,4	8,1	27,8	2,8	0,2	4,9	37,8	1,1

¹⁾ Blattstadium der Zuckerrübe; ²⁾ Reihenschluss der Zuckerrüben; ³⁾ 2 Wochen nach Reihenschluss; ⁴⁾ Varianten nicht angelegt

Petrivzi

Hier trat wiederum die stärkste Reduzierung zwischen der Aussaat und dem 2-Blattstadium auf. Von 156,4 Pfl./m² reduzierte sich die Dichte signifikant auf 43,8 Pfl./m² (70,8 %). *Solanum nigrum* zeigte hier die stärkste Abnahme, während die Hirse-Arten mit zunehmend späterem Verunkrautungsbeginn zur Ernte zunahmen. Die Dichte der Hirse-Arten bei Unkraut ab dem 4-Blattstadium lag sogar signifikant über der Dichte bei ständiger Verunkrautung. Somit zeigten die Hirse-Arten in Poltava 1999 und in Petrivzi 200 eine verhältnismäßig geringe Abnahme oder sogar eine Zunahme der Dichten mit zunehmend später einsetzender Verunkrautung bis einschließlich des 4-Blattstadiums (Petrivzi 2000) der Zuckerrüben. Das hohe Temperaturoptimum der Arten *Echinochloa crus-galli* und *Digitaria sanguinalis* wurde nicht zur Saat, sondern erst mit zunehmender Vegetationsdauer erreicht. Eindeutige Abnahmen der Hirse-Arten zur Ernte traten an beiden Standorten ab einer Verunkrautung ab dem 6-Blattstadium der Rüben auf. Es folgte eine sukzessive Abnahme der Dichten mit zunehmend späterem Beginn der Verunkrautung.

Vinnitsa

Die Verzögerung der Verunkrautung von der Saat auf das 2-Blattstadium führte in Vinnitsa in beiden Versuchsjahren zu den stärksten Abnahmen der Dichten aller Versuche. In Vinnitsa 1999 reduzierte sie sich von 331,2 Pfl./m² auf 1,5 Pfl./m² (99,5 %), in Vinnitsa 2000 von 168,3 Pfl./m² auf 3,2 Pfl./m² (98,1 %). In beiden Jahren führte eine später einsetzende Verunkrautung zu keiner weiteren Veränderung in der Unkrautdichte. Die min. Dichte lag im Jahr 1999 bei 0,3 Pfl./m², die im Jahr 2000 bei 3,1 Pfl./m². Trotz der unterschiedlichen Unkrautarten beider Versuchsjahre verlief die Auflaufdynamik nahezu gleich.

Zusammenfassend zeigte sich, dass eine Unkrautfreiheit von der Aussaat bis zum 2-Blattstadium der Zuckerrüben zu einer nachhaltigen Unkrautminimierung in allen Versuchen genutzt werden konnte, deren Abnahme jedoch mit Ausnahme in Vinnitsa vom Standort und von jahresabhängigen Effekten abhängig ist.

3.2 Parameter für die Ermittlung der Kritischen Periode

3.2.1 Entwicklungsstadium der Zuckerrüben

Primäres Ziel der Untersuchung war die Fragestellung, bis (Faktor 1) und ab (Faktor 2) welchem Entwicklungsstadium der Zuckerrüben Unkraut toleriert werden kann. Aus den Ergebnissen der einzelnen Versuche wurde darauf aufbauend versucht, die Kritische Periode abzuleiten und darüber hinaus eine Beurteilung aufgestellt, ob für diese Bezugsgröße eine standorts- und jahresunabhängig allgemeingültige Zeitbezogene Schadensschwelle abgeleitet werden kann.

Im Unterschied zu bereits durchgeführten Untersuchungen wurde mit dem Entwicklungsstadium der Zuckerrüben ein Parameter gewählt, der einen direkten Bezug zur Entwicklung der Pflanzen hat. Bislang wurde häufig die Verunkrautungsdauer in Tagen nach der Saat bzw. dem Feldaufgang als Bezugsgröße gewählt, womit aber ein Vergleich der Ergebnisse verschiedener Untersuchungen unmöglich ist.

Die Ergebnisse sollten darüber hinaus in Bezug zu den Unkrautarten und -dichten der Versuche interpretiert werden und wenn möglich, eine Quantifizierung der Konkurrenzkraft der Unkrautflora in Abhängigkeit des Zeitpunktes einsetzender Verunkrautung aufgestellt werden.

Im Folgenden werden die Erträge der immer unkrautfreien Varianten vorgestellt und darüber hinaus die Ertragsverluste bei ständiger Verunkrautung im Vergleich zur unkrautfreien Variante aufgezeigt und mögliche Ursachen mit Bezug zu den Unkrautarten und -dichten erläutert. Die Erträge in Tabelle 11 sind Mittelwerte aller unkrautfreien und immer verunkrauteten Varianten beider Untersuchungsfaktoren (n=8).

Tab. 11: Rübenenertrag [dt/ha] ohne und mit Einfluss ständiger Verunkrautung
(Mittelwerte der entsprechenden Varianten beider Faktoren; n=8)

	HOH 98	HOH 99	HOH 00	POL 99	PET 00	VIN 99	VIN 00	GD 5 % (Tukey)
unkrautfrei	553,4	736,6	698,3	244,5	581,9	379,3	459,1	74,4
ständig Unkraut	29,1	68,8	118,1	48,1	87,2	45,5	159,1	64,1
Verlust [%]	94,8	90,7	83,1	80,3	85,0	87,9	65,3	10,9

Die Rübenenerträge der immer unkrautfreien Varianten unterschieden sich statistisch abgesichert voneinander (Tab. 11). Die Erträge der Versuche in der Ukraine lagen, mit Ausnahme von Petrivzi 2000, stets unter denen von Hohenheim. Der höchste Ertrag in der Ukraine wurde in Petrivzi 2000 erreicht (581,9 dt/ha), gefolgt von Vinnitsa 2000 (459,1 dt/ha), Vinnitsa 1999 (379,3 dt/ha) und Poltava 1999 (244,5 dt/ha). Alle Erträge in der Ukraine unterschieden sich signifikant voneinander, so dass am Standort Vinnitsa ein Jahreseffekt für den Ertrag geschlossen werden kann. Der größte Unterschied in der Ukraine trat zwischen den Versuchen in Petrivzi 2000 und Poltava 1999 auf. Der Ertrag in Petrivzi 2000 war doppelt so hoch wie der in Poltava 1999. Besonders in Poltava 1999, aber auch eingeschränkt übertragbar auf alle Versuche in der Ukraine, waren geringe Niederschläge während der frühen Jugendentwicklung der Zuckerrüben (A 4-7) maßgeblich für einen geringen Feldaufgang und daraus resultierend für geringe Bestandesdichten (Kap. 2.1.3, Tab. 4). bzw. absolute Erträge verantwortlich.

Am Standort Hohenheim unterschieden sich die Erträge in den Jahren 1999 und 2000 mit 736,6 dt/ha und 698,3 dt/ha nicht signifikant voneinander. Lediglich der Ertrag 1998 war mit 553,4 dt/ha statistisch signifikant geringer als in den folgenden Jahren.

Die absoluten Erträge der unkrautfreien und ständig verunkrauteten Varianten dienen im Folgenden als Bezugsgröße für die Berechnung des Einflusses ständiger Verunkrautung auf den Ertrag (Tab. 11). In allen Versuchen verursachte eine über die gesamte Wachstumsperiode anhaltende Verunkrautung nachhaltig starke Ertragsminderungen, die zwischen 65,3 % (Vinnitsa 2000) und 94,7 % (Hohenheim 1998) schwankten. Die Notwendigkeit einer Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben, unabhängig von Unkrautarten und -dichten, wird damit deutlich. Übereinstimmende Ertragsabnahmen innerhalb eines Standortes zwischen verschiedenen Jahren traten nicht auf. So unterschieden sie sich in Hohenheim 1998 (94,8 %), Hohenheim 1999 (90,7 %), Vinnitsa 1999 (95,0 %) und Petrivzi 2000 (87,9 %) nicht signifikant voneinander. Es folgten Hohenheim 2000 (83,1 %), Poltava 1999 (80,3 %) und Vinnitsa 2000 (65,3 %).

Die Ergebnisse zeigen, dass die Konkurrenzwirkung der Unkräuter bei anhaltender Verunkrautung unterschiedlich zu bewerten sind. Eine ausschließliche Abhängigkeit der maximalen Verluste von der absoluten Unkrautdichte kann aufgrund der Ergebnisse ausgeschlossen werden. So traten in Poltava 1999 (377,2 Pfl./m²) die höchsten Unkrautdichten zur Ernte auf (Kap. 3.1.1, Tab. 8), wobei jedoch die Verluste, mit Ausnahme von Vinnitsa 2000, am geringsten waren. Den Einfluss der Unkrautarten auf die Verluste verdeutlicht ein Vergleich zwischen den Versuchen in Hohenheim 1998 (173,8 Pfl./m²; 94,8 % Verlust) und Poltava 1999 (377,2

Pfl./m²; 80,3 % Verlust). Die in Poltava aufgetretenen Hirse-Arten verursachten trotz höherer Dichte geringere Verluste als die Verunkrautung in Hohenheim 1998 (*Matricaria* spp. und *Sinapis alba* als häufigste Arten). Deshalb müssen die Hirse-Arten in ihrer Konkurrenzwirkung geringer eingestuft werden als die Unkrautarten in Hohenheim 1998. Der ausladende Wuchshabitus von *Matricaria* spp. als auch der von *Sinapis alba* sind maßgeblich für die höhere Konkurrenzkraft verantwortlich. Die geringe Konkurrenzkraft der Hirse-Arten wird auch bei einem Vergleich von Poltava 1999 (377,2 Pfl./m²; 80,3 % Verlust) und Vinnitsa 1999 (331 Pfl./m² 87,9 % Verlust) deutlich. Vergleichbare maximale Dichten bei unterschiedlichen Unkrautarten führten hier zu unterschiedlichen, wenngleich signifikant nicht verschiedenen Verlusten. In Vinnitsa 1999 traten primär *Amaranthus retroflexus* und *Chenopodium album* auf, deren Konkurrenzkraft stärker zu beurteilen ist als die der Hirse-Arten, wodurch sich im Vergleich zu Poltava 1999 größere Verluste ergaben. Bei etwa gleichen Unkrautarten zeigte sich eine Abhängigkeit von der Unkrautdichte. In Poltava 1999 und Vinnitsa 2000 traten in beiden Jahren primär Hirse-Arten auf, wobei jedoch in Poltava 1999 (377,2 Pfl./m²; 80,3 % Verlust) die Verluste vermutlich aufgrund der höheren Dichte eindeutig höher waren als in Vinnitsa 2000 (168,3 Pfl./m²; 65,2 % Verlust). Verdeutlicht wird der Einfluss der Dichte auch bei einem Vergleich von Hohenheim 1999 und Hohenheim 2000. Vergleichbare Unkrautarten führten auch hier bei unterschiedlichen Dichten zu verschiedenen max. Verlusten (Hohenheim 1999: 104,3 Pfl./m²; 90,7 % Verlust – Hohenheim 2000: 77,3 Pfl./m²; 83,1 % Verlust).

3.2.1.1 Unkraut bis... (Faktor 1)

Eine Quantifizierung der Verunkrautung hinsichtlich ihrer Konkurrenzwirkung für den Faktor 1 wurde auf der Basis der ständig verunkrauteten Varianten durchgeführt. Die Verunkrautungsdauer, vorgegeben durch die Entwicklungsstadien der Zuckerrüben bis zu denen die Varianten verunkrauteten, hatte in allen Versuchen einen eindeutigen Einfluss auf die Ertragsbildung der Zuckerrüben (Tab. 12). Dabei traten mit zunehmender Dauer der Verunkrautung sukzessive Ertragsminderungen nach dem Beginn der Kritischen Periode auf. Die Entwicklungsstadien, bis zu denen die Zuckerrüben verunkrauten konnten, waren nicht einheitlich (fett gedruckte Ergebnisse in Tab. 12). Dies gilt einschließlich beim Vergleich der Versuche an einem Standort (Hohenheim und Vinnitsa) in aufeinanderfolgenden Jahren, womit eine Jahresabhängigkeit für den Beginn der Kritischen Periode deutlich wird.

Der Einfluss des Modellunkrautes *Sinapis alba* auf den Beginn der Periode in Hohenheim 1998 wird beim Vergleich des Ertragsverlaufes der drei Versuche in Hohenheim deutlich. Unkraut über das 4-Blattstadium hinaus führte 1998 bereits zu signifikanten Ertragsminderungen, während dies 1999 und 2000 (jeweils ohne *Sinapis alba* bei sonst vergleichbarer Verunkrautung) erst bei einer Verunkrautung über das 8- bzw. 10-Blattstadium hinaus auftrat. Es kann somit von einer Erhöhung der Konkurrenzwirkung der Unkrautflora durch *Sinapis alba* ausgegangen werden. Dies zeigt auch der Vergleich der rel. Unkrautwirkungen in Hohenheim zwischen den Versuchsjahren. Innerhalb aller Varianten traten in Hohenheim 1998 die höchsten rel. Ertragsminderungen auf, wenngleich sie zum 4-Blattstadium noch nicht signifikant waren. Darüber hinaus anhaltende Unkrautkonkurrenz führte 1998 bei allen Varianten zu den höchsten Ertragsverlusten.

Ein ebenso uneinheitliches Bild bezüglich der tolerierbaren Verunkrautungsdauer zeigte sich in der Ukraine. In der Ostukraine waren in Poltava 1999 und Petrivzi 2000 deutliche Unterschiede hinsichtlich der Entwicklungsstadien der Zuckerrüben bis zu denen Unkrautkonkurrenz

toleriert werden konnte zu beobachten. Während in Poltava 1999 Unkraut bis zum 10-Blattstadium im Bestand bleiben konnte, traten in Petrivzi 2000 bereits bei Unkraut bis zum 4-Blattstadium statistisch signifikante Ertragsreduktionen auf. Bereits Unkraut bis zum 2-Blattstadium reduzierte den Ertrag um 14,9 %, wengleich nicht statistisch belegbar. Die relativen Unkrautwirkungen waren in Petrivzi 2000 stets höher als in Poltava 1999, obwohl die Unkrautdichte in Petrivzi 2000 mit 156,4 Pfl./m² unter der von Poltava 1999 lag (377,2 Pfl./m²). Die Unkrautarten in Petrivzi 2000 (*Solanum nigrum*, Hirse-Arten, *Amaranthus retroflexus* und *Chenopodium album*) sind demnach hinsichtlich ihrer Konkurrenzkräft stärker einzustufen als die in Poltava 1999 vorhandenen Arten, wo primär *Echinochloa crus-galli* und *Digitaria sanguinalis* auftraten. Berücksichtigt werden muss jedoch, dass für den späteren Beginn der Kritischen Periode in Poltava 1999 auch ein späteres Auflaufen der Hirse-Arten verantwortlich gewesen sein könnte. Unkraut keimte dort erst zum 2-Blattstadium der Zuckerrüben.

Tab. 12: Einfluss der Verunkrautung bis zu definierten Entwicklungsstadien der Zuckerrüben auf den relativen Rübenertrag - Faktor 1

Unkraut bis..	HOH 98	HOH 99	HOH 00	POL 99	PET 00	VIN 99	VIN 00	GD 5 % (Tukey)	Mittel*
.. Saat	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	0,0	100,0
.. 2 BS ZR	n. e.	99,6	92,2	96,5	85,1	104,1	113,5	27,1	96,7
.. 4 BS ZR	97,3	99,5	98,4	102,8	81,7	89,9	107,4	22,8	96,7
.. 6 BS ZR	n. e.	98,9	93,9	77,2	69,0	83,4	91,7	27,1	84,9
.. 8 BS ZR	84,5	88,1	93,0	78,8	61,9	79,1	96,4	18,3	82,8
.. 10 BS ZR	n. e.	85,1	76,5	80,3	57,7	56,4	94,3	25,3	74,5
.. 12 BS ZR	51,6	75,1	63,2	61,4	35,7	47,1	86,3	21,5	59,8
.. RS ZR	39,7	52,2	45,3	51,6	22,2	37,3	64,1	19,5	44,6
.. RS + 2 W.	25,6	35,4	30,7	27,6	15,8	30,3	43,5	16,1	29,8
.. Ernte	5,1	10,4	16,2	19,5	15,9	11,6	26,6	16,7	15,6
GD 5 % (Tukey)	11,9	16,3	14,1	31,7	15,1	23,5	25,0		7,6
100= (dt/ha)	545,6	736,3	690,8	242,4	545,2	368,8	467,5		

BS= Blattstadien; ZR: Zuckerrübe; RS: Reihenschluss; RS+2.W.: 2 Wochen nach Reihenschluss; n. e.: nicht erhoben;

* Mittel der Standorte und Jahre

Am Standort Vinnitsa traten 1999 signifikante Ertragsminderungen bei einer über das 8-Blattstadium der Zuckerrüben anhaltenden Verunkrautung auf. Im Jahr 2000 konnte das Unkraut hingegen bis zum 12-Blattstadium der Zuckerrüben im Bestand bleiben. Konkurrenzstarke Unkrautarten (*Amaranthus retroflexus* und *Chenopodium album*) in hohen Dichten (331 Pfl./m²) führten zu einem früheren Beginn der Kritischen Periode 1999 im Vergleich zur konkurrenzschwachen Unkrautflora (*Echinochloa crus-galli*, *Digitaria sanguinalis*) mit geringen Dichten in Jahr 2000. Sowohl in Vinnitsa 1999 auch 2000 wirkte sich eine kurzzeitige Unkrautkonkurrenz positiv auf den Ertrag zur Ernte aus. In Vinnitsa 2000 erhöhte sich der Ertrag bei einer Verunkrautung bis zum 2-Blattstadium um über 13 %, und bei Unkraut bis zum 4-Blattstadium noch um über 7 %. Statistisch abzusichern waren diese Ertragssteigerungen jedoch nicht.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Verunkrautung in den Versuchen hinsichtlich ihrer Konkurrenzwirkung unterschiedlich zu bewerten ist. Der Vergleich der relativen

Unkrautwirkungen belegt dies. Ab einer Verunkrautung über das 6-Blattstadium der Zuckerrüben hinaus traten eindeutige Unterschiede in den rel. Ertragsabnahmen auf. In den Versuchen mit den vermeintlich konkurrenzstärksten Unkrautarten (Hohenheim 1998, Petrivzi 2000 und Vinnitsa 1999) waren die rel. Ertragsabnahmen stets höher. Unkraut bis zum 4-Blattstadium führte im Vergleich aller Versuche zu keiner statistisch unterschiedlichen relativen Unkrautwirkung. Dies bestätigt die Verrechnung der über alle Versuche gemittelten Rübenerträge (Tab. 12). Signifikante Abnahmen traten auch hier erstmals bei Unkrautkonkurrenz bis zum 6-Blattstadium auf. Damit kann das 4-Blattstadium als das späteste gemeinsame Entwicklungsstadium angesehen werden, ab dem Unkrautkonkurrenz nachhaltige Ertragsminderungen hervorruft.

3.2.1.2 Unkraut ab... (Faktor 2)

Übereinstimmend mit der Abhängigkeit der Unkrautdichten zur Ernte von dem Zeitpunkt der einsetzenden Verunkrautung (Kap. 3.1.2) zeigten sich auch die Erträge für den Faktor 2. Mit später einsetzender Verunkrautung nahmen die Unkrautdichten ab und die relativen Erträge generell zu (Tab. 13). Ein einheitliches Entwicklungsstadium, ab dem Verunkrautung toleriert werden konnte, ergab sich nicht.

Tab. 13: Einfluss der Verunkrautung ab definierten Entwicklungsstadien der Zuckerrüben auf den relativen Rübenertrag – Faktor 2

Unkraut ab..	HOH 98	HOH 99	HOH 00	POL 99	PET 00	VIN 99	VIN 00	GD 5 % (Tukey)	Mittel*
.. Saat	5,4	8,3	17,6	19,9	12,4	12,4	43,0	14,1	16,6
.. 2 BS ZR	n. e.	34,8	48,7	20,8	61,3	98,5	109,6	36,3	57,6
.. 4 BS ZR	18,7	30,3	82,5	34,9	72,6	107,4	101,4	19,4	61,8
.. 6 BS ZR	n. e.	85,3	84,6	34,2	77,8	101,3	102,7	21,2	71,1
.. 8 BS ZR	66,1	56,5	90,5	79,9	77,7	98,1	96,8	24,7	80,5
.. 10 BS ZR	n. e.	85,5	91,5	93,1	82,7	102,1	91,9	26,7	89,5
.. 12 BS ZR	103,9	97,1	99,2	97,5	95,9	103,6	97,2	13,7	98,7
.. RS ZR	100,9	97,6	92,9	106,5	91,9	107,5	105,4	28,4	100,5
.. RS + 2 W.	100,6	98,2	97,2	95,5	97,6	106,5	111,6	23,7	100,3
.. Ernte	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	0,0	100,0
GD 5 % (Tukey)	10,9	26,05	20,6	29,9	27,7	18,3	24,5		8,6
100= (dt/ha)	561,3	737,1	705,8	246,6	529,7	389,8	450,7		

BS= Blattstadien; ZR: Zuckerrübe; RS: Reihenschluss; RS+2.W.: 2 Wochen nach Reihenschluss; n. e.: nicht erhoben;
*Mittel der Standorte und Jahre

Da die höchsten Abnahmen der relativen Unkrautdichten bei einer Verzögerung der einsetzenden Verunkrautung von der Saat zum 2-Blattstadium auftraten (Kap. 3.1.2; Tab. 9 und 10; Abb. 5), führte diese Verzögerung in allen Versuchen auch zu den höchsten relativen Ertragszunahmen im Vergleich zu den ständig verunkrauteten Varianten. Die stärksten Ertragszunahmen korrelierten dabei mit der stärksten Abnahme der Dichten. Dies wird am Standort Vinnitsa besonders deutlich, in dem sich das Ertragsniveau 1999 von 12,4 % (immer verunkrautet) und

2000 von 43,0 % (immer verunkrautet) auf 98,5 % (Unkraut ab 2-Blattstadium) bzw. 109,6 % (Unkraut ab 2-Blattstadium) erhöhte. Somit führte in beiden Jahren Unkraut ab dem 2-Blattstadium zu keiner Ertragsbeeinflussung mehr (Tab. 13). Unkraut ab späteren Entwicklungsstadien wirkte sich hier in beiden Jahren sogar positiv auf den Ertrag aus. 1999 betrug die maximale Ertragserhöhung 7,4 % (Unkraut ab 4-Blattstadium) und 2000 sogar 11,6 % (Unkraut ab 2 Wochen nach Reihenschluss). In allen anderen Versuchen keimte jedoch auch nach dem 2-Blattstadium noch Unkraut in ertragsbeeinflussendem Ausmaß. In Hohenheim 1998 konnte unter Einfluss des Modellunkrautes *Sinapis alba* Unkraut erst ab dem 12-Blattstadium der Zuckerrüben ohne signifikant gesicherte Ertragsreduktionen zur Ernte toleriert werden. Der Einfluss einer Verunkrautung ab dem 10-Blattstadium wurde hier allerdings nicht untersucht. In Hohenheim 1999 konnte Unkraut bereits ab dem 10-Blattstadium toleriert werden. Die Entwicklungsstadien innerhalb des Standortes Hohenheim zwischen den Jahren 1998 und 1999 unterschieden sich somit kaum voneinander, beide Versuchsjahre ließen sich jedoch eindeutig von Hohenheim 2000 abgrenzen. Hier führte bereits Unkraut ab dem 4-Blattstadium zu keiner statistisch nachweisbaren Ertragsminderung mehr. Ein einheitliches Entwicklungsstadium in Hohenheim, ab dem Unkraut toleriert werden konnte, wurde somit nicht festgestellt. Gleiches gilt für die Versuche in Poltava 1999 und Petrivzi 2000 in der Ostukraine. Während in Poltava 1999 Unkraut erst ab dem 8-Blattstadium toleriert werden konnte, war die Verunkrautung in Petrivzi 2000 bereits ab dem 4-Blattstadium ertragsmindernd.

Den Einfluss der Unkrautarten und -dichten auf den Zeitpunkt, ab dem Unkraut toleriert werden kann, verdeutlicht ein Vergleich der relativen Erträge innerhalb der einzelnen Variante zwischen den Versuchen. So trat beispielsweise eine Korrelation zwischen Unkrautdichte und Ertrag bei einsetzender Verunkrautung ab dem 4-Blattstadium auf. Mit abnehmender Dichte (Hohenheim 1998: 106,5 Pfl./m²; Hohenheim 1999: 49,3 Pfl./m²; Petrivzi 2000: 45,3 Pfl./m²; Hohenheim 2000: 15 Pfl./m²; Vinnitsa 2000 7,8 Pfl./m²; Vinnitsa 1999: 1,5 Pfl./m²) korrelierten hier mit zunehmenden relativen Erträgen (Hohenheim 1998: 18,7 %; Hohenheim 1999: 30,3 %; Petrivzi 2000: 72,6 %; Hohenheim 2000: 82,5 %; Vinnitsa 2000: 101,4 %; Vinnitsa 1999: 107,4 %). Neben den absoluten Unkrautdichten hatte auch das Artenspektrum einen Einfluss auf den relativen Ertrag. So führte in Poltava 1999 die höchste Dichte (131 Pfl./m²) ab dem 4-Blattstadium lediglich zu einem 34,9 %igen rel. Ertragsniveau, während in Hohenheim 1998 und Hohenheim 1999 bei geringeren Dichten (106,5 Pfl./m² und 49,3 Pfl./m²) geringere Ertragsniveaus auftraten, die Ertragsverluste somit entsprechend höher waren. Hohe Anteile von *Echinochloa crus-galli* und *Digitaria sanguinalis* führten in Poltava 1999 zu geringeren Ertragseinbußen als die Unkräuter in Hohenheim 1998 und Hohenheim 2000.

Eine Abhängigkeit des Ertrages von den Unkrautdichten und -arten scheint jedoch lediglich für die Varianten mit einsetzender Verunkrautung ab der Saat bis zur Variante mit einsetzender Verunkrautung bis zum 10-Blattstadium zu existieren. Die relativen Unkrautwirkungen dieser Varianten wiesen versuchsspezifische Unterschiede auf, die zum Teil statistisch signifikant waren (Tab. 13). Später einsetzende Verunkrautung (ab 12-Blattstadium) führte, unabhängig von den Unkrautarten und -dichten, zu keinen nachweisbaren Unterschieden in der Unkrautwirkung.

Um die Abhängigkeit der Ertragsverluste von dem Zeitpunkt der einsetzenden Verunkrautung (gesamt) zu untersuchen, wurden Besatz-Verlust-Relationen nach COUSENS (1985) errechnet (Kap. 2.2). Die biologischen Kenngrößen des Modells erlauben eine Quantifizierung der Konkurrenzkraft der gesamten Unkrautflora in Abhängigkeit des Zeitpunktes der einsetzenden Verunkrautung (Entwicklungsstadium der Zuckerrüben). Im Umkehrschluss kann daraus eine Quantifizierung der Konkurrenzkraft der Zuckerrüben in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium abge-

leitet werden. Zur Erstellung der Besatz-Verlust-Relationen wurden für jedes untersuchte Entwicklungsstadium der Zuckerrüben die Unkrautdichten zur Ernte und die dazugehörigen relativen Ertragsverluste aller Standorte herangezogen. Für die ständig unkrautfreien Kontrollen wurden die relativen Ertragsverluste mit 0 beziffert.

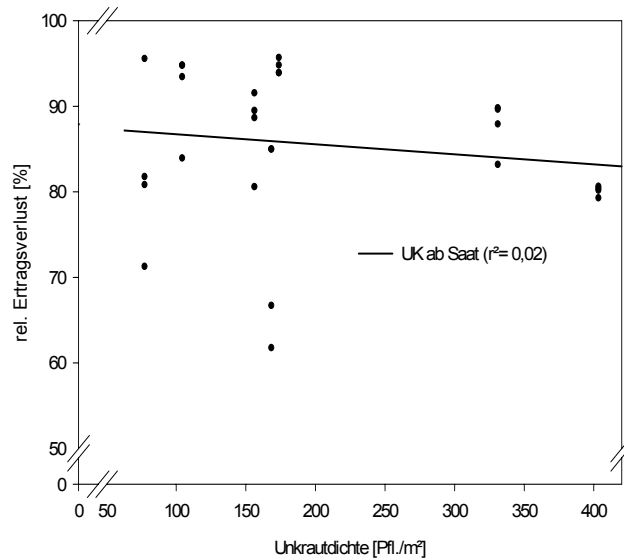


Abb. 6: Einfluss der Unkrautdichte auf den rel. Ertragsverlust bei einsetzender Verunkrautung ab der Zuckerrübensaart (immer verunkrautet)

Besatz-Verlust-Relationen nach dem Modell von COUSENS (1985) konnten für die Erträge bei einsetzender Verunkrautung zur Saat nicht berechnet werden, da die erhobenen Daten laut F-Test nicht genau durch das Modell beschrieben wurden. Zwar wurde in Kapitel 3.2.1 ein Zusammenhang zwischen Unkrautdichte und Ertrag bei ständig anhaltender Verunkrautung aufgezeigt, ein kontinuierlicher Anstieg der Verluste mit steigender Unkrautdichte war hier jedoch nicht gegeben (Abb. 6). Die durchschnittlichen Verluste lagen unabhängig von der Unkrautdichte zwischen 70 % und 80 %, eine Korrelation konnte nicht beobachtet werden. Bei der geringsten Dichte zur Ernte mit 77,3 Pfl./m² (Hohenheim 2000) waren sogar leicht erhöhte Ertragsverluste zu beobachten im Vergleich zur höchsten Unkrautdichte (377,2 Pfl./m²) in Poltava 1999. Wie bereits in Kapitel 3.2.1 erläutert, ist hierfür maßgebend die geringe Konkurrenzkraft der Hirse-Arten (*Echinochloa crus-galli* und *Digitaria sanguinalis*) verantwortlich. Zusammengefasst ist die Konkurrenzkraft der Zuckerrüben bei einsetzender Verunkrautung ab der Saat sehr gering. Eine Verunkrautung über die gesamte Wachstumsperiode ist, unabhängig von Unkrautart und -dichte, zu verhindern.

Eine Abhängigkeit des Ertrages von der Unkrautdichte ergab sich jedoch bei einsetzender Verunkrautung ab dem 2-Blattstadium bis hin zum 10-Blattstadium. Deshalb konnten für diese Entwicklungsstadien Besatz-Verlust-Relationen nach COUSENS (1985) erstellt werden (Abb. 7). Die maximalen Ertragsverluste (Kenngröße A) nehmen mit später einsetzender Verunkrautung ab. Eine Korrelation zwischen der Kenngröße A und dem Zeitpunkt einsetzender Verunkrautung veranschaulicht dies (Abb. 7 - rechte Seite). Einsetzende Verunkrautung ab dem 2-Blattstadium führte zu einer maximalen Ertragsabnahme von über 79,5 %. Die maximalen Abnahmen bei Unkraut ab dem 4-Blattstadium (65,6 %) bzw. 6-Blattstadium der Zuckerrüben (65,8 %) unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Einsetzende Verunkrautung ab dem 8-Blattstadium führte hingegen im Vergleich zum 2-Blattstadium zu einer 50%igen Abnahme der maximalen

Verluste auf 33,9 %. Die geringsten maximalen Verluste traten bei einer Unkrautkonkurrenz ab dem 10-Blattstadium der Rüben auf und beliefen sich nur noch auf 6,9 %.

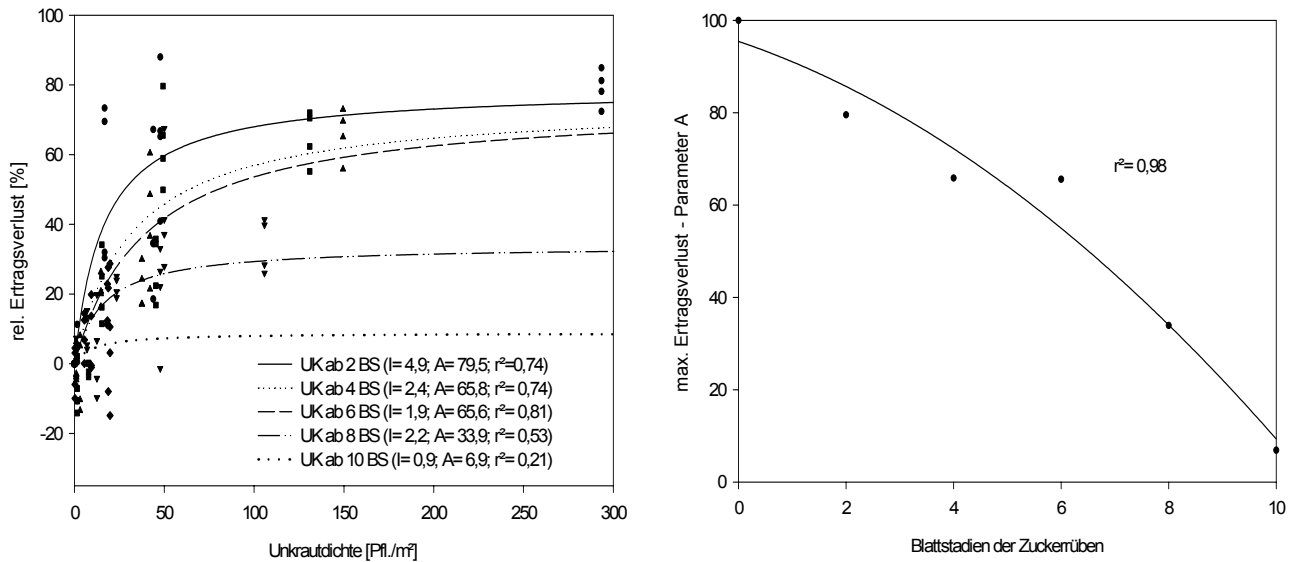


Abb. 7: Einfluss der Unkrautdichte auf den Rübenertrag bei einsetzender Verunkrautung ab dem 2- bis zum 10-Blattstadium der Zuckerrüben (links) und auf die maximalen Ertragsverluste (Parameter A - rechts)

Eine Betrachtung der Kenngrößen I, die den Ertragsverlust bei Unkrautdichten gegen null beschreibt, ist für die Quantifizierung der Konkurrenzfähigkeit der Zuckerrüben in Abhängigkeit des Entwicklungsstadiums aussagekräftiger (Abb. 8).

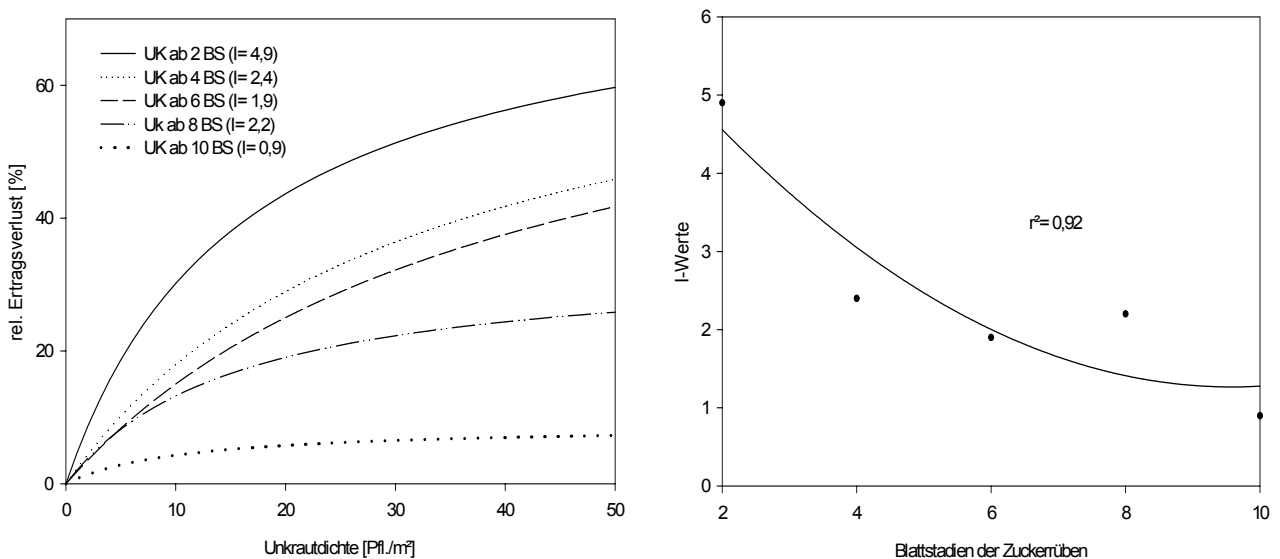


Abb. 8: Einfluss der Unkrautdichte (0-50 Pfl./m²) auf den Rübenertrag bei einsetzender Verunkrautung ab dem 2- bis zum 10-Blattstadium der Zuckerrüben (links) und auf den Parameter I (rechts)

Der I-Wert beschreibt die Ertragsverluste im linearen Bereich der Besatz-Verlust-Relationen als dimensionsloser Parameter. Mit steigendem Wert nehmen die Verluste pro Einheit Unkrautdichte zu. Deckungsgleich mit den maximalen Ertragsverlusten (Parameter A) zeigte sich auch hier eine sukzessive Abnahme der Kenngröße I mit zunehmend später einsetzender Verunkrautung. Die Korrelation in Abbildung 8 (rechte Seite) veranschaulicht dies. Der hohe I-Wert (4,9) bei einsetzender Verunkrautung ab dem 2-Blattstadium verdeutlicht die hohe Sensibilität der Zuckerrüben zu diesem Entwicklungsstadium im Vergleich zu späten Stadien. Zwischen einsetzender Verunkrautung ab dem 4- bis zum 8-Blattstadium sind untereinander keine eindeutigen Abstufungen zu erkennen (I-Werte zwischen 1,9 und 2,4). Zu diesen Entwicklungsstadien führten geringe Unkrautdichten zu gleichwertigen Ertragsabnahmen. Auffallend ist hierbei, dass sich Unkraut ab dem 8-Blattstadium hinsichtlich der I-Werte nicht von den Varianten mit Unkraut ab 4- und 6-Blattstadium unterschied, sich aber die maximalen Verluste (Kenngröße A) voneinander abgrenzten. Unkraut ab dem 10-Blattstadium (I-Wert 0,9) führte zu den geringsten Verlusten bei steigender Unkrautdichte. Aufgrund der relativ starken Streuung der Unkrautdichten ergaben sich verhältnismäßig geringe Bestimmtheitsmaße, die mit zunehmend später einsetzender Verunkrautung abnahmen, weil die Streuung größer wurde. Es lässt sich schlussfolgern, dass es bei einsetzender Verunkrautung ab dem 2- bis zum 10-Blattstadium eine Abhängigkeit des Ertrages von der absoluten Unkrautdichte gibt. Die Konkurrenzkraft der Zuckerrüben nimmt mit zunehmendem Entwicklungsstadium jedoch zu und die Ertragsverluste werden bei steigender Unkrautdichte geringer.

Bei einsetzender Verunkrautung ab dem 12-Blattstadium und später hingegen gab es keinen Zusammenhang zwischen Unkrautdichte und Ertrag (Abb. 9). Die geringen Bestimmtheitsmaße (r^2) der Trendlinien beweisen dies.

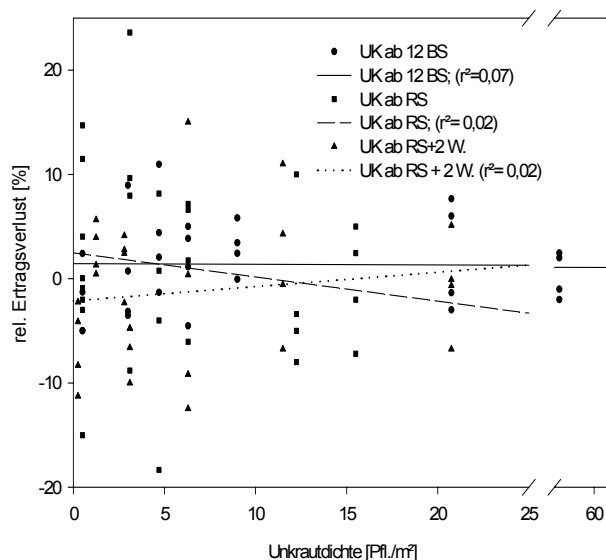


Abb. 9: Einfluss der Unkrautdichte auf den rel. Ertrag bei einsetzender Verunkrautung ab dem 12-Blattstadium, ab Reihenschluss und 2 Wochen danach

Das Modell konnte für diese Varianten nicht angewandt werden, da die Ertragsverluste gemäß F-Test statistisch nicht hinreichend genau durch die Besatz-Verlust-Relationen beschrieben wurden. Unkraut ab dem 12-Blattstadium und später führte demnach unabhängig von Un-

krautarten und -dichten zu keinen signifikanten Ertragsminderungen. Dies bestätigt die Verrechnung der Varianten über alle Versuche (Tab. 13), bei der keine unterschiedlichen relativen Unkrautwirkungen innerhalb der Varianten auftraten. Die hohe Konkurrenzkraft der Rüben ab dem 12-Blattstadium wird zusätzlich durch die unterschiedlichen Unkrautarten und -dichten deutlich, die ab diesem Zeitpunkt toleriert werden konnten. Die höchste Dichte trat in Hohenheim 1998 (58,3 Pfl./m²), gefolgt von Poltava 1999 (20,8 Pfl./m²), Hohenheim 1999 (9 Pfl./m²), Vinnitsa 2000 (6,3 Pfl./m²), Petrivzi 2000 (4,7 Pfl./m²), Hohenheim 2000 (3,0 Pfl./m²) und Vinnitsa 1999 (0,5 Pfl./m²) auf. Die höchste tolerierbare Dichte in den Versuchen ab dem 12-Blattstadium lag somit bei 58,3 Pfl./m² in Hohenheim 1998. Neben der höchsten Dichte gehörten an diesem Standort zusätzlich das konkurrenzstarke *Sinapis alba* zu den wichtigsten Arten.

3.2.1.3 Zusammenfassung

In allen Versuchen konnte, unabhängig ob Faktor 1 oder 2, ein eindeutiger Einfluss der Verunkrautungsdauer auf den Rübenertrag festgestellt werden. Ein einheitliches Entwicklungsstadium der Zuckerrüben, bis zu dem Verunkrautung toleriert werden konnte (Faktor 1) trat nicht auf, sondern variierte standorts- und jahresabhängig. Innerhalb des Standortes Hohenheim variierte der Beginn der Kritischen Periode vom 4-Blattstadium (1998) bis zum 10-Blattstadium (1999). Im Jahr 2000 konnte bis zum 8-Blattstadium Unkraut toleriert werden. Gleiches gilt für den Standort Vinnitsa, an dem das Entwicklungsstadium für den Faktor 1 zwischen dem 8-Blattstadium (1999) und dem 12-Blattstadium (2000) variierten. In Poltava 1999 und Petrivzi 2000 konnten bis zum 10-Blattstadium (Poltava 1999) bzw. bis zum 4-Blattstadium (Petrivzi 2000) Unkraut toleriert werden, wobei es sich hierbei nicht um einen identischen Standort handelt. Die uneinheitlichen relativen Ertragsverluste innerhalb der einzelnen Varianten zwischen den Versuchen beweisen die unterschiedlichen Konkurrenzwirkungen der aufgetretenen Unkrautarten und -dichten. Gleichgerichtete Unkrautwirkungen, die sich statistisch nicht voneinander unterschieden, traten ausschließlich bei den Varianten mit einer Verunkrautung bis einschließlich zum 4-Blattstadium auf. Dieses Entwicklungsstadium konnte deshalb als spätestes gemeinsames Entwicklungsstadium ausgewiesen werden, bis zu dem standort- und jahresunabhängig Unkrautkonkurrenz toleriert werden konnte. Die Gesamtbetrachtung aller Versuche bestätigt dieses Ergebnis.

Neben dem Entwicklungsstadium, bis zu dem Unkraut toleriert werden konnte, variierte ebenso das Entwicklungsstadium, ab dem Unkraut toleriert werden konnte (Faktor 2). Dabei trat ein Jahreseinfluss am Standort Hohenheim auf. Während dort 1998 erst Unkraut ab dem 12-Blattstadium toleriert werden konnte, traf dies 1999 bereits ab dem 10-Blattstadium und 2000 sogar ab dem 4-Blattstadium zu. Am Standort Vinnitsa konnte ein Jahreseinfluss jedoch nicht festgestellt werden, da in beiden Versuchsjahren Unkraut ab dem 2-Blattstadium der Rüben toleriert werden konnte. In Poltava 1999 (8-Blattstadium) und Petrivzi 2000 (4-Blattstadium) variierte das Entwicklungsstadium wiederum. Wie bereits für den Faktor 1 zutreffend, verdeutlichen auch für diesen Faktor unterschiedliche relative Unkrautwirkungen unterschiedliche Konkurrenzwirkungen der Unkrautarten und -dichten. Erstes Indiz dafür waren die standorts- und jahresabhängige Auflaufdynamik der Unkräuter in den Versuchen (Kap. 3.1.2, Tab. 9 und Abb. 5), die sich, mit Ausnahme von Vinnitsa, signifikant voneinander unterschieden. Eine Abhängigkeit des Ertrages von den Unkrautdichten konnte für eine einsetzende Verunkrautung ab der Saat bis hin zum 10-Blattstadium nachgewiesen werden. Mit zunehmend höherem Entwick-

lungsstadium nahm die Konkurrenzkraft der Zuckerrüben zu, was anhand der biologischen Kenngrößen nach dem Modell von COUSENS (1985) eindeutig aufgezeigt werden konnte. Unkraut ab dem 12-Blattstadium führte, unabhängig von Unkrautart und -dichte, in keinem Versuch zu nachhaltigen Ertragsminderungen zur Ernte. Unterschiedliche relative Unkrautwirkungen traten ab diesem Entwicklungsstadium nicht mehr auf, was die Gesamtverrechnung aller Versuche und Varianten bestätigte.

Ein einheitliches Entwicklungsstadium bis, als auch ab dem Verunkrautung toleriert werden kann, existiert nicht. Aufgrund des konzeptionellen Ansatzes zur Ermittlung der Kritischen Periode, in dem die Einflussfaktoren getrennt voneinander untersucht wurden (Kap. 2.1.2, Tab. 3), lagen die Entwicklungsstadien ab denen Unkraut toleriert werden konnte vor den Stadien, bis zu denen sie verunkrauten konnten. Varianten mit einer zeitlichen Staffelung der Verunkrautung zu Beginn und zum Ende der Vegetationsperiode wurden nicht angelegt. Deshalb war eine Errechnung der Kritischen Periode, die sich aus der Differenz der Entwicklungsstadien beider Faktoren ergibt, ausschließlich für Hohenheim 1998 möglich. Dort begann die Kritische Periode zum 4-Blattstadium und endete zum 12-Blattstadium. Eine allgemeingültige, standorts- und jahresunabhängige Zeitbezogene Schadensschwelle für das Entwicklungsstadium der Zuckerrüben existiert nicht.

3.2.2 Tage nach Feldaufgang

In den bislang durchgeführten Untersuchungen zur Ermittlung der Kritischen Periode orientierte sich die Verunkrautungsdauer fast ausschließlich an der Anzahl der Tage nach dem Feldaufgang der Zuckerrüben. Es wurde somit eine Bezugsgröße gewählt, die Wachstumsprozesse der Rüben unberücksichtigt lässt. Ziel der eigenen Untersuchungen war es, den Parameter „Tage nach Feldaufgang“ hinsichtlich seiner Eignung zur standorts- und jahresunabhängigen Beschreibung der Schadensschwelle zu überprüfen. Als Bezugsgröße zur Festlegung der Kritischen Periode wurde eine 5 %ige Schädigung gewählt, da diese im experimentellen Feldversuchswesen eine wichtige Erfahrungsgröße darstellt, die gerade noch im Freiland experimentell bestimmt werden kann (NEURURER 1975, MONTEMURRO *et al.* 1999; SALIMI *et al.* 2001, AMADOR-RAMÍREZ 2002). Anhand regressionsanalytisch errechneter Ertragsverläufe nach STREIBIG und KUDSK (1993) wurden die EV_5 -Werte interpoliert (STREIBIG *et al.* 1995). Sie geben die Verunkrautungsdauer an, bis bzw. ab der 5%ige Ertragsminderungen auftreten. Ein Vergleich der EV_5 -Werte ermöglicht somit einen Vergleich der Kritischen Perioden zwischen verschiedenen Versuchen. Zur Berechnung der Ertragsverläufe (Formel 8) wurden die absoluten Ergebnisse in relative Erträge transformiert, wobei die unteren Grenzen, also die maximalen Ertragsverluste, bei null angesetzt wurden. Zur Durchführung der Regressionsanalysen wurde den definierten Entwicklungsstadien der Zuckerrüben die entsprechenden Tage nach dem Feldaufgang zugeordnet.

3.2.2.1 Unkraut bis... (Faktor 1)

Generell war der Parameter „Tage nach Feldaufgang“ geeignet, den Ertragsverlauf in Abhängigkeit der Verunkrautungsdauer in Tagen nach dem Feldaufgang mittels des Modells von STREIBIG und KUDSK (1993) darzustellen (Abb. 10). Es zeigten sich statistisch nicht verschiedene Verläufe der Versuche in Poltava 1999 & Petrivzi 2000, Hohenheim 1998 & Vinnitsa 1999

und Hohenheim 2000 & Vinnitsa 2000, die deshalb in Abbildung 10 vereinheitlicht dargestellt sind. Zusätzlich verliefen alle Ertragsverläufe, statistisch gesichert, parallel zueinander. Dies war eine Voraussetzung für die statistische Analyse der EV_5 -Werte (Kap. 2.5).

Alle EV_5 -Werte der Ertragsverläufe unterschieden sich signifikant voneinander. Während die Werte von Hohenheim 1998 & Vinnitsa 1999 (25,7 Tage) und Poltava 1999 & Petrivzi 2000 (28,5 Tage) sehr eng beieinander lagen, grenzten sich die EV_5 -Werte von Hohenheim 2000 & Vinnitsa 2000 (33,3 Tage) und Hohenheim 1999 (42,1 Tage) klar ab. Insgesamt zeigte sich eine starke Schwankungsbreite der EV_5 -Werte, wobei die größte Differenz mit 16,4 Tagen zwischen Hohenheim 1999 und Hohenheim 1998 & Vinnitsa 2000 auftrat.

Übereinstimmungen innerhalb eines Standortes in aufeinanderfolgenden Jahren ergaben sich nicht, was die Bedeutung des Jahreseinflusses auf die Terminierung der Kritischen Periode für diesen Parameter verdeutlicht. Besonders am Standort Hohenheim zeigten sich statistisch abgesicherte Unterschiede zwischen den drei Versuchsjahren. Ebenso unterschieden sich die EV_5 -Werte am Standort Vinnitsa zwischen den Versuchsjahren signifikant. Lediglich in der Ostukraine in Poltava 1999 und Petrivzi 2000 zeigten sich identische EV_5 -Werte.

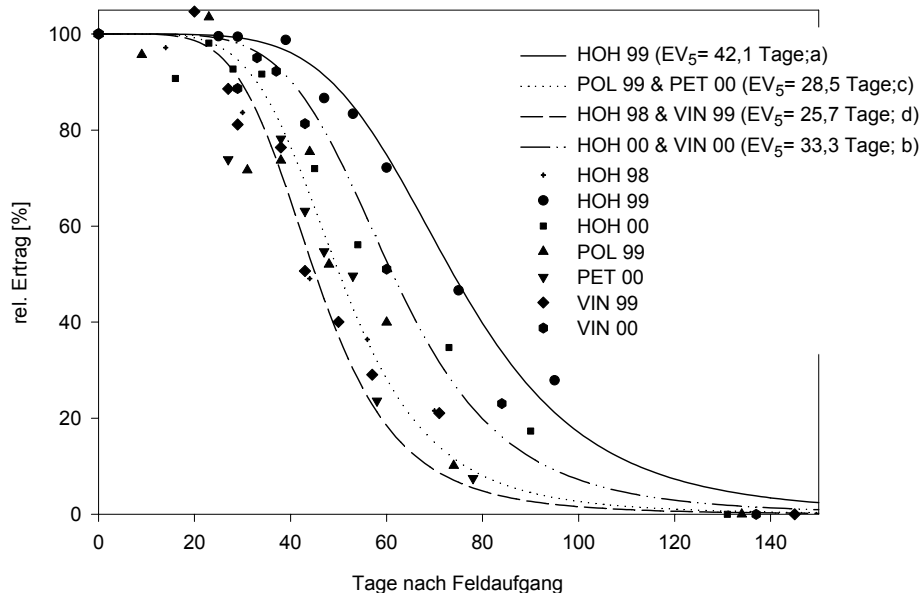


Abb. 10: Ertragsverlauf in Abhängigkeit der Verunkrautungsdauer in Tagen nach dem Feldaufgang - Faktor 1 (Unkraut bis...) - unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen parallel verlaufenden Kurven

3.2.2.2 Unkraut ab... (Faktor 2)

Abweichend vom Faktor 1 konnten hier nicht für alle Versuche Ertragsverläufe berechnet werden. In Vinnitsa wurden in beiden Jahren die ermittelten Daten laut F-Test nicht hinreichend genau durch das Modell von STREIBIG beschrieben. Ursache dafür ist, dass Unkraut im ertragsmindernden Umfang dort nur zwischen Aussaat und 2-Blattstadium keimte. Die Ertragsverläufe aller anderen Versuche zeigt Abbildung 11. Keine der Ertragsverläufe konnten aneinander angepasst werden, womit sie sich alle signifikant voneinander unterschieden. Parallel verlaufende Kurven traten ausschließlich zwischen Hohenheim 1999 und Poltava 1999 auf. Damit war

ein statistischer Vergleich der EV_5 -Werte ausschließlich zwischen diesen beiden Versuchen möglich.

Tendenziell trat im Vergleich zum Faktor 1 eine eindeutig höhere Variation der EV_5 -Werte auf. Der geringste EV_5 -Wert trat in Hohenheim 1999 mit 31,9 Tagen auf, gefolgt von Hohenheim 1998 (34,1Tage), Poltava 1999 (42,1 Tage), Hohenheim 1999 (57,9 Tage) und Petrivzi 2000 mit 72,1 Tagen. Die Unterschiede zwischen Hohenheim 1999 und Poltava 1999 waren signifikant. Die größte Differenz trat zwischen Hohenheim 2000 und Petrivzi 2000 auf und betrug 40,6 Tage, was die erhöhte Variabilität des Faktors 2 im Vergleich zum Faktor 1 (16,4 Tage) unterstreicht.

Die unterschiedlichen EV_5 -Werte am Standort Hohenheim verdeutlichen den Jahreseinfluss auf das Ende der Kritischen Periode. Der EV_5 -Wert variierte in Hohenheim zwischen 31,9 Tagen (2000) und 57,9 Tagen (1999) in Hohenheim. In der Ostukraine in Poltava 1999 und Petrivzi 2000 sogar zwischen 42,1 Tagen und 72,1 Tagen.

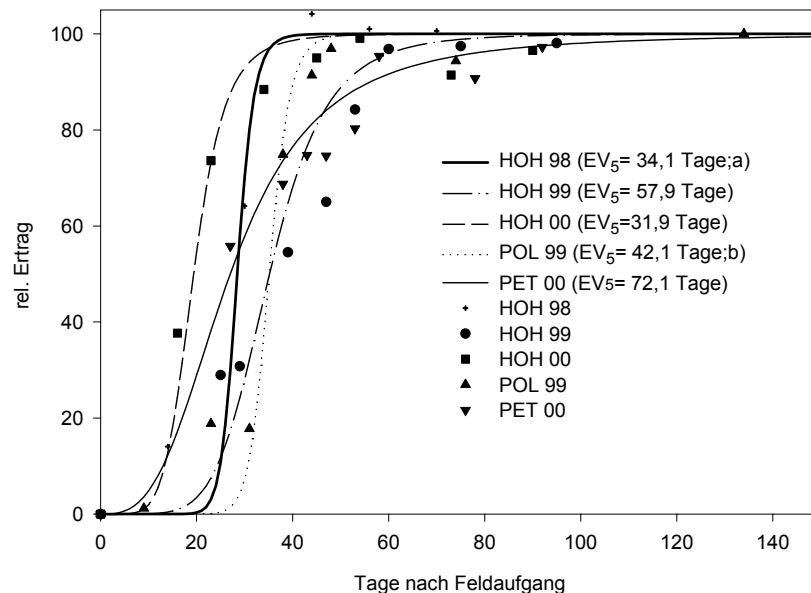


Abb. 11: Ertragsverlauf in Abhängigkeit des Zeitpunktes einsetzender Verunkrautung in Tagen nach dem Feldaufgang-Faktor 2 (Unkraut ab...) - unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen parallel verlaufenden Kurven

3.2.2.3 Zusammenfassung

Tabelle 14 zeigt zusammenfassend alle EV_5 -Werte der Versuche für beide Faktoren und darüber hinaus die eigentliche Kritische Periode für den Parameter „Tage nach Feldaufgang“, die laut Definition aus der Differenz der EV_5 -Werte beider Faktoren hervorgeht.

Ein einheitlicher Beginn (Faktor 1) der Kritischen Periode für den Parameter „Tage nach dem Feldaufgang“ trat nicht auf. Die EV_5 -Werte variierten zwischen 25,7 Tagen und 42,1 Tagen und unterschieden sich signifikant voneinander. Übereinstimmungen innerhalb der Standorte zwischen den Versuchsjahren traten nicht auf.

Ein einheitliches, standorts- und jahresunabhängiges Ende der Kritischen Periode (Faktor 2) trat ebenso nicht auf. Innerhalb des Standortes Hohenheim variierten die EV_5 -Werte zwischen

31,9 und 57,9 Tagen. In Petrivzi 2000 konnte sogar erst ab dem 72. Tag nach dem Feldaufgang Unkraut toleriert werden.

Tab. 14: Tolerierbare Verunkrautungsdauer (Faktor 1 und 2) und Kritische Periode in Abhängigkeit der Tage nach dem Feldaufgang (Bezugsgröße EV₅-Wert)

Standort	Faktor 1 (Unkraut bis...)	Faktor 2 (Unkraut ab...)	Δ [Tage]
HOH 98	25,7 d	34,1 a	8,4
HOH 99	42,1 a	57,9 v	15,8
HOH 00	33,3 b	31,9 v	-1,3
POL 99	28,5 c	42,1 b	13,6
PET 00	28,5 c	72,1 v	43,6
VIN 99	25,7 d	-	-
VIN 00	33,3 b	-	-

unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede parallel verlaufender Ertragsverläufe (p=0,05)

Abweichend von den Ergebnissen mit Bezug zu den Entwicklungsstadien der Zuckerrüben (Kap. 3.2.1) konnten für den Parameter „Tage nach Feldaufgang“ mit Ausnahme des Versuches in Hohenheim 2000 Kritische Perioden errechnet werden. Die notwendige unkrautfreie Zeit variierte zwischen 8,4 Tagen (Hohenheim 1998) und 43,6 Tagen (Petrivzi 2000). In Hohenheim 2000 lag der Zeitpunkt bis (Faktor 1) zu dem Verunkrautung toleriert werden konnte, später als der Zeitpunkt, ab dem (Faktor 2) diese toleriert werden konnte. Dies ergibt sich aus dem konzeptionellen Ansatz zur Ermittlung der Kritischen Periode, wie es bereits in Kapitel 3.2.1.3 für die Entwicklungsstadien der Zuckerrüben beschrieben wurde. Dort war das Entwicklungsstadium des Faktors 1, mit Ausnahme des Standortes Hohenheim 1998, immer größer als das des Faktors 2 und begründete sich darin, dass beide Faktoren getrennt voneinander untersucht wurden. Zusätzlich war dort die Bezugsgröße innerhalb der Faktoren die errechnete Signifikanzgrenze, die zum Teil stark schwankte und bis zu 25 % betrug. Diese Trennschärfe wird bei einer Festlegung der Vergleichsgröße, hier EV₅-Werte, wesentlich gesteigert. Dies stellt einen großen Vorteil dar, der erst durch das regressionsanalytische Verrechnen für den Parameter ermöglicht wurde. Die Verunkrautungsdauer in Tagen nach dem Feldaufgang war für den Faktor 1 immer kleiner als die für den Faktor 2 (mit Ausnahme von Hohenheim 2000). Bezugsgröße war hierbei der Zeitpunkt, zu dem 5 %ige Ertragsverluste zur Ernte auftraten. Die Ergebnisse in Hohenheim 2000 dürfen jedoch nicht dahingehend gedeutet werden, dass dort keine Kritische Periode existiert.

Eine standort- und jahresunabhängige allgemeingültige Kritische Periode existiert für den Parameter „Tage nach Feldaufgang“ zusammenfassend nicht, womit eine allgemeingültige Zeitbezogene Schadensschwelle für diesen Parameter nicht etabliert werden konnte.

3.2.3 Temperatursumme

Der Temperatursummenansatz ist ein geeignetes Verfahren, den Zusammenhang zwischen Temperatur und Entwicklungsrate von Zuckerrüben und vieler anderer Spezies zu beschreiben (DOBEN VAN 1962, GALLAGHER 1976, MILFORD 1985 a, BÜCHSE und RÖVER 1998). Ziel der Un-

tersuchungen war es, den Parameter „Temperatursumme“ hinsichtlich seiner Eignung zur standorts- und jahresunabhängigen Beschreibung der Kritischen Periode zu überprüfen. Dazu wurden Ertragsverläufe, wie in Kapitel 2.5 erläutert, erarbeitet. Zur Durchführung der Regressionsanalysen wurden den definierten Blattstadien der Rüben die Temperatursummen zugeordnet. Zur Erstellung der Ertragsverläufe wurden die absoluten Ergebnisse in rel. Erträge transformiert, wobei die unteren Grenzen, also die maximalen Ertragsverluste, gleich null gesetzt wurden.

Als Bezugsgröße für die Festlegung der Kritischen Periode wurden für den Parameter der EV_5 -Wert gewählt. Die Ertragsverläufe beschränkten sich auf die Versuche am Standort Hohenheim, da tägliche Temperaturdaten lediglich für diesen Standort zur Verfügung standen.

3.2.3.1 Unkraut bis... (Faktor 1)

Neben dem Parameter „Tage nach Feldaufgang“ war ebenso die Temperatursumme geeignet, Ertragsverläufe in Abhängigkeit von der „Temperatursumme“ nach dem Modell von STREIBIG (1988) zu berechnen (Abb. 12).

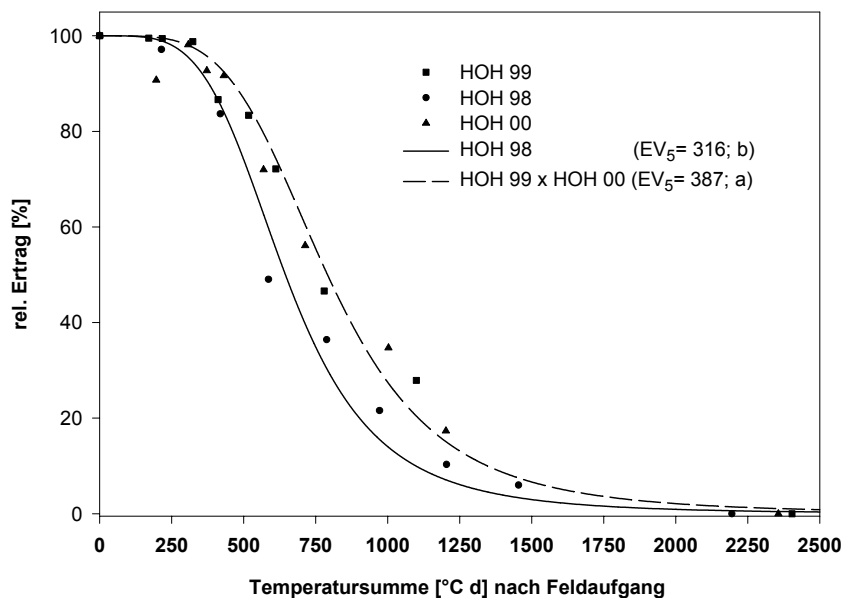


Abb. 12: Ertragsverlauf in Abhängigkeit von der Temperatursumme - Faktor 1 (Unkraut bis...) - unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen parallel verlaufenden Kurven

Es zeigten sich identische, signifikant nicht verschiedene Kurvenverläufe für die Jahre 1999 und 2000. Der Kurvenverlauf des Jahres 1998 verlief signifikant verschieden und konnte nicht an die anderen angepasst werden. In Hohenheim 1998 traten 5%ige Ertragsminderungen bereits nach einer Temperatursumme von 316 °Cd auf, während diese in Hohenheim 1999 und Hohenheim 2000 erst nach 387 °Cd auftraten. Die Ertragsverläufe verliefen parallel, womit unabhängig vom betrachteten relativen Ertragsniveau die Wirkungsunterschiede gleich groß waren und eine statistische Analyse der EV_5 -Werte möglich wurde.

3.2.3.2 Unkraut ab... (Faktor 2)

Die Darstellung des Kurvenverlaufes des Faktors 2 konnte mittels Regressionsanalyse für alle drei Jahre aufgestellt werden (Abb. 13).

Die Ertragsverläufe waren verschieden d.h. sie waren jahresspezifisch. Die Ertragsverläufe wurden ausschließlich für den Standort Hohenheim berechnet. Eine einheitliche Temperatursumme, ab der Unkrautkonkurrenz eine 5%ige Ertragsminderung hervorrief, trat nicht auf. Jedoch verliefen die Kurven von Hohenheim 1998 und Hohenheim 2000 parallel, wodurch ein statistischer Vergleich der EV_5 -Werte der beiden Jahre möglich war. Dieser lag in Hohenheim 1998 mit 459,1 °Cd eindeutig über dem von Hohenheim 2000 mit 359,6 °Cd. Noch höher war die Temperatursumme mit 617,9 °Cd in Hohenheim 1999. Die Schwankungsbreite für Faktor 2 war übereinstimmend mit dem Parameter „Tage nach Feldaufgang“ deutlich größer als für Faktor 1; der Unterschied betrug 258,3 °Cd.

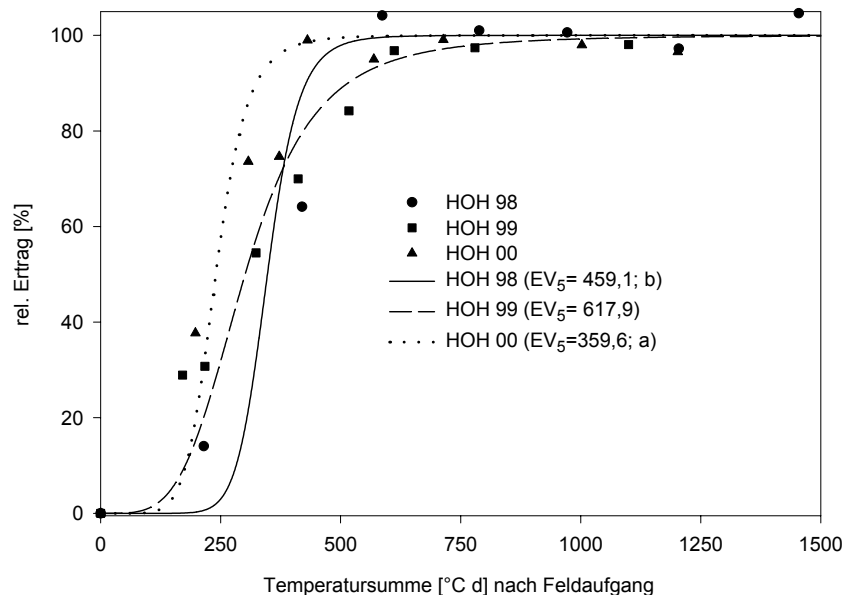


Abb. 13: Ertragsverlauf in Abhängigkeit von der Temperatursumme - Faktor 2 (Unkraut ab...) - unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen parallel verlaufenden Kurven

3.2.3.3 Zusammenfassung

Tabelle 15 zeigt zusammenfassend die EV_5 -Werte des Standortes Hohenheim beider Faktoren und darüber hinaus die jahresabhängige Kritische Periode für den Parameter „Temperatursumme“, die laut Definition aus der Differenz der EV_5 -Werte beider Faktoren hervorgeht.

Die Ertragsverläufe von 1999 und 2000 ließen sich aneinander anpassen, womit die relative Ertragsabnahme mit zunehmender Temperatursumme in beiden Jahren identisch war. Für beide Jahre wurde ein EV_5 -Wert von 387 °Cd berechnet, der sich signifikant von 1998 (361 °Cd) abgrenzte. Keine Übereinstimmungen traten bei den Verläufen für den Faktor 2 auf. Dort verliefen lediglich die Kurven der Jahre 1998 und 2000 parallel, wobei sich die ermittelten EV_5 -Werte signifikant voneinander unterschieden. Die notwendige unkrautfreie Periode (Kritische Periode) variierte jahresabhängig zwischen Temperatursummen von 133 °Cd und 230 °Cd.

Tab. 15: Tolerierbare Verunkrautungsdauer (Faktor 1 und 2) und Kritische Periode in Abhängigkeit der Temperatursumme [$^{\circ}\text{Cd}$] nach dem Feldaufgang; (Bezugsgröße EV_5 -Wert)

Standort	Faktor 1	Faktor 2	Δ [$^{\circ}\text{Cd}$]
HOH 98	316 a	459 b	143
HOH 99	387 b	617	230
HOH 00	387 b	520 a	133

unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede parallel verlaufender Ertragsverläufe ($p=0,05$)

3.2.4 Unkraut und Zuckerrübendeckungsgrad

Neben den Parametern „Entwicklungsstadium der Zuckerrüben“ und der „Temperatursumme“ wurden zusätzlich die wachstumsbezogenen Faktoren „Deckungsgradverläufe der Zuckerrüben als auch der Unkräuter“ zur standorts- und jahresunabhängigen Beschreibung des Beginns der Kritischen Periode überprüft. Der Unkrautdeckungsgrad beschreibt dabei den Wachstumsverlauf der Unkräuter als zusammenfassenden Parameter für die Anzahl und die Größe der Unkräuter. Kernpunkt der Untersuchung war zum einen die Fragestellung, ob es einen einheitlichen Deckungsgrad gibt der toleriert werden kann, bevor irreversible Ertragsverluste auftreten und zum anderen, ob es einen einheitlichen Zuckerrübendeckungsgrad gibt, bis zu dem eine Verunkrautung toleriert werden kann.

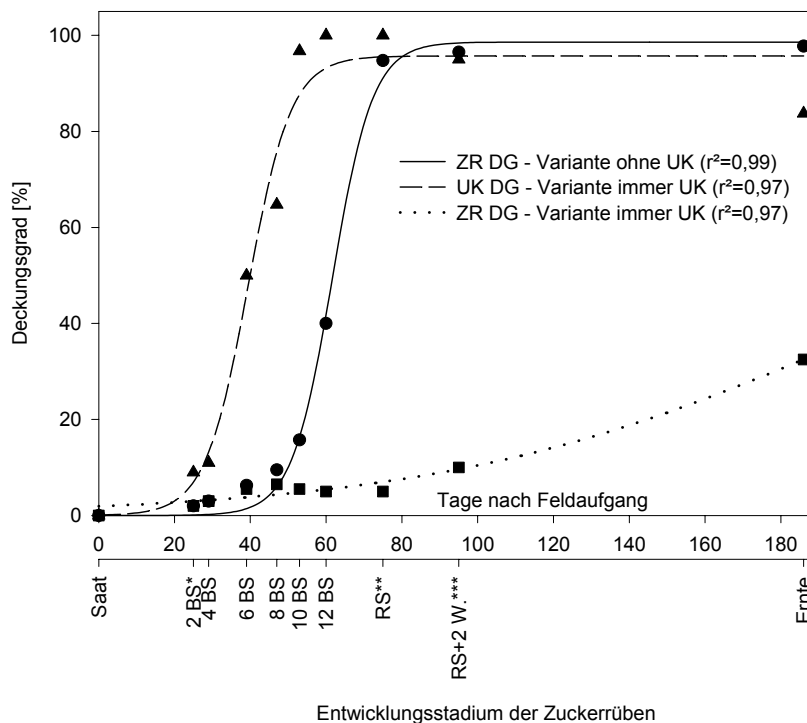


Abb. 14: Zuckerrüben- und Unkrautdeckungsgrad in Abhängigkeit der Verunkrautungsdauer in Hohenheim 1999;
*Blattstadium der Rüben; **Reihenschluss; ***Wochen

Zur Auswertung der Versuchsfrage wurden die jeweiligen Deckungsgrade (Unkraut und Zuckerrüben) zum Zeitpunkt des Beginns der Kritischen Periode in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium der Rüben (Kap. 3.2.1.1) untereinander verglichen und ausgewertet (Tab. 16). Zusätzlich wurde in den Abbildungen 14 bis 16 der zeitliche Verlauf der Deckungsgrade mittels Regressionsanalysen dargestellt. Neben dem Zuckerrüben- und Unkrautdeckungsgrad bei ständiger Verunkrautung wurde dabei als Vergleich zusätzlich der Zuckerrübendeckungsgrad ohne Verunkrautung berücksichtigt.

Wie die Abbildungen 14 bis 16 zeigen, verliefen die Deckungsgrade der Zuckerrüben ohne Verunkrautung und die der Unkräuter sigmoid. Gleicher Verlauf war für den Deckungsgrad der Zuckerrüben mit Verunkrautung zu erkennen, wobei diese zur Ernte der Rüben ihren Sättigungspunkt noch nicht erreicht hatten.

In allen Versuchen wurde der Zuckerrübendeckungsgrad bis zum 6-Blattstadium von der Verunkrautung nicht nennenswert beeinflusst. Danach veränderte sich in den verunkrauteten Varianten der Zuckerrüben deckungsgrad bis zum Reihenschluss der Rüben nicht eindeutig, während in der unkrautfreien Variante der Deckungsgrad exponentiell anstieg. Nach dem Reihenschluss nahm der Zuckerrüben deckungsgrad der verunkrauteten Variante bis zur Ernte zu, während in der unkrautfreien Variante bereits der maximale Deckungsgrad erreicht wurde.

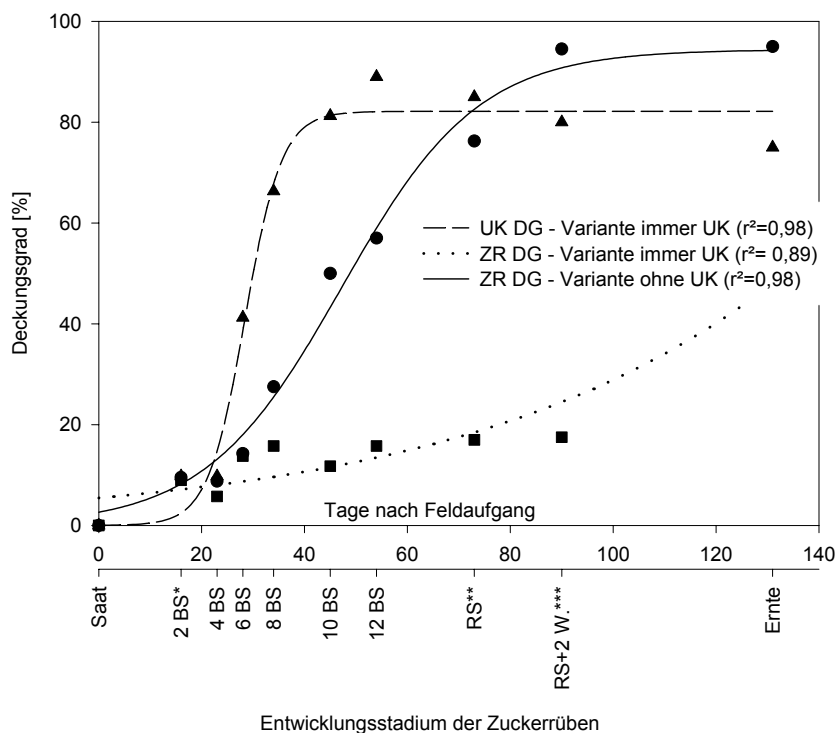


Abb. 15: Zuckerrüben- und Unkrautdeckungsgrad in Abhängigkeit der Verunkrautungsdauer in Hohenheim 2000;

*Blattstadium der Rüben; **Reihenschluss; ***Wochen

Die Entwicklung des Unkrautdeckungsgrades in den ständig verunkrauteten Varianten verlief mit Ausnahme von Hohenheim 2000 ähnlich wie der der Zuckerrüben in der unkrautfreien Variante, setzte jedoch bereits zu einem früheren Zeitpunkt ein. Etwa zum Reihenschluss der Zuckerrüben nahm der Unkrautdeckungsgrad bis zur Ernte ab, während gleichzeitig der Deckungsgrad der Rüben zunahm. Dies ist auf eine abnehmende Beschattung der Rüben durch das langsam absterbende Unkraut zurückzuführen.

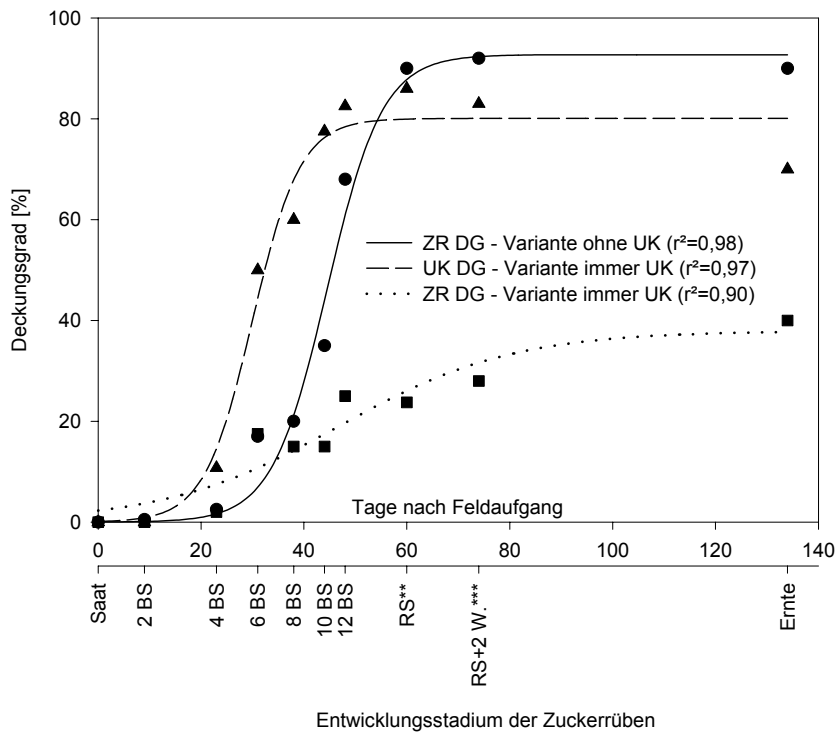


Abb. 16: Zuckerrüben- und Unkrautdeckungsgrad in Abhängigkeit der Verunkrautungsdauer in Poltava 1999;
 *Blattstadium der Rüben; **Reihenschluss; ***Wochen

Die Ergebnisse verdeutlichen zum einen die langsame Entwicklung der Zuckerrüben im Vergleich zu den Unkräutern und damit ihre geringe Konkurrenzkraft während früher Entwicklungsstadien und zum anderen ihre Fähigkeit noch zu späten Entwicklungsstadien bei nachlassender Konkurrenz mit weiterem Blattwachstum zu reagieren.

Übereinstimmungen des Zuckerrüben- als auch Unkrautdeckungsgrades zu Beginn der Kritischen Perioden wurden nicht festgestellt (Tab. 16).

Tab. 16: Unkraut- und Zuckerrübendeckungsgrad zu Beginn der Kritischen Perioden

Standort	Beginn Kritische Periode (Blattstadium)	Unkrautdeckungsgrad [%]	Zuckerrübendeckungsgrad [%]
HOH 99	10	96,7	5,3
HOH 00	8	66,3	12,2
POL 99	10	77,5	15,0

Der Unkrautdeckungsgrad variierte innerhalb des Standortes Hohenheim zwischen den Versuchsjahren von 66,3 % (Hohenheim 2000 – Beginn der Kritischen Periode zum 8-Blattstadium) und 96,7 % (Hohenheim 1999 – Beginn der Kritischen Periode zum 10-Blattstadium). In Poltava 1999 lag der Unkrautdeckungsgrad mit 77,5 % zu Beginn der Kritischen Periode (10-Blattstadium) zwischen den beiden Extremwerten. Eine noch ausgeprägtere Schwankungsbrei-

te zeigte sich für den Zuckerrübendeckungsgrad, der zwischen 5,3 % (Hohenheim 1999) und 15 % (Poltava 1999) schwankte. Ein maßgebender Einfluss des Unkrautdeckungsgrades auf den Kulturdeckungsgrad wird bei den Ergebnissen deutlich. Hohe Unkrautdeckungsgrade zu Beginn der Kritischen Periode korrelierten mit geringen Zuckerrübendeckungsgraden.

Zusammenfassend kann geschlussfolgert werden, dass übereinstimmende Deckungsgrade zu Beginn der Kritischen Periode zwischen den Versuchen nicht auftraten, womit die Parameter zur standorts- und jahresunabhängigen Beschreibung der Kritischen Periode nicht geeignet sind.

3.2.5 Relativer Unkrautdeckungsgrad

Neben der alleinigen Überprüfung der Zuckerrüben- und der Unkrautdeckungsgrade zur standorts- und jahresunabhängigen Beschreibung der Kritischen Periode (Kap. 3.2.4) sollte dafür zusätzlich ein Parameter überprüft werden, der eine Kenngröße für die Interaktionen zwischen diesen beiden Parametern darstellt – der relative Unkrautdeckungsgrad (KROPFF und SPITTERS 1991, LOTZ *et al.* 1996). Dabei wurde wiederum ausschließlich der Beginn der Kritischen Periode untersucht. Der relative Unkrautdeckungsgrad erfasst sowohl den Einfluss der Unkrautdichte als auch den des zeitlichen Auflaufens der Unkräuter und zusätzlich die Entwicklung der Kulturpflanzen und ist definiert als prozentualer Anteil des Unkrautdeckungsgrades am Gesamtdeckungsgrad.

Tabelle 17 zeigt die relativen Unkrautdeckungsgrade zu Beginn der Kritischen Periode der Versuche in Hohenheim 1999 und 2000 sowie in Poltava 1999.

Tab. 17: Relativer Unkrautdeckungsgrad zu Beginn der Kritischen Periode

Standort	Beginn Schadensschwelle (Blattstadium)	rel. UKDG*	Ø rel. UKDG
HOH 99	10	94,8	87,7
HOH 00	8	84,5	
POL 99	10	83,8	

*UKDG: Unkrautdeckungsgrad

Während der Deckungsgrad der Zuckerrüben als auch der der Unkräuter zu Beginn der Kritischen Periode keine Übereinstimmungen zwischen den Versuchen zeigten (Kap. 3.2.4, Tab. 16), wurden die Variationen der einzelnen Parameter durch die Berechnung der rel. Unkrautdeckungsgrade nahezu vollständig kompensiert. Die rel. Deckungsgrade schwankten unabhängig vom Entwicklungsstadium der Zuckerrüben zu Beginn der Kritischen Periode lediglich zwischen 83,8 % (Poltava 1999) und 94,8 % (Hohenheim 1999) und gaben mit einem durchschnittlichen relativen Unkrautdeckungsgrad von 87,8 % ein Maß an, das für eine standorts- und jahresunabhängige Vorhersage des Beginns der Periode in weiteren Untersuchungen als Bezugsgröße dienen kann. Unkraut bis zu diesem relativen Deckungsgrad führte gemittelt über alle drei Versuche zu keinen statistisch nachweisbaren Ertragsminderungen. Der im Vergleich der drei Versuche erhöhte relative Unkrautdeckungsgrad in Hohenheim 1999 begründete sich

durch einen hohen Unkrautdeckungsgrad (96,7 %) bei vergleichsweise geringem Zuckerrüben-deckungsgrad (5,3 %) zu Beginn der Kritischen Periode (Tab. 16).

3.2.6 Beschattung der Zuckerrüben

Aufgrund der herausragenden Bedeutung des Konkurrenzfaktors Licht wurde in Poltava 1999 und Hohenheim 2000 die Beschattung durch die Unkräuter zu allen definierten Entwicklungsstadien des Faktors 1 (Unkraut bis...) erfasst. Kernpunkt der Untersuchung war die Frage, bis zu welchem Ausmaß Zuckerrüben Beschattung tolerieren können, bevor Ertragsminderungen auftreten. Zur Auswertung der Versuchsfrage wurde die Beschattung zum Zeitpunkt des Beginns der Kritischen Periode in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium der Rüben (Kap. 3.2.1.1) untereinander verglichen und ausgewertet. Die Beschattung ergab sich aus der Differenz des photosynthetisch aktiven Lichtes (μmol Photonenflussdichte $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) über dem Pflanzenbestand (Unkräuter und Zuckerrüben) und unmittelbar oberhalb des Zuckerrübendaches. Abbildung 17 zeigt die Beschattung der Zuckerrüben durch die Unkräuter in Abhängigkeit der Verunkrautungsdauer.

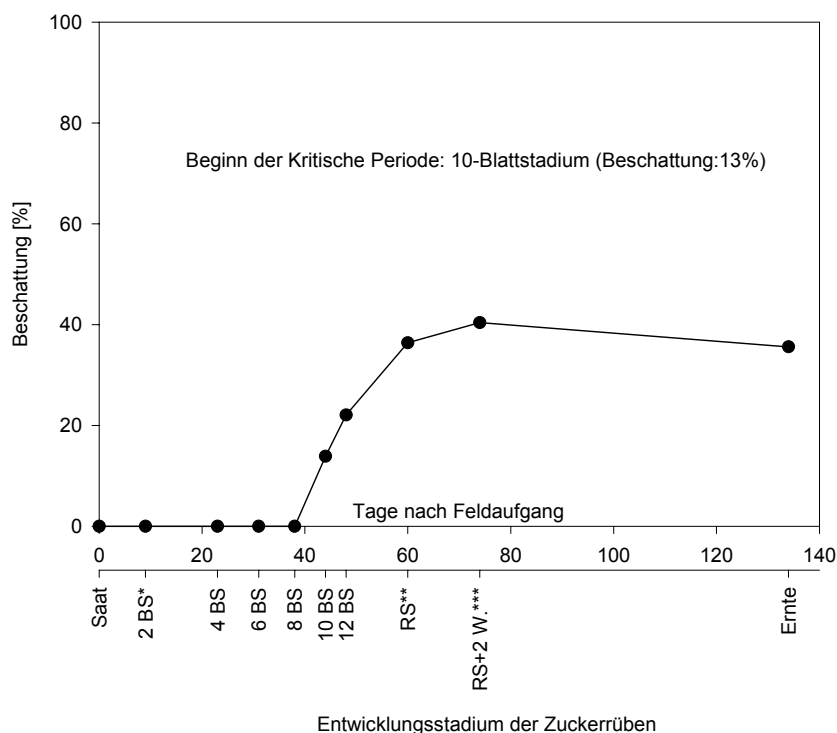


Abb. 17: Verlauf der Beschattung der Zuckerrüben durch die Unkräuter in Abhängigkeit der Verunkrautungsdauer in Poltava 1999;
*Blattstadium der Rüben; **Reihenschluss; ***Wochen

Konkurrenz um Licht begann in Hohenheim bei Verunkrautung ab dem 6-Blattstadium (Abb. 18) und in Poltava ab dem 8-Blattstadium (Abb. 17). Bis zu diesen Entwicklungsstadien war die Wuchshöhe der Unkräuter demnach geringer als die der Zuckerrüben. In beiden Versuchen nahm ab den genannten Entwicklungsstadien jedoch die Beschattungsintensität durch die Unkräuter kontinuierlich bis zu einem maximalen Wert zu. Die maximale Beschattung wurde in Hohenheim zum Reihenschluss und in Poltava 2 Wochen nach dem Reihenschluss erreicht.

Anschließend nahm in beiden Versuchen die Beschattung ab, was auf das langsam absterbende Unkraut zurückzuführen ist.

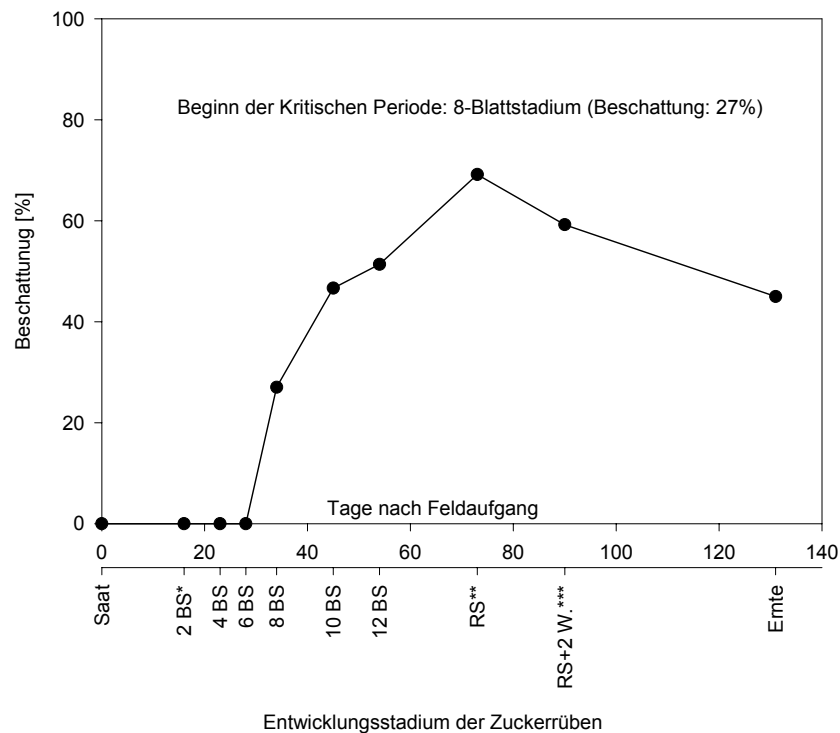


Abb. 18: Verlauf der Beschattung der Zuckerrüben durch die Unkräuter in Abhängigkeit der Verunkrautungsdauer in Hohenheim 2000;
*Blattstadium der Rüben; **Reihenschluss; ***Wochen

Zu Beginn der Kritischen Periode unterschied sich die Beschattung durch die Unkräuter zwischen den Standorten voneinander. Sie betrug in Poltava zum 10-Blattstadium 13 %, während sie in Hohenheim zu Beginn der Kritischen Periode 25 % betrug. Somit ist dieser Parameter zur standortsunabhängigen Beschreibung der Kritischen Periode nicht geeignet.

3.3 Untersuchungen zur Unkrautbekämpfung in glufosinatreisistenten Zuckerrüben

Kernpunkt der Untersuchungen in Poltava 1999 und Vinnitsa 2000 war die Frage, bis zu welchem Entwicklungsstadium der Zuckerrübe Unkraut mit Glufosinat bekämpft werden kann? Die Behandlungstermine in diesen Versuchen entsprachen den Zeitpunkten, in denen in den Versuchen zur Ermittlung der Kritischen Periode das Unkraut mechanisch entfernt wurde. Zwischen den Behandlungen variierten neben den Entwicklungsstadien der Zuckerrüben zur ersten Glufosinatbehandlung zusätzlich die Aufwandmengen und Splittingverfahren (Tab. 18). Schließlich sollte aus dem Ergebnis abgeleitet werden, ob das System Glufosinat plus glufosinatreisistente Zuckerrübe für eine Unkrautbekämpfung unter Berücksichtigung der Kritischen Periode geeignet ist.

Der früheste Behandlungsbeginn mit Glufosinat erfolgte zum 2-Blattstadium der Zuckerrüben. Nachfolgend begannen die Behandlungen zum 4-, 6- und 8-Blattstadium, wobei ab dem 8-Blattstadium ausschließlich in Poltava Behandlungen erfolgten. Neben dem Behandlungsbeginn variierte zusätzlich die maximale Aufwandmenge und die Anzahl der Behandlungen. In Poltava

betrug die maximale Aufwandmenge, unabhängig ob bei einmaliger oder gesplitteter Anwendung 1600 g/ha, Glufosinat. In Vinnitsa sollten im darauffolgenden Jahr die Ergebnisse aus Poltava 1999 überprüft werden, weshalb lediglich die in Poltava minimal notwendigen Aufwandmengen wiederholt wurden. Darüber hinaus sollten in Vinnitsa die Behandlungszeitpunkte optimiert und die Aufwandmengen reduziert werden. Dazu wurde Schwefelsaures Ammoniak als Additiv eingesetzt.

Tab. 18: Glufosinatbehandlungen in Poltava 1999 und Vinnitsa 2000

Glufosinataufwandmengen und Behandlungszeitpunkte (Blattstadium)		POL 99	VIN 00
	unkrautfrei (mech.)	x	x
	unbehandelt	x	x
	konventionell (NAK*)	x	x
Beginn Behandlungen zum 2-Blattstadium	400 g/ha (2)** + 400 g/ha (6)	x	
	400 g/ha (2) + 400 g/ha (8)		x
	600 g/ha (2) + 600 g/ha (6)	x	
	400 g/ha (2) + 400 g/ha (6) + 400 g/ha (8)	x	x
Beginn Behandlungen zum 4-Blattstadium	300 g/ha (4) + 300 g/ha (8)		x
	300 g/ha + SSA*** (4) + 300 g/ha + SSA*** (8)		x
	400 g/ha (4) + 400 g/ha (8)	x	x
	800 g/ha (4)		x
	600 g/ha (4) + 400 g/ha (8)	x	
	600 g/ha (4) + 600 g/ha (8)	x	x
	800 g/ha (4) + 400 g/ha (8)	x	x
	300 g/ha (4) + 300 g/ha (6) + 300 g/ha (8)	x	
	800 g/ha (4) + 600 g/ha (8)	x	
	800 g/ha (4) + 800 g/ha (8)	x	
Beginn Behandlungen zum 6-Blattstadium	800 g/ha (6)	x	x
	1200 g/ha (6)	x	
	1600 g/ha (6)	x	
	400 g/ha (6) + 400 g/ha (10)		x
	400 g/ha + SSA*** (6) + 400 g/ha + SSA*** (10)		x
	600 g/ha (6) + 600 g/ha (10)	x	x
	600 g/ha + SSA*** (6) + 600 g/ha + SSA*** (10)		x
	800 g/ha (6) + 400 g/ha (10)	x	
	800 g/ha (6) + 600 g/ha (10)	x	
	1200 g/ha (6) + 400 g/ha (10)	x	
Beginn Behandlungen zum 8-Blattstadium	1200 g/ha (8)	x	
	1600 g/ha (8)	x	

*Nachauflaufbehandlungen im Keimblattstadium der Unkräuter; **Blattstadien Zuckerrübe; ***Schwefelsaures Ammoniak - je Behandlung 10 kg/ha

3.3.1 Unkrautwirkungen

Poltava 1999

Die Unkrautarten und -dichten entsprachen denen des Versuches zur Ermittlung der Kritischen Periode mit manueller Unkrautbekämpfung (Kap. 3.1.1, Tab. 8). Die dominierenden Arten waren *Echinochloa crus-galli* und *Digitaria sanguinalis*, gefolgt von *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album*, *Raphanus raphanistrum* und *Polygonum persicaria*. Tabelle 19 zeigt die Arten und ihren Anteil am Gesamtunkrautdeckungsgrad zum Zeitpunkt der erstmaligen Glufosinatanwendungen. Zusätzlich sind die Entwicklungsstadien der Unkräuter und der Zuckerrüben angegeben. Die restlichen Unkräuter, im Folgenden als HERBA bezeichnet, sind im Anhang 8 aufgeführt.

Tab. 19: Deckungsgrade und Entwicklungsstadien der Zuckerrüben und Unkräuter zu den Behandlungsterminen in Poltava 1999

Datum	BS ZR	DG ZR	BBCH UK	DG UK (gesamt)	AMARE	CHEAL	HIRSE	POLPE	RAPRA	HERBA
		[%]		[%]	Anteil [%] am Gesamtunkrautdeckungsgrad					
8.5.	2	2	12-14	3	3	2	90	-	-	5
22.5.	4	12	15-17	15	5	5	70	3	5	12
30.5.	6	20	17-19	49	8	4	54	4	23	7
7.6.	8	25	19-31	58	6	5	55	4	25	5

BS: Blattstadium; ZR: Zuckerrübe; DG: Deckungsgrad; BBCH: BBCH Code

Mit zunehmend späterem Beginn der erstmaligen Glufosinatbehandlung nahm der Zuckerrübenbedeckungsgrad und der Unkrautdeckungsgrad zu (Tab. 19). Zum spätesten Entwicklungsstadium, zu dem Behandlungen begannen (8-Blattstadium der Zuckerrüben), betrug der Unkrautdeckungsgrad im Durchschnitt 58 %, der der Zuckerrüben 25 %. Die Hirse-Arten nahmen stets den größten Anteil an der Gesamtverunkrautung ein. Mit Ausnahme von *Raphanus raphanistrum* spielten die anderen Arten eine untergeordnete Rolle.

Mit Ausnahme der Hirse-Arten wurde in Poltava, unabhängig von Aufwandmenge und Behandlung, gegen alle aufgetretenen Unkrautarten eine gute bis sehr gute Wirkung erzielt. Die niedrigsten Aufwandmengen führten jeweils zu einer 95%igen bis 99%igen Wirkung. Die Wirkungsgrade, mit Ausnahme gegen die Hirse-Arten, sind im Anhang (27-31) graphisch dargestellt. Eine Abhängigkeit der Wirksamkeit vom Bekämpfungszeitpunkt bzw. Splittingverfahren zeigte sich ausschließlich für Hirse-Arten (Abb. 19). Die konventionelle Variante muss dabei jedoch ausgeschlossen werden, da in dieser die Zugabe von Fusilade zur NAK₂ und NAK₃ für eine nachhaltige Wirkung (100 %) zum Reihenschluss der Zuckerrüben sorgte (Abb. 19). Bei beginnender Glufosinatbehandlung zum 2-Blattstadium traten unzureichende Wirkungen gegen die Hirse-Arten auf, wenn zweimalig 400 g/ha (2- und 6-Blattstadium – Wirkung 55 %) bzw. 600 g/ha (2- und 6-Blattstadium – Wirkung 60 %) Glufosinat appliziert wurde. Eine dreimalige Anwendung von 200 g/ha zum 2-, 6- und 8-Blattstadium hingegen erbrachte mit 99 % eine ausreichende Wirkung (Abb.19). Ursache für die schlechte Wirkung bei zweimaliger Anwendung war, dass die Hirse-Arten zu den Spätkeimern gehören und zwischen dem 6- und 8-Blattstadium der Rüben erneut Hirsen aufriefen, die bei zweimaliger Anwendung nicht erfasst wurden.

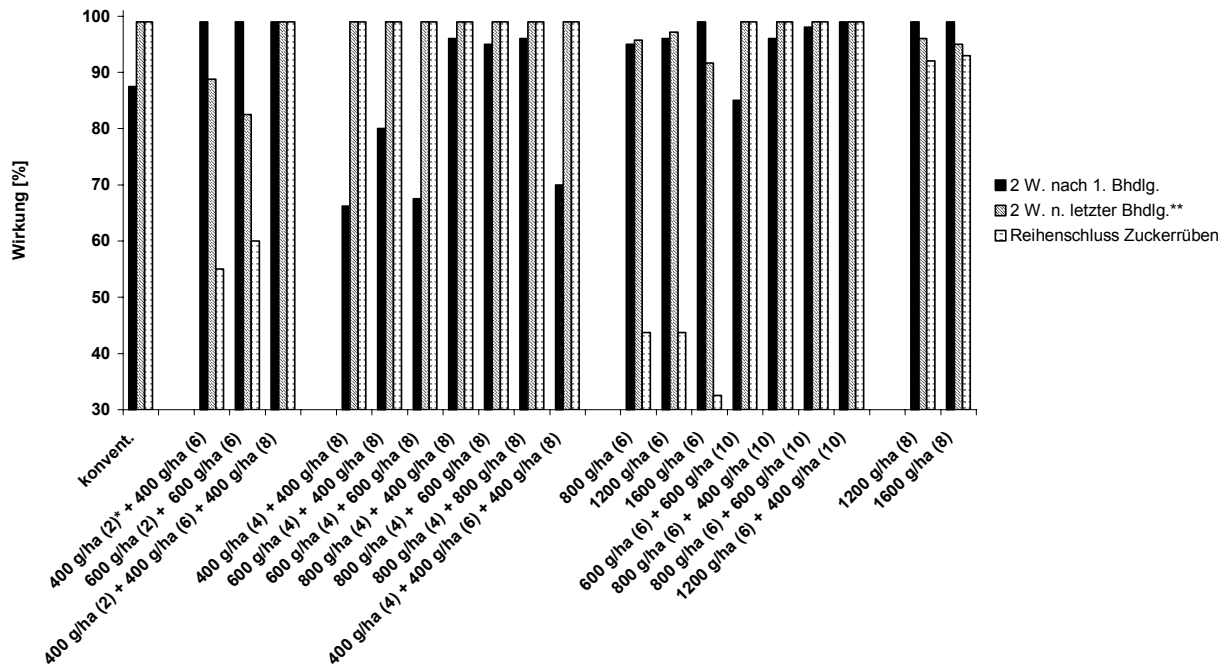


Abb. 19.: Wirkung verschiedener Glufosinatanwendungen in Poltava 1999 gegen Hirse-Arten; * Blattstadien der Zuckerrüben; ** in Varianten mit einer Bhdg: Wirkung 4 W. danach

Bei beginnender Behandlung zum 4-Blattstadium konnte gegen die Hirse-Arten bei allen Behandlungen eine hohe Wirkung zum Reihenschluss erzielt werden (Abb. 19). Lediglich unmittelbar nach der ersten Behandlung zeigte sich eine Abhängigkeit der Wirkung von der Aufwandmenge. Da in allen Varianten eine Behandlung zum 8-Blattstadium erfolgte, wurde damit die späte Auflaufwelle der Hirse-Arten erfasst und eine hohe Wirkung erzielt, unabhängig von der Höhe der zweiten Glufosinatanaufwandmenge.

Die Bedeutung des zweiten Behandlungszeitpunktes für die Wirkung gegen die Hirse-Arten wurde durch die Ergebnisse bei erstmaliger Behandlung zum 6-Blattstadium untermauert (Abb. 19). Unabhängig ob 800 g/ha oder 1600 g/ha einmalig zum 6-Blattstadium appliziert wurde, nahm die Wirkung zwischen der ersten Bonitur (90-100 %) und der zweiten zum Reihenschluss auf 30 % und 40 % ab. Bei erneuter Glufosinatanwendung zum 10-Blattstadium der Zuckerrüben wurde die Auflaufwelle zwischen dem 6- und 8-Blattstadium erfasst und Wirkungsgrade bis zu 99 % und 100 % zum Reihenschluss erzielt. Zusammenfassend erwies sich zur nachhaltigen Hirse-Bekämpfung eine zweimalige Anwendung von 600 g/ha Glufosinat zum 6- und 10-Blattstadium der Zuckerrüben als ausreichend.

Bei erstmaliger Glufosinatanwendung zum 8-Blattstadium wurden alle Auflaufwellen erfasst, wengleich die Wirkung im Vergleich zu den anderen Gruppen leicht abnahm. Der relativ geringe Deckungsgrad der Zuckerrüben (25 %, Tab. 19) verhinderte größere Wirkungsdefizite, die durch Spritzschatten zu erwarten gewesen wären. Unabhängig davon, ob 1200 g/ha oder 1600 g/ha appliziert wurden, ergab sich zum Reihenschluss eine Wirksamkeit von 92-95 %.

Vinnitsa 2000

Die Unkrautarten und -dichten entsprachen denen des Versuches zur Ermittlung der Kritischen Periode mit manueller Unkrautbekämpfung (Kap. 3.1.1, Tab. 8). Die Verunkrautung entsprach im Wesentlichen der in Poltava. Die dominierenden Unkräuter waren wiederum Hirse-Arten, wengleich sie in geringerem Umfang vorkamen. Ebenso übereinstimmend mit Poltava

1999 traten *Amaranthus retroflexus* und *Chenopodium album* auf, während *Capsella bursa-pastoris* als auch *Myosotis arvensis* ausschließlich in Vinnitsa 2000 vorkamen. Die unter HERBA zusammengefassten restlichen Unkräuter sind im Anhang 8 aufgeführt. Tabelle 20 zeigt die Arten und ihre Anteile am Gesamtunkrautdeckungsgrad zum Zeitpunkt der ersten Glufosinatanwendung. Zusätzlich sind die durchschnittlichen Entwicklungsstadien der Unkräuter und der Zuckerrüben angegeben.

Tab. 20: Deckungsgrade und Entwicklungsstadien der Zuckerrüben und Unkräuter zu den Behandlungsterminen in Vinnitsa 2000

Datum	BS ZR	DG ZR	BBCH UK	DG UK (gesamt)	AMARE	CAPBP	CHEAL	HIRSE	MYOAR	HERBA
		[%]		[%]	Anteil [%] am Gesamtunkrautdeckungsgrad					
2.6.	12	5	12	15	-	5	5	80	-	10
9.6.	14	10	14	30	2	2	8	80	3	5
16.6.	16	20	17/19-31	55	5	10	10	70	3	2

BS: Blattstadium ZR: Zuckerrübe; DG: Deckungsgrad; BBCH: BBCH Code

In Vinnitsa wurden Wirkungsbonituren ausschließlich zum Reihenschluss der Zuckerrüben durchgeführt.

Übereinstimmend mit Poltava traten bei den Varianten mit beginnender Behandlung zum 2-Blattstadium eine bis zu 100 %ige Wirkung gegen alle Unkrautarten auf (Abb. 20). Abweichend von Poltava wurde in der Variante mit 2 Behandlungen der 2. Termin nicht zum 6-, sondern zum 8-Blattstadium durchgeführt. Es zeigte sich, dass dieser späte Behandlungstermin alle Auflaufwellen erfasste und eine ausreichende Wirkung herbeiführte. Die Aufwandmenge betrug hier, übereinstimmend mit Poltava, je 400 g/ha. Eine dreimalige Anwendung zum 2-, 6- und 8-Blattstadium erwies sich, wie bereits in Poltava, als überflüssig (Abb. 20).

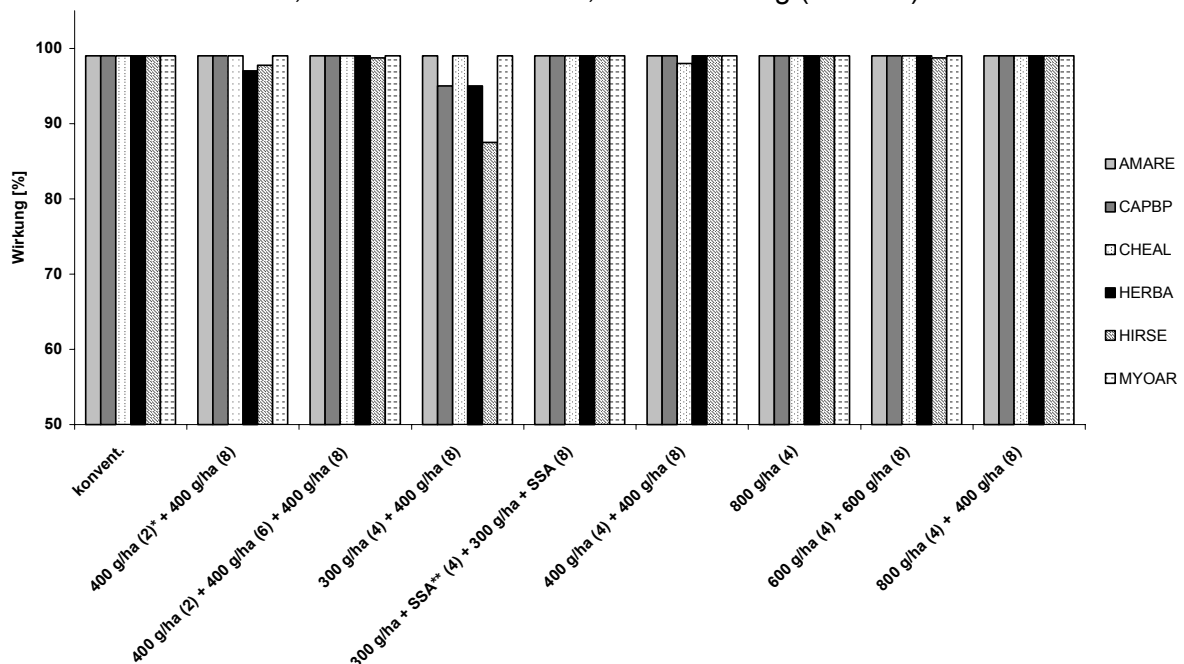


Abb. 20: Wirkung verschiedener Glufosinatanwendungen zum Reihenschluss der Zuckerrüben bei beginnender Anwendung zum 2- bzw. 4-Blattstadium in Vinnitsa 2000; * Blattstadium der Zuckerrüben; ** Zusatz 10 kg/ha Schwefelsaures Ammoniak

Aufbauend auf den Ergebnissen von Poltava, wo bei beginnender Behandlung zum 4-Blattstadium eine ausreichende Wirkung bei zweimaliger Behandlung mit 400 g/ha beginnend zum 4-Blattstadium erzielt wurde, wurde in Vinnitsa die minimale Aufwandmenge auf 300 g/ha reduziert. Dabei trat jedoch mit einer Wirkung von 87 % zum Reihenschluss eine unbefriedigende Wirkung gegen die Hirse-Arten auf (Abb. 20). Dies galt ebenso für die Wirkung gegen *Capsella bursa-pastoris* und HERBA. Durch den Zusatz von 10 kg/ha Schwefelsaurem Ammoniak konnte die Wirksamkeit gegen diese Arten jedoch auf 99 % erhöht werden. Die zweimalige Anwendung von 400 g/ha zum 4- und 8-Blattstadium war jedoch, wie bereits in Poltava, für eine gute Bekämpfung ausreichend.

Übereinstimmend mit Poltava zeigte sich in Vinnitsa ebenso bei erstmaliger Behandlung zum 6-Blattstadium die größte Abhängigkeit der Wirkung von der Aufwandmenge und dem Applikationszeitpunkt. Insbesondere traf dies, wie schon in Poltava, für die Hirse-Arten zu (Abb. 21).

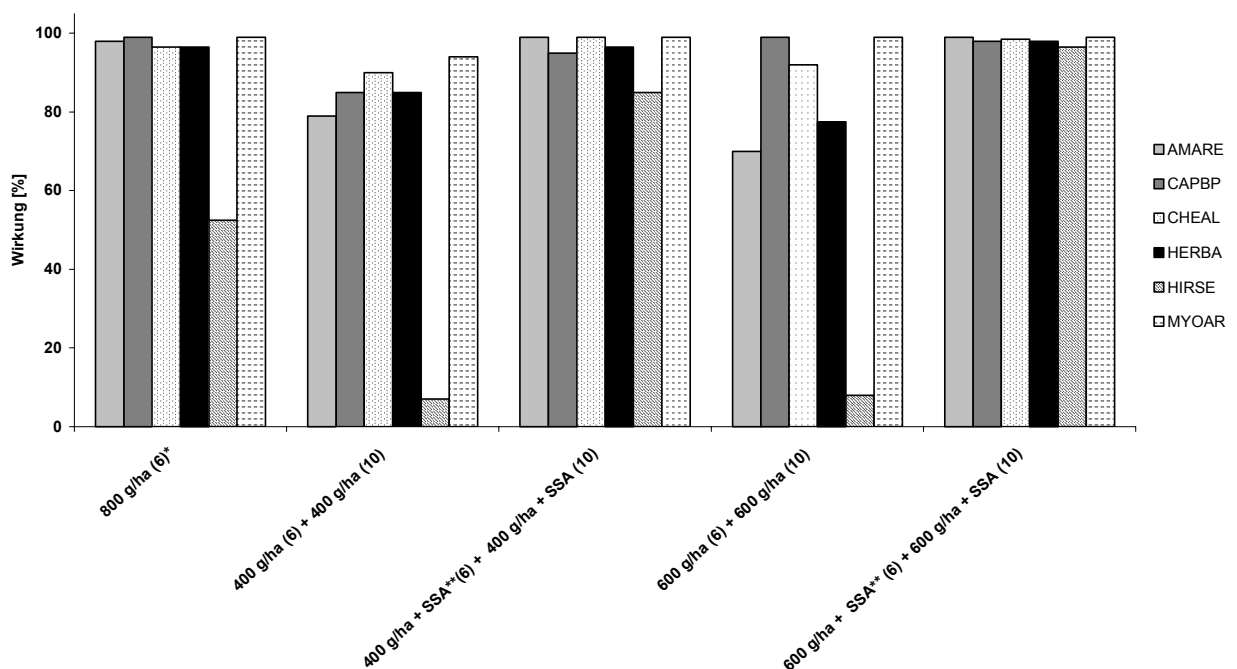


Abb. 21: Wirkung verschiedener Glufosinatanwendungen zum Reihenschluss der Zuckerrüben bei beginnender Behandlung zum 6 Blattstadium in Vinnitsa 2000; *Blattstadien der Zuckerrüben; ** Zusatz 10 kg/ha Schwefelsaures Ammoniak

Eine einmalige Anwendung von 800 g/ha zum 6-Blattstadium erreichte lediglich eine 50 %ige Wirkung gegen die Hirse-Arten zum Reihenschluss. Wie die Ergebnisse in Poltava gezeigt haben, ist für eine gute Wirkung zu diesem Entwicklungsstadium eine zweimalige Anwendung nötig, um auch spätere Auflaufwellen mit der zweiten Applikation erfassen zu können. Die in Poltava ausreichende zweimalige Anwendung von 600 g/ha zum 6- und 10-Blattstadium war in Vinnitsa jedoch nicht ausreichend. Die im Vergleich zu Poltava größeren Entwicklungsstadien der Unkräuter (Tab. 19 und 20), führten insbesondere zu einer unzureichenden Wirkung gegen *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album* und die Hirse-Arten (Abb. 21). Abgeleitet von den Ergebnissen in Poltava wurde in Vinnitsa die Aufwandmenge auf zweimal 300 g/ha reduziert, was die Wirkung jedoch verschlechterte. Eine große Bedeutung kommt hier der Anwendung von Schwefelsaurem Ammoniak zu. Bei Aufwandmengen von 10 kg/ha konnte bei beiden Splittingverfahren die Wirksamkeit nachhaltig erhöht werden. Die Wirkung gegen die Hirse-Arten wurde bei zweimaliger Anwendung von 400 g/ha von 7 % auf 85 % erhöht, die bei Anwendung

von 600 g/ha sogar auf 96 %. Auch die Wirkung gegen die anderen Arten wurde durch Zugabe von Schwefelsaurem Ammoniak erhöht, wenn auch nicht in vergleichbarem Umfang.

Zusammenfassende Beurteilung der Wirkungsbonituren

Für eine effektive Unkrautbekämpfung in glufosinatreisistenten Zuckerrüben kann der Beginn der Glufosinatanwendung bis zum 4-Blattstadium hinausgezögert werden. An beiden Untersuchungsstandorten reichte eine zweimalige Behandlung mit je 400 g/ha zum 4- und 8-Blattstadium für eine sichere Wirkung aus. Der Zusatz von Schwefelsaurem Ammoniak ermöglichte in Vinnitsa sogar eine Reduzierung auf 2 x 300 g/ha. Eine sichere Unkrautbekämpfung mit beginnender Behandlung zum 6-Blattstadium konnte lediglich in Poltava durch zweimalige Behandlung zum 6- und 10-Blattstadium mit jeweils 600 g/ha Glufosinat gewährleistet werden. In Vinnitsa wurde ein vergleichbares Wirkungsniveau bei gleichen Aufwandmengen nur unter Zusatz von Schwefelsaurem Ammoniak erreicht. In Poltava wurde sogar noch bei einer einmaligen Anwendung von 1200 g/ha zum 8-Blattstadium eine ausreichende Wirkung erzielt.

3.3.2 Rübenertrag

Konventionelle Variante

Die konventionellen Varianten erreichten in beiden Versuchen ein hohes Ertragsniveau, das aber 4-5 % unter der ständig unkrautfreien Variante lag (Abb. 22). Es wird angenommen, dass die Ertragseinbußen auf eine nicht ausreichende Selektivität der eingesetzten Herbizide gegenüber der verwendeten Zuckerrübensorte zurückzuführen sind.

Glufosinatanwendung ab dem 2-Blattstadium der Zuckerrüben

Die Varianten mit erstmaliger Behandlung zum 2-Blattstadium der Zuckerrüben hatten in keinem Versuch einen signifikant gesicherten Einfluss auf den Ertrag. Die geringsten Aufwandmengen mit zweimaliger Behandlung mit jeweils 400 g/ha waren zur Unkrautbekämpfung und zur Ertragssicherung ausreichend. In Poltava erfolgten diese Anwendungen zum 2- und 6-Blattstadium. In Vinnitsa konnte der zweite Behandlungstermin sogar erst zum 8-Blattstadium erfolgen. Eine dreimalige Behandlung zum 2-, 6- und 8-Blattstadium mit jeweils 400 g/ha erwies sich als überflüssig.

Glufosinatanwendung ab dem 4-Blattstadium der Zuckerrüben

Erstmalige Glufosinatbehandlung zum 4-Blattstadium konnte unabhängig von der Aufwandmenge und dem zweiten Behandlungstermin die Erträge in beiden Versuchen sichern. Statistisch nachweisbare Ertragsminderungen traten sowohl im Vergleich zur unkrautfreien als auch zur konventionellen Variante nicht auf (Abb. 22).

In Poltava 1999 traten dennoch die höchsten Erträge bei Applikation der geringsten Aufwandmengen auf (2 x 400g/ha, 600 + 400 g/ha und 2 x 600 g/ha zum 4- und 8-Blattstadium). Mit zunehmender Aufwandmenge nahm der Ertrag tendenziell ab, wenn auch statistisch nicht nachweisbar. Der geringste Ertrag trat somit in Poltava bei dreimaliger Anwendung von 400 g/ha Glufosinat zum 4-, 6- und 8-Blattstadium auf. Mögliche Gründe für die abnehmenden Erträge könnte eine nachlassende Kulturverträglichkeit mit zunehmender Gesamtaufwandmenge und zunehmend späterem Entwicklungsstadium zum Zeitpunkt der Behandlungen gewesen sein. Unkrautkonkurrenz kann als ertragsbeeinflussender Faktor ausgeschlossen werden, da eine nahezu 100 %ige Wirkung gegen alle aufgetretenen Unkrautarten erzielt wurde (Abb. 19

und Anhang 27-31). Bestätigt wird die Vermutung nachlassender Kulturverträglichkeit in den Varianten mit erstmaliger Glufosinatanwendung zum 6-Blattstadium (s.u.).

In Vinnitsa 2000 bestätigten sich die Ergebnisse aus Poltava. Zweimalige Anwendung von 400 g/ha Glufosinat sicherten auch dort die Erträge. Die Aufwandmengen konnten bei Zusatz von Schwefelsaurem Ammoniak sogar auf 300 g/ha reduziert werden. Ohne Schwefelsaures Ammoniak wurde bei zweimaliger Anwendung von 300 g/ha ein Ertragsniveau von 86,4 % erreicht, während es mit ihm auf 99,4 % gesteigert werden konnte. Ursache hierfür ist der höhere Unkrautwirkungsgrad bei Zusatz von Schwefelsaurem Ammoniak als Additiv (Abb. 20).

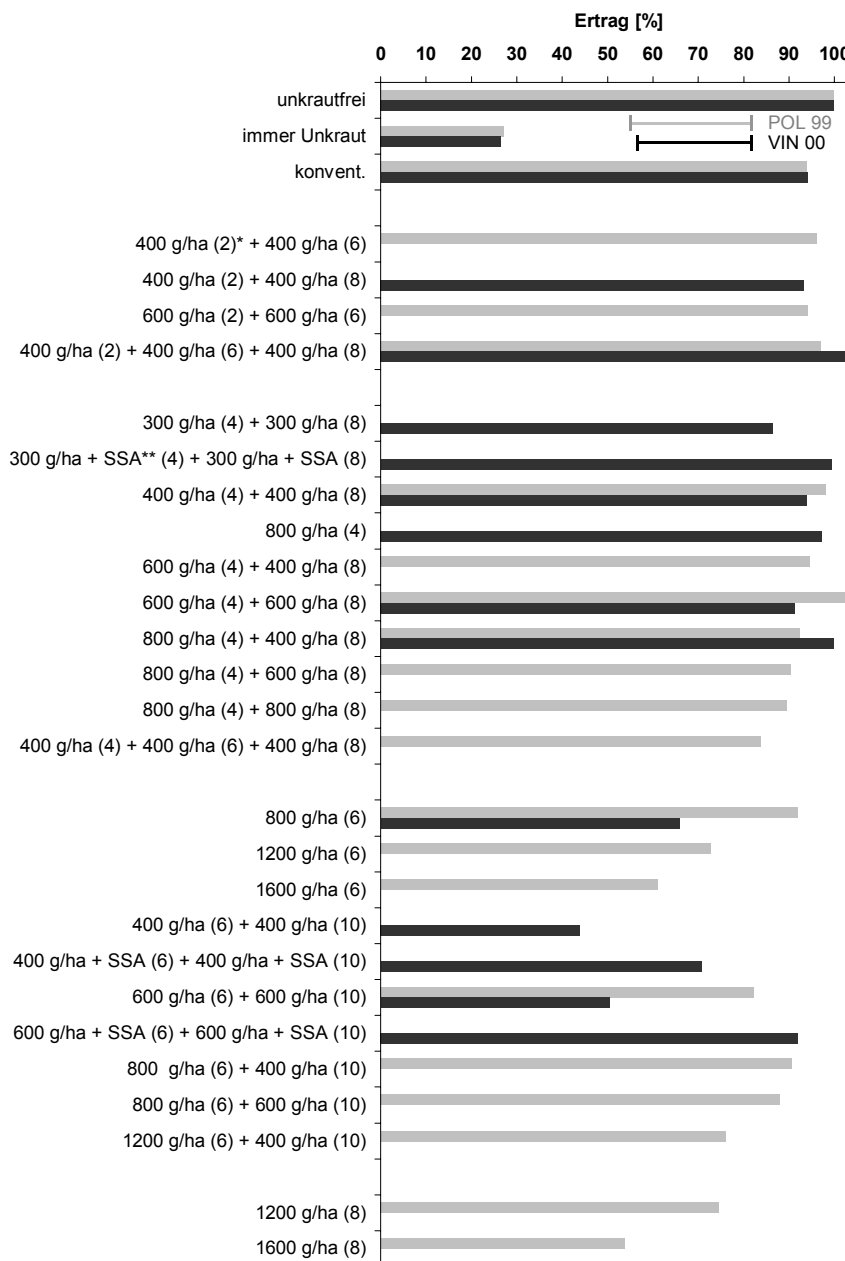


Abb. 22: Einfluss verschiedener Glufosinatanwendungen auf den rel. Rübenenertrag in Poltava 1999 und Vinnitsa 2000;

*Blattstadien der Zuckerrüben bei Behandlungen; ** Zusatz Schwefelsauerer Ammoniak (SSA) 10 kg/ha zu jeder Behandlung

Glufosinatanwendung ab dem 6-Blattstadium der Zuckerrüben

Bei erstmaliger Glufosinatanwendung zum 6-Blattstadium zeigte sich in Poltava ein Zusammenhang zwischen Aufwandmenge, Zeitpunkt der Behandlung und Ertrag. Bei einmaliger Glufosinatanwendung nahmen die Erträge mit zunehmender Aufwandmenge ab. Während eine einmalige Anwendung von 800 g/ha mit einem rel. Ertrag von 88 % keine statistisch nachweisbaren Ertragsminderungen verursachte, führte eine Erhöhung auf 1200 g/ha und 1600 g/ha zu reduzierten rel. Erträgen von 72,8 % bzw. 61 %. In beiden Fällen unterschieden sich die Erträge sowohl signifikant von der immer unkrautfreien als auch von der konventionellen Variante, nicht aber untereinander. Unterschiede in der Unkrautwirkung traten im Vergleich der Varianten nicht auf, wodurch die abnehmenden Erträge ein weiteres Indiz für eine nachlassende Kulturverträglichkeit sind. Die Wirkung gegen Hirse-Arten war einheitlich unbefriedigend und lag bei allen drei Varianten zwischen 35 % und 40 % (Abb. 19). Bestätigt wird die Hypothese ebenso bei Betrachtung der Varianten mit zweimaliger Behandlung. Wiederum war eine Abhängigkeit des Ertrages von der Aufwandmenge zu beobachten, wobei der Aufwandmenge zur ersten Behandlung eine besondere Bedeutung zukam. Zweimalige Behandlung mit 600 g/ha bzw. 800 + 400 g/ha oder 800 + 600 g/ha zum 6- und 10-Blattstadium unterschieden sich nicht signifikant untereinander als auch nicht von der unkrautfreien und konventionellen Behandlung. Erst eine Erhöhung auf 1200 + 400 g/ha führte zu einer statistisch abgesicherten Abnahme des Ertrages und erreichten ein der einmaligen Anwendung von 1200 g/ha zum 6-Blattstadium entsprechendes Ertragsniveau. Konkurrenzeffekte können bei der Interpretation der Ergebnisse erneut ausgeschlossen werden, da alle Varianten zu einer vollständigen Wirkung gegen alle Unkräuter führten.

In Vinnitsa reichte eine einmalige Anwendung von 800 g/ha zum 6-Blattstadium, im Gegensatz zu Poltava 1999, zur Ertragssicherung nicht aus. Größere Entwicklungsstadien und höhere Deckungsgrade der Hirse-Arten zum 6-Blattstadium im Vergleich zu Poltava 1999 ließen nur eine 52 %ige Wirkung zu (Abb. 21). Aufbauend auf den Ergebnissen von Poltava wurde in Vinnitsa zusätzlich versucht, bei zweimaliger Anwendung zum 6- und 10-Blattstadium die Aufwandmengen zu reduzieren, um damit den für Poltava 1999 beschriebenen Effekt nachlassender Kulturverträglichkeit bei hohen Aufwandmengen und gesplitteter Anwendung zu umgehen. Die Aufwandmengen wurden deshalb auf jeweils 400 g/ha bzw. 600 g/ha Glufosinat reduziert, wobei beide Varianten mit und ohne Zusatz von Schwefelsaurem Ammoniak (10 kg/ha) angelegt wurden. Dem Zusatz von Schwefelsaurem Ammoniak kam bei beiden Aufwandmengen eine zentrale Rolle zu. Wie bereits bei den Wirkungsbonituren beschrieben, führte der Zusatz bei Anwendung von 400 g/ha zu einer statistisch gesicherten Erhöhung der Erträge auf 70,7 % im Vergleich zur Anwendung ohne Schwefelsaures Ammoniak mit 43,9 %. Bei Zusatz zur zweimaligen Anwendung von 600 g/ha erhöhte sich der Ertrag signifikant von 50,4 % auf 81,8 %. Die zweimalige Anwendung von 600 g/ha Glufosinat mit 10 kg/ha Schwefelsaurem Ammoniak war in Vinnitsa 2000 demnach die einzige Variante, die eine Bekämpfung ohne statistisch nachweisbare Ertragseinbußen ab dem 6-Blattstadium ermöglichte, wenngleich der Ertrag um 17,2 % abnahm.

Glufosinatanwendung ab dem 8-Blattstadium der Zuckerrüben

Die Erträge bei beginnender Behandlung zum 8-Blattstadium nahmen in Poltava mit steigender Aufwandmenge erneut ab. Bei einmaliger Behandlung von 1200 g/ha wurde lediglich ein Ertragsniveau von 74,5 % erreicht, das sich bei Erhöhung der Aufwandmenge auf 1600 g/ha auf 53,7 % verringerte. Da unabhängig von der Aufwandmenge wiederum eine nahezu 100 %ige Unkrautwirkung erreicht wurde (Abb. 19 und Anhang 27-31), muss auch hier eine nach-

lassende Kulturverträglichkeit als Ursache für die Ertragsabnahmen angenommen werden. Ein Überschreiten des Beginns der Kritischen Periode zum 8-Blattstadium kann als Ursache ausgeschlossen werden, da diese an diesem Standort erst zum 10-Blattstadium begonnen hat (Tab. 12). In Vinnitsa wurden Varianten mit erstmaliger Behandlung zum 8-Blattstadium nicht angelegt.

Zusammenfassende Beurteilung der Rübenerträge

Zusammenfassend konnte an beiden Standorten mit der erstmaligen Anwendung von Glufosinat bis zum 4-Blattstadium gewartet werden. Zur Ertragssicherung genügte in Poltava die geringste Aufwandmenge mit zweimaliger Anwendung von 400 g/ha Glufosinat zum 4- und 8-Blattstadium. In Vinnitsa konnte die Aufwandmenge sogar auf 300 g/ha reduziert werden, wobei dazu der Zusatz von Schwefelsaurem Ammoniak zur Ertragssicherung notwendig war. Alle Varianten führten zu 95–99 %igen Wirkungsgraden. In Poltava konnte sogar variantenabhängig zum 6-Blattstadium mit dem Beginn der Bekämpfung gewartet werden und eine einmalige Behandlung mit 800 g/ha erwies sich als ausreichend. Eine höhere Dosierung führte nachweislich zu Kulturverträglichkeitsproblemen, da die Erträge, bei gleicher Wirkung, mit zunehmender Aufwandmenge abnahmen. In Vinnitsa konnte zum 6-Blattstadium keine effektive Bekämpfung erreicht werden.

3.3.3 Kulturverträglichkeit

Die Erträge des Versuches in Poltava zeigten zum einem eine Abhängigkeit des Ertrages von der Unkrautwirkung und zum anderen eine Abhängigkeit von der Glufosinataufwandmenge und dem Entwicklungsstadium der Zuckerrübe zum Zeitpunkt der Behandlung. Trotz nachweislich ausreichender Unkrautwirkung nahmen mit zunehmend späteren Entwicklungsstadien und höheren Aufwandmengen die Erträge ab, obwohl der Beginn der Kritischen Periode noch nicht überschritten war. Dies führte zu der Annahme, dass ein Zusammenhang zwischen dem Behandlungszeitpunkt, der Glufosinataufwandmenge und des Ertrages besteht und somit nachlassende Kulturverträglichkeit für die Ertragsabnahmen verantwortlich ist. Im Folgenden werden klassische Symptome für eine verminderte Kulturverträglichkeit für den Versuch in Poltava näher betrachtet. In Vinnitsa wurde verminderte Kulturverträglichkeit nicht beobachtet. Dort waren, im Vergleich zu Poltava, die Aufwandmengen reduziert wurden.

Als Symptome einer verminderten Kulturverträglichkeit traten in Poltava zwei Merkmale in Erscheinung. Zum einen waren „Yellowing“-Symptome (Abb. 23) zu beobachten, wobei es sich um chlorotische, zum Teil in nekrotisches Gewebe übergehende Vergilbungen der Blattspitzen handelte. Charakteristisch für dieses Symptom ist das Auftreten an den Blattspitzen, dem Ort der höchsten Transpiration. Zum anderen waren Wachstumsdepressionen der Zuckerrüben festzustellen, die anhand des Deckungsgrades der Zuckerrüben quantifiziert werden konnten (Abb. 24).

Yellowing-Symptome

Generell waren Yellowing-Symptome zur Ernte in keiner Variante wahrnehmbar. Dennoch zeigte sich im Laufe der Vegetation eine Abhängigkeit der Intensität der Symptome von der Aufwandmenge und dem Entwicklungsstadium, wobei die Symptome mit zunehmend späterem Beginn der Glufosinatanwendungen zunahmen (Abb. 23).

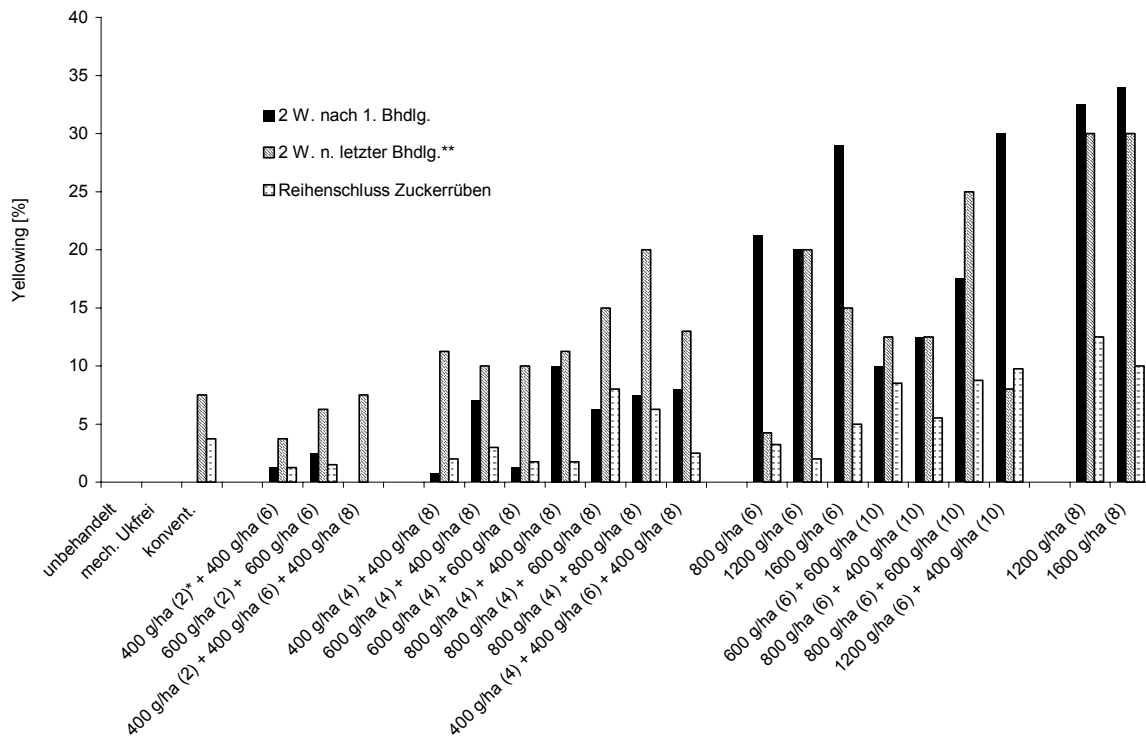


Abb. 23: Einfluss verschiedener Glufosinatanwendungen auf das Auftreten von Yellowing-Symptomen bei glufosinatanresistenten Zuckerrüben in Poltava 1999;

* Blattstadien der Zuckerrüben bei den Behandlungen, ** in Varianten mit einer Bhdg. hier Wirkung 4 W. danach

Bei erstmaliger Behandlung zum 2-Blattstadium der Rüben wie auch in der konventionellen Variante trat eine maximale Schädigung von 7 % auf, wobei eine Abhängigkeit von der Aufwandmenge nicht festgestellt wurde.

Eine Abhängigkeit von der Aufwandmenge zeigte sich erstmals bei beginnender Behandlung zum 4-Blattstadium. Die stärksten Symptome (20 % - 2 Wochen nach der letzten Behandlung) traten dabei bei zweimaliger Anwendung von 800 g/ha zum 4- und 8-Blattstadium auf. Zum Reihenschluss waren die Symptome mit 5 % jedoch erneut nahezu verwachsen.

Einsetzende Behandlungen zum 6-Blattstadium erhöhten in allen Varianten die Symptomausprägung, die bei Anwendung von 1200 + 400 g/ha zum 6- und 10-Blattstadium bei über 30 % lag, zum Reihenschluss jedoch auf 10 % abgenommen hatte. Die Varianten mit einmaliger Anwendung verdeutlichen den Anstieg der Symptomausprägung mit zunehmender Aufwandmenge. Einmalige Applikationen von 800 g/ha führten zu einer Schädigung von 20 %, die sich auf max. 30 % bei Anwendung von 1600 g/ha erhöhte. Zum Reihenschluss hatte diese unabhängig von der Aufwandmenge auf durchschnittlich 5 % abgenommen.

Bei erstmaliger Behandlung zum 8-Blattstadium waren die maximalen Yellowing-Symptome, unabhängig ob 1200 g/ha oder 1600 g/ha appliziert wurden, mit 30-32 % 1 Woche nach der Behandlung im Vergleich aller Varianten am größten. Die Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium der Zuckerrüben und der Ausprägung der Yellowing-Symptome wird beim Vergleich derselben Aufwandmengen bei Behandlung zum 6-Blattstadium deutlich, die bei diesem Entwicklungsstadium geringer waren.

Wachstumsdepressionen

Neben den Yellowing-Symptomen wurden Wachstumsdepressionen beobachtet, die abweichend von den Yellowing-Symptomen zur Ernte in einigen Varianten noch zu beobachten waren (Abb. 24). Als Bezugsgröße zur Quantifizierung der Wachstumsdepressionen diente der Deckungsgrad der mechanisch unkrautfrei gehaltenen Variante zum Reihenschluss und zur Ernte, da hier eine Beeinträchtigung der Rüben durch Glufosinat ausgeschlossen werden konnte.

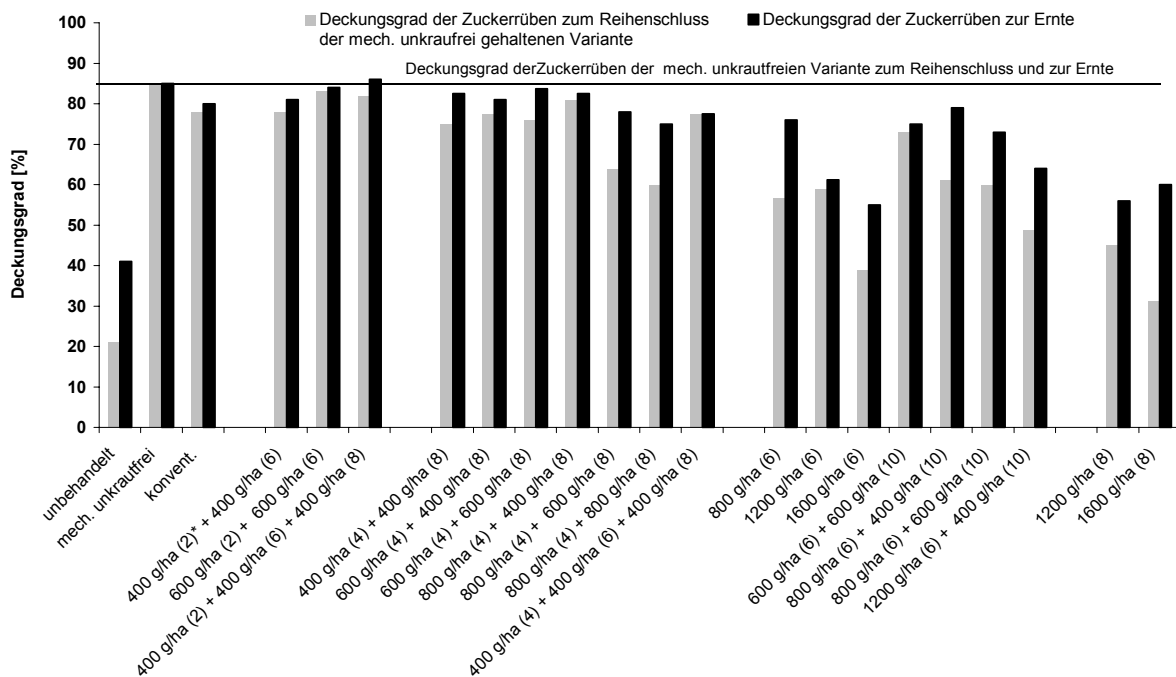


Abb. 24: Einfluss verschiedener Glufosinatanwendungen auf den Deckungsgrad der Zuckerrüben in Poltava 1999;

*Blattstadien der Zuckerrüben bei den Behandlungen

Ein 100 %iger Deckungsgrad wurde in der mechanisch unkrautfrei gehaltenen Variante sowohl zum Reihenschluss als auch zur Ernte nicht erreicht (horizontale Linie in Abb. 24). Anhaltende Trockenheit zu Beginn der Vegetationsperiode führte zu einer verminderten Bestandesdichte mit 73.000 Pfl./ha und infolgedessen zu einem Deckungsgrad zum Reihenschluss und zur Ernte von nur 85 %.

In der konventionellen Variante und bei den Varianten mit erstmaliger Behandlung zum 2-Blattstadium der Zuckerrüben schwankten die Deckungsgrade unabhängig vom Boniturzeitpunkt zwischen 80 und 85 % und entsprachen somit der konventionellen und der mechanisch unkrautfrei gehaltenen Variante.

Eine erste Beeinflussung auf den Deckungsgrad zeigte sich bei einsetzender Behandlung zum 4-Blattstadium der Zuckerrüben. In den Varianten mit zweimaliger Anwendung von 800 + 600 g/ha bzw. 800 + 800 g/ha traten mit 60 % bzw. 63 % zum Zeitpunkt des Reihenschlusses der mechanisch unkrautfrei gehaltenen Variante geringere Deckungsgrade auf als in den übrigen Varianten bei gleichem Behandlungsbeginn (Deckungsgrad zwischen 75-80 %). Unkrautkonkurrenz kann hierfür als Ursache ausgeschlossen werden, da in allen Varianten Unkraut nachhaltig unterdrückt wurde. Eine vollständige Kompensation der Deckungsgrade trat bis zur Ernte in beiden Varianten nicht auf (Ø 75 % Zuckerrübendeckungsgrad zur Ernte), während die

übrigen mit bis zu 85 % Deckungsgrad dem der mechanischen Variante glichen. Ertragsbeeinflussend äußerte sich der verminderte Deckungsgrad in den beiden Varianten jedoch nicht.

Ein vergleichbarer Effekt trat bei einsetzender Behandlung zum 6-Blattstadium auf. Einmalige Anwendungen von 800 g/ha, 1200 g/ha bzw. 1600 g/ha zeigten einen eindeutigen Einfluss auf den Deckungsgrad. Zum Zeitpunkt des Reihenschlusses der mechanisch unkrautfrei gehaltenen Variante betrug dieser bei 800 g/ha und 1200 g/ha durchschnittlich nur 57 %, und bei Anwendung von 1600 g/ha reduzierte er sich sogar auf 38 %. Nahezu kompensiert werden konnten die Wachstumsdepressionen bis zur Ernte lediglich in der 800 g/ha Variante mit einem Deckungsgrad von 76 %. Im Vergleich der drei Varianten war dies die Einzige, die keine signifikanten Reduktionen zur Ernte verursachte. Bei Anwendung 1200 g/ha bzw. 1600 g/ha betrug der Deckungsgrad zur Ernte lediglich 61 % bzw. 55 %. Unkrautkonkurrenz als Ursache für die Ertragreduktionen kann wiederum ausgeschlossen werden, da die Effizienz der Unkrautwirkung in allen drei Varianten gleich war und die Restverunkrautung mit Hirse ertragsunwirksam war, was die 800 g/ha Variante bewies. Die gleiche Situation trat innerhalb der Gruppe mit zweimaligen Anwendungen auf. Zweimalige Behandlung mit 600 g/ha zum 6- und 10-Blattstadium zeigte weder eindeutige Reduktionen des Deckungsgrades zur Ernte, noch statistisch abgesicherte Ertragsminderungen. Eine Erhöhung der Aufwandmenge auf 800 + 400 g/ha und 800 + 600 g/ha führte ebenso zu keinen Ertragsminderungen, wobei jedoch ein Einfluss auf den Deckungsgrad, besonders zum Zeitpunkt des Reihenschlusses der mechanisch unkrautfreien Zuckerrüben, zu beobachten war. Bei Anwendung von 800 + 600 g/ha betrug der Deckungsgrad lediglich 60 %, der bis zur Ernte jedoch wieder auf 73 % anstieg. Eindeutige Ertragsminderungen traten bei Anwendung von 1200 + 400 g/ha auf. Hier konnte ein Deckungsgrad von 48 % zum Reihenschluss bis zur Ernte (64 % Deckungsgrad) nicht mehr kompensiert werden. Unkrautkonkurrenz konnte als Einflussgröße erneut ausgeschlossen werden, da bereits eine zweimalige Anwendung von 600 g/ha eine sehr hohe Unkrautwirkung zeigte.

Bei einmaliger Behandlung zum 8-Blattstadium der Zuckerrüben traten stark verminderte Deckungsgrade zum Reihenschluss und zur Ernte auf. Einmalige Applikation von 1200 g/ha führte zum Zeitpunkt des Reihenschlusses der mechanisch unkrautfrei gehaltenen Variante zu einem Deckungsgrad von 45 %, während bei 1600 g/ha lediglich ein Deckungsgrad von 31 % erreicht wurde. Bis zur Ernte konnten die reduzierten Deckungsgrade nicht kompensiert werden (55 und 60 % Deckungsgrad). Statistisch abgesicherte Ertragsminderungen waren die Folge. Da die Unkrautwirkung in beiden Varianten außerordentlich hoch war und die Kritische Periode erst bei einer über das 10-Blattstadium anhaltenden Verunkrautung begann (Tab. 12), kann Unkrautkonkurrenz als Ursache für die reduzierten Erträge folglich auch hier ausgeschlossen werden. Der Deckungsgradverlauf im Versuch zur Ermittlung der Kritischen Periode ist ein zusätzliches Indiz für die nachlassende Kulturverträglichkeit. Bei Unkrautkonkurrenz bis zum 8-Blattstadium wurde in diesem Versuch der Deckungsgrad zur Ernte vollständig kompensiert, statistisch abgesicherte Ertragsverluste traten nicht auf.

Zusammenfassung Kulturverträglichkeit

Als Indikator für die Kulturverträglichkeit glufosinatresistenter Zuckerrüben wurden Yellowing-Symptome als auch Wachstumsdepressionen beobachtet, wobei beide mit der Aufwandmenge und dem Entwicklungsstadium zur Applikation zunahmen. Während die Yellowing-Symptome bis zur Ernte in allen Varianten vollständig verwachsen waren, traten Wachstumsrückstände zum Reihenschluss und zur Ernte in Abhängigkeit von der Aufwandmenge und dem Applikationszeitpunkt auf. Unkrautkonkurrenz als Ursache für die festgestellten Wachstumsdepressionen konnte ausgeschlossen werden.

3.3.4 Zusammenfassung

Statistisch signifikante Ertragsreduktionen traten in den Versuchen zur Ermittlung der Kritischen Periode in Poltava 1999 bei einer über das 10- und in Vinnitsa 2000 bei einer über das 12-Blattstadium der Zuckerrüben anhaltenden Verunkrautung auf (Kap. 3.2.1.1, Tab.12). Zu diesen Entwicklungsstadien ist eine Unkrautbekämpfung mit Glufosinat nicht mehr möglich. Das 6-Blattstadium der Zuckerrüben war in Poltava 1999 das größte Entwicklungsstadium zu dem mit einer Behandlung begonnen werden musste. In Vinnitsa galt dies für das 4-Blattstadium. Somit ist das System Glufosinat plus glufosinateresistente Sorte für eine Unkrautbekämpfung unter vollständiger Berücksichtigung der Kritischen Periode nicht geeignet. Dennoch gibt es Ansätze, die Kritische Periode annähernd bei der Terminierung der Glufosinatbehandlungen zu berücksichtigen (Tab. 21).

Tab. 21: Unkrautbekämpfung unter Berücksichtigung der Kritischen Periode in glufosinateresistenten Zuckerrüben

	Beginn Kritische Periode	Späteste Behandlungszeitpunkte
POL 99	10 BS*	400 g/ha (4) + 400 g/ha (8) 800 g/ha (6) 800 g/ha (6) + 400 g/ha (10)
VIN 00	12 BS	300 g/ha + SSA** (4) + 300 g/ha + SSA (8) 400 g/ha (4) + 400 g/ha (8) 600 g/ha + SSA (6) + 600 g/ha + SSA (10)

*BS= Blattstadium Zuckerrüben; ** Schwefelsaures Ammoniak 10 kg/ha

Der spätmöglichste Beginn der Glufosinatanwendungen war in Poltava 1999 zum 6-Blattstadium. Eine einmalige Anwendung von 800 g/ha war zur Ertragssicherung ausreichend. Auch eine Splittingvariante sicherte bei Behandlung mit 800 + 400 g/ha zum 6- und 10-Blattstadium den Ertrag. Bei beiden Varianten führte jedoch eine Erhöhung der Aufwandmengen aufgrund nachlassender Kulturverträglichkeit zu Ertragsabnahmen. Keine Ertragsabnahmen traten bei zweimaliger Anwendung von 400 g/ha zum 4- und 8-Blattstadium auf. Dies trifft ebenso für Vinnitsa 2000 zu, wo die Aufwandmenge durch den Zusatz von 10 kg/ha Schwefelsaurem Ammoniak sogar auf 300 g/ha reduziert werden konnte. Ohne Schwefelsaurem Ammoniak war die Wirkung zur Vermeidung von Ertragseinbußen nicht ausreichend. Ab dem 6-Blattstadium konnte in Vinnitsa 2000 bei den applizierten Glufosinatmengen ebenso nur unter Zugabe von Schwefelsaurem Ammoniak eine Strategie zur Ertragssicherung abgeleitet werden. Eine einmalige Anwendung von 800 g/ha war hier nicht ausreichend, jedoch eine zweimalige Anwendung von je 600 g/ha zum 6- und 10-Blattstadium bei Zusatz von 10 kg/ha Schwefelsaurem Ammoniak. Ohne den Zusatz war die Wirkung auch in dieser Variante nicht ausreichend. Der limitierende Faktor zur vollständigen Unkrautbekämpfung unter Berücksichtigung der Kritischen Periode war offensichtlich nicht die Wirksamkeit des Glufosinats, sondern die nachlassende Kulturverträglichkeit mit Zunahme der Aufwandmenge und dem Entwicklungsstadium. Neben den Yellowing-Symptomen, die jedoch zur Ernte in allen Varianten verwachsen waren, traten Wachstumsdepressionen auf. Innerhalb der Gruppe mit beginnender Behandlung zum 4-,

6- und 8-Blattstadium waren diese in Abhängigkeit der Variante zum Reihenschluss und zur Ernte erkennbar und wirkten sich teilweise signifikant ertragsmindernd aus.

3.4 Einfluss klimatischer Faktoren auf die Sensitivität glufosinatresistenter Zuckerrüben in Abhängigkeit des Entwicklungsstadiums

In den Feldversuchen zur Anwendbarkeit der Kritischen Periode waren Kulturverträglichkeitsprobleme beobachtet worden (Kap. 3.3.3). Deshalb mussten weitere Untersuchungen erfolgen, die zum Ziel hatten, den Einfluss vom Entwicklungsstadium auf die Sensitivität glufosinatresistenter Sorten herauszuarbeiten. Zusätzlich wurden in den Untersuchungen die Lichtintensität und die Luftfeuchtigkeit variiert, da bekannt ist, dass die Wirksamkeit von Glufosinat von den klimatischen Bedingungen beeinflusst wird (LECHNER *et al.* 1996, PETERSEN 1999).

Die Entwicklungsstadien variierten zwischen dem 2- und 6-Blattstadium der Zuckerrüben zum Zeitpunkt der Behandlung. Bei dem 6-Blattstadium wurde zusätzlich zwischen dem jüngsten und dem ältesten Blatt unterschieden. Als Bewertungsparameter wurde der NH_3 -Gehalt quantifiziert, das aufgrund der nicht inhibierten Glutaminsynthetase in glufosinatresistenten Pflanzen nicht auftreten dürfte (Kap. 1.5.2.2). Außerdem wurde der Einfluss auf die Chlorophyllfluoreszenz untersucht, da NH_3 zusätzlich eine entkoppelnde Wirkung auf die Photophosphorylierung besitzt (Kap.1.5.2.2). Während der Photophosphorylierung kommt es zur ATP-Produktion über einen Gradienten während der Lichtreaktion der Photosynthese. NH_3 entkoppelt den Elektronenfluss im Photosystem, was durch eine erhöhte Chlorophyllfluoreszenz quantifiziert werden kann. Bei der Interpretation der NH_3 -Konzentrationen ist zu beachten, dass die Konzentrationen ab 24 Stunden nach der Behandlung starken Streuungen unterlagen (Abb. 25-27). Vermutlich sind hierfür Blattschäden, die durch die steigende NH_3 -Konzentration hervorgerufen wurden, verantwortlich. Ein resultierender vermehrter Wasserverlust führte zu einer hohen Variabilität der Bezugsgröße Blattfrischmasse. Zusätzlich können durch die Schäden verursachte gasförmige Ammoniakverluste vor der Probenentnahme aufgetreten sein.

3.4.1 Luftfeuchtigkeit

Die Luftfeuchtigkeit zeigte einen deutlichen Einfluss auf die NH_3 -Akkumulation (Abb. 25-27). Während unabhängig vom untersuchten Entwicklungsstadium und dem Alter des Blattes die NH_3 -Akkumulation bei einer Luftfeuchtigkeit von 50 % auf niedrigem Niveau verlief, stieg die NH_3 -Konzentration bei 80 %iger Luftfeuchtigkeit mit zunehmender Dauer nach der Behandlung unabhängig vom Entwicklungsstadium und dem Alter des Blattes an. Die höchste NH_3 -Konzentration trat nach 48 Stunden im jüngsten Blatt der 6-Blattvariante auf (Abb. 25). Die Zunahme der Konzentration setzte 12 Stunden nach der Behandlung ein und lag 48 Stunden nach Applikation mit 0,74 mg/g Blattfrischmasse um den Faktor 18 über dem Gehalt bei 50 % Luftfeuchte mit durchschnittlich 0,47 mg/g. Diese Tendenz, wenn auch schwächer ausgeprägt, trat beim ältesten Blatt zum 6-Blattstadium und der 2-Blattvariante im Vergleich der beiden Luftfeuchten auf (Abb. 26 und 27). 48 Stunden nach der Behandlung unterschieden sich die NH_3 -Konzentrationen der beiden Blattstadien mit 0,29 mg/g bzw. 0,27 mg/g Blattfrischmasse bei 80 %iger Luftfeuchte im Vergleich nicht signifikant voneinander. Im Vergleich zu 50 % Luftfeuchte waren die Konzentrationen jedoch jeweils um den Faktor 7 erhöht.

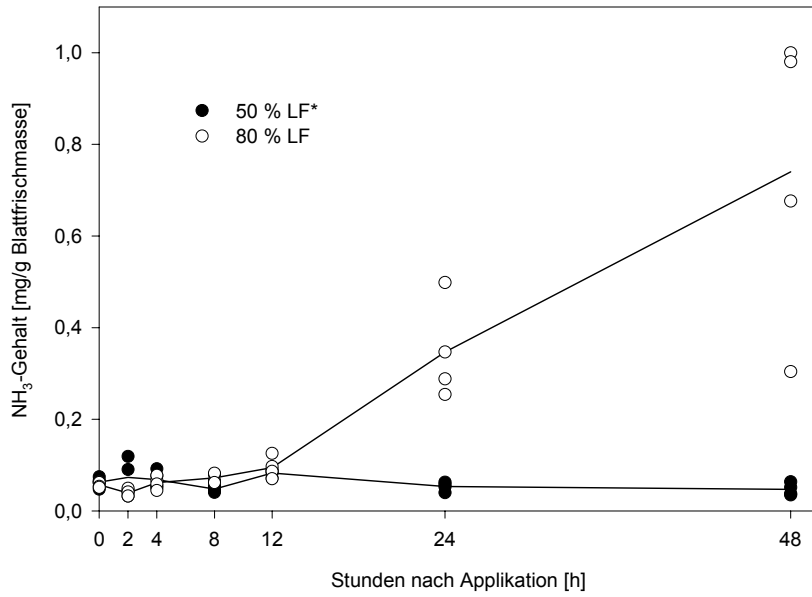


Abb. 25: Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die NH₃-Akkumulation des jüngsten Blattes zum 6-Blattstadium glufosinatresistenter Zuckerrüben nach Behandlung mit 600 g/ha Glufosinat; * Luftfeuchtigkeit

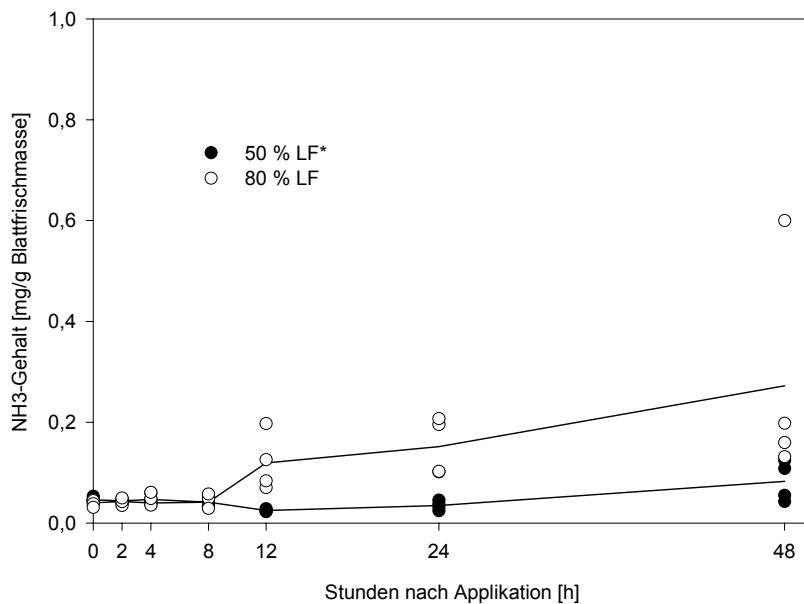


Abb. 26: Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die NH₃-Akkumulation des ältesten Blattes zum 6-Blattstadium glufosinatresistenter Zuckerrüben nach Behandlung mit 600 g/ha Glufosinat; * Luftfeuchtigkeit

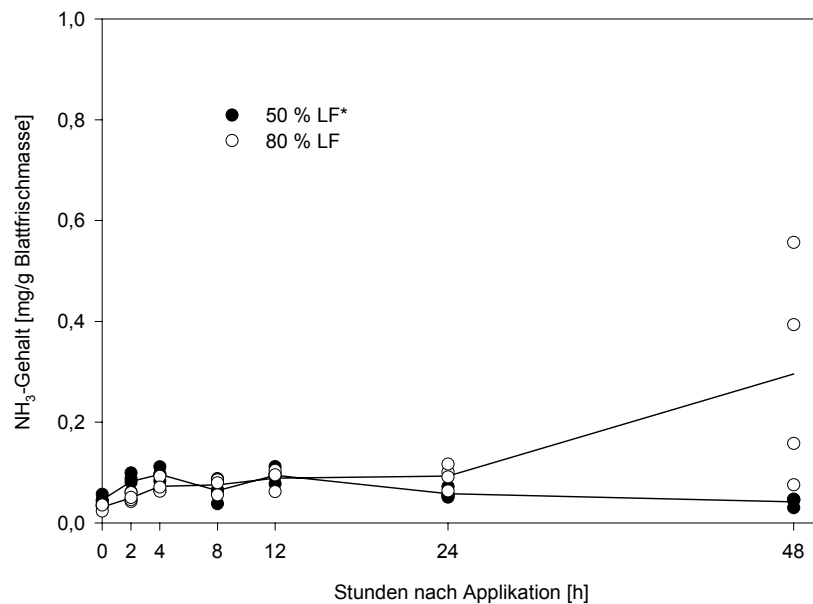


Abb. 27: Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die NH_3 -Akkumulation zum 2-Blattstadium glufosinatreisistenter Zuckerrüben nach Behandlung mit 600 g/ha Glufosinat; *Luftfeuchtigkeit

Die Luftfeuchtigkeit hatte also einen eindeutigen Einfluss auf die NH_3 -Akkumulation, wobei innerhalb der untersuchten Entwicklungsstadien und Blätter eine positive Korrelation zwischen NH_3 -Konzentration und Luftfeuchte bestand. Das jüngste Blatt zum 6-Blattstadium zeigte die größte Sensibilität, womit neben der Luftfeuchte ebenso eine Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium und vom Alter des Blattes zu vermuten ist. Das älteste Blatt zum 6-Blattstadium und die 2-Blattvariante unterschieden sich hinsichtlich der Sensibilität nicht voneinander und waren im Vergleich zum jungen Blatt der 6-Blattvariante eindeutig unempfindlicher.

Eine Abhängigkeit von der Luftfeuchte zum Zeitpunkt der Applikation zeigte sich ebenso für die rel. Quantenausbeute in der Lichtreaktion der Photosynthese (Abb. 28).

In der Abbildung 28 sind die relativen Quantenausbeuten der jeweils behandelten Varianten im Vergleich zur nicht behandelten Kontrolle dargestellt. Insbesondere zum 6-Blattstadium war eine eindeutige Einflussnahme der Luftfeuchtigkeit auf die Quantenausbeute ersichtlich, wobei hier das Alter des untersuchten Blattes eine untergeordnete Rolle spielte. Ab 12 Stunden nach der Applikation nahm die rel. Quantenausbeute des jüngsten und des ältesten Blattes bei 80 % Luftfeuchte stark ab und erreichte 60 Stunden nach Applikation mit 70 % (junges Blatt) bzw. 74 % (altes Blatt) ein Minimum. Anschließend regenerierten sich die Pflanzen wieder. Während das junge Blatt zum 6-Blattstadium bereits 180 Stunden nach Applikation das Niveau der nicht behandelten Variante erreichte, erholte sich das alte Blatt sehr viel langsamer und hatte erst 276 Stunden nach der Applikation 95 % des Niveaus der nicht behandelten Variante erreicht. Eine vollständige Regeneration trat im Beobachtungszeitraum nicht auf. Auf die Quantenausbeute zum 2-Blattstadium der Zuckerrüben hatte die Luftfeuchtigkeit keinen Einfluss.

Zusammenfassend wurden in den Untersuchungen zur relativen Quantenausbeute die Ergebnisse zur NH_3 -Akkumulation bestätigt. Die Luftfeuchtigkeit hatte auch hier einen eindeutigen Einfluss auf die Quantenausbeute, wobei mit zunehmender Luftfeuchte die Ausbeute abnahm. Übereinstimmend zur NH_3 -Akkumulation zeigte sich auch hier eine Abhängigkeit vom Entwick-

lungsstadium und vom Alter des Blattes. Generell reagierten junge Pflanzen weniger sensibel als ältere Pflanzen, wobei bei älteren Pflanzen besonders die jungen Blätter sehr sensibel waren. Bei einem Vergleich des Einflusses der Luftfeuchtigkeit und des Entwicklungsstadium muss der Luftfeuchtigkeit in seiner Bedeutung eine wichtigere Rolle zugesprochen werden. Abschließend muss festgestellt werden, dass in keiner Variante eine nachhaltige Schädigung zu beobachten war, somit ist mit einer langfristigen Beeinflussung der Quantenausbeute nicht zu rechnen.

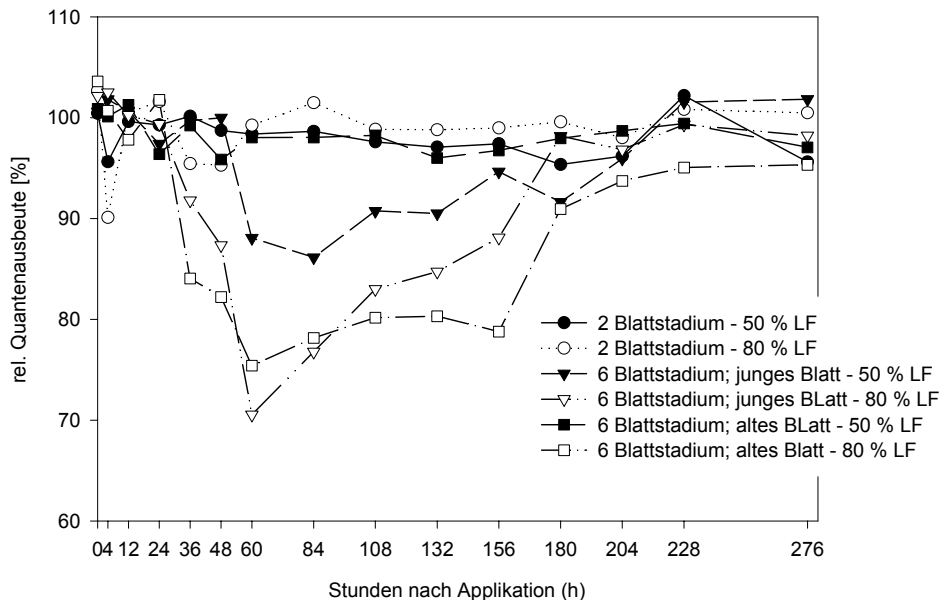


Abb. 28: Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die rel. Quantenausbeute in glufosinatresistenten Zuckerrüben nach Behandlung mit 600 g/ha Glufosinat (Grafen stellen rel. Ausbeute im Vergleich zu jeweils nicht behandelten Varianten dar); $n=8$

3.4.2 Lichtintensität

Die Lichtintensität hatte generell einen schwächeren Einfluss auf die NH_3 -Akkumulation als die Luftfeuchtigkeit (Abb. 29-31). Eine Beeinflussung der NH_3 -Akkumulation zum 2-Blattstadium als auch auf das älteste Blatt der 6-Blattvariante trat durch unterschiedliche Lichtintensitäten nicht auf (Abb. 29 und 31). Die Konzentrationen verliefen jeweils auf gleichbleibend niedrigem Niveau. Zum Ende der Messungen nach 48 Stunden betrug die durchschnittliche NH_3 -Konzentration 0,114 mg/g Blattfrischmasse.

Eine Reaktion zeigte lediglich das jüngste Blatt zum 6-Blattstadium (Abb. 30). Tendenziell begann hier 12 Stunden nach der Applikation in beiden Varianten eine Zunahme der NH_3 -Konzentration, die jedoch bis 24 Stunden nach der Behandlung in der beschatteten Varianten deutlich ausgeprägter war. Zu diesem Zeitpunkt war die NH_3 -Konzentration bei reduzierten Lichtbedingungen mit 0,29 mg/g doppelt so hoch wie bei voller Lichtintensität (0,16 mg/g). 48 Stunden nach der Behandlung hatten die Varianten jedoch wieder ein vergleichbares durchschnittliches Niveau (0,23 mg/g bzw. 0,22 mg/g) erreicht, wobei sich der NH_3 -Gehalt durchschnittlich um den Faktor 4 im Vergleich zum Zeitpunkt der Behandlung erhöht hatte.

Zusammenfassend scheint die Lichtintensität für die NH_3 -Akkumulation nur eine untergeordnete Rolle zu spielen. Dem Entwicklungsstadium und dem Blattalter scheint eine größere Bedeutung zuzukommen.

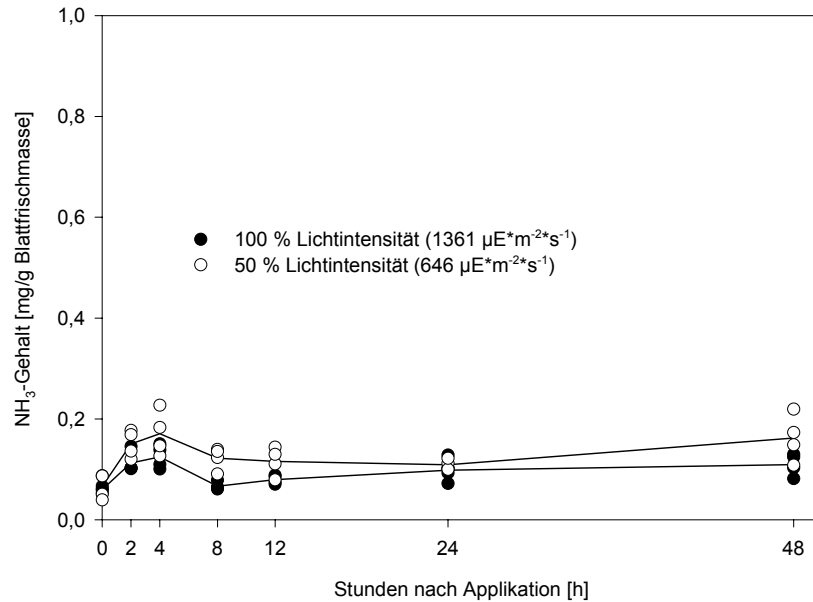


Abb. 29: Einfluss der Lichtintensität auf die NH_3 -Akkumulation in glufosinatresistenten Zuckerrüben zum 2-Blattstadium nach Behandlung mit 600 g/ha Glufosinat

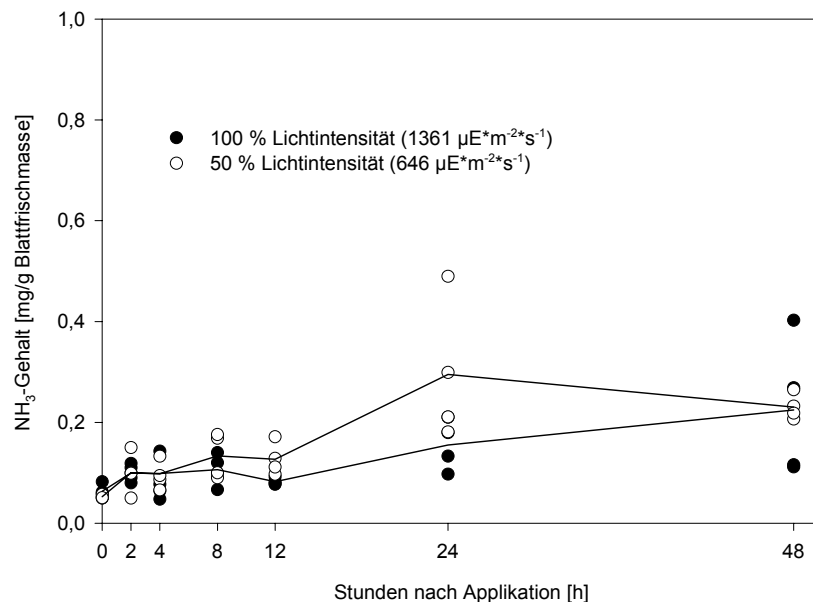


Abb. 30: Einfluss der Lichtintensität auf die NH_3 -Akkumulation in glufosinatresistenten Zuckerrüben des jüngsten Blattes zum 6-Blattstadium nach Behandlung mit 600 g/ha Glufosinat

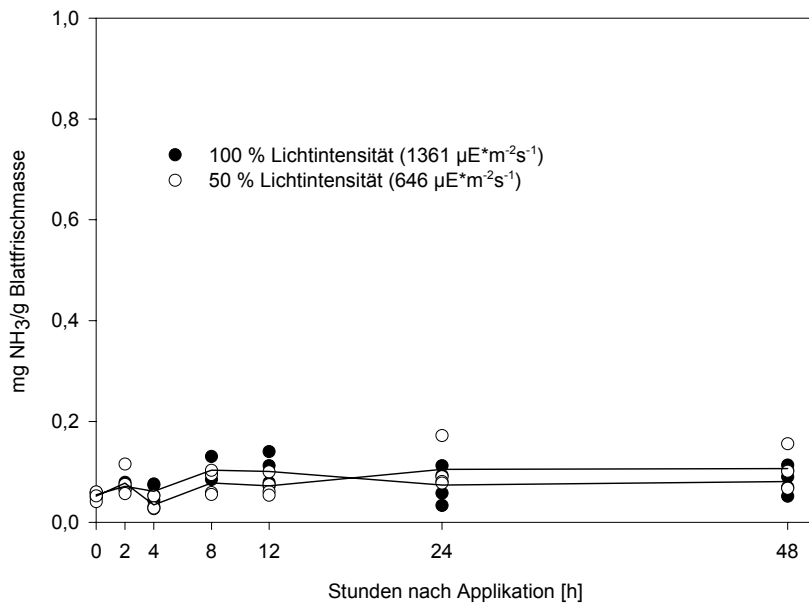


Abb. 31: Einfluss der Lichtintensität auf die NH_3 -Akkumulation in glufosinatresistenten Zuckerrüben des ältesten Blattes zum 6-Blattstadium nach Behandlung mit 600 g/ha Glufosinat

Einen kurzfristigen Einfluss hatte die Lichtintensität auf die relative Quantenausbeute, wobei lediglich in den nicht beschatteten Varianten zum 6-Blattstadium Abnahmen der Ausbeuten auftraten (Abb. 32).

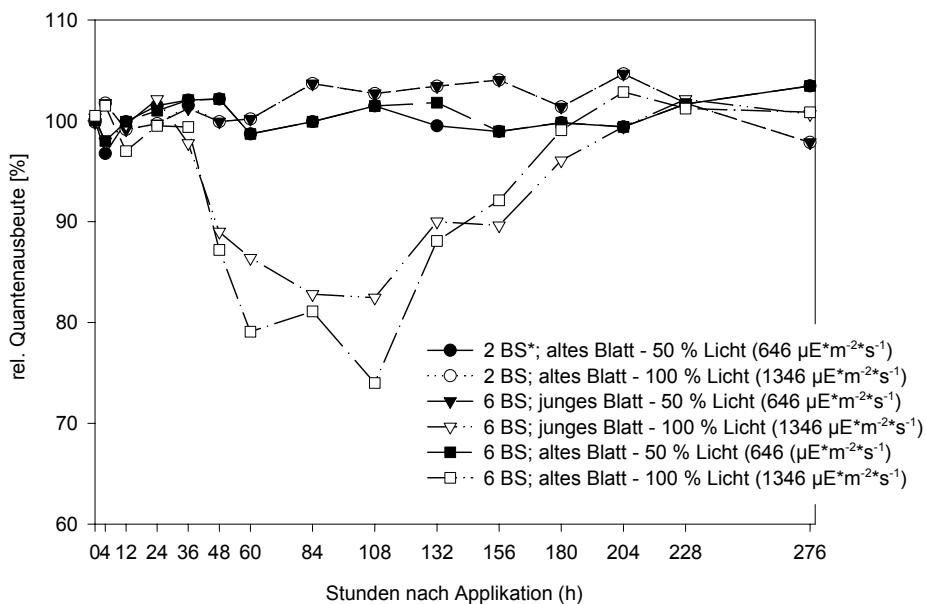


Abb. 32: Einfluss der Lichtintensität auf die rel. Quantenausbeute in glufosinatresistenten Zuckerrüben nach Behandlung mit 600 g/ha Glufosinat (Grafen stellen rel. Ausbeute im Vergleich zu jeweils nicht behandelten Varianten dar; (n=8)

Abbildung 32 zeigte die relativen Ausbeuten der jeweils behandelten Varianten im Vergleich zur nicht behandelten Kontrolle bei reduzierter und voller Lichtintensität. Zum 2-Blattstadium zeigte sich keine veränderte Reaktion bei unterschiedlicher Lichtintensität. Eine Abnahme der relativen Quantenausbeute zum 6-Blattstadium trat bei voller Lichtintensität 36 Stunden nach der Applikation auf. Im Vergleich zur Einflussnahme durch die Luftfeuchtigkeit setzte die Wirkung damit um 24 Stunden später ein. Eine maximale Beeinträchtigung der Ausbeute trat unabhängig vom Blattalter bei 100 % Lichtintensität 108 Stunden nach der Applikation auf, wobei die Abnahmen beim älteren Blatt größer waren als beim jungen Blatt. Unmittelbar danach setzte in beiden Blättern eine Regenerationsphase ein, deren zeitlicher Verlauf keine Unterschiede aufwies. 204 bzw. 228 Stunden nach der Applikation war eine Beeinflussung der relativen Quantenausbeute nicht mehr festzustellen.

Zusammenfassend trat eine Einflussnahme durch variierende Lichtintensität nur zum 6-Blattstadium auf, wobei dem Alter des Blattes keine Bedeutung zukam. Zunehmende Lichtintensität führte zu einer Abnahme der Quantenausbeute.

3.4.3 Zusammenfassung

Die Luftfeuchte zum Applikationszeitpunkt erwies sich als maßgebende Einflussgröße für die NH_3 -Akkumulation im Blattgewebe. Bei allen untersuchten Blattstadien führte eine Erhöhung der Luftfeuchtigkeit von 50 % auf 80 % zu einer Erhöhung der NH_3 -Akkumulation. Zusätzlich spielte das Entwicklungsstadium und primär das Alter des Blattes eine Rolle. Den eindeutig größten Einfluss hatte die Luftfeuchtigkeit auf das junge Blatt zum 6-Blattstadium. Die Luftfeuchtigkeit hatte darüber hinaus maßgebend Einfluss auf die Quantenausbeute und damit auf die photosynthetische Aktivität. Zum 6-Blattstadium der Zuckerrüben nahm die rel. Quantenausbeute, unabhängig vom Alter des Blattes, bei Erhöhung der Luftfeuchte auf 80 % zu. Abweichend vom NH_3 -Gehalt hatte die Luftfeuchtigkeit beim 2-Blattstadium keinen Einfluss auf die relative Quantenausbeute. Eine nachhaltige Schädigung der Quantenausbeute trat in keiner Variante auf, so dass eine vollständige Kompensation nach 204 Stunden in allen Varianten erreicht war.

Die Lichtintensität hatte im Vergleich zur Luftfeuchte einen geringeren Einfluss auf die Sensitivität. Das Alter des Blattes zum 6-Blattstadium hatte hier eine größere Bedeutung als die Lichtintensität. Die jungen Blätter zeigten bei beiden Lichtintensitäten einen Anstieg der NH_3 -Konzentration innerhalb von 48 Stunden nach der Applikation, was für die ältesten Blätter zum 6- wie auch zum 2-Blattstadium unabhängig von der Lichtintensität nicht zutraf.

Hinsichtlich des Einflusses der Lichtintensität auf die relative Quantenausbeute wurde festgestellt, dass unabhängig vom Alter des Blattes zum 6-Blattstadium eine Abnahme der Ausbeute mit zunehmender Lichtintensität auftrat. Eine nachhaltige Schädigung der Ausbeute trat jedoch nicht auf. 180 Stunden nach der Applikation waren die zeitweiligen Schädigungen kompensiert. Zum 2-Blattstadium hingegen trat keine Beeinflussung durch die Lichtintensität auf.

4 Diskussion

4.1 Kritische Periode in Abhängigkeit des Entwicklungsstadiums der Zuckerrübe – Ursachen und Einflussfaktoren

Die am meisten praktizierte Methode zur Quantifizierung von Unkrautkonkurrenz in Zuckerrüben, die Konkurrenzdauer in Tagen nach der Saat oder nach dem Feldaufgang festzulegen, ist nach MÄRLÄNDER 1991 und KROPFF *et al.* 1992 nicht brauchbar. Beide Autoren fordern eine Orientierung an dem Entwicklungsstadium der Zuckerrüben.

Nach MÄRLÄNDER (1991) muss die Unkrautbekämpfung an das Entwicklungsstadium der Zuckerrüben angepasst werden, da neben Produktionsfaktoren auch das Jahr, die Saatzeit und der Standort die Rübenentwicklung beeinflussen (RÖVER 1994, BRÄUTIGAM 1998). Deshalb wurde in den eigenen Versuchen das Entwicklungsstadium der Zuckerrüben als Parameter zur Untersuchung der Kritischen Periode herangezogen.

4.1.1 Methodischer Ansatz und statistische Auswertung

Die Ergebnisse zeigten nur eine sehr eingeschränkte Anwendbarkeit des Ansatzes von NIE-TO *et al.* (1968) (Kap. 1.3) zur Ermittlung der Kritischen Periode in Abhängigkeit des Entwicklungsstadiums der Zuckerrüben. Mit Ausnahme des Versuches in Hohenheim 1998 waren die Entwicklungsstadien bis zu denen Unkrautkonkurrenz toleriert werden konnte (Faktor 1) größer als oder gleich groß wie die Entwicklungsstadien der Rüben, ab denen Unkrautkonkurrenz toleriert werden konnte (Faktor 2). Somit war eine Berechnung der Kritischen Periode für diesen Parameter nur für Hohenheim 1998 möglich. Die Ursachen dafür werden im Folgendem erläutert: Die Auswertung der Ergebnisse beruht auf der varianzanalytischen Verrechnung der Erträge für beide Untersuchungsfaktoren. Damit gibt die Grenzdifferenz innerhalb der einzelnen Faktoren die Trennschärfe der statistischen Analyse vor. Da die Grenzdifferenzen sehr groß waren, konnten selbst größere Ertragsminderungen nicht abgesichert werden. Damit ergaben sich für den Faktor 1 große und für den Faktor 2 kleine Entwicklungsstadien der Rüben, bis bzw. ab, denen keine statistisch nachweisbaren Ertragsminderungen auftraten. Eine weitere Ursache liegt darin, dass beide Einflussfaktoren für die Ermittlung der Kritischen Periode getrennt voneinander ermittelt werden. Versuchsglieder mit einer zeitlich differenzierten Verunkrautung bis bzw. ab definierten Entwicklungsstadien innerhalb einer Variante sieht das Konzept nicht vor. Damit würde vermieden werden, dass das Entwicklungsstadium ab dem Verunkrautung (Faktor 2) toleriert werden kann kleiner ist als das, bis zu dem Verunkrautung toleriert werden kann (Faktor 1). Kritische Perioden würden sich dann immer ableiten lassen. In zukünftigen Untersuchungen sollte dies berücksichtigt werden. Die getrennte Ermittlung beider Faktoren war in den eigenen Untersuchungen jedoch notwendig, da dies eine Voraussetzung für die regressionsanalytische Berechnung der Ertragsverläufe in Abhängigkeit der Verunkrautungsdauer in Tagen nach dem Feldaufgang und der Temperatursumme war. Die regressionsanalytische Berechnung der Ertragsverläufe bietet sowohl den Vorteil für die Parameter „Verunkrautungsdauer in Tagen nach dem Feldaufgang“ als auch für die „Temperatursumme“ eine gemeinsame Beurteilungsgröße für den Beginn und das Ende der Periode festzulegen. Dies geschah durch Interpolation der EV_5 -Werte, die den Zeitpunkt einer 5%igen Ertragsminderung für die Parameter festlegen. Auf Basis der EV_5 -Werte war es möglich eine Kritische Perio-

de zu ermitteln, da die EV_5 -Werte des Faktors 1 stets kleiner waren als die des Faktors 2. So waren hohe Grenzdifferenzen kein limitierender Faktor für die Berechnung mehr. Eine regressionsanalytische Berechnung für den Ertragsverlauf in Abhängigkeit des Entwicklungsstadiums der Rübe ist nicht möglich, da dafür eine kontinuierlich zunehmende Bezugsgröße Voraussetzung ist. Dieser Voraussetzung wird das Entwicklungsstadium nicht gerecht.

Generell bedarf es zur Ermittlung der Kritischen Periode, unabhängig in welcher Kultur, einer hohen Anzahl an Versuchsgliedern. Je enger die zeitliche Staffelung der Varianten ist, desto exakter wird der Ertragsverlauf beschrieben. Deshalb wurden die Entwicklungsstadien eng gestaffelt. Daraus ergaben sich pro Versuch 20 Versuchsglieder, die in vierfacher Wiederholung angelegt wurden. Zusätzlich bedurfte es einer großen Stichprobe geernteter Rüben pro Variante (70-80 Pfl.). Eine hohe Anzahl Rüben ist notwendig, um die Einflüsse genetischer und standortsbedingter Variabilität ausreichend zu reduzieren, um repräsentative Aussagen ableiten zu können (BURBA und SCHULZE 1981). Die Parzellengröße variierte deshalb in Abhängigkeit vom Reihenabstand zwischen 22,5 m² und 25 m². In Hohenheim 2000 musste die Parzellengröße verdoppelt werden (50 m²), da dort zusätzlich der Einfluss des Erntetermins auf die Terminierung der Kritischen Periode untersucht wurde (Kap. 4.1.5.4). Die Kombination aus der hohen Anzahl an Versuchsgliedern und der Größe der Parzellen führten zwangsläufig zu großen Versuchsflächen. Da die Verunkrautung in einem Feld inhomogen ist, kann nicht von identischer Konkurrenzwirkung ausgegangen werden. Hinzu kommt, dass die Anlage von Spaltenanlagen zu langgestreckten Versuchen führte, was zusätzlich zu einer Erhöhung der Inhomogenität führt (MUNZERT 1992). Die Inhomogenität bezieht sich jedoch nicht ausschließlich auf die Verunkrautung. Ebenso nehmen mit zunehmender Versuchsfläche Bodenunterschiede und andere Einflussgrößen zu. Als Konsequenz ergab sich bei einigen Versuchen ein hoher Versuchsfehler, so dass ausgehend von einer 5 %igen Irrtumswahrscheinlichkeit nur noch wenige Aussagen statistisch abzusichern waren. Dies führte insbesondere in Poltava und am Standort Vinnitsa in beiden Versuchsjahren zu hohen Grenzdifferenzen. Die Auswahl des Versuchsfeldes, die Größe des Versuches, d.h. auch die Anzahl der Varianten, sind für die Aussagekraft eines Versuches entscheidende Größen und sollten bei nachfolgenden Untersuchungen verstärkt beachtet werden. Dies gilt insbesondere für Zuckerrübenversuche, da deren Auswertung generell einer hohen Varianz unterliegen (BRÄUTIGAM 1998). Kritisch ist zu hinterfragen, ob eine Erhöhung der Wiederholungen zu einer statistisch fundierteren Aussage geführt hätte, weil die damit verbundene Vergrößerung der Versuchsfläche im Widerspruch zu einer Reduzierung der Inhomogenität steht. In der Ukraine trugen zusätzlich ungleichmäßige Rübenbestände zu einer hohen Grenzdifferenz bei. Ursache war ein ungleichmäßiger Aufgang der Rüben aufgrund von Trockenheit.

Um den Versuchsfehler möglichst klein zu halten wurde nur der Kernbereich der Parzellen geerntet. Die Beschränkung auf den Kernbereich ist bei Rübenversuchen von großer Bedeutung, da der Einbezug von Randleihen den wahren Ertrag bis zu 50 % verfälschen können (WEATHERSPOON und SCHWEIZER 1971, SCHÄUFELE 1986, BRÄUTIGAM 1998).

4.1.2 Unkrautarten und -dichten

In den eigenen Versuchen wurde zwar nur die Wirkung der gesamten Verunkrautung erfasst, trotzdem ergaben sich Anhaltspunkte für die unterschiedliche Konkurrenzkraft der dominierenden Arten. So kam es in Vinnitsa 2000 und Hohenheim 1998 bei gleichen Unkrautdichten und

ständiger Verunkrautung zu deutlichen unterschiedlichen Ertragsverlusten. Während in Vinnitsa der Ertrag um 65,3 % reduziert wurde, kam es in Hohenheim nahezu zu einem völligen Ertragsausfall (94,8 %). In Vinnitsa dominierten *Echinochloa crus-galli* und *Digitaria sanguinalis*, in Hohenheim *Sinapis alba* (eingesät) und *Matricaria chamomilla*. Damit wurden die Ergebnisse von ABDELOUHAB *et al.* (1991 und 1995) und PAOLINI *et al.* (1999) bestätigt, die auch eine höhere Konkurrenzwirkung von *Sinapis alba* im Vergleich zu Hirse-Arten in Zuckerrüben fanden. Die geringe Konkurrenzwirkung der Hirse-Arten wird durch einen Vergleich der Ergebnisse in Poltava 1999 und Petrivzi 2000 unterstrichen. In Poltava führte eine Unkrautdichte von 377,2 Pfl./m² zu einem etwa gleich großen Ertragsverlust (80,3 %) wie 156,4 Pfl./m² in Petrivzi (85,0 %). In Petrivzi war die vorherrschende Art *Solanum nigrum*. Die Befunde stimmen mit den Ergebnissen von NEURURER (1975) weitgehend überein. Auch er fand in Zuckerrüben eine weit höhere Konkurrenzkraft von *Solanum nigrum* im Vergleich zu *Echinochloa crus-galli*. Die aufgeführten Beispiele bei ständiger Verunkrautung zeigen, dass verschiedene Unkrautarten unterschiedliche Konkurrenzwirkungen besitzen.

Neben dem Einfluss der Unkrautarten und -dichten auf die Ertragsverluste bei ständiger Verunkrautung wurde ihr Einfluss zusätzlich bei der tolerierbaren Verunkrautungsdauer deutlich (Faktor 1). Generell war zu erkennen, dass die Erträge mit zunehmender Dauer der Verunkrautung die Erträge nach Überschreiten des Beginns der Kritischen Periode abnahmen. Am Standort Hohenheim war die Unkrautwirkung im Jahr 1998 (Modellunkraut *Sinapis alba*) stets größer als in den Jahren 1999 und 2000. Vergleicht man die drei Versuchsjahre, so begann die Kritische Periode 1998 zum 4-Blattstadium, 1999 zum 10-Blattstadium und 2000 zum 8-Blattstadium. In Poltava 1999 lag der Beginn der Kritischen Periode trotz einer hohen Verseuchung mit hauptsächlich *Echinochloa crus-galli* und *Digitaria sanguinalis* erst beim 10-Blattstadium der Zuckerrüben, während er am vergleichbaren Standort Petrivzi mit einer deutlich geringeren Gesamtverunkrautung, aber mit einem hohen Anteil der konkurrenzstarken Art *Solanum nigrum* bereits beim 4-Blattstadium lag. Die Ergebnisse in Vinnitsa untermauern die Abhängigkeit des Beginns der Kritischen Periode von den Unkrautarten. 1999 begann die Kritische Periode bei einer starken Verseuchung mit *Amaranthus retroflexus* und *Chenopodium album* zum 8-Blattstadium, während sie in 2000 mit den dominierenden Arten *Echinochloa crus-galli* und *Digitaria sanguinalis* aber einer insgesamt geringeren Verunkrautung erst ab dem 12-Blattstadium begann.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Parameter Entwicklungsstadium der Zuckerrüben für die Festlegung des Beginns der Kritischen Periode stark abhängig ist von den jeweils vorkommenden Unkrautarten und ihrer Dichte.

Zusammenfassend trat ein Einfluss auf die Erträge, gemittelt über alle Versuche, erst bei einer über das 4-Blattstadium der Zuckerrüben andauernden Verunkrautung auf. Bis zu diesem Entwicklungsstadium trat, unabhängig von Unkrautarten und -dichten, in keinem Versuch eine Ertragsminderung auf.

4.1.3 Witterung

Standort und pflanzenbauliche Maßnahmen können zusammen mit dem Einfluss der Witterung als Umwelt definiert werden. Der Einfluss des Jahres wird dabei durch die Witterung charakterisiert (WOLF 1995). Standort, Bodennutzungssystem, Fruchtfolge, Kulturpflanzenart, pflanzenbauliche Maßnahmen und das Klima beeinflussen das Unkrautspektrum und die Un-

krautdichten, so dass für die Intensität der Interaktionen zwischen Unkraut und Kultur eine Vielzahl von Faktoren verantwortlich sind. Insbesondere Zuckerrüben reagieren sensibel auf Jahreseinflüsse (MILFORD 1985 b, MÄRLÄNDER 1991, WOLF 1995, WELLMANN 1999). Aufgrund des maßgeblichen Einflusses der Witterung auf die Intensität der Interaktion zwischen Unkraut und Zuckerrübe soll im Folgenden der Einfluss auf die Terminierung der Kritischen Periode in Abhängigkeit des Entwicklungsstadiums der Zuckerrübe erörtert werden.

4.1.3.1 Niederschlag

Der Konkurrenzfaktor Wasser wird von verschiedenen Autoren als zu vernachlässigende Größe bei der Interaktion zwischen Zuckerrüben und Unkraut genannt, da Unkraut und Zuckerrübe zu unterschiedlichen Zeitpunkten ihren maximalen Wasserbedarf haben (KROPFF *et al.* 1992, BRÄUTIGAM 1998, MALKOMES 1996). Zum Zeitpunkt des größten Bedarfs der Zuckerrüben, zwischen Reihenschluss und Ernte, haben Unkräuter ihr vegetatives Wachstum bereits weitestgehend abgeschlossen. Da zum Zeitpunkt ihres maximalen Wasserbedarfes sich das Unkraut bereits in der generativen Wachstumsphase befindet und es durch Laubfall der Unkräuter zu einer Bedeckung des Bodens mit Blättern kommt, wird Wasser durch den Verdunstungsschutz sogar gespart und Nährstoffe dem Boden durch den Blattfall zurückgeführt (MALKOMES 1996).

Dennoch ist in den Versuchen in der Ukraine aufgrund anhaltender Trockenheit nach der Saat von einer Beeinträchtigung der Interaktion auszugehen. Insbesondere in Poltava 1999 und Vinnitsa 2000 resultierten aus der Trockenheit geringe Bestandesdichten (51.600 Pfl./ha bzw. 66.500 Pfl./ha). Zusätzlich wird durch Trockenheit die generell langsame Jugendentwicklung der Rüben verlangsamt (Winner 1981). Es kommt zu einem Entwicklungsvorsprung der Unkräuter, weshalb Konkurrenzeffekte früher einsetzen und die Kritische Periode früher beginnt.

ABDOLLAHIAN-NOGHABI und FROUD-WILLIAMS (2000) bestätigten den Einfluss von Trockenheit auf die Konkurrenz zu frühen Entwicklungsstadien. 5 Wochen anhaltender simulierter Trockenstress zu frühen Entwicklungsstadien führte in ihrer Untersuchung zu einem über 40 %igen Ertragsverlust, während er zu späteren Zeitpunkten lediglich zwischen 1 und 20 % variierte. Neben dem Ertrag wurden in den Untersuchungen durch die Frühjahrstrockenheit zusätzlich die Standardmelasseverluste um relativ 14 % bis 23 % erhöht, was trotz parallel gesteigerten Zuckergehaltes (relativ bis zu 5%) zu einer Abnahme des Bereinigten Zuckerertrages (20 %) führte. Dies konnte in den eigenen Untersuchungen nicht bestätigt werden, da an den Standorten der Ukraine eine Qualitätsanalyse nicht durchgeführt wurde.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass bei Frühjahrstrockenheit eine frühe Konkurrenz durch Unkräuter einsetzt und die Kritische Periode früher beginnt. Von einer Beeinträchtigung des Endes der Kritischen Periode (Faktor 2) durch die Niederschlagsmenge ist nicht auszugehen, da zum einen bei allen Versuchen kein Trockenstress mehr auftrat und zum anderen der schon erwähnte zeitliche Unterschied bzgl. der notwendigen optimalen Wasserversorgung zwischen Unkraut und Zuckerrübe zutrifft.

Die Konkurrenzvorteile der Unkräuter bei Trockenheit unterscheiden sich zusätzlich zwischen verschiedenen Arten. Zwar werden viele Unkrautarten im Vergleich zu Kulturpflanzen als „Wasserverschwender“ bezeichnet, da ihre Stomata unsensibel auf Wassermangel reagieren und sie zum Schutz vor Verdunstung nicht frühzeitig geschlossen werden (PATTERSON 1995). Für C4-Pflanzen trifft dies in der Regel hingegen nicht zu, weshalb diese grundsätzlich besser an Trockenheit angepasst sind. Zusätzlich verfügen sie über ein ausgeprägteres Wurzelwachs-

tum und somit über ein größeres Wasseranreicherungsvermögen, was ihre Konkurrenzwirkung zusätzlich erhöht (OZTURK *et al.* 1981, PATTERSON & FLINT 1983, ABDOLLAHIAN-NOGHABI und FROUD-WILLIAMS 1998 a). Aufgrund des kontinentalen Klimaeinflusses gehören trockenolerante und wärmeliebende Unkrautarten zur typischen Verunkrautung der Ukraine. Dies bestätigen die Unkrautarten an allen Standorten der Ukraine, in denen C4-Pflanzen immer zu den häufigsten Arten gehörten. Dies waren neben den Hirse-Arten *Echinochloa crus-galli* und *Digitaria sanguinalis* zusätzlich *Amaranthus retroflexus*, *A. hybridus* und *Solanum nigrum*. Alle Arten gehören zu den wirtschaftlich bedeutendsten in der Ukraine (IVASHCHENKO 1998 und 2000). Die angepassten Unkrautarten führen unter den klimatischen Bedingungen der Ukraine zu einem zusätzlichen Konkurrenzvorteil und somit zu einem früheren Beginn der Kritischen Periode, als dies bei gleicher Verunkrautung bei ausreichenden Niederschlagsverhältnissen der Fall wäre.

4.1.3.2 Temperatur

Die Temperatur hat einen entscheidenden Einfluss auf das Wachstum und somit auf die Konkurrenzkraft der Rübe (WINNER 1981, HEYLAND 1996). Unmittelbar nach der Keimung besteht ein linearer Zusammenhang zwischen Blattbildungsrate und der Lufttemperatur (MILFORD und RIDLEY 1980). Bei hohen Temperaturen wird die maximale Blattfläche schneller erreicht als bei geringen Temperaturen. Unterschiede zwischen verschiedenen Zuckerrübensorten bestehen dabei nicht (MILFORD 1985 b).

Hohe Temperaturen zu frühen Entwicklungsstadien erhöhen somit die Konkurrenzkraft der Rübe während der besonders konkurrenzempfindlichen Jugendentwicklung. Unkräuter können somit länger toleriert werden und die Kritische Periode beginnt später. Aufgrund der kontinentalen Witterung hätte demnach die Periode in der Ukraine später beginnen müssen als am Standort Hohenheim, was jedoch ausschließlich für Vinnitsa 2000 (Beginn zum 12-Blattstadium der Rübe) zutraf. Die hohen Temperaturen führten in der Ukraine nicht zu einem beschleunigten Wachstum, weil Trockenheit als wachstumsbegrenzender Faktor auftrat. Hier wird die bereits geforderte Maßnahme nach einer Bewässerung der Rüben untermauert, da aufgrund der hohen Temperatur die Voraussetzungen für eine schnelle Jugendentwicklung gegeben sind. Unkräuter könnten somit länger im Bestand toleriert werden und der ökologische Nutzen der Verunkrautung ausgeschöpft werden. In der Ukraine wurden früher, besonders im Osten und Südosten, die Rüben bewässert (IVASHCHENKO 1990).

Neben dem Einfluss der Temperatur während der frühen Jugendentwicklung stellten MILFORD und THORNE (1973) ebenso einen Einfluss der Temperatur auf das Zuckerrübenwachstum zum Ende der Vegetationsperiode fest. Niedrige Tages- und Nachttemperaturen führten zu kleineren Blättern, geringeren Rübengewichten und geringeren Zuckergehalten. Neben einer möglichen Beeinflussung auf den Beginn der Kritischen Periode ist somit zusätzlich von einer Beeinflussung auf das Ende der Periode auszugehen. Bei einer verstärkten Blattflächenausbildung wird zu früheren Zeitpunkten ein hohes Unkrautunterdrückungsvermögen durch Beschattung erreicht, weshalb Unkrautkonkurrenz ab einem früheren Zeitpunkt toleriert werden kann. Im Umkehrschluss führen geringe Temperaturen zum Ende der Vegetationsperiode zu einer verminderten Blattfläche, womit die unkrautunterdrückende Wirkung der Zuckerrüben verringert wird und Unkraut erst ab höheren Entwicklungsstadien der Zuckerrüben toleriert werden kann. Die Kritische Periode endet demnach später. Als Schlussfolgerung müssten die Temperaturverhältnisse in der Ukraine die Periode im Vergleich zum Standort Hohenheim früher enden

lassen. Diese Tendenz ist in den Ergebnissen erkennbar, da, mit Ausnahme von Hohenheim 2000, in allen Versuchen Unkraut zu früheren Entwicklungsstadien toleriert werden konnte.

Die Temperatur beeinflusst jedoch nicht nur das Wachstum der Rüben, sondern ebenso den Auflaufzeitpunkt und das Wachstum der Unkräuter. Gehören wärmeliebende, spätkeimende Unkrautarten mit einer Keimtemperatur von über 4 °C (Mindesttemperatur für die Zuckerrübenkeimung) zur Verunkrautung, ist von einer späten Konkurrenzwirkung durch die Arten auszugehen, da diese später als die Rüben keimen. Die Zuckerrübe erhält so einen Entwicklungsvorsprung, der zu einem späteren Beginn der Kritischen Periode führt. Haben die Arten die gleichen Mindestansprüche an die Keimtemperatur wie die Rüben, setzt wegen des zeitgleichen Auflaufens der Unkräuter und der Rüben die Konkurrenz früher ein. Gehören wärmeliebende Unkrautarten zu den häufigsten Arten, kann über den Saatzeitpunkt der Rüben ein Einfluss auf die tolerierbare Verunkrautungsdauer genommen werden. Eine frühe Saat führt zu einem verzögerten Auflaufen der Unkräuter mit hohem Temperaturoptimum im Vergleich zu den Zuckerrüben. Die Zuckerrüben erhalten so einen Entwicklungsvorsprung, der zu einem späteren Beginn der Kritischen Periode führt. Eine Beeinflussung scheint hierbei insbesondere für die Standorte der Ukraine möglich, da dort primär wärmeliebende Unkrautarten wie *Amaranthus retroflexus*, *Chenopodium album*, *Digitaria sanguinalis*, *Echinochloa crus-galli* und *Solanum nigrum* auftraten. Deren minimale Keimtemperaturen liegen mit 10 °C, 5 °C, 15-20 °C, 10-15 °C und 8 °C eindeutig über der der Zuckerrübe (LAUER 1953, HANF 1990). Die optimalen Temperaturen für die genannten Arten sind mit Werten zwischen 20 °C und 40 °C noch sehr viel höher. Von einer Beeinflussung durch den Saatzeitpunkt auf die Kritische Periode am Standort Hohenheim kann nicht ausgegangen werden, da sowohl die Verunkrautung als auch die Zuckerrüben nahezu übereinstimmende minimale Keimtemperaturanforderungen haben, die für die aufgetretenen Unkräuter zwischen 3 °C bis 5 °C liegen (LAUER 1953).

Zusammenfassend führt ein früher Saattermin zu einem Konkurrenzvorteil der Zuckerrüben, der zu einem späteren Beginn der Kritischen Periode führt. Zusätzlich kann Unkraut ab einem früheren Entwicklungsstadium toleriert werden und führt somit zu einem früheren Ende der Periode. Einschränkend muss jedoch bei früherer Saat der Rüben in der Ukraine die erhöhte Gefahr der Schosserbildung aufgrund häufig auftretender Spätfröste berücksichtigt werden.

4.1.4 Pflanzenbauliche Maßnahmen

Im Folgenden soll der Einfluss pflanzenbaulicher Einflussgrößen auf die Kritische Periode diskutiert werden. Diese Maßnahmen können im Vergleich zur Witterung aktiv gesteuert werden. Deshalb wurde geprüft, inwiefern durch sie eine Beeinflussung auf die Länge der Kritischen Periode ausgeübt werden kann. Ziel muss dabei sein, Unkraut möglichst lange in den Beständen lassen zu können (Faktor 1) und es ab kleinen Entwicklungsstadien (Faktor 2) wieder akzeptieren zu können. Nur so kann die notwendig unkrautfreie Zeit verkürzt werden und damit das ökologische Potential der Unkräuter ausgenutzt werden.

4.1.4.1 Düngung

Sowohl der Düngungszeitpunkt als auch die Menge haben einen maßgebenden Einfluss auf die Interaktionen zwischen Unkraut und Zuckerrüben. Insbesondere wegen der langsamen Jugendentwicklung der Zuckerrüben führt eine frühe Düngung häufig zu einer Förderung des Un-

krautwachstums (KOCH und HURLE 1978, WINNER 1981, BRÄUTIGAM und SCHÄUFELE 1994, BRÄUTIGAM 1998) und verschafft ihnen im Vergleich zu den Zuckerrüben einen Konkurrenzvorteil. Somit kommt es bei einer frühen Düngung zu einem vorzeitigen Beginn der Kritische Periode. Dies gilt jedoch nur, wenn Unkraut und Zuckerrüben zum gleichen Zeitpunkt auflaufen. Besteht die Verunkrautung hauptsächlich aus spätkeimenden, wärmeliebenden Arten, kann durch eine frühe Düngung der Rübe ein Wachstums- und damit Konkurrenzvorteil verschaffen werden. Die Kritische Periode beginnt somit später.

Eine Beeinflussung auf den Beginn der Kritischen Periode durch die Düngung kann für die eigenen Versuche jedoch ausgeschlossen werden, da eine erhöhte Düngung in der Ukraine, aufgrund der ausschließlichen Mistdüngung (80 t/ha im Herbst) ausgeschlossen werden kann und in Hohenheim die Düngung nach der N_{-min} Methode reguliert wurde. Dies ist bei Zuckerrüben sehr wichtig, da sie einen sogenannten „Luxuskonsum“ (WINNER 1981) betreibt, d.h. sie kann mehr Nährstoffe aufnehmen als zur Erzielung des höchsten Bereinigten Zuckerertrages notwendig ist. MILFORD und WATSON (1971) stellten eine Abnahme des Bereinigten Zuckerertrages bei erhöhter Stickstoffdüngung fest, weil der Anteil des Melassebildners α -Amino-N in den Rüben zunahm. Aus diesem Grund ist es ausgesprochen wichtig, eine negative Beeinflussung durch überhöhte Düngung auf die technische Qualität zu verhindern.

4.1.4.2 Bestandesdichte

Neben einer optimalen Standraumnutzung zur Erzielung eines höchstmöglichen Ertrages hat die Bestandesdichte einen erheblichen Einfluss auf die Intensität der Interaktionen zwischen Unkraut und Zuckerrübe. (WINNER und MERKES 1975, BÜCHSE 1999, STEBBING *et al.* 2000). Hohe Bestandesdichten führen zu einem hohen Unkrautunterdrückungsvermögen, so dass mit abnehmender Rübendichte die Konkurrenzkraft nachlässt (MÄRLÄNDER und BRÄUTIGAM 1994). Hinzu kommt, dass Rüben während der vegetativen Wachstumsphase nicht die Fähigkeit zur Nebentriebbildung oder Verzweigung besitzen und Bestandeslücken nur begrenzt durch verstärktes Blattwachstum kompensieren können. Aufgrund der nachlassenden Konkurrenzkraft mit abnehmender Dichte beginnt die Kritische Periode deshalb zu einem früheren Zeitpunkt und endet zu einem späteren.

In den eigenen Untersuchungen entsprachen am Standort Hohenheim die Bestandesdichten mit 85.000 bis 86.000 Pfl./ha den optimalen Dichten zur Sicherung eines höchstmöglichen Zuckerertrages. An diesem Standort wurde die Aussaatstärke mit 175.000 Pillen/ha bewusst hoch angesetzt, um über eine Vereinzlung zum 2-Blattstadium eine exakte Regulierung der Dichten durchführen zu können. Diese Regulierung konnte in allen Versuchen in der Ukraine nicht erfolgen, da aus technischen Gründen eine Aussaat ausschließlich auf Endablage möglich war. Aufgrund der geringen Bestandesdichten in der Ukraine ist von einer erhöhten Konkurrenzkraft der Unkräuter auszugehen, was deshalb im Vergleich zu einer optimalen Bestandesdichte zu einem verfrühten Beginn und verspätetem Ende der Kritischen Periode führte. Zusätzlich spielt die Habitusentwicklung einzelner Unkräuter bei geringer Rübendichte eine bedeutende Rolle. Die optimalen Entwicklungsmöglichkeiten bei geringen Beständen fördert die Ausbildung der Unkrautbiomasse der Einzelpflanzen und damit deren Konkurrenzwirkungen. Lückige Bestände fördern insbesondere Unkrautarten, die in ihrem Entwicklungszyklus weitestgehend an die Entwicklung der Zuckerrüben angepasst sind. Zwischen Reihenschluss und Ernte nutzen diese Arten die Fehlstellen zur optimalen Entwicklung, wobei es sich primär um spätkeimende, wärmeliebende Unkrautarten handelt. Dies sind nach MÄRLÄNDER und BRÄUTIGAM (1994) in

Deutschland primär *Chenopodium album* und *Polygonum*-Arten, während in der Ukraine neben den genannten Arten zusätzlich *Amaranthus* und Hirse-Arten dazu zählen (IVASHCHENKO 1990). Somit wäre bei höheren Bestandesdichten in der Ukraine von einem längeren Verbleib der Unkräuter im Bestand auszugehen, bevor irreversible Schäden durch die Zuckerrüben auftreten. Gleiches trifft für das Entwicklungsstadium zu, ab dem Unkraut toleriert werden kann. Höhere Rübindichten besitzen zu einem früheren Zeitpunkt ein ausgeprägteres Unkrautunterdrückungsvermögen und können demnach Unkrautkonkurrenz ab einem früheren Zeitpunkt tolerieren. Die Dauer der Kritischen Periode wird dadurch verkürzt und Unkraubekämpfungsmaßnahmen über einen kürzeren Zeitraum notwendig.

4.1.4.3 Zuckerrübensorte

Verschiedene Zuckerrübensorten unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Blattstellungen, wobei zwischen planophiler (horizontal) und erektophiler unterschieden wird (LOTZ *et al.* 1991). Das Potential zur unkrautunterdrückenden Wirkung in Abhängigkeit des Wuchshabitusses und damit eine mögliche Beeinflussung auf die Kritische Periode wird in der Literatur nicht einheitlich beschrieben. Während LOTZ *et al.* (1991) und ABDOLLAHIAN-NOGHABI und FROUD WILLIAMS (2000) von einer erhöhten Wirkung planophiler Wuchstypen gegenüber den Unkrautarten *Chenopodium album*, *Polygonum persicaria* und *Stellaria media* sprechen, widerlegten dies PAOLINI *et al.* (1999) für das Auflaufverhalten von *C. album* und erweiterten die Aussage auf *Sinapis arvensis*. Sie schlussfolgerten, dass bei Zuckerrüben die Konkurrenzkraft nicht vom Wuchstyp abhängt. BRÄUTIGAM (1998) quantifizierte den Einfluss der Blattstellung auf die Unkrautunterdrückung und stellte keine gesicherten Unterschiede zwischen verschiedenen Rübensorten fest. Im Vergleich dazu hatten in den Untersuchungen die Bestandesdichten und verschiedene N-Düngung einen sehr viel ausgeprägteren Einfluss auf die Unkrautunterdrückung, die bis zu 20 % voneinander variierten. Da besonders in der Ukraine die Bestandesdichten sehr stark variierten und zusätzlich ausgesprochen gering waren, wird hier der Sortenaspekt nicht aufgegriffen. Eine Interpretation ist aufgrund der geringen Bestandesdichten nicht möglich und Auswirkungen der Sorten auf die Terminierung der Kritischen Periode können nicht abgeleitet werden.

ABDOLLAHIAN-NOGHABI und FROUD WILLIAMS (2000) untersuchten eine weitere Eigenschaft verschiedener Sorten, die einen Einfluss auf ihr Konkurrenzverhalten hat: die Trockentoleranz. Grund der Untersuchungen in England war die Tatsache, dass in den Jahren 1980-1995 durchschnittlich 10 % der Ertragsverluste durch Trockenstress verursacht wurden. Die Autoren untersuchten das Kompensationsvermögen nach kurzzeitigem Trockenstress zweier europäischer Sorten und einer iranischen Sorte. Das größte Kompensationsvermögen zeigte dabei die iranische Sorte, die jedoch im absoluten Ertragspotential eindeutig unter den europäischen Sorten lag. Zusätzlich quantifizierten sie die Konkurrenzwirkung der iranischen Sorte unter Trockenstress gegenüber *Amaranthus retroflexus* und stellten für die Rüben einen um den Faktor 1,7 erhöhten Konkurrenzindex gegenüber dem Unkraut fest. Damit scheint insbesondere in der Ukraine unter den kontinentalen Witterungsbedingungen ein Beitrag zur Erhöhung der Konkurrenzkraft der Zuckerrüben geleistet werden zu können und sollte Gegenstand zukünftiger Untersuchungen sein.

Durch eine Steigerung der Konkurrenzkraft von Zuckerrübensorten durch die Erhöhung der Trockentoleranz und einer Steigerung des Unkrautunterdrückungsvermögens mit Hilfe planophiler Blattstellung kann nach LOTZ *et al.* (1991) zukünftig ein Beitrag zur Verringerung des Herbizidinputs geleistet werden. Besonders bei der Anwendung reduzierter Aufwandmengen

stellen die Autoren die Einsparung einer Nachauflaufbehandlung zu späten Entwicklungsstadien der Zuckerrüben in Aussicht.

4.1.4.4 Erntetermin

Zur Untersuchung des Einflusses des Erntetermins auf den Beginn und das Ende der Kritischen Periode wurden in Hohenheim 2000 zusätzlich zum standortsüblichen Termin zwei vorgezogene Ertragsbestimmungen durchgeführt. Diese erfolgten 3 bzw. 6 Wochen vor der regulären Ernte. Die Ergebnisse im Anhang 32 bis 34 aufgeführt.

Auf Basis des einjährigen Versuches kann von einer Beeinflussung auf die Kritische Periode durch den Erntetermin nicht ausgegangen werden. Lediglich die Erträge der ständig unkrautfreien Varianten unterschieden sich signifikant, wobei mit zunehmend späterem Erntetermin der Ertrag anstieg. Die Kritische Periode begann jedoch unabhängig vom Erntetermin immer zum 8-Blattstadium. Dieses Ergebnis war so nicht zu erwarten, da bei späterem Erntetermin mit einem späteren Beginn der Kritischen Periode gerechnet werden musste. Diese Vermutung begründet sich in der Annahme, dass mit späterer Ernte die kompensatorische Wachstumsphase der Rüben länger andauert.

Ebenso unerwartet zeigte sich keine Abhängigkeit des Entwicklungsstadiums vom Erntetermin, ab dem Unkrautkonkurrenz toleriert werden konnte (Faktor 2). Unabhängig vom Erntetermin konnte Unkraut ab dem 8-Blattstadium toleriert werden. In diesem Fall wurde mit einem früheren Ende der Kritischen Periode mit zunehmend späterer Ernte gerechnet, da nach beginnender Seneszenz der Unkräuter eine längere Kompensationsphase für die Zuckerrüben mit späterem Erntezeitpunkt bestand.

Bei der Deutung der Ergebnisse muss jedoch berücksichtigt werden, dass dieser Versuch lediglich einjährig durchgeführt wurde. Nachfolgende Untersuchungen sollten dieser Fragestellung erneut nachgehen, um unter Umständen zukünftig ein zusätzliches Werkzeug zur Steuerung der Kritischen Periode etablieren zu können. Vergleichende Untersuchungen liegen bislang noch nicht vor.

4.1.4.5 Bodenbearbeitung

Den größten Einfluss auf die Wasserverfügbarkeit im Boden hat die Grundbodenbearbeitung, wobei nicht-wendende Bearbeitung, unabhängig ob es sich um die Alternativen Mulchsaat, Direktsaat oder oberflächigen Grubbereinsatz handelt, generell zu den wasserkonservierenden Systemen gezählt wird (DEBRUCK 1998). Die erhöhte Wasserverfügbarkeit bei konservierender Bodenbearbeitung tritt bei Zuckerrüben insbesondere in der Jugendentwicklung der Zuckerrüben auf (DEBRUCK 1998, BISCHOFF und HABERLAND 1999), also zu einem Zeitpunkt, in der unter kontinentalen Witterungsbedingungen eine nachhaltige Verfügbarkeit für die Bestandesentwicklung entscheidend ist. BISCHOFF und HABERLAND (1999) stellen einen um 60 bis 70 mm erhöhten Bodenwassergehalt in mitteldeutschen Trockengebieten bei Mulch- bzw. Direktsaatverfahren im Vergleich zur wendenden Bearbeitung fest, der bis zum Reihenschluss der Zuckerrüben anhielt. Diese Mengen sind von hohem physiologischem Wert, da mit Bestandeschluss der Wasserverbrauch der Zuckerrübe stark zunimmt. HOFFMANN (1996) und HOFFMANN *et al.* (1996) unterstrichen in ihren Untersuchungen eine erhöhte Wasserverfügbarkeit während der frühen Jugendentwicklung bis zum 8-Blattstadium der Zuckerrüben.

Ziel künftiger Untersuchungen sollte es deshalb sein, den Einfluss einer nicht wendenden Bodenbearbeitung auf die Terminierung der Kritischen Periode zu untersuchen. Eine Steigerung der Konkurrenzkraft durch höhere Wasserverfügbarkeit zu frühen Entwicklungsstadien würde voraussichtlich zu einem späteren Beginn der Kritischen Periode führen. Auswirkungen auf das Ende der Kritischen Periode sind aber ebenso zu erwarten, da generell ein Entwicklungsvorsprung in der Jugendphase zu einer erhöhten Konkurrenzkraft zu späten Entwicklungsphasen führt. Eine Verkürzung der notwendig unkrautfreien Zeit scheint damit möglich zu sein.

Mit einer Beeinträchtigung auf den Ertrag als auch auf die technische Qualität der Zuckerrüben ist aufgrund der nicht-wendenden Bodenbearbeitung nicht zu rechnen (BECKER *et al.* 1996, HOFFMANN 1996, HOFFMANN *et al.* 1996, BISCHOFF und HABERLAND 1999, WEGENER *et al.* 2000). Lediglich bei der Direktsaat, die weder eine Grundbodenbearbeitung noch eine Saatbettvorbereitung beinhaltet, können die Erträge im Vergleich zu einer wendenden Bodenbearbeitung vermindert sein (BECKER *et al.* 1996, WEGENER *et al.* 2000).

4.1.5 Einfluss der Verunkrautung auf die technische Qualität der Rüben

Die technische Qualität der Zuckerrübe wird bestimmt durch den Zuckergehalt und der Zusammensetzung der qualitätsbestimmenden Inhaltsstoffe Kalium, Natrium und α -Amino-N, die als melassebildende Nichtzuckerstoffe die Standardmelasseverluste und daraus resultierend den Bereinigten Zuckergehalt beeinträchtigen. Neben dem Rübenertrag ist demnach der Bereinigte Zuckerertrag die entscheidende Bezugsgröße für die Kritische Periode.

In den Untersuchungen trat eine Abnahme des Zuckergehaltes mit zunehmender Dauer der Verunkrautung innerhalb des Faktors 1 auf (A10). Parallel nahmen die Standardmelasseverluste ebenso ab (A12), so dass die abnehmenden Zuckergehalte kompensiert wurden und keine Beeinflussung auf den Bereinigten Zuckergehalt festgestellt wurde. Lediglich bei einer Verunkrautung über den Reihenschluss hinaus nahm der Bereinigte Zuckergehalt ab, da der geringe Zuckergehalt nicht mehr durch verringerte Standardmelasseverluste aufgefangen werden konnte. Dies hat jedoch für den Beginn der Kritischen Periode keine Bedeutung, da der Beginn immer vor dem Reihenschluss der Rüben liegt. Die Verringerung der Standardmelasseverluste mit zunehmender Verunkrautungsdauer begründen sich in einer Abnahme der α -Amino-Gehalte (A25), die die starken Zunahmen der Inhaltsstoffe Natrium und Kalium kompensierten (A19 und 22). Wie die Ergebnisse zusammenfassend zeigen, bestand für beide Bezugsgrößen, Rohertrag und Bereinigter Zuckerertrag, kein Unterschied für den Beginn der Kritischen Periode. Der Bereinigte Zuckergehalt blieb unabhängig von der Verunkrautungsdauer unbeeinflusst, weshalb ausschließlich der Rübenertrag die Terminierung des Beginns der Periode vorgab.

In den Varianten des Faktors 2 lief in allen Versuchen der Bereinigte Zuckerertrag deckungsgleich zu den Rübenerträgen und die statistische Auswertung erbrachte für beide Parameter das gleiche Entwicklungsstadium ab dem Verunkrautung toleriert werden konnte. Zwar trat auch innerhalb dieses Faktors mit zunehmender Dauer der Verunkrautung, also mit früher einsetzender Verunkrautung, eine geringe Abnahme des Zuckergehaltes auf (A11). Dennoch traten in der statistischen Auswertung keine Unterschiede im Vergleich beider Parameter auf. Ursache dafür ist, dass eine Beeinflussung auf den Standardmelasseverlust (A 14), mit Ausnahme in der ständig verunkrauteten Varianten, nicht auftrat.

Die beobachteten Ergebnisse werden in der Literatur teilweise bestätigt, wobei generell der Einfluss auf die technische Qualität noch nicht endgültig geklärt ist. Die Abnahme der Zuckergehalte mit zunehmender Verunkrautungsdauer wird von SCHÄUFELE und WINNER (1976) und BRÄUTIGAM (1998) bestätigt, während EL TITI (1986 a) und SCHWEIZER (1981) keine Beeinflussung feststellten. Ebenso uneinheitlich wird die Beeinflussung auf die melassebildenden Inhaltsstoffe diskutiert. Während BRÄUTIGAM (1998) eine Beeinflussung lediglich auf den Natriumgehalt feststellte, blieben in den Untersuchungen der anderen genannten Autoren eine Beeinflussung auf alle drei Inhaltsstoffe aus. In den eigenen Untersuchungen trat eine Beeinflussung der Inhaltsstoffe ausschließlich innerhalb des Faktors 1 und zusätzlich bei beiden Faktoren in den ständig verunkrauteten Varianten auf. Die erhöhten Standardmelasseverluste bei ständig anhaltender Verunkrautung beruhen auf erhöhten Natrium-Konzentrationen der entsprechenden Varianten, die bis zu 50 % über dem Gehalt der unkrautfreien Varianten lagen. Eine Ursache des erhöhten Gehaltes kann in einem durch ständige Verunkrautung induzierten Trockenstress der Zuckerrüben beruhen, da Natrium nach MENGEL (1994) als Osmotikum dient und somit die Wasserversorgung der Zuckerrüben bei Trockenstress sicherstellen soll. WINNER (1981) geht ebenfalls von induziertem Wasserstress bei lang anhaltender Verunkrautung aus. Durch Aufnahme des Osmotikums wird das osmotische Potential der Zellen an die trockenen Bedingungen adaptiert (MARSCHNER 1995). Über einen erhöhten Melasseverlust bei induzierter Trockenheit berichten ebenso ABDOLLAHIAN-NOGHABI und FROUD-WILLIAMS (1998 b und 2000), die zwar keine Erhöhung des Natrium-Gehaltes, aber erhöhte Kalium und α -Amino-N-Gehalte feststellten. Ob diesen Inhaltsstoffen ebenso ein osmotisches Potential zugesprochen werden kann, ist nicht bekannt. Es scheint jedoch, unabhängig von der Ursache, allgemein so zu sein, dass Trockenstress zu einer Erhöhung der Standardmelasseverluste führt. Dies ist insbesondere bei Zuckerrübenanbau unter kontinentalem Witterungseinfluss zu beachten und verbietet die Schlussfolgerung, dass an den Standorten der Ukraine ebenso von den Roherträgen auf die Bereinigten Zuckererträge geschlussfolgert werden könnte. Die technische Qualität wurde in den Untersuchungen ausschließlich für den Standort Hohenheim durchgeführt. Zukünftige Untersuchungen sollten somit eine Beurteilung des Einflusses einer variierenden Verunkrautungsdauer auf die technische Qualität der Rüben unter diesen extremen Standortbedingungen beinhalten.

4.2 Kritische Periode in Abhängigkeit des Unkraut- und Zuckerrübendeckungsgrades

In den Untersuchungen zeigte sich weder ein einheitlicher Unkraut- noch ein Zuckerrübendeckungsgrad zu den Entwicklungsstadien der Rüben, zu denen die Kritische Periode begann. Innerhalb des Standortes Hohenheim variierte der Unkrautdeckungsgrad zwischen 66,3 % und 96,7 %, womit die Jahresabhängigkeit innerhalb eines Standortes aufgezeigt ist. Am Standort Poltava 1999 lag der Unkrautdeckungsgrad mit 77,5 % zwischen den Deckungsgraden des Standortes Hohenheim. Zum Beginn der Kritischen Periode befand sich das Unkrautwachstum in allen Versuchen in der exponentiellen Wachstumsphase, was die eingeschränkte Fähigkeit dieses Parameters zur Beschreibung der Periode verdeutlicht: es kommt zu einem exponentiellen Anstieg der Deckungsgrade innerhalb kurzer Zeit. Darum ist eine exakte Angabe nicht möglich und deshalb der Parameter in der Praxis nicht anwendbar (SCHÄUFELE und WELLMANN 1997).

Der Zuckerrübendeckungsgrad war zu Beginn der Kritischen Perioden ebenso nicht einheitlich. Am Standort Hohenheim variierte er zwischen 5,3 und 12,2 %. In Poltawa war er mit 15 %

zu Beginn der Kritischen Periode am höchsten. Für eine standorts- und jahresunabhängige Beschreibung des Beginns der Kritischen Periode ist dieser Parameter übereinstimmend mit den Unkrautdeckungsgraden nicht geeignet. Der Zuckerrübendeckungsgrad entwickelte sich in allen Versuchen in Abhängigkeit vom Unkrautdeckungsgrad. So setzte die Unkrautentwicklung in allen Versuchen eindeutig vor der Zuckerrübenentwicklung ein und steuerte in Abhängigkeit von der Intensität und des Beginns des exponentiellen Wachstums die Rübenentwicklung. Hohe Unkrautdeckungsgrade zu Beginn der Kritischen Periode verursachten geringe Zuckerrübendeckungsgrade (Hohenheim 1999), während bei geringen Unkrautdeckungsgraden hohe Kulturdeckungsgrade zu Beginn der Kritischen Periode auftraten.

Bei der Überprüfung der Parameter muss die Variabilität der personenabhängigen Bonitur grundsätzlich berücksichtigt werden. LOTZ *et al.* (1994) halten visuelle Schätzungen für praktische Schadensprognosen für ungeeignet. Sie stellten lediglich grobe Übereinstimmungen zwischen den von verschiedenen Personen visuell ohne Rahmen geschätzten Unkrautdeckungsgraden und den Werten, die mit dem Zählgitter im Feld bestimmt wurden fest. LUTMAN *et al.* (1996) gehen hingegen davon aus, dass ein geübter Beobachter die Deckungsgrade mit einer akzeptablen Genauigkeit erfassen kann.

4.3 Kritische Periode in Abhängigkeit des relativen Unkrautdeckungsgrades

Der Unkraut- und Zuckerrübendeckungsgrad sind keine geeignete Größe zur standorts- und jahresunabhängigen Beschreibung der Kritischen Periode. Die Ergebnisse des relativen Unkrautdeckungsgrades hingegen variierten zu Beginn der Kritischen Periode lediglich zwischen 83,8 % und 94,8 % und variierten im Vergleich zu oben genannten Parametern nur gering. Der Parameter stellt eine Kenngröße für die Interaktion zwischen dem Unkraut und der Zuckerrübe dar, da er neben der Unkrautdicke ebenso den relativen Auflaufzeitpunkt der Unkräuter und die Entwicklung der Zuckerrüben berücksichtigt (KROPFF 1988, LOTZ *et al.* 1996). Der Ursprung der Kenngröße geht auf ein empirisches Modell zur Unkrautschadensprognose zurück, das auf einer frühen Erfassung der relativen Blattfläche einer Unkrautart beruht (KROPFF und SPITTERS 1991). Basis dieses Modells war neben den relativen Schadkoeffizienten der Unkräuter, ermittelt nach der Funktion von COUSENS (1985), der Blattflächenindex der einzelnen Arten am Gesamtdeckungsgrad, d.h. als Anteil am Blattflächenindex von Unkräutern und Kulturpflanzen.

Der Verlauf des relativen Unkrautdeckungsgrades in Abhängigkeit des Entwicklungsstadiums der Zuckerrübe wurde durch den Unkrautdeckungsgradverlauf entscheidend beeinflusst. So stieg der relative Unkrautdeckungsgrad linear während der exponentiellen Wachstumsphase der Unkräuter an, die zwischen dem 4- und dem 10-Blattstadium der Rübe stattfand (Abb. 33). Der Zuckerrübendeckungsgrad hingegen verlief während dieser Entwicklungsspanne auf nahezu konstantem Niveau (Abb. 14-16, Kap. 3.2.4), so dass für den Anstieg des relativen Unkrautdeckungsgrad ausschließlich der Unkrautdeckungsgrad verantwortlich sein kann.

Ein linearer Anstieg des relativen Unkrautdeckungsgrades wurde ausschließlich für die gezeigte Zeitspanne vom 4- bis zum 10-Blattstadium der Zuckerrüben festgestellt (Abb. 33). Anhaltende Verunkrautung über das 10-Blattstadium hinaus führte zu einer Stagnation und anschließend zu einer sukzessiven Abnahme (nicht dargestellt). Einsetzende Seneszenz und der Übergang von der vegetativen in die generative Wachstumsphase der Unkräuter induzierten eine Zunahme der Zuckerrübendeckungsgrade und somit eine Abnahme der rel. Unkrautdeckungsgrade.

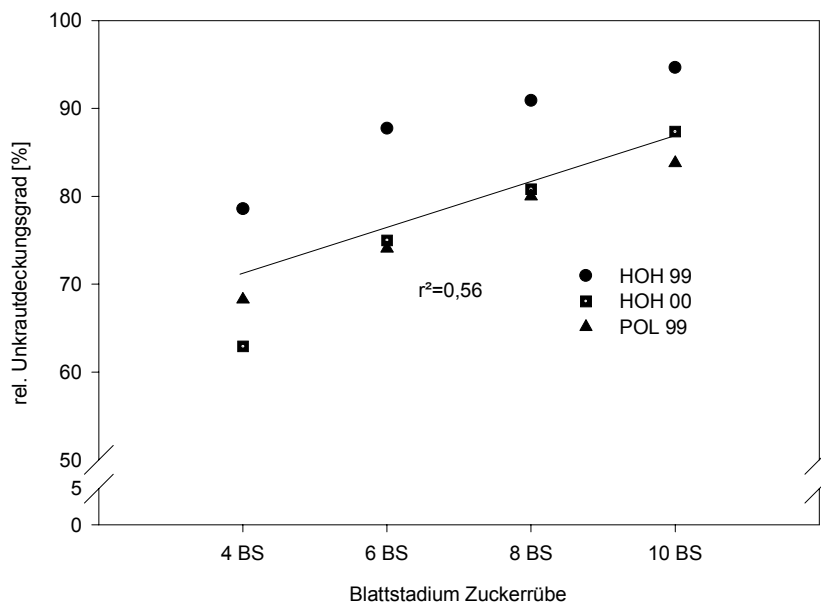


Abb.33: Zusammenhang zwischen Entwicklungsstadium und rel. Unkrautdeckungsgrad

Ausgehend von den Ergebnissen kann zusammenfassend ein relativer Unkrautdeckungsgrad von 83 % toleriert werden, bevor es zu Ertragsminderungen kommt. Nachfolgende Untersuchungen sollten diese Ergebnisse jedoch verifizieren, da diese Empfehlung lediglich auf einer zweijährigen Versuchsreihe in Hohenheim und eines einjährigen Versuches in Poltava beruhen.

4.4 Kritische Periode in Abhängigkeit der Verunkrautungsdauer in Tagen nach dem Feldaufgang

Der Parameter „Verunkrautungsdauer in Tagen nach dem Feldaufgang“ ist für eine standorts- und jahresunabhängige Beschreibung der Kritischen Periode nicht geeignet. Es ist ein Parameter, der keinen Bezug zum Wachstum der Pflanzen hat und somit standortsabhängige Einflussgrößen, wie zum Beispiel die Witterung, bei einer Auswertung unterschiedlicher Untersuchungen nicht kompensiert werden. Dies wird bei der Betrachtung der Ergebnisse in aufeinanderfolgenden Jahren an einem Standort deutlich: Übereinstimmungen in Hohenheim und Vinnitsa traten zwischen den verschiedenen Versuchsjahren nicht auf. In Konkurrenzuntersuchungen ist eine Bezugsgröße notwendig, die ein direktes Maß zur Beschreibung der Entwicklung der Pflanzen darstellt (MÄRLÄNDER 1991, KROPFF *et al.* 1992, RADOSEVICH *et al.* 1997).

Die Ergebnisse verdeutlichen anhand der interpolierten EV_5 -Werte die in der Einleitung (Kap. 1.4.5) beschriebene große Variabilität für diesen Parameter. Jedoch unterscheiden sich die eigenen Untersuchungen in einem wesentlichen Punkt von den in der Einleitung vorgestellten: es wurden Ertragsverläufe regressionsanalytisch berechnet, so dass ein Vergleich der Untersuchungen mit Bezug zu einer einheitlichen Bezugsgröße, der EV_5 -Wert, möglich waren. In den beschriebenen Untersuchungen im Kapitel 1.4.5 wurden keine Ertragsverläufe berechnet, womit die Trennschärfe der Varianten untereinander zum einen durch die zeitliche Staffelung, und

zum anderen durch die Grenzdifferenz der varianzanalytischen Verrechnung vorgegeben wurde.

4.5 Kritische Periode in Abhängigkeit der Temperatursumme

Die errechneten EV_5 -Werte am Standort Hohenheim zeigen, dass keine statistischen Unterschiede zwischen den Jahren 1999 und 2000 für den Faktor 1 bestehen, und somit jahresunabhängig bei einer Temperatursumme von 387 °Cd 5 %ige Ertragsminderungen auftraten. Neben den EV_5 -Werten unterschieden sich die gesamten Ertragsverläufe der beiden Jahre nicht voneinander. Statistisch abgesichert unterschied sich lediglich der Ertragsverlauf für das Jahr 1998 mit 316 °Cd. Eine mögliche Ursache für den früheren Beginn der Kritischen Periode 1998 kann die Etablierung des konkurrenzstarken Modellunkrautes *Sinapis alba* sein.

Die mögliche Kompensation jahresbedingter Einflussgrößen durch den Bezug zu einem Parameter der eine entwicklungsbezogene Größe beschreibt, wird beim Vergleich der EV_5 -Werte zwischen der Temperatursumme und der Konkurrenzdauer in Tagen nach dem Feldaufgang deutlich. So unterschieden sich die Werte der Standorte Hohenheim 1999 und Hohenheim 2000 mit Bezug zur Konkurrenzdauer in Tagen nach dem Feldaufgang für den Faktor 1 um ca. 9. Tage (Tab, 14, Kap. 3.2.2.3), während sie sich bezüglich der Temperatursumme nicht voneinander unterschieden.

Übereinstimmungen im EV_5 -Wert konnten für den Faktor 2 jedoch nicht festgestellt werden. Die Ertragsverläufe der Jahre 1998 und 2000 verliefen jedoch parallel, so dass eine statistische Verrechnung der EV_5 -Werte zwischen diesen beiden Jahren möglich war. Im Jahr 2000 lag der EV_5 -Wert mit 520 °Cd signifikant über dem des Jahres 1998 (459 °Cd). Der EV_5 -Wert des Jahres 1999 (617 °Cd) grenzte sich eindeutig ab.

Abweichend vom Parameter Entwicklungsstadium der Zuckerrüben konnte für den Parameter Temperatursumme eine Kritische Periode errechnet werden, da die Werte des Faktors 1 stets unterhalb des Faktors 2 lagen. Unter Berücksichtigung aller Ergebnisse am Standort Hohenheim ist eine Unkrautfreiheit ab einer Temperatursumme von 316 °Cd (Hohenheim 1998) zu fordern, während ab einer Summe von 617 °Cd (Hohenheim 1999) Unkrautkonkurrenz toleriert werden kann. Die notwendig unkrautfreie Periode variierte zwischen 133 °Cd und 230 °Cd.

Als vorläufiges Fazit kann gezogen werden, dass der Parameter Temperatursumme ein geeignetes Instrument zur jahresunabhängigen Beschreibung des Beginns der Kritischen Periode zu sein scheint. Vergleichende Studien wurden bislang nicht durchgeführt, so dass eine Erhöhung des Standortumfanges in zukünftigen Untersuchungen für eine exakte Beurteilung der Größe wichtig ist.

Die Forderung nach einem Bezug zur Temperatursumme bei der Untersuchung von Konkurrenzbeziehungen wird von vielen Autoren unterstützt (WEAVER *et al.* 1988, KROPFF *et al.* 1992, OTTE 1996). Dabei muss die Temperatursumme mit Bezug zu der Kulturpflanze verwendet werden, da diese eine einheitliche Basistemperatur hat, während die Basistemperaturen der Unkräuter unkrautspezifisch sind. Die Basistemperatur ist eine Größe, unterhalb der physiologische Wachstumsprozesse aussetzen (GALLAGHER 1976). Bei Zuckerrüben muss dabei zwischen den Basistemperaturen 1 °C und 3 °C unterschieden werden: 1 °C stellt die Basistemperatur für die Blattbildungsrate dar, während unterhalb von 3 °C kein Blattflächenwachstum stattfindet (MILFORD *et al.* 1985 a, b, c). Modelluntersuchungen belegten die Abhängigkeit der Rübenentwicklung von der Temperatur.

Bei einer durchschnittlichen Temperatur von 7 °C bildeten die Modellrüben bei MILFORD *et al.* (1985 c) lediglich 12 Zuckerrübenblätter in 60 Tagen. Eine Erhöhung der Temperatur auf 20 °C führte hingegen zu einem Anstieg der Blattbildungsrate auf insgesamt 18 Blätter in 20 Tagen.

4.6 Kritische Periode in Abhängigkeit der Beschattung der Zuckerrüben

Die Höhe der Biomassenbildung der Zuckerrüben wird maßgebend bestimmt von der Menge eingestrahelter und absorbiertes Einstrahlungsenergie und nimmt mit zunehmender Beschattung ab. Zusätzlich steht die technische Qualität der Rüben in einem direkten Zusammenhang zur Aufnahme der photosynthetisch aktiven Strahlung. Jedes aufgenommene Megajoule an Sonnenenergie wird in ca. 1 Gramm Zucker zu Ernte umgewandelt. Je schneller die Blattausbildung der Zuckerrüben vollzogen wird, umso höher ist der Ertrag (SMITH 1982). Entgegengesetzt zum Rübenenertrag reagiert jedoch das Blattwachstum, wobei mit zunehmender Lichtkonkurrenz eine Steigerung des Blattwachstums induziert wird (WATSON *et al.* 1972, RÖVER 1994). Eine Beeinträchtigung der Rüben durch Beschattung tritt ausschließlich bei einer über das Blätterdach der Rüben hinausragenden Verunkrautung ein (BRANDES 2000).

Obwohl die Konkurrenz um den Faktor Licht von vielen Autoren als die wichtigste Einflussgröße für die Intensität der Interaktion zwischen Unkraut und Rübe beschrieben wird, existiert keine einheitliche Beschattung die toleriert werden kann, bevor irreversible Schäden der Rüben auftreten. Dies zeigten die Untersuchungen zur Quantifizierung des Faktors Licht in Abhängigkeit der Verunkrautungsdauer. Während in Hohenheim 2000 eine maximal 27 %ige Beschattung toleriert werden konnte, betrug diese in Poltava lediglich 13 %. Dies veranschaulicht, dass neben dem Faktor Licht den bereits diskutierten Einflussfaktoren eine entscheidende Bedeutung zukommt. Als alleiniger Parameter zur standortsunabhängigen Beschreibung der Kritischen Periode ist er jedoch nicht geeignet.

Der Einfluss der Unkrautarten auf die Beschattungsintensität wird durch einen Vergleich der Verunkrautung beider Versuche deutlich. Trotz der in Poltava 1999 im Vergleich zu Hohenheim 2000 viel höheren Unkrautdichte, war die Beschattung in Poltava 1999 stets geringer als in Hohenheim 2000. Die Ursache liegt darin, dass zweikeimblättrige Unkräuter zu einer höheren Beschattung führen als einkeimblättrige, da sie aufgrund ihrer eher vertikalen Blattstellung mehr Licht abfangen. Da ungefähr 70 % aller Unkrautarten in Zuckerrüben zweikeimblättrig sind, wird die Bedeutung des Faktors Licht für die Interaktion zwischen Unkraut und Zuckerrübe deutlich (ZIMDAHL 1980, SCHWEIZER und MAY 1993). In Poltava traten primär die einkeimblättrigen Hirsearten auf, die demnach trotz höherer Dichte eine geringere Beschattung hervorriefen als die dikotylen Kamillearten in Hohenheim.

Neben eines direkten Einflusses auf die Biomasse und die technische Qualität der Rübe kommt es durch Beschattung zu einer verminderten Photosyntheseleistung, wodurch ein vermindertes Wurzelwachstum der Rübe induziert wird und ein ungünstiges Verhältnis zwischen Wurzel und Spross entsteht (PATTERSON 1979). Zusätzlich verändert Beschattung die Spektralverteilung des Lichts und beeinträchtigt die Lichtqualität und somit physiologische Wachstumsprozesse in den Pflanzen (PATTERSON 1995).

4.7 Beurteilung der Untersuchungsparameter zur standorts- und jahresunabhängigen Beschreibung der Kritischen Periode

Der Parameter Entwicklungsstadium der Zuckerrübe ist für eine standorts- und jahresunabhängige Beschreibung der Kritischen Periode nicht geeignet. Neben den Unkrautarten und -dichten haben zusätzlich die Witterung und pflanzenbauliche Faktoren einen Einfluss auf die Terminierung der Kritischen Periode für diesen Parameter. So variiert die Periode nicht nur zwischen verschiedenen Standorten, sondern ebenso innerhalb eines Standortes zwischen verschiedenen Jahren. Unter Berücksichtigung aller Ergebnisse errechnet sich als Kritische Periode die Zeitspanne vom 4- bis zum 12-Blattstadium. Verunkrautung bis zum 4-Blattstadium und ab dem 12-Blattstadium führte in keinem Versuch zu Ertragsverlusten und zu keiner Beeinträchtigung der technischen Qualität der Rübe und somit zu keiner Abnahme im Bereinigten Zuckerertrag. Diese allgemeingültige Kritische Periode stellt für die Unkrautbekämpfung in der Praxis eine Orientierungsgröße dar, die beim Anbau herbizidresistenter Zuckerrüben in der Zukunft eine wichtige Rolle spielen wird (Kap. 4.8) und zu einer Vereinfachung der Unkrautbekämpfung in Rüben beitragen könnte. Die eigenen Ergebnisse zur Unkrautbekämpfung in glufosinatresistenten Zuckerrüben zeigen, dass ein Verfahren existiert, mit dem zum 4-Blattstadium eine Unkrautbekämpfung möglich ist.

Neben standorts- und jahresabhängigen Entwicklungsstadien zu Beginn und zum Ende der Kritischen Periode zeigten sich ebenso kein einheitlicher Unkraut- als auch Zuckerrüben-deckungsgrad zum Beginn der Kritischen Periode. Der Jahreseinfluss auf beide Parameter wurde bei den Untersuchungen am Standort Hohenheim in den Jahren 1999 und 2000 deutlich, während der Standortseinfluss zusätzlich durch den Versuch in Poltava 1999 veranschaulicht wurde. Die Unterschiede der Deckungsgrade zu Beginn der Kritischen Periode wurden jedoch weitestgehend bei der Betrachtung des relativen Unkrautdeckungsgrades kompensiert. Dieser Parameter stellt ein Maß für die Interaktion zwischen Unkraut und Zuckerrübe dar und bietet eine Größe für eine standorts- und jahresunabhängige Beschreibung des Beginns der Kritischen Periode. Danach muss bei einem relativen Unkrautdeckungsgrad von 87 % mit der Unkrautbekämpfung begonnen werden. Voraussetzung dafür ist, dass ein Verfahren zur Verfügung steht, das eine Bekämpfung zu diesem Zeitpunkt ermöglicht.

Neben dem relativen Unkrautdeckungsgrad stellt die Temperatursumme zusätzlich einen Faktor dar, der für eine jahresunabhängige Beschreibung des Beginns der Kritischen Periode geeignet ist. Über die Standortsunabhängigkeit dieses Faktors ist eine Aussage nicht möglich, da die Ergebnisse ausschließlich für den Standort Hohenheim existieren. Zusammenfassend muss am Standort Hohenheim ab einer Temperatursumme von 316 °Cd mit der Unkrautbekämpfung begonnen werden.

Die Parameter Beschattung der Zuckerrüben als auch die Konkurrenzdauer in „Tagen nach dem Feldaufgang“ stellen keine Bezugsgröße für eine standorts- und jahresunabhängige Beschreibung der Kritischen Periode dar. Die Ergebnisse für den Parameter „Tage nach Feldaufgang“ bestätigen die hohe Variabilität der Untersuchungen aus der Literaturübersicht (Kap. 1.4.5). Standorts- und Jahreseinflüsse bleiben bei dieser Bezugsgröße unberücksichtigt.

4.8 Unkrautbekämpfung in glufosinatreisistenten Zuckerrüben

4.8.1 Ertrag

Beginnende Behandlung bis einschließlich des 4-Blattstadium der Zuckerrüben

Die Ergebnisse in Poltava 1999 und Vinnitsa 2000 bestätigen die Ergebnisse anderer Autoren, dass generell eine nachhaltig wirksame Unkrautbekämpfung in glufosinatreisistenten Zuckerrüben möglich ist (MÄRLÄNDER 1996, READ und BUSH 1998, SCHÄUFELE und HARMS 1998, SCHÄUFELE *et al.* 1998, WEVERS 1998, BÜCKMANN *et al.* 2000, PETERSEN *et al.* 2000). Dabei war es bei allen Untersuchungen unbedeutend, ob zum 2-Blattstadium oder 4-Blattstadium der Zuckerrüben die Glufosinatapplikationen angefangen wurden. Voraussetzung für eine nachhaltige Wirkung war es jedoch, eine zweimalige Behandlung durchzuführen. Dabei wurde in den eigenen Untersuchungen deutlich, dass bei erstmaliger Anwendung zum 2-Blattstadium die zweite Behandlung möglichst lange hinausgezögert wird. Nur so konnten alle Auflaufwellen der Verunkrautung erfasst werden. In Poltava 1999 gelang dies bei der 2. Anwendung zum 6-Blattstadium nicht, so dass Hirse-Arten, wenn auch nicht im ertragsminderndem Umfang, keimten. Eine dritte Behandlung zum 8-Blattstadium hingegen führte zur nachhaltigen Wirkungssicherheit. Eine zweimalige Anwendung ausschließlich zum 2-Blattstadium und 8-Blattstadium wäre in Poltava 1999 sicherlich ausreichend gewesen, und in Vinnitsa 2000 gezeigt wurde. Dazu reichte dort eine zweimalige Aufwandmenge von je 400 g/ha Glufosinat aus. Gleiche Ergebnisse erzielte WEVERS (1998), der sogar bei Vorkommen sehr sensitiver Unkrautarten die Aufwandmenge auf zweimal 300 g/ha reduzieren konnte. In Untersuchungen von PETERSEN *et al.* (2000) hingegen war eine zweimalige Anwendung von 300 g/ha nur vereinzelt ausreichend. Dabei muss berücksichtigt werden, dass in den Untersuchungen gegen Glufosinat unempfindliche Unkrautarten auftraten. Dies waren insbesondere *Viola arvensis*, *Galium aparine*, *Lamium* spp. und *Chenopodium album*, *Polygonum convolvulus* und Ausfallgetreide, gegen die Glufosinat Wirkungsschwächen aufweist (PETERSEN 1999, STECKEL *et al.* 1997 a, STECKEL *et al.* 1997 b, WEVERS 1998). Als Empfehlung wird von den Autoren eine zweimalige Anwendung von 600 g/ha ausgesprochen.

Zusammenfassend ist bei beginnender Behandlung zum 2-Blattstadium eine zweimalige Behandlung stets ausreichend, wobei die jeweilige Aufwandmenge von 600 g/ha sicherlich unabhängig von der Verunkrautung immer ausreicht. Treten ausschließlich gegen Glufosinat sensitive Arten auf, kann die Aufwandmenge auf 400 g/ha reduziert werden. Dies belegen die eigenen Untersuchungen und die Ergebnisse von WEVERS (1998).

Bei beginnender Behandlung zum 4-Blattstadium der Rüben erwies sich in beiden Versuchen eine zweimalige Anwendung von 600 g/ha Glufosinat als ausreichend, was den Empfehlungen von BÜCKMANN *et al.* (2000) und PETERSEN *et al.* (2000) entspricht. Zusätzlich konnten in den eigenen Untersuchungen die Aufwandmengen sogar noch deutlich reduziert werden. So reichten in Poltava 1999 zweimal 400 g/ha und in Vinnitsa 2000 sogar 300 g/ha. In Vinnitsa musste dabei jedoch Schwefelsaures Ammoniak (19 kg/ha) als Additiv zugesetzt werden.

Untersuchungen zur möglichen Aufwandmengenreduzierung bei beginnender Behandlung zum 4-Blattstadium sollten Gegenstand zukünftiger Untersuchungen sein. In diesem Zusammenhang wird häufig die Anwendung eines Voraufdauerbizides in Kombination mit einer einmaligen Glufosinatanwendung im Nachauflauf diskutiert. Nach SCHÄUFELE und HARMS (1998) ist bei Anwendung von 2 kg/ha Goltix im Voraufdauer und einer einmaligen Anwendung von 600

g/ha Glufosinat zum 4-Blattstadium ausreichend. In Vinnitsa konnte darauf aufbauend sogar auf den Einsatz von Goltix verzichtet werden. Dort reichte eine einmalige Anwendung von 800 g/ha Glufosinat zum 4-Blattstadium aus.

Fazit: Bei einer Unkrautbekämpfung mit Glufosinat kann mit der ersten Anwendung bis zum 4-Blattstadium gewartet werden. Eine zweimalige Anwendung von 600 g/ha zum 4-Blattstadium und 8-Blattstadium führte sowohl bei allen Versuchen in der Literatur als auch in den eigenen zu einer ausreichenden Wirkungssicherheit. Bei beginnender Behandlung zum 4-Blattstadium muss jedoch beachtet werden, dass mit zunehmender Aufwandmenge Ertragsabnahmen aufgrund nachlassender Kulturverträglichkeit der glufosinatresistenten Sorte auftreten. Dies trat in den Versuchen erstmals bei einer zweimaligen Anwendung von 600 g/ha zum 4- und 8-Blattstadium auf. SCHÄUFELE *et al.* (1998) bestätigten dies. Bei einer Erhöhung von 600 auf 800 g/ha zum 4- und 10-Blattstadium nahm in ihren Untersuchungen der Bereinigte Zuckerertrag ab.

Beginnende Glufosinatbehandlung zum 6-Blattstadium und 8-Blattstadium

Sowohl in Poltava 1999 und in Vinnitsa 2000 begann die Kritische Periode nach dem 4-Blattstadium der Zuckerrüben. Somit bieten die bislang diskutierten Varianten keinen Ansatz zur Anwendbarkeit der Kritischen Periode.

In Poltava 1999 führten unterschiedliche Bekämpfungsstrategien bei beginnender Behandlung zum 6-Blattstadium zur Ertragssicherung, wobei dort wiederum eine Abhängigkeit zwischen Aufwandmenge, Zeitpunkt der Behandlung und dem Ertrag bestand. Trotz gleichwertiger Unkrautwirkung trat mit zunehmender Aufwandmenge eine Ertragsabnahme ein, was wiederum als Indiz für nachlassende Kulturverträglichkeit gedeutet werden muss. So unterschied sich der Ertrag bei einer einmaligen Anwendung von 800 g/ha zum 6-Blattstadium nicht von der mechanisch unkrautfrei gehaltenen Variante. Bei einer Erhöhung der Aufwandmenge auf 1600 g/ha nahm der Ertrag jedoch um 40 % signifikant ab. Die Erträge der Gruppe mit beginnender Behandlung zum 8-Blattstadium manifestieren die Vermutung nachlassender Kulturverträglichkeit. Trotz nahezu 100 %iger Wirkung gegen alle Unkrautarten nahmen die Erträge mit steigenden Aufwandmengen ab (1200 g/ha – 74,5 % Ertrag und 1600 g/ha – 53,7 % Ertrag).

Als Fazit ist demnach festzustellen, dass nicht eine unzureichende Unkrautwirkung, sondern vielmehr eine nachlassende Kulturverträglichkeit der glufosinatresistenten Zuckerrüben einen limitierenden Faktor für die Anwendbarkeit der Kritischen Periode darstellt. Die Kritische Periode konnte in beiden Versuchen nicht vollständig umgesetzt werden, da der spätest mögliche Applikationsbeginn zum 6-Blattstadium der Zuckerrüben lag, während die Periode erst zum 10- bzw. 12-Blattstadium begann.

4.8.2 Unkrautwirkung

In den Untersuchungen konnten bis zur erstmaligen Behandlung zum 4-Blattstadium der Zuckerrüben keine Wirkungsschwäche von Glufosinat gegen alle Unkrautarten festgestellt werden. Dies trifft ebenso für die in der Literatur als unempfindlich beschriebenen Arten zu. In abnehmender Reihenfolge waren dies: *Chenopodium album*, *Amaranthus retroflexus*, *Polygonum convolvulus* und *Galium aparine* zu. Alle Arten zählen zu den wirtschaftlich bedeutendsten in

der Zuckerrübenproduktion in Deutschland und der Ukraine (IVASHCHENKO 1998, PETERSEN und HURLE 1998). Eine mögliche Ursache für die breite Wirkung bis zu diesem Zeitpunkt ist die warme Witterung, da für Glufosinat bei hohen Temperaturen eine erhöhte Wirkung charakteristisch ist (DONN 1982). Bei einem Tag/Nachtwechsel von 26 °C/18 °C trat eine um den Faktor 3 höhere Wirkung gegen *Chenopodium album* auf als bei Temperaturen von 10 °C/2 °C. Dabei wurde zusätzlich ein größerer Einfluss auf die Wirkung gegen dikotyle Arten festgestellt, während gegen monokotyle Arten keine Wirkungsverbesserung auftrat. Die Gründe für die höhere Temperaturabhängigkeit der herbiziden Wirksamkeit ausschließlich bei dikotylen Arten sind unbekannt. Als zusätzliche Ursache für die hohe Wirkung gegen alle Arten sind die kleinen Entwicklungsstadien der Unkräuter zu nennen. Zum 4-Blattstadium der Rübe hatten die Unkräuter im Durchschnitt lediglich 4 bis 6 Blätter bei einem zusätzlich geringen Deckungsgrad (gesamt) von nur 15 bis 30 %.

Geringe Wirkungen traten in den Versuchen ausschließlich ab beginnender Behandlung zum 6-Blattstadium der Zuckerrüben auf. Dort zeigte sich eine Abhängigkeit der Unkrautwirkung von der Aufwandmenge und den Unkrautarten. In Poltava galt dies ausschließlich für die Hirse-Arten, während in Vinnitsa zusätzlich eine Schwäche gegen *A. retroflexus*, *Capsella bursa-pastoris* und Herba auftrat. Dies gilt jedoch ausschließlich bei geringen Aufwandmengen von zweimal 400 g/ha bzw. 600 g/ha zum 6- und 10-Blattstadium. Die schlechte Wirkung muss damit im Zusammenhang gesehen werden. Zusätzlich hatten die Unkräuter zum 6-Blattstadium bereits stellenweise das 9-Blattstadium überschritten. Eine geringe Wirksamkeit von Glufosinat gegen die Hirse-Arten war in Poltava jedoch nicht der Grund für ihre geringe Bekämpfung. Dort gab es nach dem 6-Blattstadium der Rüben noch eine Auflaufwelle, die erst mit Behandlung zum 8-bzw. 10-Blattstadium der Rüben erfasst wurde. Generell wird in der Literatur eine gute Wirkung gegen Hirse-Arten beschrieben, die bei termingerechter Anwendung in den Versuchen bestätigt wurde. Damit grenzen sich die Hirse-Arten von anderen Gräsern ab, für die generell eine geringe Wirkung beschrieben ist (MERSEY *et al.* 1990). Ursache für die hohe Wirkung gegen Hirse-Arten ist, dass es sich bei ihnen um C4-Pflanzen handelt. Die Leitgefäße sind im Gegensatz zu C3-Pflanzen von Leitbündelscheidenzellen umgeben, deren Suberineinlagerungen den Eintritt von Wasser und der darin gelösten Herbizide in das Xylem verlangsamen. Eine Translokation des Glufosinats findet somit nur vermindert statt und das Herbizid kann sich im Apoplasten des Blattes gleichmäßig verteilen und seine Wirkung in den Blättern erhöhen (ANDERSON 1993 a). MERSEY *et al.* (1990) nennen zusätzlich eine erhöhte Penetration und Aufnahme bei *Setaria viridis* im Vergleich zu Gerste als Grund. STECKEL *et al.* (1997 a) belegten dies, in dem sie für *Echinochloa crus-galli* und *Setaria viridis* im Vergleich zu *Chenopodium album* eine erhöhte Absorption nachwiesen.

Wenn in den eigenen Untersuchungen auch nur bedingt bestätigt, scheint die hohe Anzahl unempfindlicher Unkrautarten gegen Glufosinat einen einschränkenden Faktor für die Anwendbarkeit der Kritischen Periode darzustellen. Die Ursachen der Unempfindlichkeit einzelner Arten sind sehr vielfältig: neben einer verminderten Absorption und Translokation des Wirkstoffes (MERSEY *et al.* 1990) spielt der Anteil epikutikulärer Wachse in der Kutikula eine zusätzliche Rolle (PLINE *et al.* 1990). Zusätzlich verfügen einzelne Arten über einen Detoxifizierungsmechanismus durch Einlagerung des Glufosinats in Vakuolen (MACKLON 1990, PETERSEN 1999). RIDLEY und MC NALLY (1985) stellten eine Ursache auf enzymatischer Ebene fest. Sie machten art-spezifische Verhältnisse der Isoenzyme der Glutaminsynthetase für unterschiedliche Wirkungen verantwortlich. Als unempfindlich werden neben den eingangs aufgeführten monokotylen Arten

sowie Durchwuchskartoffeln, Durchwuchsrap, *Lamium* spp., *Lolium* spp., *Polygonum amphibium*, *Solanum carolinense* und *Viola arvensis* genannt. Für diese Arten ist eine termingerechte Anwendung unter Berücksichtigung der empfindlichsten Stadien für eine Bekämpfung nötig. Damit kommt es zu einer früheren Anwendung, da sich das Unkraut immer schneller entwickelt als die Rüben. Im Allgemeinen gilt das 2-Blattstadium der Unkräuter als empfindlichstes Stadium (BÜCKMANN *et al.* 2000, PETERSEN *et al.* 2000). Der Behandlungszeitpunkt müsste sich in diesem Fall nicht mehr an dem Entwicklungsstadium der Zuckerrüben, sondern an dem des Unkrautes orientieren. Eine zusätzliche Beeinträchtigung für die Anwendbarkeit der Kritischen Periode in Verbindung mit dem Auftreten unempfindlicher Unkräuter ergibt sich aus der Notwendigkeit, dass aufgrund der Wirkungslücken unter Umständen ein selektiver Mischungspartner angewendet werden muss. Damit ist der Applikationszeitpunkt durch die Wirksamkeit der selektiven Mischungspartner vorgegeben. Eine zusätzliche Beeinträchtigung für die Anwendung der Kritischen Periode stellen mit zunehmender Rübenentwicklung wachsende Spritzschatten durch die Zuckerrüben dar. Nach BÖRNER (1995) müssen die Herbizidanwendungen im Zuckerrübenanbau zum 4-Blattstadium bis 6-Blattstadium abgeschlossen sein, da verstärkte Spritzschatten durch größer werdende Zuckerrüben und gegebenenfalls auch größeres Unkraut entstehen. Eine homogene Erfassung aller Unkräuter wird ab diesem Zeitpunkt somit in Frage gestellt. Hierbei ist jedoch zu fragen, ob eine vollständige Erfassung aller Unkräuter zur Vermeidung von Ertragsverlusten notwendig ist? Ziel künftiger Arbeiten sollte es deshalb sein, den maximal tolerierbaren Spritzschatten bei Anwendung herbizidresistenter Zuckerrüben zu ermitteln, wobei das Unkrautartenspektrum in die Fragestellung integriert werden sollte. Gehören primär konkurrenzschwache Unkräuter zur Leitverunkrautung, kann sicherlich ein größerer Schatten toleriert werden als beim Auftreten von konkurrenzstarken Arten. Der Applikationszeitpunkt kann sich somit in Zukunft gegebenenfalls nicht mehr am Entwicklungsstadium, sondern am Deckungsgrad der Zuckerrüben orientieren. Der maximal tolerierbare Zuckerrübendeckungsgrad würde dabei den spätest möglichen Anwendungsbeginn vorgeben. In den eigenen Untersuchungen betrug der Deckungsgrad der Zuckerrüben zum spätest möglichen Beginn der Glufosinatanwendung (6-Blattstadium) in beiden Versuchen ca. 20 %. Eine Beeinträchtigung durch Spritzschatten konnte dabei ausgeschlossen werden.

4.8.3 Wirkung von Schwefelsaurem Ammoniak

Schwefelsaures Ammoniak erhöht die Penetration und Absorption wasserlöslicher Herbizide (Glufosinat) in das Pflanzengewebe (LANGELÜDDECKE *et al.* 1988, MATHIASSEN und KUDSK 1993, PETERSEN 1999). Die komplexen Mechanismen sind dabei noch nicht vollständig geklärt. Jedoch scheint ein verändertes Δ -pH Wert Gefälle über die Plasmamembranen eine wesentliche Rolle zu spielen (KIRKWOOD 1993). Generell reduzieren Ammoniumsalze (Schwefelsaures Ammoniak) den pH-Wert ungepufferter wässriger Lösungen. Es ist denkbar, dass eine Verringerung des pH-Wertes der Spritzlösung zu einer Erhöhung der lipophilen, nicht gebundenen Form der Herbizide führt. Der lipophile Charakter der Herbizidlösung führt demnach zu einer erhöhten Penetration an den Pflanzen bzw. der Kutikula. Es kommt zu einer erhöhten Herbizidaufnahme durch die Carrier im Protonencotransport durch die Zellmembran (WADE *et al.* 1993). Durch die erhöhte Penetration und Absorption kann allgemein von einer erhöhten Wirkungssicherheit ausgegangen werden, die zusätzlich zu einer Reduzierung klimatischer Einflussgrößen während und unmittelbar nach der Applikation von Glufosinat führen (LANGELÜDDECKE 1988, MATHIASSEN und KUDSK 1993).

In Vinnitsa wurde die Bedeutung von Schwefelsaurem Ammoniak in dem Versuch zur Anwendbarkeit der Kritischen Periode deutlich und führte zu einer Reduzierung der Aufwandmenge bei beginnender Behandlung zum 4-Blattstadium der Zuckerrüben. Während ohne Zusatz von SSA zu diesem Entwicklungsstadium eine zweimalige Behandlung zum 4-Blattstadium und 8-Blattstadium von 400 g/ha zur Ertragssicherung notwendig war, konnte die Aufwandmenge bei Zusatz von 10 kg SSA/ha auf zweimal 300 g/ha reduziert werden. Größere Bedeutung hatte Schwefelsaures Ammoniak bei beginnender Behandlung zum 6-Blattstadium. Während eine zweimalige Anwendung von 600 g/ha zum 6- und 10-Blattstadium lediglich ein 50,4 %iges Ertragsniveau im Vergleich zur unkrautfreien Variante erreichte, wurde durch den Zusatz der Ertrag bei gleichen Glufosinataufwandmengen auf 91,9 % gesteigert. Sogar eine zweimalige Anwendung von 400 g/ha mit SSA (70,9 % Ertrag) führte zu höheren Erträgen als die zweimalige Anwendung von 600 g/ha ohne Schwefelsaures Ammoniak. Insbesondere gegen die Hirse-Arten wurde dabei eine enorme Wirkungssteigerung festgestellt, die bei zweimaliger Behandlung von 400 g/ha bzw. 600 g/ha zum 6- und 10-Blattstadium von 7 % auf 85 %, bzw. von 8 % auf 96 % gesteigert wurden.

Eigene Modelluntersuchungen bestätigten den Einfluss von SSA auf die Wirksamkeit von Glufosinat gegen *Echinochloa crus-galli* (Anhang 35). Es wurden Dosis-Wirkungsbeziehungen mit *E. crus-galli* im 6- und 8-Blattstadium errechnet, die einen Vergleich der Wirkung mit und ohne Schwefelsaures Ammoniak auf Basis der ED₅₀-Werte ermöglichen. Betrug der ED₅₀-Wert für das 6-Blattstadium ohne Schwefelsaures Ammoniak 220 g/ha, waren für eine gleiche Wirkung zum 8-Blattstadium 360 g/ha notwendig. Die Wirkung zwischen den beiden Entwicklungsstadien unterschied sich um den Faktor 1,6. Der Zusatz von Schwefelsaurem Ammoniak in der 8-Blattvariante (ED₅₀= 235 g/ha) führte hingegen zu einer Reduzierung der Aufwandmenge auf das Niveau, das in der 6-Blattvariante ohne Ammoniak erreicht wurde (ED₅₀= 220 g/ha). Beide Werte unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Durch den Zusatz von SSA konnte die Effektivität von Glufosinat zum 6-Blattstadium um den Faktor 2,1 verbessert werden, während für das 8 Blattstadium eine Wirkungsverbesserung um den Faktor 1,5 errechnet wurde. Gegen Hirse-Arten scheint demnach eine eindeutige Wirkungserhöhung möglich zu sein, was insbesondere unter dem Gesichtspunkt an Bedeutung gewinnt, dass monokotyle Unkrautarten mit Glufosinat generell nicht befriedigend kontrolliert werden können (MERSEY *et al.* 1990). Ob sich die Wirkungssteigerung durch SSA auf andere monokotyle Arten übertragen lässt, muss Gegenstand zukünftiger Untersuchungen sein.

Durch den Zusatz von Schwefelsaurem Ammoniak scheint als Fazit nicht nur ein erhöhte Wirkungssicherheit gegen unempfindliche Unkrautarten, sondern zusätzlich eine Applikation zu späteren Entwicklungsstadien der Rüben möglich zu werden, ohne die Aufwandmenge erhöhen zu müssen. Dies verdeutlichten die Modelluntersuchungen für *E. crus-galli*, wobei in zukünftigen Untersuchungen dieser Sachverhalt für andere Unkrautarten im Freiland und unter kontrollierten Bedingungen überprüft werden sollte, um abschließend ein Beurteilung über die Auswirkungen auf den Bekämpfungszeitpunkt zu erarbeiten.

4.8.4 Sensitivität glufosinatresistenter Zuckerrüben

Die in den Feldversuchen zur Anwendbarkeit der Kritischen Periode festgestellte zunehmende Sensitivität glufosinatresistenter Zuckerrüben mit zunehmendem Entwicklungsstadium konnte durch die durchgeführten Modelluntersuchungen bestätigt werden. Neben dem Entwick-

lungsstadium bestand zusätzlich eine eindeutige Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen zum Applikationszeitpunkt.

Luftfeuchte

Die erhöhten NH_3 -Konzentration in den Pflanzen bei einer Erhöhung der Luftfeuchte von 50 % auf 80 % kann auf verschiedene Ursachen zurückgeführt werden. Alle Ursachen haben ihren Ursprung jedoch in einer erhöhten Aufnahme und verminderten Translokation des Glufosinats. So wird die Retention des Glufosinats auf den Blättern bei hohen Luftfeuchten gesteigert und die Aufnahme erhöht (ANDERSON *et al.* 1993 a). Zusätzlich hydratisiert hohe Luftfeuchtigkeit die Kutikula, womit insbesondere die Aufnahme hydrophiler Verbindungen (Glufosinat) erhöht wird (PRICE 1983). Entgegengesetzt führt geringe Luftfeuchte zu einer Dehydrierung der Kutikula, womit die Aufnahme hydrophiler Verbindungen reduziert wird (STECKEL *et al.* 1993). Eine verminderte Translokation des Wirkstoffes in den Apoplasten der Pflanze bei erhöhter Luftfeuchtigkeit beruht auf der reduzierten Transpiration der Pflanzen (WILD *et al.* 1987). Eine schnelle Verlagerung durch das Xylem an den Ort der höchsten Transpiration, den Blattspitzen, wird dadurch verhindert. Der dadurch entstehende längerer Verbleib des Wirkstoffes in den Apoplasten führt zu einer erhöhten Sensitivität der Pflanzen gegen Glufosinat (ANDERSON *et al.* 1993 a).

Die erhöhte Aufnahme des Wirkstoffes bei hoher Luftfeuchte führt in der glufosinatresistenten Zuckerrübentransformante zu einer unvollständigen Acetylierung des Glufosinats durch die Phosphinotricin-Acetyl-Transferase. Nicht acetyliertes Glufosinat inhibiert als primäre Wirkung des Wirkstoffes die Glutaminsynthetase. Als Folge dessen wird das phytotoxische NH_3 akkumuliert (Kap. 1.5.2) und die Kulturverträglichkeit nimmt ab.

Neben der generellen Abhängigkeit von der Luftfeuchte zeigte sich zusätzlich ein Einfluss des Entwicklungsstadiums und des Blattalters auf die Sensitivität der Pflanzen. Die erhöhte Sensibilität des jüngsten Blattes der 6-Blattvariante kann durch eine verminderte Kutikulaausbildung erklärt werden. Junge Pflanzen mit hohen Wachstumsraten haben eine dünnere und damit stärker permeable Kutikula als ältere Pflanzen. Dies trifft auch für junge Blätter im Vergleich zu älteren Blättern innerhalb einer Pflanze zu. Somit haben wasserlösliche Herbizide (Glufosinat) eine erhöhte Penetration bei jüngeren Pflanzen bzw. Blättern (ANDERSON *et al.* 1993 b). Demnach müsste jedoch ebenso das jüngste Blatt der 2-Blattvariante eine erhöhte Sensibilität zeigen, was jedoch nicht zutraf. Somit muss ein zusätzlicher Zusammenhang zwischen Blattalter und Resistenzmechanismus bestehen. Untersuchungen in Tabak bieten dafür ein Indiz. Mit zunehmendem Entwicklungsstadium und Blattalter kam es dabei zu einer verringerten PAT-Gen Expression und somit zu einer reduzierten Acetylierung des Glufosinats (HOEVEN VAN DER *et al.* 1994). Übertragen auf die Zuckerrüben bedeutet dies, dass in dem jüngsten Blatt der 2-Blattvariante die PAT-Gen Expression für eine Detoxifizierung ausreichte, für das jüngste Blatt der 6-Blattvariante hingegen nicht. MEHRA *et al.* (2000) bestätigten dies zusätzlich in Untersuchungen in glufosinatresistentem Salat. Obwohl in einigen Kulturen eine nachlassende PAT-Gen Expression mit zunehmendem Entwicklungsstadium beschrieben wurde ist zu berücksichtigen, dass es sich bei dem PAT-Gen um ein konstitutives Gen handeln soll (KÖCHER 1989). Das bedeutet, dass unabhängig vom Entwicklungsstadium eine kontinuierliche Genexpression erfolgen müsste.

Als Fazit kann festgehalten werden, dass eine Beeinflussung durch die Luftfeuchte auf die Kulturverträglichkeit der glufosinatresistenten Zuckerrüben gegeben ist, die sich jedoch in Abhängigkeit des Entwicklungsstadiums und des Blattalters unterschiedlich stark ausprägt.

Lichtintensität

Abweichend zu den Untersuchungen über den Einfluss der Luftfeuchtigkeit wurde der Einfluss der Lichtintensität und Halfreilandbedingungen in der Vegetationshalle durchgeführt, um mit dem Freiland vergleichbare Lichtverhältnisse zu simulieren. Eine Abhängigkeit der Sensitivität von der Lichtintensität wurde nicht festgestellt. Unabhängig von der Intensität zeigte jedoch erneut ausschließlich das jüngste Blatt der 6-Blattvariante eine erhöhte NH_3 -Konzentration als auch eine reduzierte Quantenausbeute. Damit wird die oben aufgestellte Vermutung einer verminderten PAT-Gen-Expression bzw. Aktivität mit zunehmend höherem Entwicklungsstadium in Kombination mit einer verringerten Kutikulaschicht untermauert. Würde ausschließlich eine dünne Kutikula dafür verantwortlich sein, dürfte kein Unterschied zwischen der 2-Blattvariante und dem jungen Blatt der 6-Blattvariante bestehen.

Fazit

Als Fazit der Modelluntersuchungen konnte eine nachlassende Kulturverträglichkeit mit zunehmendem Entwicklungsstadium aufgezeigt werden, womit die im Feldversuch aufgestellte Hypothese bestätigt wurde. Neben dem Entwicklungsstadium kommt dem Klima eine hohe Bedeutung zu, was insbesondere für den Faktor Luftfeuchtigkeit aufgezeigt werden konnte. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Aussagen auf der NH_3 Akkumulation bis einschließlich 48 h nach der Behandlung beruhen. Dennoch scheint ein langfristiger Einfluss auf den Ertrag glufosinatresistenter Zuckerrüben möglich, wie es die eigenen Feldversuche und Ergebnisse von BEIßNER und BÜTTNER (2000) sowie von MAY (2000) bestätigen. Eine Ursache der unbefriedigenden Kulturverträglichkeit scheint darin zu liegen, dass das PAT-Gen neues, üblicherweise in den Pflanzen nicht vorhandenes Enzymsystem kodiert. Beim System Roundup Ready hingegen wurde ein in der Pflanze vorhandenes, gegenüber dem Wirkstoff Glyphosat empfindliches Enzymsystem, durch eines mit gleicher physiologischen Funktion ersetzt, das jedoch durch Glyphosat nicht gehemmt wird. Der Stoffwechsel wird deshalb durch den Wirkstoff nicht beeinflusst, wodurch sich eine höhere Kulturverträglichkeit ergibt (BEIßNER und BÜTTNER 2000).

4.9 Beurteilung der Unkrautbekämpfung in glufosinatresistenten Zuckerrüben unter Berücksichtigung der Kritischen Periode

Als wesentlicher Vorteil des Anbaus herbizidresistenter Zuckerrüben wird die Anwendbarkeit der Kritischen Periode genannt (PETERSEN *et al.* 2000). Dies setzt voraus, dass die Unkrautbekämpfung bis zu dem Zeitpunkt hinausgezögert wird, ab dem mit irreversiblen Ertragsverlusten zu rechnen ist. Die Ergebnisse der Untersuchungen mit der glufosinatresistenten Transformante zeigten, dass dies aus zweierlei Gründen kritisch betrachtet werden muss: zum einen existiert keine allgemeingültige Kritische Periode, so dass keine allgemeingültige Aussage darüber zulässig ist, zum anderen konnte in beiden Untersuchungen nicht bis zum Beginn der Kritischen Periode mit der Behandlung gewartet werden. Der Beginn der Kritischen Periode variierte in den Untersuchungen zwischen dem 10- und 12-Blattstadium (Poltava 1999 und Vinnitsa 2000), während der späteste Behandlungstermin das 6-Blattstadium der Rübe war. In Vinnitsa galt dies einschränkend nur, wenn Schwefelsaures Ammoniak als Additiv eingesetzt wurde. Eine allgemeingültige Aussage ist dennoch möglich: die statistische Verrechnung des Beginns der Kritischen Periode über alle Versuche zeigte, dass unabhängig vom Standort und Jahr bei Verunkrautung bis zum 4-Blattstadium keine Ertragsverluste auftreten. Vorausgesetzt, dass die Ergebnisse zur Unkrautbekämpfung mit Glufosinat auf andere Standorte übertragbar sind, kann

demnach immer bis zum 4-Blattstadium der Rübe mit der Unkrautbekämpfung gewartet werden.

Für die Praxis ergibt sich dadurch eine Vielzahl von Vorteilen. Der Landwirt verfügt über ein größeres Zeitfenster, in dem die Behandlungen durchgeführt werden können. Somit werden Arbeitsspitzen im Frühjahr entzerrt. Zusätzlich können optimale Witterungsbedingungen abgewartet werden. Als bedeutendster Vorteil erscheint jedoch eine mögliche Vereinfachung der Unkrautbekämpfung: der Bekämpfungszeitpunkt orientiert sich nicht mehr am Entwicklungsstadium der Unkräuter, wie es das momentan in der landwirtschaftlichen Praxis etablierte Konzept der Reduzierten Aufwandmengen (NAK_x - Nachauflaufbehandlung im Keimblattstadium der Unkräuter) vorsieht, sondern am Entwicklungsstadium der Zuckerrüben. Zusätzlich können durch den Anbau herbizidresistenter Zuckerrüben die Unkrautbekämpfungskosten im Vergleich zur konventionellen Nachauflaufmethode um 50 % reduziert werden (BEUSMANN 1994). Dies wird primär durch einen Rückgang der Anwendungen verursacht, die nach HEITEFUSS *et al.* (1994) bei konventioneller Behandlung von 3,9 auf 2 Behandlungen durch den Anbau herbizidresistenter Sorten zurückgehen wird. Die eigenen Untersuchungen bestätigen dies, da zwei Glufosinatanwendungen immer ausreichten, sie sogar auf eine Behandlung reduziert werden konnten. Eine endgültige ökonomische Bewertung ist jedoch nach dem derzeitigen Stand nicht möglich und kann erst nach der Wertprüfung und der Markteinführung beurteilt werden. Im Moment ist nicht absehbar, wann das Inverkehrbringen herbizidresistenter Zuckerrüben möglich wird. Die Genehmigungen nach Gentechnikgesetz sind beantragt, wobei es für die Zustimmung der EU-Kommission eine Mehrheit der EU-Vertragsstaaten braucht. Dies scheint derzeit politisch nicht realisierbar. Die Genehmigung für das Inverkehrbringen ist Voraussetzung für die nationale Sortenzulassung durch das Bundessortenamt. Ebenso entscheidet das Bundessortenamt darüber, wann ein ausreichendes Ertragsniveau für die Zulassung erreicht ist. Dazu standen die ersten Sorten 98/99 in der Wertprüfung, wobei die Erträge bislang noch nicht denen der konventionellen Sorten entsprachen. Zusammenfassend scheint sich die Zulassung damit noch um einige Zeit zu verzögern (PETERSEN *et al.* 2000).

Ein zusätzlicher Vorteil des Anbaus glufosinatesistenter Zuckerrüben besteht in der vereinfachten Bekämpfung von Unkräutern, die mit selektiven Wirkstoffen nicht erfasst werden. Neben klassischen Problemunkräutern gilt dies insbesondere für Unkrautrüben, Ausfallraps und Durchwuchskartoffeln (SCHÄUFELE und PFLEIDERER 2000). Die Bekämpfung der Durchwuchskartoffeln hat einen zusätzlichen Vorteil. Sie stellt in Zuckerrüben keine Wirtspflanze mehr für die Kartoffelnematoden *Globodera rostochiensis* und *G. pallida* dar, womit es zu einer Abnahme der Eier und Larven der Arten in der gesamten Fruchtfolge und insbesondere in Kartoffeln als Fruchtfolgeglied kommt (DEWAR *et al.* 2000 b).

Durch den möglichen längeren Verbleib der Unkräuter bis mindestens zum 4-Blattstadium der Rüben treten zusätzlich ökologische Vorteile auf. Durch Behandlung zu diesem späten Zeitpunkt wird die Gefahr von „Run Off“ und „Leaching“ von Pflanzenschutzmitteln reduziert, da aufgrund des hohen Unkraut- und Zuckerrübendeckungsgrad zu diesem Zeitpunkt nur geringe Mengen Glufosinat auf den Boden gesprüht werden. Zusätzlich kann durch den längeren Verbleib der Unkräuter im Bestand der ökologische Nutzen der Unkräuter ausgeschöpft werden. Die positiven Effekte sind sehr vielfältig und sollen im Folgenden vorgestellt werden.

Generell wird durch Unkrautkonkurrenz in der frühen Jugendentwicklung das Wachstum der Kultur gefördert. KOCH und HURLE 1987 bestätigen dies für Mais und Zuckerrüben. EL TITI (1986 a) bestätigte dies für Zuckerrüben und fand zusätzlich in seinen Untersuchungen einen Zusammenhang zwischen Verunkrautungsdauer und Kulturpflanzendichte. So führte Unkrautkonkurrenz bis 30 Tage nach dem Feldaufgang zu einer Erhöhung der Bestandesdichte, wofür er

maßgebend die Ablenkung von Rübenschädlingen durch die vorhandene Unkrautflora verantwortlich machte. Das Potential der Unkräuter zum Ablenken der Rübenschädlinge wurde in letzter Zeit intensiv untersucht, nachdem sie lange Zeit ausschließlich als Infektionsquellen für Schaderreger der Rüben galten (RÖSSNER 1983). Inzwischen liegen viele Untersuchungen vor, die eine Ablehnung dieser pauschalen Wertung begründen. ULBER (1980) fand beispielsweise heraus, dass Unkräuter eine höhere Affinität auf *Collembolen* als Nährsubstrat ausüben als Zuckerrüben. EL TITI (1986 b) beschreibt eine Verringerung des Befallsdrucks der Zuckerrüben bei Verunkrautung bis zu 4 Wochen nach Feldaufgang mit *Elateridae* Larven (Schnellkäfer) und *Aphiden* (Blattläuse) bei Anwesenheit der echten Kamille (*Matricaria chamomilla*), die deren Wirtspflanze darstellt. HEIJBROEK und VAN DE BUND (1982) zeigten in verunkrauteten Rübenfeldern eine geringere Beschädigung durch fakultative Keimlingsschädlinge als in herbizidbehandelten Feldern.

Neben dem Ablenken von Schädlingen werden durch den längeren Verbleib der Unkräuter zusätzlich Nützlinge angezogen, die primär zu einer Verringerung des Befallsdrucks durch virusübertragende Blattläuse führen. So schaffen hohe Unkrautdichten ein günstiges Mikroklima im Bestand für blattlauspathogene Pilze, insbesondere für Vertreter der Ordnung *Entomophthorales* (HÄNI *et al.* 1990). Zum anderen besteht eine positive Korrelation zwischen Verunkrautungsdauer und dem Vorkommen von Laufkäfern (*Carabiden*), die zu einer über 50 %igen Minimierung der Blattlauspopulationen beitragen können und somit den Befallsdruck durch Viruskrankungen verringern (KÖRNER 1990). HÄNI *et al.* (1990) konnten eine Verringerung des Befalls durch die Schwarze Rübenblattlaus und der Grünen Pfirsichblattlaus bei bis zum 8-Blattstadium der Zuckerrüben anhaltender Verunkrautung im Vergleich zu einer kontinuierlich unkrautfrei gehaltenen Variante nachweisen. Mit der Verringerung der Läuse ging eine Verringerung der Vergilbungskrankheit einher (STEINER *et al.* 1986, BOSCH 1987, DUBOIS *et al.* 1993).

Bei BOSCH (1987) führte anhaltende Verunkrautung zu einer um den Faktor 2 erhöhten Laufkäferanzahl. Als zusätzlich bedeutende Blattlausantagonisten sind in der Literatur Schwebfliegen und Marienkäfer beschrieben (ALTIERI und WHITCOMB 1979), die auf Pollennahrung von Unkräutern angewiesen sind.

Ein wesentlicher Nutzen eines möglichen längeren Verbleibs der Unkräuter besteht darin, dass sie insbesondere in Hackfrüchten mit weiten Reihenabständen in Verbindung mit einer windexponierten Lage vor Austrocknung schützen und einen Erosionshemmer darstellen (HOLMES 1982). AUERSWALD (1994) quantifizierte die Erosionsminderung in Zuckerrüben durch den längeren Verbleib der Unkräuter im Bestand mit 11 %.

Ein zusätzlicher Vorteil des längeren Verbleibs der Unkräuter in den Zuckerrübenbeständen besteht in der reduzierten Nährstoffauswaschung, was insbesondere die Nitratauswaschung betrifft (MEYER *et al.* 1986). Zusätzlich vergrößern Unkräuter das Porenvolumen des Bodens und verbessern das Mikroklima, was der epigäischen Fauna zugute kommt. Zusätzlich stellen die Unkräuter Nährsubstrat für Phytophage dar, wobei sie jedoch auch Zwischenwirte für Krankheitserreger sind.

5 Zusammenfassung

In der Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben gibt es bisher keine Schadensschwellen. Zuckerrüben sind in frühen Entwicklungsstadien sehr empfindlich gegen Verunkrautung. Das ist ein wesentlicher Grund dafür, dass für die Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben keine Schadensschwellen entwickelt wurden. Ein weiterer Grund ist, dass die in Zuckerrüben verwendeten Herbizide zu späten Entwicklungsstadien der Zuckerrüben nicht mehr ausreichend wirksam sind und die Selektivität gegenüber den Zuckerrüben abnimmt.

Mit herbizidresistenten Sorten dürfte es jedoch möglich sein, die Unkrautbekämpfung zu einem späteren Zeitpunkt als bisher durchzuführen. Dafür ist es notwendig die Zeitspanne zu kennen, in der Zuckerrüben zur Vermeidung von Ertragsverlusten unkrautfrei sein müssen. Die Zeitspanne ist definiert durch den Zeitpunkt, bis zu dem eine Verunkrautung toleriert werden kann (Beginn der Kritischen Periode) und durch den Zeitpunkt, ab dem sie toleriert werden kann (Ende der Kritischen Periode).

In der vorliegenden Arbeit wurde geprüft, ob es Parameter gibt, die eine standorts- und jahresunabhängige Festlegung der Kritischen Periode ermöglichen. Dazu wurden verschiedene Parameter an drei Standorten in der Ukraine und in Stuttgart-Hohenheim über drei Jahre untersucht. Schließlich wurde versucht, die Unkrautbekämpfung in Feldversuchen mit einer glufosinatresistenten Transformante unter Berücksichtigung der Kritischen Periode durchzuführen.

Ein einheitliches Entwicklungsstadium der Zuckerrüben, bis und ab dem Verunkrautung toleriert werden konnte, wurde nicht festgestellt. Der Parameter erwies sich als standorts- und darüber hinaus als jahresabhängig. Das Entwicklungsstadium, bis zu dem Verunkrautung toleriert werden konnte, variierte zwischen dem 2- und 10-Blattstadium der Rüben. Gleiches traf für das Entwicklungsstadium zu, ab dem Verunkrautung toleriert werden konnte. Hier variierten die Entwicklungsstadien zwischen dem 2- und 12-Blattstadium der Rüben. Lediglich am Standort Vinnitsa in der Westukraine zeigte sich für diesen Faktor keine Jahresabhängigkeit. In beiden Versuchsjahren konnte Unkraut bereits ab dem 2-Blattstadium toleriert werden; dafür waren in beiden Jahren unterdurchschnittliche Niederschläge verantwortlich. Den größten Einfluss auf die tolerierbare Verunkrautungsdauer in Abhängigkeit der Entwicklungsstadien hatten die Unkrautarten und -dichten. Ein Zusammenhang zwischen Unkrautdichte (gesamt) und dem Zeitpunkt einsetzender Verunkrautung konnte bei einsetzender Verunkrautung ab dem 2-Blattstadium und bis zur einsetzenden Verunkrautung ab dem 10-Blattstadium nachgewiesen werden. Die errechneten maximalen Ertragsverluste bei Unkrautdichten gegen unendlich nahmen bei einsetzender Verunkrautung ab dem 2-Blattstadium von 79,5 % auf 6,9 % bei einsetzender Verunkrautung ab dem 10-Blattstadium sukzessiv ab. Unkraut hatte keinen Einfluss auf den Ertrag bei einsetzender Verunkrautung ab dem 12-Blattstadium, unabhängig von Unkrautarten und -dichten.

Sowohl der Parameter Unkrautdeckungsgrad als auch der Zuckerrübendeckungsgrad waren zu dem Entwicklungsstadium, bis zu dem Verunkrautung toleriert werden konnte, standorts- und jahresabhängig. Der Zeitpunkt, ab dem Verunkrautung toleriert werden konnte, blieb unberücksichtigt. Die Bonituren wurden ausschließlich am Standort Hohenheim (1999 und 2000) und in Poltava (1999) in der Ostukraine durchgeführt. Der Unkrautdeckungsgrad variierte in Hohenheim zwischen 96,7 % und 66,5 %. Der tolerierbare Deckungsgrad in Poltava mit 77,5 % unterstrich die Standortsabhängigkeit dieses Parameters. Gleiches galt für den Zuckerrübendeckungsgrad, der zwischen 5,3 % und 15,0 % zu Beginn der Kritischen Periode variierte. Die standorts- und jahresabhängigen Effekte auf die Deckungsgrade wurden durch den Parameter

relativer Unkrautdeckungsgrad fast vollständig kompensiert. Am Standort Hohenheim variierte er lediglich zwischen 94,8 % und 84,5 %. In Poltava wurde mit 83,8 % der geringste Wert berechnet.

Die Beschattung der Rübe durch Unkraut wird in der Literatur als entscheidende Einflussgröße für die Intensität der Interaktionen zwischen Unkraut und Zuckerrübe beschrieben. Sie variierte zu Beginn der Kritischen Periode allerdings standortsabhängig. In Poltava (1999) betrug die Beschattung lediglich 13 %, während sie in Hohenheim (2000) zu Beginn der Periode 27 % betrug. In anderen Versuchen wurde die Beschattung nicht quantifiziert.

Eine regressionsanalytische Verrechnung der Ertragsverläufe bei anhaltender Verunkrautung bis und ab definierten Zeitpunkten mit Bezug zur Temperatursumme zeigte identische EV_5 -Werte (387 °Cd) in Hohenheim in den Jahren 1999 und 2000 für den Beginn der Kritischen Periode. Der EV_5 -Wert gibt hier die Temperatursumme an, bis zu der Verunkrautung einen 5 %-igen Ertragsverlust verursacht. Lediglich im Versuchsjahr 1998 war er signifikant niedriger (316 °Cd). Ursache dafür war die zusätzlich zur natürlichen Verunkrautung erfolgte Einsaat der konkurrenzstarken „Unkrautart“ *Sinapis alba*. Für das Ende der Kritischen Periode konnten keine Übereinstimmungen des EV_5 -Wertes festgestellt werden. Dieser schwankte zwischen Temperatursummen von 459 °Cd und 617 °Cd. Die Regressionsanalysen wurden ausschließlich für die Versuche am Standort Hohenheim durchgeführt.

Es kann festgestellt werden, dass keiner der untersuchten Parameter für eine eindeutige standorts- und jahresunabhängige Beschreibung des Beginns und des Endes geeignet ist. Jedoch kann der Beginn der Kritischen Periode mit ausreichender Genauigkeit mit Hilfe des relativen Unkrautdeckungsgrades standorts- und jahresunabhängig festgelegt werden. Danach kann ein maximaler relativer Unkrautdeckungsgrad (Anteil des Unkrautdeckungsgrades am Gesamtdeckungsgrad - Formel 5) von 83 % toleriert werden, bevor mit einer Ertragsabnahme zu rechnen ist. Damit ist eine entscheidende Größe definiert, an der sich die Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben orientieren kann. Voraussetzung ist, dass Verfahren zur Verfügung stehen, die zu diesem Zeitpunkt eine Bekämpfung ermöglichen.

In einem weiteren Schritt wurde versucht, die Unkrautbekämpfung in Feldversuchen mit einer glufosinatesistenten Transformante unter Berücksichtigung der Kritischen Periode durchzuführen. Die Bezugsgröße stellte dabei das Entwicklungsstadium der Rübe dar, bis zu dem Verunkrautung toleriert werden konnte (Beginn der Kritischen Periode). Die Versuche wurden an zwei Standorten der Ukraine parallel zu den Versuchen durchgeführt, in denen die Kritische Periode (mit manueller Unkrautregulierung) ermittelt wurde (s.o.). Bis zum Beginn der Kritischen Periode konnte mit der Unkrautbekämpfung mit Glufosinat in keinem Fall gewartet werden. Die Glufosinatbehandlungen mussten bei beiden Versuchen zum 6-Blattstadium der Rüben beginnen, während die eigentliche Kritische Periode erst zum 10- bzw. 12-Blattstadium begann. In Poltava war eine einmalige Anwendung von 800 g/ha zum 6-Blattstadium ausreichend, während in Vinnitsa (Westukraine) jeweils 600 g/ha Glufosinat zum 6- und 10-Blattstadium notwendig waren. In Vinnitsa war die Ertragssicherung dabei nur möglich, wenn zu beiden Behandlungen Schwefelsaures Ammoniak (10 kg/ha) als Additiv eingesetzt wurde. Bei beginnender Behandlung zum 4-Blattstadium konnten in beiden Versuchen ohne Additive Ertragsverluste vermieden werden. Hierbei reichten jeweils 400 g/ha zum 4- und 8-Blattstadium der Rüben zur Ertragssicherung aus.

Als limitierender Faktor für eine vollständige Umsetzbarkeit des Beginns der Kritischen Periode mit Bezug zu dem Entwicklungsstadium der Zuckerrüben zeigte sich in den Feldversuchen

eine nachlassende Kulturverträglichkeit der glufosinatresistenten Transformante mit zunehmendem Entwicklungsstadium der Rüben. Modelluntersuchungen bestätigten diesen Zusammenhang. Neben dem Einfluss des Entwicklungsstadiums wurde hierbei auch ein Einfluss der Witterung deutlich. Eine Erhöhung der Luftfeuchtigkeit von 50 % auf 80 % führte unabhängig vom Entwicklungsstadium zu einer Erhöhung der NH_3 -Konzentration in der Transformante. Die Akkumulation von NH_3 ist der primäre Wirkungsmechanismus von Glufosinat und dürfte folglich in resistenten Pflanzen nicht auftreten. Die größte NH_3 -Zunahme trat durch die Erhöhung der Luftfeuchte bei dem jüngsten Blatt der 6-Blattvariante auf. Hier unterschied sich der NH_3 -Gehalt im Vergleich der Luftfeuchten um den Faktor 18, während er bei dem ältesten Blatt der 6-Blattvariante als auch bei der 2-Blattvariante durchschnittlich um den Faktor 7 anstieg. Neben einer Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium wurde auch eine Abhängigkeit vom Blattalter deutlich.

Als Fazit kann gezogen werden, dass die Unkrautbekämpfung mit Bezug zum Entwicklungsstadium in glufosinatresistenten Zuckerrüben zu einem Zeitpunkt erfolgen muss, zu dem eine Notwendigkeit zur Vermeidung von Ertragsverlusten noch nicht besteht. Technologien, die eine Unkrautbekämpfung erst zum Beginn der Kritischen Periode ermöglichen, scheinen im Moment nicht verfügbar zu sein.

Summary

Weed control in sugar beets – identification of the critical period

So far, thresholds do not exist for weed control in sugar beet. Early leaf stages of sugar beet are very sensitive to weed competition, which is a major reason for the absence of thresholds for weed control in sugar beet. Furthermore, at higher leaf stages, the efficacy of selective herbicides is insufficient and the selectivity decreases.

In combination with non-selective herbicides, the use of herbicide resistant sugar beets appears to allow the control of weeds at a later date than usual applications of common selective herbicides. Therefore, it is necessary to know the critical period, in which the crop should be weed free in order not to lose final yield. The influencing factors of the critical period are the moment **until** weed can be tolerated (beginning of the critical period) and the moment **after** weed can be tolerated (end of the critical period).

The primary objective of the present work was the establishment of a parameter, which would allow a determination of the critical period independent of location and season. Therefore, triannual field trials were carried out at three different sites in the Ukraine and in Stuttgart-Hohenheim in order to evaluate the suitability of different parameters. In addition, by use of a glufosinat resistant sugar beet transformant, the practicability of the critical period was investigated.

Application of the critical period and moreover the definition of a general period threshold requires a reference value defining the beginning and end of the critical period which is both independent of location and season. The primary aim of this work was to establish a parameter, which fulfills this condition. All parameters relate to the growth of sugar beet or of the weed quantify their interaction. The following parameters were investigated: the leaf stage of the sugar beet, the weed and sugar beet coverage level, the relative weed coverage, the temperature sum and the intensity of weed shading of the beets. The investigation took place at three separate sites in the Ukraine and in Stuttgart-Hohenheim enabling the effect of different sites to be taken into account.

A uniform sugar beet leaf stage until and after weeds could be tolerated was not found. The parameter proved to be dependent on location and season. The leaf stage until weeds could be tolerated varied between the 2 and 10 leaf stage. Similarly the leaf stage after which the weeds could be tolerated varied between the 2 and 12 leaf stage of the beet. Only the location in Vinnitsa in the west of the Ukraine showed no dependence on year for this factor. During both trial years weeds could be tolerated after the 2 leaf stage, although below average precipitation in both years was held responsible for this. The species of weed and its density had the greatest influence on the period of weed toleration. A correlation between weed density (total) and the onset of weed competition was demonstrated for weed infestation beginning at the 2 leaf stage to up to the 10 leaf stage. The maximum yield loss for weed density extending to infinity was 79.5 % when weed emerged after the 2 leaf stage. The minimum yield loss appeared when weed emerged after the 10 leaf stage (6.9 %) respectively. Weed competition (regardless of species and density) had no effect on yield for an onset of weed aggression after the 12 leaf stage. There was no correlation observed.

A uniform and therefore location and year-independent degree of sugar beet coverage and weed coverage relating to leaf stage was not found at the beginning of the critical period at the Hohenheim site (1999 and 2000) and Poltava (1999) in the Ukraine. The end of the critical

period and other trials were not taken into consideration. The degree of weed cover varied at the beginning of the critical period between 96.7% and 66.5% in Hohenheim. The location independence of this parameter is emphasized by the degree of tolerable cover of 77.5% in Poltava. The same applies to the degree of sugar beet coverage which varies between 5.3% and 15%. The difference between the two levels of coverage is almost completely compensated by the parameter relative weed coverage. At the Hohenheim site it only varied between 94.8% and 84.5%. The minimum value was found at Poltava with 83.8%.

Although the weed shading of the beets is often described as being the decisive factor in the intensity of interaction between weed and sugar beets it is not suitable for a location and year-independent description of the beginning of the critical period. A uniform shading of sugar beet by weeds at the beginning of the critical period was not found at the Hohenheim (2000) and Poltava (1999) sites. It varied between 13% and 27%. Other trials were not taken into consideration.

Regression analysis of relative yield relative to the temperature sum showed a uniform beginning of the critical period in Hohenheim in 1999 and 2000. The EV_5 , which gives an accumulated temperature total at which the weed competition results in a 5% yield reduction, was identical in both 1999 and 2000 at 387 °Cd. The only significant difference was in 1998 and beginning at a temperature sum of 316 °Cd due to the seeding of *Sinapis alba*, which has a strong competitive ability. There were no uniform EV_5 observed for the end of the critical period. They varied between temperature sums of 459 °Cd and 617 °Cd. The calculations were not undertaken for the trials in the Ukraine.

To sum up, none of the tested parameters is eligible to describe the beginning and the end of the critical period independent of location and season. However, the beginning of the critical period can be satisfactorily described by the relative weed coverage independent of site and season. On this basis, a maximum relative weed coverage of 83 % can be tolerated without significant yield loss. Herewith, a decisive parameter is defined as a measure for timing weed control in sugar beets. However, an important requirement is the availability of efficient control methods at this certain point of time.

In a further step an attempt was made to apply the critical period in relation to the leaf stage of the beet by using a glufosinate resistant sugar beet transformant. The trials were carried out in parallel to the other trials (determining the actual critical period with manual weed control) at two sites in the Ukraine. The investigation was focused on the beginning of the critical period. In no trial it could be waited with glufosinate applications until the beginning of the critical period – the critical period could not be implemented in the field trials. The latest leaf stage, when glufosinate application had to start in Poltava and Vinnitsa was the 6-leaf stage, whereas the critical period began at the 10- or 12-leaf stage. In Poltava a single application of 800 g/ha at the 6 leaf stage was sufficient, whereas in Vinnitsa 600 g/ha of glufosinate at both the 6 and 10-leaf stage was necessary. In Vinnitsa an adequate effect could only be achieved when ammonium sulfate (10 kg/ha at both applications) was used as an additive. Initial applications of glufosinate at the 4-leaf stage of the beet did not need the addition of the additive. Application of 400 g/ha at the 4 and 8-leaf stage of the beet was sufficient to safeguard the yield.

A limiting factor for the definitive application of the beginning of the critical period was shown in the field trials by a decreasing tolerance of the glufosinate resistant transformant at ever later leaf stages of beet development. Prediction model investigations confirmed this correlation. In addition to the effect of the leaf stage the effect of weather conditions was also apparent. The increase in air humidity from 50 % to 80 % led to an increase in NH_3 concentration in the resistant transformant, regardless of its leaf stage. NH_3 is found in non-resistant plants due to

the inhibition of glutamine-synthetase by glufosinate, which leads to cell death. NH_3 should not occur in resistant plants due to the resistance mechanism, i.e. the acetylation of glufosinate by the PAT gene after which it can no longer bind onto the catalytic site of the glutamine-synthetase. The largest increase in NH_3 when the air humidity was increased from 50 % to 80 % occurred at the youngest leaf at the 6-leaf stage. In addition to the dependency of NH_3 concentration on leaf stage the effect of leaf age was also apparent.

Concluding, the control of weeds, related to the leaf stage of glufosinate resistant sugar beet, has to be done before the critical period begins. Unfortunately, technologies, which offer the possibility to control weeds by an integration of the critical period, are so far not available.

6 Literaturverzeichnis

- ABDELOUHAB, M., S.D. MILLER und D. LEGG (1991): Wild mustard interference in sugar beet. Proc. Western Society of Weed Science **44**, 86-90.
- ABDELOUHAB, M., S. STEPHAN, K. J. FORNSTROM (1995): Kochia (*Kochia scoparia*) and Green Foxtail (*Setaria viridis*) interference in sugar beets (*Beta vulgaris*). Weed Technology **8**, 754-759.
- ABDOLLAHIAN-NOGHABI, M. und B. FROUD-WILLIAMS (1998 a): Competitive ability of *Amaranthus retroflexus* and *Chenopodium album* in competition with three sugar beet cultivars under water stress. Aspect of Applied Biology **52**, 153-158.
- ABDOLLAHIAN-NOGHABI, M. und B. FROUD-WILLIAMS (1998 b): Yield and quality of two sugar beet cultivars under water stress and weed competition. Annals of Applied Biology **132** (19), 68-69.
- ABDOLLAHIAN-NOGHABI, M. und B. FROUD-WILLIAMS (2000): Drought stress and weed competition in sugar beet. British Sugar Beet Review **68** (1), 47-49.
- AHMADI, M.S. (1980): Effect of growth and water stress in barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) control of glyphosate absorption and translocation. Weed Science **28**, 277-282.
- ALTIERI, M.A. und W.H. WHITCOMB (1979): The potential use of weeds in the manipulation of beneficial insects. Hortscience **14** (1), 12-18.
- ALTIERI, M.A. und M.Z. LIEBMAN (1988): Weed management in agro-ecosystems: Ecological Approach. CRC Press, Florida USA.
- AMADOR-RAMÍREZ, M.D. (2002): Critical period of weed control in transplanted chilli pepper. Weed Research **42**, 203-209.
- AMMON, H.U., E. BEURET und U. NIGLI (1986): Die Ziele der Unkrautbekämpfung im Wandel der Zeit - vom Verdammen der Unkräuter zur zeitbezogenen Schadensschwelle. Schweiz. Landw. Fo. **25** (3), 351-366.
- ANDERSON, D.M., C.J. SWANTON, J.C. HALL, und B.G. MERSEY (1993 a): The influence of temperature and relative humidity in the efficacy of glufosinate-ammonium. Weed Research **33**, 139-147.
- ANDERSON, D.M., C.J. SWANTON, J.C. HALL und B.G. MERSEY (1993 b): The influence of soil moisture, simulated rainfall and time of application on the efficacy of glufosinate ammonium. Weed Research **33**, 149-160.
- ANONYM (1996): Produktinformationen Pflanzenschutzmittel, AgrEvo.
- ASPINALL, D. und F.L. MILTHORPE (1959): An analysis of competition between barley and white persicaria. Annals of Applied Biology **47**, 156-172.
- AUERSWALD, K. (1994): Auswirkungen des Anbaus herbizidresistenter Kulturpflanzen auf das Ausmaß der Bodenerosion und der Pestizidabschwemmung. in: DAELE, W. van den *et al.*: Verfahren zur Technikfolgeabschätzung des Anbaus von Kulturpflanzen mit gentechnisch erzeugter Herbizidresistenz Heft 8, 52 Seiten, WZB Berlin.
- AULD, B. A. und C. A. TISDELL (1986): Economic thresholds/critical density models in weed control. Proc. EWRS Symposium, Economic Weed Control, 261-268.
- AULD, B.A., K.M. MENZ und C.A. TISDELL (1987): Weed control economics. Academic Press, New York, USA.
- BAEUMER, K. (1992): Allgemeiner Pflanzenbau. Verlag Eugen Ulmer.
- BAYER, E., K.H. GUGEL, K. HÄGELE, H. HAGENMAIER, S. JESSIPOW, W.A. KONIG und H. ZAHNER (1972): Stoffwechselprodukte von Mikroorganismen. 98. Mitteilung [1], Phosphinothricin und Phosphinothricin-Alanyl-Alanin. Helv. Chim. Acta **55**, 224-239.

- BAZIRAMAKENGA, R. und G. D. LEROUX (1994): Critical period of Quackgrass (*Elytrigia repens*) removal in potatoes (*Solanum tuberosum*). *Weed Science* **42** (2), 528-533.
- BBA (1985): Richtlinien für die Prüfung von Herbiziden in Rüben und Kartoffeln. Richtlinie 13-1.1.3. Berlin und Braunschweig
- BECKER, C., H. MILLER und H.J. Koch (1996): Sugar beet production with ploughless soil tillage— agronomic and economic results of an on-farm trial series. *Zuckerindustrie* **121** (8), 609-615.
- BEER, E. und R. HEITEFUSS (1981): Ermittlung von Bekämpfungsschwellen und wirtschaftlichen Schadensschwellen für monokotyle und dikotyle Unkräuter in Winterweiden und Gerste. I. Zur Methodik der Bestimmung der Schwellenwerte unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und biologisch-technischer Einflussgrößen am Beispiel des Winterweizens. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* **78**, 65-85.
- BEISNER, L. und G. BÜTTNER (2000): Herbizidstress bei Zuckerrüben: Physiologie, Symptomatik und Schadrelevanz. Proc. 63rd IIRB Kongress, Interlaken, 149-161
- BELLINDER, R.R., K.K. HATZIOS und H.P. WILSON (1985): Mode of action investigations with the herbicides HOE-39866 and SC-0224. *Weed Science* **33**, 779-785.
- BENSON, J.M. (1982): Weed in tropical crops: review of abstracts, Plant Protection Paper 32, Food and Agriculture Organization, Rome,
- BEUSMANN, V. (1994): Betriebs- und volkswirtschaftliche Aspekte des Einsatzes herbizidresistenter Nutzpflanzen. in: DAELE, W. VAN DEN: Verfahren zur Technikfolgeabschätzung des Anbaus von Kulturpflanzen mit gentechnisch erzeugter Herbizidresistenz. Heft 2, WZB Berlin
- BISCHOFF, J. und R. HABERLAND (1999): Bodenbearbeitung unter wasserlimitierten Bedingungen. *Die Zuckerrübe* **2**, 96-99.
- BISCHOFF, J. (2001): Wassersparende Bodenbearbeitung zu Zuckerrüben. *Deutsche Zuckerrübenzeitung* **3**, 10-11.
- BLOCK DE, M.T., BOTTERMANN, M. VANDEWIELE, T. DOCK, C. THOEN, V. GOSSELE, N.R. MOVVA, C. THOMPSON, M. VAN MONTAGU und I. LEMANS (1987): Engineering herbicide resistance in plants by expression of a detoxifying enzyme. *EMBO J.* **6**, 1513-1518
- BLOOMBERG, J.R., B.L. KIRKPATRICK und L.M. WAX (1982): Competition of common cocklebur (*Xanthium pensylvanicum*) with soybean (*Glycine max*). *Weed Science* **30**, 507-513.
- BÖGER, P. (1994): Mögliche pflanzenphysiologische Veränderungen in herbizidresistenten und transgenen Pflanzen und durch den Kontakt mit Komplementärherbiziden. in: DAELE, W. VAN DEN *et al.*: Verfahren zur Technikfolgeabschätzung des Anbaus von Kulturpflanzen mit gentechnisch erzeugter Herbizidresistenz. Heft 2, WZB Berlin.
- BÖRNER, H. (1995): Unkrautbekämpfung. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- BOSCH, J. (1987): Der Einfluss einiger dominanter Ackerunkräuter auf Nutz- und Schadarthropoden in einem Zuckerrübenfeld. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* **94**, 398-408.
- BÖTTGER, W. und W. DENECKE (1998): Unkrautbekämpfung in Rüben – Preise vergleichen lohnt sich. *Top Agrar* **1**, 52-58.
- BOYDSTON, R.A. (1990): Soil water content affects the activity of four herbicides on green foxtail (*Setaria viridis*). *Weed Research* **38**, 578-582.
- BRANDES, A., W.R. SCHÄUFELE und W. BENZ (1998): Einfluss unterschiedlicher Unkrautdeckungsgrade auf den Ertrag von Zuckerrüben. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVI*, 351-356.
- BRANDES, A. (2000): Ertrag und Qualität von Zuckerrüben in Abhängigkeit von Restverunkrautung und Standort. Dissertation Universität Göttingen

- BRÄUTIGAM, V. (1990): Einfluss langjährig reduzierter Bodenbearbeitung auf die Unkrautentwicklung und -bekämpfung. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XII, 219-227.
- BRÄUTIGAM, H. und W. SCHÄUFELE (1994): Einfluss der Stickstoffdüngung auf die Verunkrautung in Zuckerrüben. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XIV, 467-476.
- BRÄUTIGAM, H. (1998): Untersuchungen zur Konkurrenz zwischen Unkraut und Zuckerrüben-Auftreten, Ursachen und Konsequenzen für die Unkrautregulierung. Dissertation Universität Göttingen.
- BRIMHALL, B., E.W. CHAMBERLAIN und H.P. ALLEY (1965): Competition of annual weeds and sugar beets. Weeds **13**, 33-35.
- BUCHHOLZ, K., B. MÄRLÄNDER, H. PUKE, H. GLATTKOWSKI und K. THIELECKE (1995): Neubewertung des technischen Wertes von Zuckerrüben. Zuckerindustrie **120**, 113-121.
- BÜCHSE, A. und A. RÖVER (1998): Blattbildungsrate und Assimilatverteilung als Kriterien zur Trennung von Entwicklungsabschnitten der Zuckerrübe. Pflanzenbauwissenschaften **2**, 20-24.
- BÜCHSE, A. (1999): Bedeutung und Ursachen von Nachbarschaftseffekten in Sortenversuchen bei Zuckerrüben. Dissertation Universität Göttingen.
- BÜCKMANN, H., J. PETERSEN, G. SCHLINKER und B. MÄRLÄNDER (2000): Weed control in genetically modified sugar beet – two year experiences of the field trial series in Germany. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVII, 353-362.
- BURBA, M. und B. GEORGI (1975): Die fluorometrische Bestimmung der Aminosäuren in Zuckerrüben und Zuckerfabrikprodukten mit Fluoreszamin und o-Phthalaldehyd. Zuckerindustrie **25**, 667-673.
- BURBA, M. und GEORGI B. (1976): Die fluorometrische Bestimmung der Aminosäuren in Zuckerrüben und Zuckerfabrikprodukten mit Fluoreszamin und o-Phthalaldehyd (Fortsetzung). Zuckerindustrie **26**, 322-328.
- BURBA, M. und E. SCHULZE (1981): Zur Probennahme bei Zuckerrüben. Zuckerindustrie **106**, 303-307.
- BÜTTNER, G. und L. BEIßNER (1998): Tolerance to selective and non selective herbicides in conventional and genetically modified sugar beet. Proc. 61st IIRB Congress, Brussels, 333-337.
- CHANDLER, J.M. (1996): The critical period of Johnsongrass (*Sorghum halepense*) control in field corn (*Zea mays*). Weed Science **44** (4), 944-947.
- CLAUPEIN, W. und K. BAEUMER (1992): Einfluss von Fruchtfolge, chemischem Pflanzenschutz und Stickstoffdüngung auf die Segetalflora eines Dauerversuches auf Lößboden. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XIII, 241-251.
- COBLE, H. D. und R. L. RITTER (1978): Pennsylvania smartweed (*Polygonum pennsylvanicum*) interference in soybeans. Weed Science **26**, 556 –559.
- COBLE, H. D., F.M. WILLIAMS und R.L. RITTER (1981): Common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*) interference in soybeans (*Glycine max*). Weed Science **29**, 339-342.
- COLBE, H.D. und D.A. MORTENSEN (1992): The threshold concept and the application to weed science. Weed Technology **6** (1), 191-195.
- COUSENS, R. (1985): A simple model relating yield loss to weed density. Annals of Applied Biology **107**, 239-252.
- COUSENS, R., P. BRAIN, J.T. O 'DONOVAN und P.A. O 'SULLIVAN (1987): The use of biologically realistic equations to describe the effects of weed density and relative time of emergence on crop yield. Weed Science **35**, 720-725.

- COWAN, P., S.E. WEAVER und C.J. SWANTON (1998): Interference between pigweed (*Amaranthus retroflexus*), barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*), and soybean (*Glycine max.*). *Weed Science* **46**, 533-539.
- DARRARAS, V. (1987): Wechselwirkungen zwischen Düngung und Unkrautbekämpfung auf Ertrag und Nährstoffaufnahme von Zuckerrüben und Unkraut. Dissertation Universität Gießen.
- DAWSON, J.H. (1965): Competition between irrigated sugar beets and annual weeds. *Weeds* **13**, 245-249
- DAWSON, J.H. (1986): The concept of period thresholds. Proceedings EWRS Symposium "Economic Weed Control", Stuttgart-Hohenheim, 327-331.
- DEBRUCK, J. (1998): Die Leistungen von Anbausystemen auf den Schwarzerden des mitteldeutschen Trockenraumes. *Mitt. Ges. Pflanzenbauwissenschaften* **11**, 59-60.
- DEVINE, M.D., S.O. DUKE und C. FEDTKE (1993): Inhibition of amino acid biosynthesis. *Physiology of Herbicide Action*. Englewood Cliffs, PTR Prentice-Hall, 251-294.
- DEWAR, A. M., L. A. HAYLOCK, K.M. BEAN und M.J. MAY (2000 a): Delayed control of weeds in glyphosate-tolerant sugar beet and the consequence on aphid infestation and yield. *Pest Management Science* **56**, 345-350.
- DEWAR, A.M.; L.A. HAYLOCK; M.H. MAY, J. BEANE; R. N. PERRY (2000 b): Glyphosat applied to genetically herbicide-tolerant sugar beet and volunteer potatoes reduced populations of potato cyst nematodes and the number and size of daughter tubers. *Annals of Applied Biology* **136**, 179-187.
- DOBEN, W.H. VAN (1962): Influence of temperature and light conditions on dry matter distribution, development rate and yield in arable crops. *Netherlands Journal of Agricultural Science* **10**, 377-389.
- DONN, G. (1982): Der Einfluss von Klimafaktoren auf die herbizide Wirkung von Ammonium-Glufosinat. *Meldelingen van de Faculteit Landbouwwetenschappen*. Rijksuniversiteit Gent **47**, 105-110.
- DONN, G und P. ECKES (1992): Bastaverträgliche Kulturpflanzen durch Übertragung eines synthetischen Phosphinothricin-Acetyltransferase-Gens. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XIII*, 499-504.
- DONN, G. (1997): Herbicide Resistenz Crops Generated by Biotechnology. in: DE PRADO *et al.*: *Weed and crop resistance to herbicides*. Kluwer Academic Publisher, 217-228.
- DUBOIS, D., A. HÄNI, H.U. AMMON und S. KELLER (1993): Einfluss der Unkrautbekämpfung auf Ertrag und Virusbefall von Zuckerrüben. *Landwirtschaft Schweiz* **6** (3), 133-138.
- DUFNER, J., U. JENSEN und E. SCHUMACHER (1992): *Statistik mit SAS*. B.G. Teubner, Stuttgart
- DUKE, S.O. und L LYDON (1993): Natural phytotoxins as herbicides. In: *Pest Control with enhanced environmental safety*. American Chemical Society, Washington DC USA, 110-124.
- EL TITI, A. (1986 a): Unkrautkonkurrenz im Zuckerrübenanbau und ihre praktische Ausnutzung. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* **93**, 136-145.
- EL TITI, A. (1986 b): Zum Ökonomischen Nutzen von Ackerunkräutern im Integrierten Pflanzenschutz, Dargestellt am Zuckerrübenanbau. *Proc. EWRS Symposium 1986, Economic weed control*, 209-216.
- FLINT, E. P. und D.T. PATTERSON (1983): Interference and temperature effects on growth in soybeans (*Glycine max.*) and associated C₃ and C₄ Plants. *Weed Science* **31**, 193-199.
- GALLAGHER, J.N. (1976): The growth of cereals in relation to the weather. Ph. D. Thesis, Nottingham University
- GEROWITT, B. und R. HEITEFUß (1990): Weed economic thresholds in cereals in the Federal Republic of Germany. *Crop Protection* **9**, 323-331.

- GEROWITT, B. und R. HEITEFUß (1993): Schadensschwellen: ein Problem mit der Folgeverunkrautung. Pflanzenschutz-Praxis **4**, 27-29.
- GHOSLEH, H.Z., D.L. HOLZHUSER und J.M. CHANDLER (1996): The critical period of Johnson-grass (*Sorghum halepense*) control in field corn (*Zea Mays*). Weed Science **44** (4), 944-947.
- GLATTKOWSKI, H. und B. MÄRLÄNDER (1993): Umrechnung der Ergebnisse der Amnio-N-Bestimmung in Zuckerrüben für die Verwendung in der Reinefeld-Formel nach Umstellung auf Aluminiumsulfat-Klärung und fluorometrische Messung. Zuckerindustrie **118**, 247-249.
- GÖTZ, W., E. DORN, E. EBERT, K.H. KLEIST und H. KÖCHER (1983): HOE 39866 a new non-selective herbicide: chemical and toxicological properties – mode of action and metabolism. 9th Asian Pacific Weed Science Society, Manila, 401-404.
- GRACE, J.B. und D. TILMAN (1990): Perspectives on Plant Competition. Academic Press, Inc. San Diego, California.
- HACK, H. (1981): In welchen Zeiträumen muß die Zuckerrübe unkrautfrei sein? Die Zuckerrübe **30**, 127-130.
- HAGOOD, E. S., T.T. BAUMAN, J. L. WILLIAMS und M. M. SCHREIBER (1980): Growth analysis of soybeans (*Glycine max*) in competition with velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). Weed Science **28**, 729-734.
- HÄNI, A., H.U. AMMON und S. KELLER (1990): Vom Nutzen der Unkräuter. Landwirtschaft Schweiz **3**, 217-221.
- HANF, M. (1990): Ackerunkräuter Europas mit ihren Keimlingen und Samen. Verlagsunion Agrar.
- HARRISON, S.K., C.S. WILLIAMS und L.M. WAX (1985): Interference and control of giant foxtail (*Setaria faberi*) in soybeans (*Glycine max*). Weed Science **33**, 203-208.
- HEEMST VAN, H.D.J. (1985): The influence of weed competition on crop yield. Agricultural Systems **18**, 81-93
- HEIJBROEK, W. und C.F. VAN DE BUND (1982): The influence of some agricultural practices on soil organisms and plant establishment of sugar beet. Netherland Journal of Plant Pathology **88**, 1-17.
- HEITEFUSS, R., B. GEROWITT und H.-H. STEINMANN (1994): HR-Technik und Integrierter Pflanzenschutz. in: DAELE, W. van den *et al.*: Verfahren zur Technikfolgeabschätzung des Anbaus von Kulturpflanzen mit gentechnisch erzeugter Herbizidresistenz Heft 13, WZB Berlin.
- HESS, D. (1999): Pflanzenphysiologie. Ulmer Verlag, Stuttgart.
- HEWSON, H. T. und H. A. ROBERTS (1972): Effects of weed competition for different periods on the growth and yield of red beet. J. Hortic. Science **48**, 281-287.
- HEWSON, R.T., H.A. ROBERTS und W. BOND (1973): Weed competition in spring sown broad beans. Hortic. Research **13**, 25-29.
- HEYLAND, K.U. (1996): Spezieller Pflanzenbau. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- HOEVEN VAN DER, C., A. DIETZ und J. LANDSMANN (1994): Expression of phosphinotricin acetyltransferase from the root specific par promotor in transgenic tobacco plants is sufficient for herbicide tolerance. Plant Cell Reports **14** (2), 165-170.
- HOFFMANN, C. (1996): Impact of long term ploughless soil tillage on N-dynamics in soil and yield of sugar beet. Zuckerindustrie **121** (8), 616-622
- HOFFMANN, C., S. LINDEN und H.J. KOCH (1996): Influence of soil tillage in net N-mineralization under sugar-beet. Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde **159** (1), 79-85.
- HOLM, L.G. (1976): The importance of weeds in world food production. Proceedings of the 1976 British Crop Protection Conference – Weeds (13th British Weed Control Conference, British Crop Protection Council, 754-769.

- HOLMES, J. (1982): Sugar beet, a growers guide. Broom's Barn Experimental Station, Higham.
- HURLE K. (1994): Mögliche Veränderungen in der landwirtschaftlichen Praxis durch die HR-Technik. in: DEALE, W. van den *et al.*: Verfahren zur Technikfolgeabschätzung des Anbaus von Kulturpflanzen mit gentechnisch erzeugter Herbizidresistenz, Heft 12, WZB Berlin.
- ICUMSA (1994): The determination of the polarisation of sugar beet by the macerator or cold aqueous digestion method using aluminium sulphate as clarifying agent. Methods Book, Method GS6-3.
- IRONS, S. M. und O. C. BURNSINDE (1982): Competitive effects of sunflower (*Helianthus annua*). Weed Science **30**, 372–377.
- IVASHCHENKO. A.A. (1990): Characteristics of secondary weed-flush. Die Zuckerrübe **3**, 18-20. (russisch); Original: Иващенко А.А. (1990) Характеристика второй волны всходов сорняков. Сахарная свекла **3**, 18-20.
- IVASHCHENKO. A.A. (1991): If beet and weeds growth together. Die Zuckerrübe **1**, 25-27. (russisch). Original: ИВАЩЕНКО А.А. (1991) ЕСЛИ СВЕКЛА И СОРНЯКИ РАСТУТ ВМЕСТЕ. Сахарная свекла: Производство и переработка **1**, 25-27.
- IVASHCHENKO, A.A. (1998): Besonderheiten der Verunkrautung im Zuckerrübenanbau der Ukraine. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVI, 615-617.
- IVASHCHENKO, A.A. (2000): Die meistverbreiteten Unkräuter in der Waldsteppenzone der Ukraine. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVII, 121-123.
- JENSEN, P.K. (1995): Effect of light environment during soil disturbance on germination and emergence patterns of weeds. Annals of Applied Biology **127**, 561-571.
- JENSEN, J. E., J.C. STREIBIG und C. ANDERSEN (1997): Weed Science Compendium 1997 Edition. Section of Weed Science Department of Agricultural Science – Copenhagen, Denmark.
- KEES, H., E. BEER, H. BÖTGER, W. GARBURG, G. MEINERT und E. MEYER (1993 a): Wirtschaftliche Schadensschwelle. In Unkrautbekämpfung im integrierten Pflanzenschutz. DLG Verlag, Frankfurt/Main, 37-48.
- KEES, H., E. BEER, H. BÖTGER, W. GARBURG, G. MEINERT und E. MEYER (1993 b) : Unkrautbekämpfung im integrierten Pflanzenschutz. Ackerbau, Feldgemüse, Grünland. DLG-Verlag, Frankfurt/Main.
- KIRKWOOD, R. C. (1993): Use and mode of action of adjuvants for herbicides: a review of some current work. Pesticide Science **38**, 93-12.
- KNAKE, E.L. und F.W. SLIFE (1962): Competition of *Setaria faberii* with corn and soybeans. Weeds **10**, 26-29.
- KOCH, W. und K. HURLE (1978): Grundlagen der Unkrautbekämpfung. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- KOCH, W. (1979): Establishment of integrated control systems. EPO-Bull. **9** (1), 107-118.
- KOCH, W. UND A. KEMMER (1980): Schädwirkung von Unkräutern gegenüber Mais in Abhängigkeit der Konkurrenzdauer und Unkrautdichte. Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent **45**, 1099-1109.
- KÖCHER, H. (1982): Influence of the light factor on physiological effects of the herbicide HOE 39866. Aspects of Applied Biology **4**, 227-243.
- KÖCHER, H. (1989): Inhibitors of glutamine synthetase and their effects in plant. BCPC Mono. No.42 Amino Acid Biosynthetic Inhibitors, 173-182.
- KÖHNE, S., K. NEUMANN, A. PÜHLER und I. BROER (2000): The heat-treatment induced reduction of the pat gene encoded herbicide resistance in *Nicotiana tabacum* is influenced by the transgenic sequence. Journal of Plant Physiology **153** (5-6), 631-642.

- KONDO, Y.; SHOMURA, T.; Y. OGAWA; T. TSURUOKA; H. WATENNABE; K. TOTSUKAWA; T. SUZUKI; C. MORIYAMA; J. YOSHIDA; S. INOUYE und T. NIIDA (1973): Studies on a new antibiotic SF-1293. I: Isolation and physiochemical and biological characterization of SF-1293 substance. Scientific Reports of Meiji Seika Kaisha 13, 34-41.
- KROPFF, M.J., F.J.H. VOSSEN, C.J.T. SPITTERS und W. DE GROT (1984): Competition between a maize crop and a natural population of *Echinochloa crus-galli* (L.). Netherlands Journal of Agricultural Science **32**, 324-327.
- KROPFF, M.J. (1988): Modelling the effects of weeds on crop production. Weed Research **28**, 465-471.
- KROPFF, M.J. und C.J.T. SPITTERS (1991): A simple model of crop loss by weed competition from early observations on relative leaf area of the weeds. Weed Research **31**, 97-105.
- KROPFF, M.J. und C.J.T. SPITTERS (1992): An eco-physiological model for interspecific competition, applied to the influence of *Chenopodium album* L. on sugar beet. I. Model description and parameterization. Weed Research **32**, 437-450.
- KROPFF, M.J., C.J.T. SPITTERS, B.J. SCHNIEDERS, W. JOENJE und W. DE GROOT (1992): An ecophysiological model for interspecific competition, applied to the influence of *Chenopodium album* L. on sugar beet. II. Model evaluation. Weed Research **32**, 451-463.
- KROPFF, M.J. und H.H. VAN LAAR (1993): Modelling Crop-Weed Interactions. CAB International Wallingford.
- KROPFF, M.J., L.A.P. LOTZ, S.E. WEAVER, H.J. BOSS, J. WALLINGO und T. MINGO (1995): A two parameter model for prediction of crop loss by weed competition from early observations of relative area of the weeds. Annals Applied Biology **126**, 329-346.
- LANGELÜDDKE, P., H. BAEDELDT und H. BIERINGER (1985): Trials on the influence of air humidity and rainfall on the efficacy of glufosinate-ammonium. Proc. EWRS-Symposium: Factors affecting herbicidal activity and selectivity, 227-232.
- LAUDIEN, H. (1972): Beiträge zur Biologie der Schadhirsens. Dissertation Universität Hohenheim
- LAUER, E. (1953): Über die Keimtemperatur von Ackerunkräutern und deren Einfluss auf die Zusammensetzung von Unkrautgesellschaften. Flora (Jena) **140**, 551-595.
- LEASON, M., D. CUNLIFFE, D. PARKIN, P.J. LEA und B.J. MIFLIN (1982): Inhibition of pea leaf glutamine synthetase by methionine sulphoximine, phosphinothricin and other glutamate analogues. Phytochemistry **21**, 855-857.
- LECHNER, M., K. HURLE, J. PETERSEN und A. KEMMER (1996): Untersuchungen mit Basta in Glufosinat-ammonium resistenten Mais – Vegetationsmanagement und Wirkung gegen Unkräuter. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XV, 181-191.
- LI, M. Y. (1960): An evaluation of the critical period and the effects of weed competition on oats and corn. Dissertation of the State University of New Brunswick.
- LOTZ, L.A.P., R.M.W. GROENEVELD und N.A.M.A. DE GROOT (1991): Potential for reducing herbicide inputs in sugar beet by selecting early closing cultivars. Brighton Crop Protection Conference - Weeds, 1241-1248.
- LOTZ, L.A.P., M.J. KROPFF, J. WALLINGA, H.J. BOS und R.M.V. GROENEVELD (1994): Techniques to estimate relative leaf area and cover of weeds in crops for yield loss prediction. Weed Research **34**, 167-175.
- LOTZ, L.A.P., S. CHRISTENSEN, D. CLOUTIER, C. FERNANDEZ QUINTANTILLA, A. LEGERE, C. LE MIEUX, P.J.W. LUTMAN, A. PARDO IGLESIAS, A. SALONEN, M. SATTIN, L. STIGLANI und F. TEI (1996): Prediction of the competitive effects of weeds on crop yields based on the relative leaf area of weeds. Weed Research **36**, 93-101.

- LUTMAN, P.J.W., R. RISIOTT und H.P. OSTERMANN (1996): Investigation into alternative methods to predict the competitive effects of weeds on crop yields. *Weed Science* **44**, 290-297.
- MACKLON, A.E.S., M.M. RON und A. SIM (1990): Cortical cell fluxes of ammonium and nitrate in excised root segments *Allium cepa* L. ; studies using ¹⁵N. *Journal of Experimental Botany* **41**, 359-370.
- MALKOMES, H.P. (1996): Einfluss von Ackerunkräutern auf Bodenmikroorganismen – eine Übersicht. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XV*, 581-591.
- MÄRLÄNDER, B. (1990): Einfluss der Bestandesdichte auf Ertrags- und Qualitätskriterien sowie über mögliche Ursachen der Konkurrenz in Zuckerrüben. *Journal of Agronomy and Crop Science* **164**, 120-130.
- MÄRLÄNDER, B. (1991): Zuckerrüben: Produktionssteigerung bei Zuckerrüben als Ergebnis der Optimierung von Anbauverfahren und Sortenwahl sowie durch Züchtungsfortschritte. Ute Bernhardt-Pätzold Druckerei und Verlag, Stadthagen.
- MÄRLÄNDER, B. und H. BRÄUTIGAM (1994): Bestandesdichten von Zuckerrüben und Intensität der Verunkrautung – erste Ansätze Integrierter Unkrautregulierung. *Gesunde Pflanze* **46** (4), 117-122.
- MÄRLÄNDER, B. (1996): Haben gentechnisch veränderte herbizidresistente Zuckerrüben einen landeskulturellen Wert? – Zur Frage der Rentabilität von Applikationssystemen nicht selektiver Herbizide. *Zuckerindustrie* **121** (8), 602-608.
- MARSCHNER, H. (1995): Mineral nutrition of higher plants. 2. Aufl., Academic Press, London.
- MASCHHOFF, J.R., S.E. HART und J.L. BALDWIN (2000): Effect of ammonium sulfate on the efficacy, absorption and translocation of glufosinate, *Weed Science*, **48**, 2-6.
- MATTHIASSEN, S. K. und P. KUDSK (1993): The influence of adjuvants on the activity, rainfastness and response to climatic conditions of glufosinate. 8th EWRS Symposium "Quantitative approaches in weed and herbicide research and their practical applications", Braunschweig, 243-250.
- MAY, M.J. (2000): Efficiency and selectivity of RR and LL Weed Control Techniques compared to classical weed control systems. Proc. 63rd IIRB-Congress – Schweiz Interlaken, 163-170.
- MEHRA, S., A. PAREEK, P. BANDYOPADHYAY, P. SHARMA, P. KUMAR und D. PENTAL (2000): Development of transgenic in indian oilseed mustard (*Brassica juncea*) resistant to herbicide phosphinotricin. *Current Research* **78** (10), 1358-1364.
- MEIER, U.L., L. BACHMANN, E. BUHTZ, H. HACK, R. KLOSE, B. MÄRLÄNDER und E. WEBER (1993): Phänologische Entwicklungsstadien der Beta Rübe (*Beta vulgaris* L. ssp.). *Nachrichtenblatt Dt. Pflanzenschutzdienst* **45**, 37-41.
- MENGEL, K. (1984): Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart.
- MERSEY, B.G.; J.C. HALL; D. M. ANDERSON und C. J. SWANTON (1990): Factors affecting the herbicidal activity of glufosinate-ammonium: absorption, translocation and metabolism in barley and green foxtail. *Pesticide Biochemistry and Physiology* **37**, 90-98.
- MEYER, H., U. WIDMER und H.U. AMMON (1986): Konkurrenz der Unkräuter und Einfluß auf die Unkrautbekämpfungssysteme im Zuckerrübenanbau. Proceedings 49th IIRB-Congress, Brussels, 263-275.
- MICHEL, A., J. PETERSEN, M.N. DOGAN und V. ERNST (1999): Anleitung zur Anlage und Auswertung von Versuchen zur Erstellung quantitativer Dosis-Wirkungsbeziehungen am Beispiel der Wirksamkeit von Herbiziden. *Gesunde Pflanze* **1**, 10-19.
- MILFORD, G.F. und D. J. WATSON (1971): The effect of nitrogen on the growth and sugar content of sugar beet. *Annals of Botany* **35**, 287-300.

- MILFORD, G.F.J. und G.N. THORNE (1973): The effect of light and temperature late in the season in the growth of sugar beet. *Annals of Applied Biology* **75**, 419-425.
- MILFORD, G. F. J. und J .R. LENTON (1976): Effect of Photoperiod on Growth of Sugar Beet. *Annals of Botany* **40**, 1309-1315.
- MILFORD, G.J.F. und J. RILEY (1980): The effects of temperature on leaf growth of sugar beet varieties. *Annals of Applied Biology* **94**, 431-433.
- MILFORD G.F.J., T.O. POCOCK UND J. RILEY (1985 a): An analysis of leaf growth in sugar beet. I: Leaf appearance and expansion in relation to temperature under controlled conditions. *Annals of Applied Biology* **106**, 163-172.
- MILFORD, G.F.J., T.O. POCOCK und J. RILEY (1985 b): An analysis of leaf growth in sugar beet. II. Leaf appearance in field crops. *Annals of Applied Biology* **106**, 173-185.
- MILFORD, G.F.J., T.O. POCOCK, K.W. JAGARD, P.V.BISCOE, M.J. ARMSTRONG, P.J. LAST und P.J. GODMANN (1985 c): An analysis of leaf growth in sugar beet. IV. The expansion of the leaf canopy in relation to temperature and nitrogen. *Annals of Applied Biology* **107**, 335-347.
- MONKS, D.W. und J.R. SCHULTHEISS (1996): Critical weedfree period for large crabgrass (*Digitaria sanguinalis*) in transplanted watermelon (*Citrullus lanatus*). *Weed Science* **46** (5), 530-532.
- MOSS, S. R. (1985): The influence of crop variety and seed rate on *Alopecurus myosuroides* in winter cereal. *British Crop Protection Conference-Weeds*, 701-708.
- MONTEMURRO, P., A. Castrignano und M. Fracchiolla (1999): The critical period for weed control in sugar beet. 11th –EWRS Symposium Basel, 67-71.
- MUNZEL, L. (1992): Überprüfung und Weiterentwicklung eines Schadensschwellenmodells zur gezielten Unkrautbekämpfung im Winterraps (*Brassica napus* L. var *napus*). Dissertation Universität Göttingen.
- MULUGETA, D. und C.M. BOERBOOM (2000): The critical time of weed removal in glyphosate-resistant *Glycine max*. *Weed Science* **48**, 35-42
- MÜLLER-SCHÄRER, H. und D.T. BAUMANN (1993): Unkrautregulierung im Gemüsebau: Konzepte zur Reduzierung des Herbizideinsatzes. *Landwirtschaft Schweiz* **6**, 401-407
- MÜLLER, P.B., A. ZUMDICK, I. SCHUPHAN und B. Schmidt (2001): Metabolism of the herbicide glufosinate-ammonium in plant cell cultures of transgenic sugarbeet (*Beta vulgaris*), carrot (*Daucus carota*), purple foxglove (*Digitalis purpurea*) and thorn apple (*Datura stramonium*). *Pest Management Science* **57**, 46-56.
- MUNZERT, M. (1992): Einführung in das pflanzenbauliche Versuchswesen. Verlag Paul Parey
- NEHRA, N., R.N. CHIBBAR, N. LEUNG, K. CASWELL, C. MALLARD, L. STEINHAVER, M. BAGA und K. KARTHA (1994): Self fertile transgenic wheat plants regenerated from isolated scutellar tissues following microprojectile bombardment with two distinct gene constructs. *Plant Journal* **5**, 285-297.
- NEURURER, H. (1975): Weitere Erfahrungen in der Beurteilung der tolerierbaren Verunkrautungsstärke. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft VII*, 63-69.
- NIETO, J. H., BRANDO, M. A. und J.T. GONZALES (1968): Critical periods of crop growth cycle for competition from weeds. *Pest Artic. News Summ.* **14**, 159-165.
- NIEMANN, P. (1988): Ein Ansatz zur Bewertung von Ackerunkräutern. *Mitteilungen BBA* **247**, 115-128.
- OERKE, E.C., H.W. DEHNE, F. SCHÖNBECK und A. WEBER (1994): Crop production and crop protection. Elsevier, Amsterdam.
- OLIVER, L.R (1979): Influence of soybean (*Glycine max*) planting data on velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). *Weed Science* **27**, 183-189.

- OPANASENKO, G. (1999): The influence of primary cultivation of soil on weed infestation of areas under sugar beet. *International Agriculture Journal* **3**, 58-60 (russisch); Original: Опанасенко Г. (1999) Влияние обработки почвы на прорастание сорняков на сахарной свекле. *Международное сельское хозяйственный журнал* **3**, 58-60.
- ОТТЕ, А. (1996): Populationsbiologische Parameter zur Kennzeichnung von Ackerwildkräutern. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XV*, 45-60.
- OZTURK, M., H. REHDER und H. ZEIGLER (1981): Biomass Production of C₃ and C₄ Plants species in pure and mixed culture with different water supply. *Oecologia (Berl.)* **50**, 73-81.
- PALLUTT, B. u. W. RÖDER (1992): Zur Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit von unkrautbedingten Kornertragsverlusten bei Wintergetreide. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XIII*, 129-137.
- PAOLINI, R., M. PRINCIPI, R. J. FROUD-WILLIAMS, S. DEL PUGLIA und E. BIANCARDI (1999): Competition between sugarbeet and *Sinapis arvensis* and *Chenopodium album*, as affected by timing of nitrogen fertilization. *Weed Research* **39**, 425-440.
- PARK, J. K. und D.S. KIM (1971): Distribution of weeds and their competition with rice in Korea. *Proc. 3rd Asian Pacific Weed Science Society Conf. Kuala Lumpur*, 25-31.
- PATTERSON, D.T. (1979): The effects of shading on the growth and photosynthetic capacity of Itchgrass (*Rottboellia exaltata*). *Weed Science* **27**, 549-553.
- PATTERSON, D. T. und E. P. FLINT (1983): Comparative water relations, photosynthesis, and growth of soybean and seven associated weeds. *Weed Science* **31**, 318-323.
- PATTERSON, D.T. (1995): Effects of environmental stress on weed/crop interactions. *Weed Science* **43**, 483-490.
- PETERSEN, J. und K. HURLE (1998): Einführung von herbizidresistenten Sorten: Konsequenzen für die Unkrautbekämpfung. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVI*, 365-372.
- PETERSEN, J. (1999): Untersuchungen zur Unkrautbekämpfung mit Bodendeckern in herbizidresistentem Mais. *Dissertation Universität Hohenheim*.
- PETERSEN, J., K. BÜRCKY und B. MÄRLÄNDER (2000): Liberty Link und Roundup Ready in Zuckerrüben. *Deutsche Zuckerrübenzeitung* **2**, 12-13.
- PEKRUN, C. und W. CLAUPEIN (1998): Forschung zur reduzierten Bodenbearbeitung in Mitteleuropa: Eine Literaturübersicht. *Pflanzenbauwissenschaften* **2**, 160-175.
- PLATTE, H., B. MÄRLÄNDER, M. NIEMANN, L. BEIßNER, G. BÜTTNER, E. LADEWIG, W.R. SCHÄUFLELE und A. WELLMANN (1998): Unkrautbekämpfung in gentechnisch veränderten herbizidtoleranten Zuckerrüben – ein zukunftsweisender Weg? *Zuckerindustrie* **123** (9), 723-729.
- PLINE, W. A., J. WU und K.K. HATZIOS (1990): Absorption, translocation, and metabolism of glufosinate in five weed species as influenced by ammonium sulfate and pelargonic acid. *Weed Science* **47**, 636-643.
- PRADO DE, J. JORRIN und L. GARCIA-TORRES (1997): *Weed and crop resistance to herbicides*. Kluwer Academic Publisher.
- PREMATILAKE, K. G., R. J. FROUD WILLIAMS und P. B. EKANAYAKE (1999): Investigation of period threshold and critical period of weed competition in young tea. *Brighton Crop Protection Conference. Weeds (Volume 1-3)*, 363-368.
- PRICE, C.E. (1983): *The effect of environment on foliage uptake and translocation of herbicides*. Academic Press, London.
- RADOSEVICH, S., J. HOLT und C. GHERSA (1997): *Weed Ecology. Implications for Management*. John Wiley & Sons, Inc. Weinheim.
- RASCHE, E. und G. DONN (1995): Herbicide tolerant crops. *Forum on Biosafety - Basel* 11-19.

- RASKIN, R., E. GLÜCK und W. PFLUG (1992): Floren und Faunenentwicklung auf herbizidfrei gehaltenen Agrarflächen – Auswirkungen des Ackerlandstreifenprogramms. *Natur und Landschaft* **67** (1), 7-14.
- READ, M.A. und M.N. BUSH (1998): Control of weeds in genetically modified sugar beet with glufosinate ammonium in the UK. *Annals of Applied Biology* **52**, 401-493.
- RIDLEY, S. M. und S. F. MCNALLY (1985): Effects of phosphinotricin on the isoenzymes of glutamine synthetase isolated from plant species which exhibit varying degrees of susceptibility to the herbicide. *Plant Science* **39**, 31-36.
- ROBERTS, H.A., R.T. HEWSON und M. E. RICKLETTS (1977): Weed Competition in drilled summer lettuce. *Horti. Research* **17**, 39-44.
- ROIK, I.N.(1997): Wissenschaftlicher Stand, Probleme und Perspektiven der intensiven Zuckerrübenproduktion in der Ukraine. Institut für Zuckerrübenforschung der Ukrainischen Akademie der Agrarwissenschaften, Kiew **8** (ukrainisch) Original: Ройк І.Н. (1997) Наукове забезпечення інтенсивної технології вирощування цукрових буряків в Україні. Наководслідний інститут вирощування цукрових буряків Української академії наук, Київ **8**
- RÖSSNER, L (1983): Befall von Unkräutern mit Nematoden der Gattung *Pratylenchus*. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* **90**, 22-27.
- ROTHER, B. (1998): Die technische Qualität der Zuckerrübe unter dem Einfluss verschiedener Anbaufaktoren. Dissertation Universität Göttingen.
- RÖVER, A. (1994): Ertragsbildung von Zuckerrüben in Abhängigkeit von Blattfläche und intraspezifischer Konkurrenz. Dissertation Univerisät Göttingen.
- ROYAL, S. S., BRECKE B. J. und D. L. COLVIN (1997): Common Cocklebur (*Xanthium strumarium*) interference with peanut (*Arachis hypogaea*). *Weed Science* **45** (1), 38-43.
- RUSSELL, E.W., B.A. KEEN und H.H. MANN (1942): Studies in soil cultivation – the effect of intertillage on the sugar beet crop. *J. agric. Science* **32**, 330-337.
- SALIMI, H., H. RAHIMIAN und D. SHAHRIARY (2002): Determination of critical period of weed control in tomato. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVIII*, 511-518.
- SANDHU, K.S. und GILL, G.S. (1973): Studies on critical period of weed competition in maize. *Indian J. Weed Science* **5**,1-5.
- SCHÄUFELE, W.R. und C. WINNER (1976): Untersuchungen über den Einfluss einer Unkrautkonkurrenz auf Zuckerrüben. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft VIII*, 69-77.
- SCHÄUFELE, W.R. (1986): Einfluss hochwachsenden Unkrautes (*Chenopodium album*) auf Entwicklung und Ertrag der Zuckerrübe. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* **93** (2), 125-135.
- SCHÄUFELE, W.R. (1991): Einfluss niedrigwachsender Unkräuter zwischen den Reihen auf den Ertrag der Zuckerrüben. *Gesunde Pflanze* **43**, 175-179.
- SCHÄUFELE, W.R. (1991a): Wieviel Unkraut vertragen die Rüben. *DLG-Mitteilungen* **4**, 42-45.
- SCHÄUFELE, W.R. (1997): Restverunkrautung in Zuckerrüben – ein Problem? *Zuckerrübe* **46**, 130-131.
- SCHÄUFELE, W. R. und A. WELLMANN (1997): Wann setzt Unkrautkonkurrenz in Zuckerrüben ein? *Proc. 60th IIRB Congress Cambridge*, 177-187.
- SCHÄUFELE, W.R., H. HARMS und U.E. PFLEIDERER (1998): Modellversuche zum Einsatz des nichtselektiven Herbizids BASTA in Zuckerrüben. *Zuckerindustrie* **123** (12), 947-949.

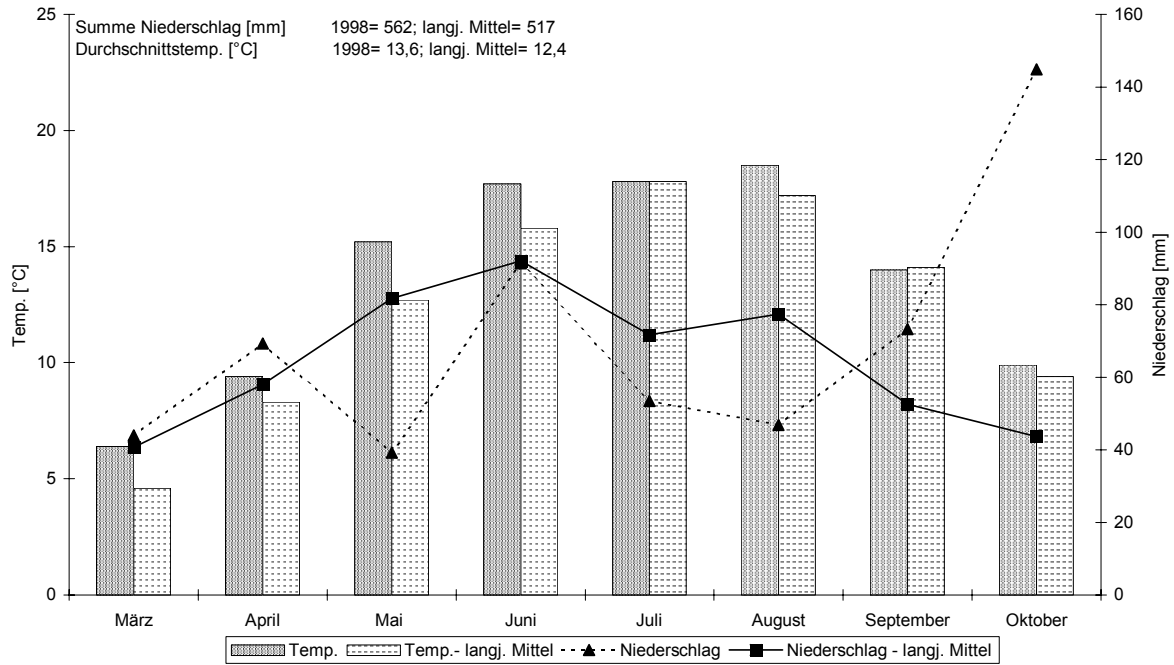
- SCHÄUFELE, W.R. und H. HARMS (1998): Modellversuche zum Einsatz des nicht selektiven Herbizides BASTA in Zuckerrüben. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVI, 435-443.
- SCHÄUFELE, W.R. und U.E. PFLEIDERER (2000). Ansätze zur Bekämpfung von Ausfallraps, Kartoffeldurchwuchs in herbizidresistenten Zuckerrüben – erste Ergebnisse. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVII, 403-409.
- SCHREIBER, U., BILGER, W. und C. NEUBAUER (1994): Chlorophyll fluorescence as a non-intrusive indicator for rapid assessment. Ecological Studies **100**, 49-70.
- SCHREIBER, U., HARMANN, H., NEUBAUER und C. KLUGHAMMER (1995): Assessment of photosystem II photochemical quantum yield by chlorophyll fluorescence quenching analysis. Aust. J. Plant Physiol. **22**, 209-220.
- SCHWEIZER, E.E (1981): Broadleaf Weed interference in sugar beet. Weed Science **29**, 128-132.
- SCHWEIZER, E.E. (1983): Common Lambsquarter (*Chenopodium album*) interference in sugar beet. Weed Science **31**, 5-8.
- SCHWEIZER, E. E. und T.C. LAURIDSON (1985): Powell Amaranth (*Amaranthus powelli*) interference in sugarbeet (*Beta vulgaris*). Weed Science **33**, 518-520.
- SCHWEIZER, E.E. und M.J. MAY (1993): Weeds and weed control. in: D.A. Cooke, R.K. Scott: The sugar beet crop. Chapman & Hall. London, 485-519.
- SCHWERDTLE, F., H. BIERINGER und M. FINKE (1981): HOE 039866 – ein neues, nicht selektives Blattherbizid. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft IX, 431-440.
- SCOTT, R.K. und F.R. MOSEY (1972): The effect of weeds on the sugar beet crop. Proc. 11th Brighton Weed Control Conf., 491-498.
- SCOTT, R.K. und S.J. WILCKOSON (1974): The effect of sowing date on the critical period for weed control in sugar beet. Proc. 12th Brighton Weed Control Conf., 461-468.
- SEEFELDT, S., J.E. JENSEN und E.P. FUERST (1995): Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationships. Weed Technology **9**, 218-227.
- SMITH, H. (1982): Light quality, photoreception and plant strategy. Annual Review of Plant Physiology **33**, 481-518.
- SMITH, R.J. (1984): Competition of spreading dayflower (*Commelina diffusa*) with rice (*Oryza sativa*). Weed Science **32**, 116-119.
- SPITTERS, C.J.T. (1983): An alternative approach to the analysis of mixed cropping experiments. Estimation of competition effects. Netherland Journal of Agricultural Science **31**, 1-11.
- STEBBING, J.A., R.G. WILSON, A.R. MARTIN und J.A. SMITH (2000): Row spacing, redroot pig weed (*Amaranthus retroflexus*) and sugarbeet (*Beta vulgaris*) cultivar effects on sugarbeet development. Journal of Sugar Beet Research **37** (2), 11-31.
- STECKEL, G.J., L.M. WAX, F.W. WILLIAM SIMMONS und W.H. PHILLIPS (1997 a): Glufosinate efficacy on annual weeds is influenced by rate and growth stage. Weed Technology **11**, 484-488.
- STECKEL, G.J., S.E. HART und L.M. WAX (1997 b): Absorption and translocation of glufosinate on four weed species. Weed Science **45**, 378-381.
- STERN, V.M., R.F. SMITH und R. van den BOSCH (1959): The integrated control concept. J. agr. Science **29** (2), 81-101.
- STEINER, H., A. EL TITI und J. BOSCH (1986): Integrierter Pflanzenschutz im Ackerbau: Das Lauterbach-Projekt, I: Versuchsprogramm. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz **93**, 1-18.

- STREIBIG, J.C. (1988): Herbicide bioassay. *Weed Research* **28**, 479-484.
- STREIBIG, J.C. und P. KUDSK (1993): Herbicide bioassay. CRC Press, Boca Raton.
- STREIBIG, J.C., A. WALKER, A.M. BLAIR, G. ANDERSON TAYLOR, D.J. EAGLE, H. FREILÄNDER, E. HACKER, W. IWANZIK, P. KUDSK, C. LABHART, B.M. LUSCOMBE, G. MADAFIGLIO, P.C. NEL, W. PESTEMER, A. RAHMAN, G. RETZLAFF, J. ROLA, L. STEFANOVIC, H.J.M. STRAATHOF und E.P. THIES (1995): Variability of biomass with metsulfuron-methyl in soil. *Weed Research* **35**, 215-224.
- STROUTHOPOULUS, T. G. (1975): Competition entre mauvaises herbes et betteraves sucrieres. 3^e Reunion Internationale sur le Desherbage Selectif en Cultures de Betteraves, Paris, Vol. 1, 321-335.
- SUSKOW, M.D. (1982): Die Fruchtfolge unter Anwendung industriemäßiger Anbautechnologie. Die Zuckerrübe 7, 2-8 (russisch); Original: Сушков М.Д. (1982) Севооборот при индустриальной технологии. Сахарная свекла 7, 2-8
- ULBER, B. (1980): Untersuchungen zur Nahrungswahl von *Onychiurus fiatus* Gisin (*Onychiuridea*, *Collembola*), einem Aufgangsschädling der Zuckerrübe. *Z. angew. Entomologie* **90**, 333-346.
- VAN HEEMST, H.D.J. (1985): The influence of weed competition on crop yield. *Agricultural Systems* **18**, 81-93.
- VASIL, I.K. (1996): Phosphinotricin-resistant crops. in: DUKE, S.O.: Herbicide Resistant Crops. Boca Raton, F.L. CRC Press, 85-91.
- VERSCHWELE, A. und P. NIEMANN (1993): Indirekte Unkrautbekämpfung durch die Sortenwahl. 8th EWRS Symposium, Quantitative approaches in weed and herbicide research and their practical application, 799-806.
- VESCOVI, F. D., F. TANO, A. C., SPARACINO, R. FERRO und N. NIVA (1996): Effects of time and duration of competition between Rice (*Oryza sativa* L.) and *Heteranthera reniformis* Ruiz et pavon. *Med. Fac. Landbouww. Univ. Gent* **61**, 1125-1128.
- WADE, B. R., D. R. RIECHERS, R.A. LIEBL und L.M. WAX (1993): The plasma membran as a barrier to herbicide penetration and site for adjuvant action. *Pesticide Science* **37**, 195-202.
- WAHL, S.A. und K. HURLE (1988): Einfluss langjähriger pflanzenbaulicher Maßnahmen auf die Verunkrautung-Ergebnisse aus dem Lautenbach-Projekt. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XI*, 109-119.
- WATSON, D.J., T. MOTOMATSO, K. Loach und G.F.J. Milford (1972): Effects of shading and of seasonal differences in weather on the growth, sugar content and sugar yield of sugar beet crops. *Annals of Applied Biology* **71**, 159-185.
- WEATHERBURN, M.W. (1967): Phenol-hypochlorite reaction for determination of ammonia. *Analytik Chemistry* **39**, 971-974.
- WEATHERSPOON, D.M. und E.E. Schweizer (1971): Competition between sugarbeets and five densities of Kochia. *Weed Science* **19**, 125-128.
- WEAVER, S. E. (1983): Weed Interference in transplanted tomatoes (*Lycopersicon esculentum*). *Weed Science* **37**, 476-481.
- WEAVER, S.E. (1984): Critical period of weed competition in three vegetable crops in relation to management practices. *Weed Research* **24**, 317-325.
- WEAVER, S.E., C.S. TAN und P. BRIAN (1988): Effect of temperature and soil moisture on time of emergence of tomatoes and four weed species. *Canadian Journal of Plant Science* **68**, 877-886.

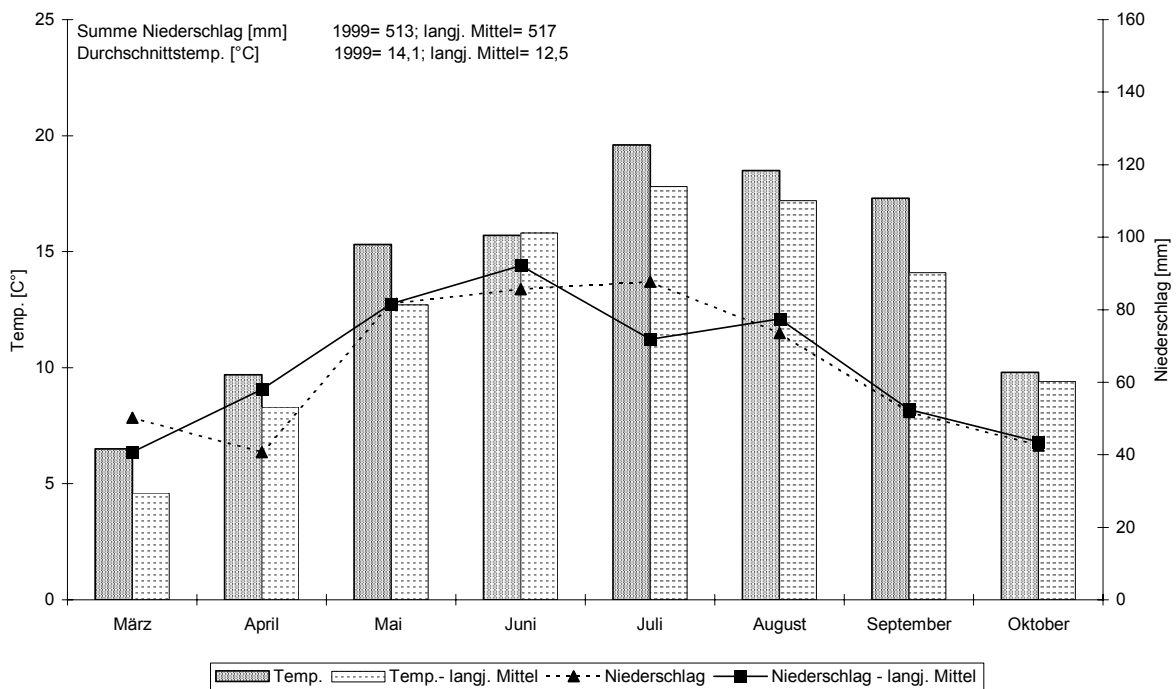
- WEAVER, S.E.; M.J. KROPFF und R.M.V. GROENEVELD (1992): Use of ecophysiological models for crop-weed interference: the critical period of weed interference. *Weed Science* **40**, 302-307.
- WEGENER, U.; H. MILLER und H.J. KOCH (2000): Einfluss verschiedener Bodenbearbeitungsverfahren auf die Erträge in einer Zuckerrübenfruchtfolge. Proceedings 63rd IIRB Congress, Interlaken Schweiz, 393-398.
- WELLMANN, A. (1999): Konkurrenzbeziehungen und Schadensprognose in Zuckerrüben bei variiertem zeitlichen Auftreten von *Chenopodium album* L. und *Chamomilla recutita* (L.) Rauschert. Dissertation Universität Göttingen.
- WELSH, J.P., H.A.J. BULSON, C.E. STOPES, R.J. FROUD-WILLIAMS und A.J. MURDOCH (1997): The critical period of weed competition and its application in organic winter wheat. Brighton Crop Protection Conference: Weeds. Vol. 1-3, 105-110.
- WELSH, J.P., H.A.J. BULSON, C.E. STOPES, R.J. FROUD-WILLIAMS und A.J. MURDOCH (1999): The critical weed free period in organically-grown winter wheat. *Annals of Applied Biology* **134** (3), 315-320.
- WENDLER, C. und A. WILD (1990): Effect of phosphinotricin (glufosinate) on photosynthesis and photorespiration. *Zeitschrift für Naturforschung* **45**, 535-537.
- WEVERS, J.D.A. (1998): The environmental contamination of weed control in transgenic herbicide resistant sugar beet. Proc. 61st IIRB Congress, 365-368.
- WILD, A.; H. SAUER und W. RÜHLE (1987): The effect of phosphinotricin (glufosinat) on photosynthesis. I. Effect of photosynthesis and accumulation of ammonia. *Zeitschrift für Naturforschung* **44**, 263-267.
- WINNER, C. (1974): Die Jugendentwicklung in ihrer Bedeutung für das spätere Wachstum und den Ertrag. *Zucker* **27**, 517-527.
- WINNER, C. und R. MERKES (1975): Effect of plant density and row width on yield and quality of sugar beet drilled to a stand. *Zucker* **28**, 655-660.
- WINNER, C. (1981): Zuckerrübenanbau. DLG-Verlag, Frankfurt/Main.
- WINTER, S.R. und H.F. WIESE (1976): Competition of annual weeds and sugarbeets. *Journal of the American Society of Sugar Beet Technologists* **19**, 125-129.
- WITTS, K.J. und P.J. WELBANK (1961): Competitive effects of *Agropyron repens* and *Agrositis gigantea*, Rept. Rothamsted Expt. Stn., Harpenden, Herts, England 85-86.
- WITZENBERGER, A., H. HACK, A. SCHNEIDER und B. LANDES (1989): Neue Technologien zur Anwendung von Herbiziden im Zuckerrübenanbau und anderen einjährigen Feldkulturen. *Gesunde Pflanze* **41** (3), 113-116.
- WOLF, I. (1995): Sorte und Qualität bei Zuckerrüben und deren Wechselwirkung zu Umwelt und Qualitätsbezahlung. Dissertation Universität Göttingen.
- WRATHER, J.A. und A.H. FREYTAG (1991): Selection of atrazine tolerant soybean and expression of that tolerance in regenerated plants. *Plant Cell Reports* **10**, 44-47.
- YOUNG F.L., D. L. WYSE und R.J. JONES (1982): Influence of quackgrass (*Agropyron repens*) density and duration of interference on corn (*Zea mays*). *Weed Science* **30**, 614-618.
- ZIMDAHL, R.L. (1980): Weed-Crop Competition: A Review. International Plant Protection Center, Corvalls, Oregon, USA.
- ZIMDAHL, R.L. (1981): The concept and application of the Weed-Free Period. in: M.A. ALTIERI und M. LIEBMAN: *Weed Management in Agroecosystems: Ecological Approaches*, CRC Press., 145-154.

7 Anhang

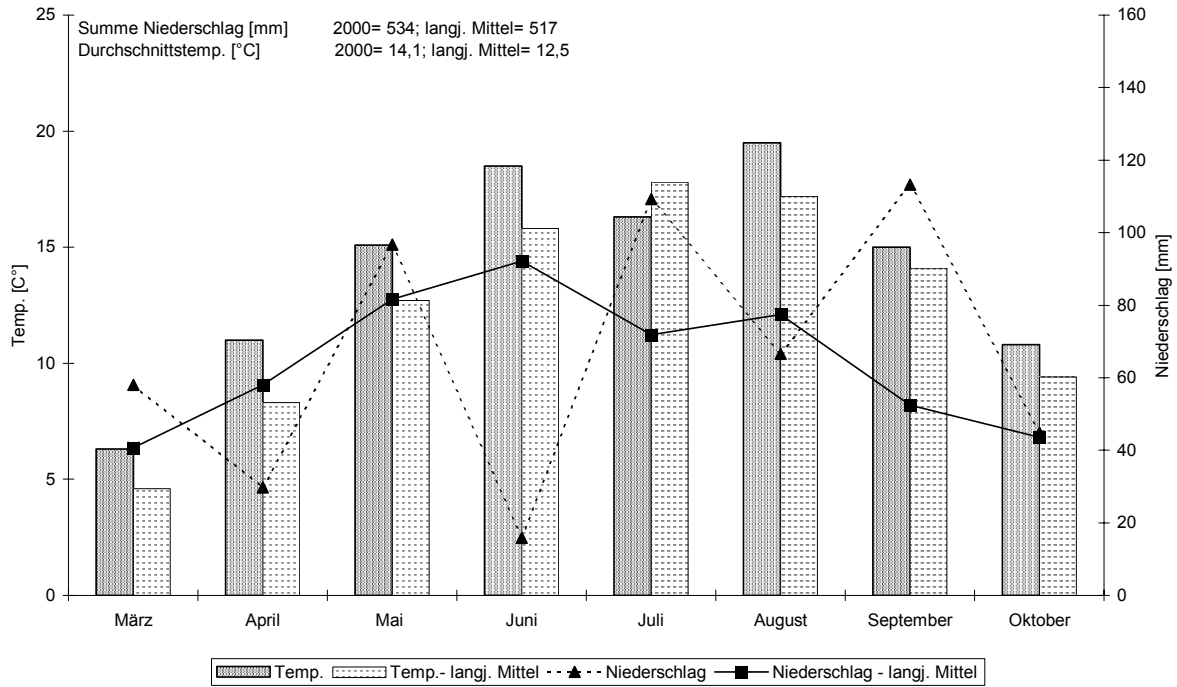
Anhang 1: Witterungsverlauf Vegetationsperiode Hohenheim 1998



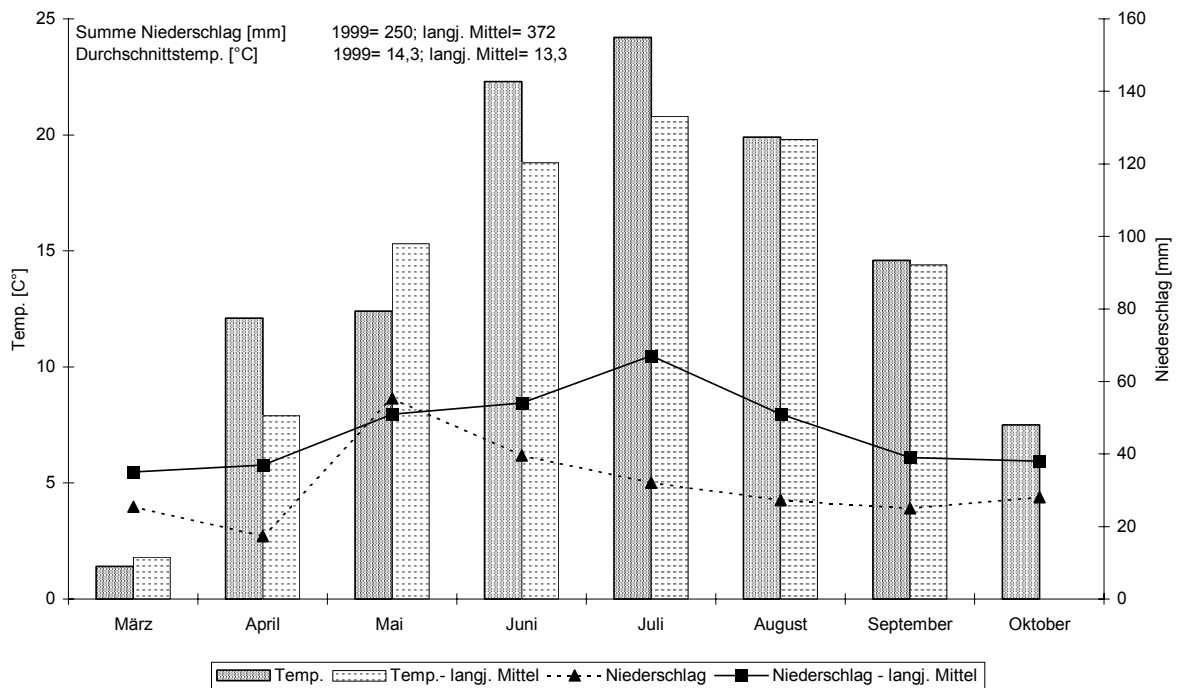
Anhang 2: Witterungsverlauf Vegetationsperiode Hohenheim 1999



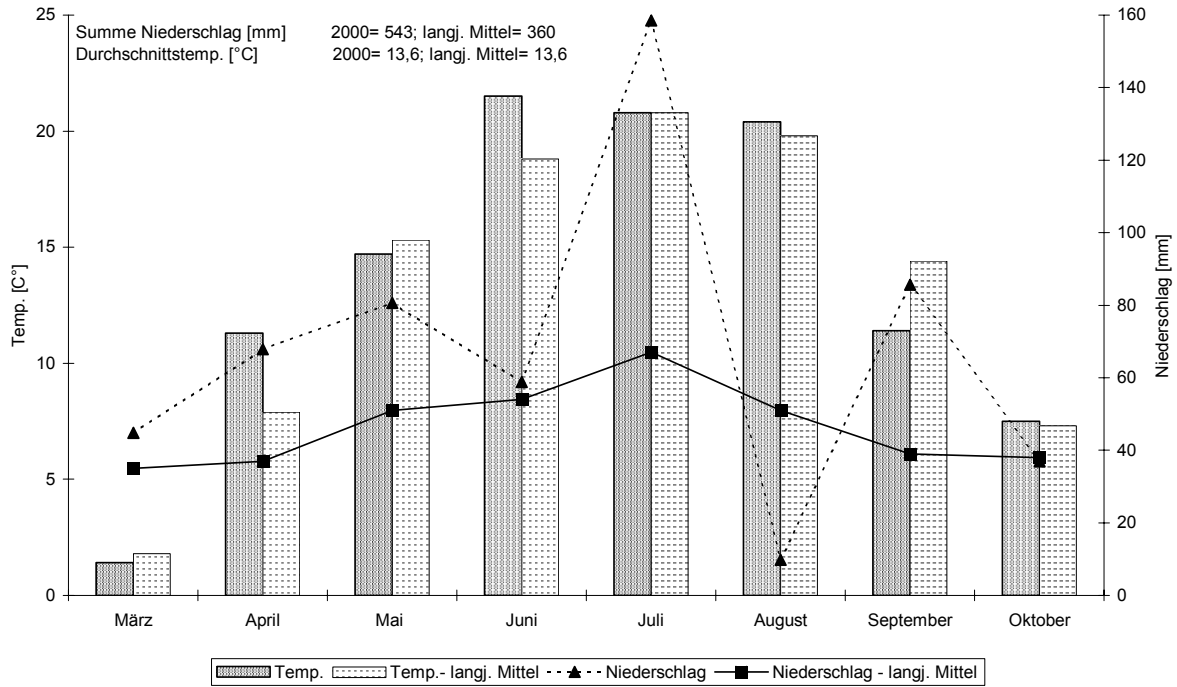
Anhang 3: Witterungsverlauf Vegetationsperiode Hohenheim 2000



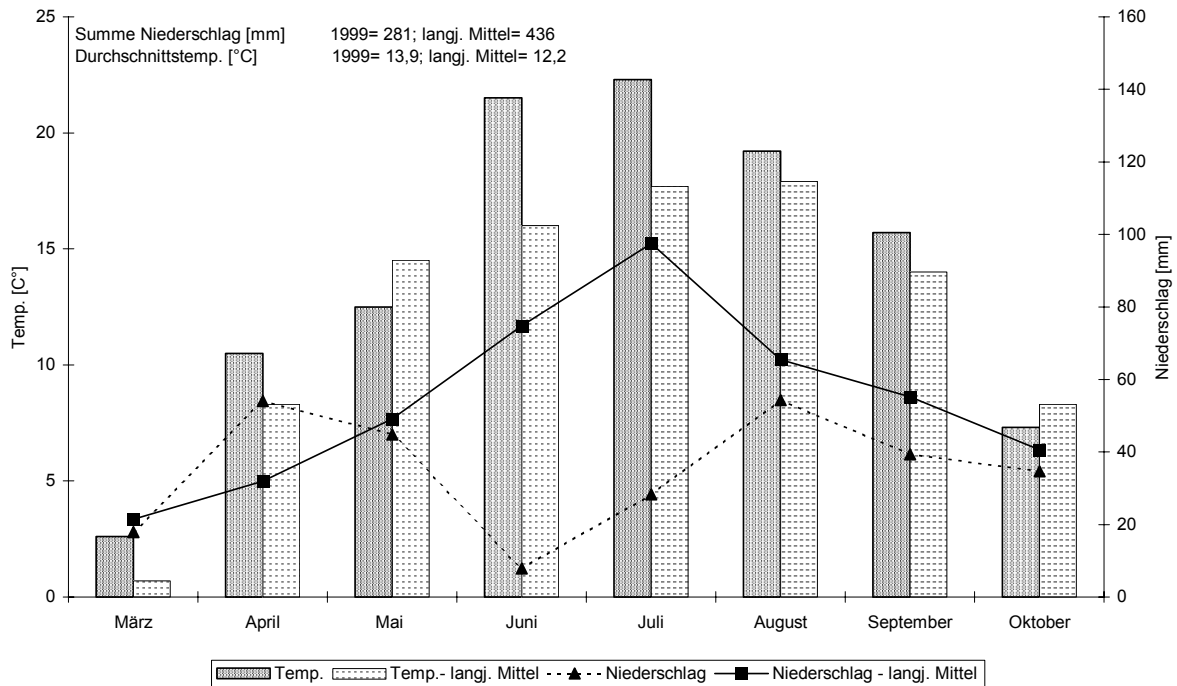
Anhang 4: Witterungsverlauf Vegetationsperiode Poltava 1999



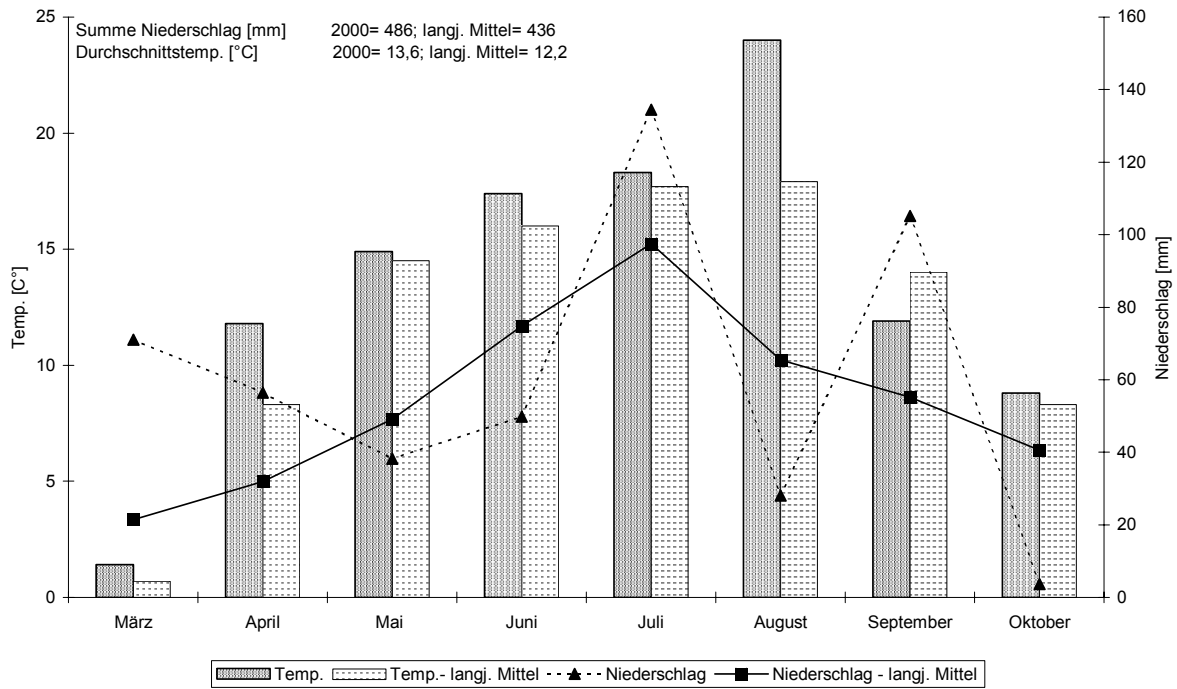
Anhang 5: Witterungsverlauf Vegetationsperiode Petrivzi 2000



Anhang 6: Witterungsverlauf Vegetationsperiode Vinnitsa 1999



Anhang 7: Witterungsverlauf Vegetationsperiode Vinnitsa 2000



Anhang 8: Unkrautarten und -dichten in den ständig verunkrauteten Versuchsgliedern [Pfl./m²]

	HOH 98	HOH 99	HOH 00	POL 99	PET 00	VIN 99	VIN 00
<i>Agropyron repens</i>						0,5	
<i>Alopecurus myosuroides</i>		28,0	11,0				
<i>Amaranthus hybridus</i>				4,8		1,0	
<i>Amaranthus retroflexus</i>				6,7	6,3	252,5	4,2
<i>Capsella bursa-pastoris</i>		0,3	9,8				1,6
<i>Chenopodium album</i>	3,3			3,3	9,4	11,5	7,8
<i>Cirsium arvense</i>	1,0			1,0			
<i>Convolvulus arvensis</i>			0,3				
<i>Digitaria ischaemum</i>				21,3			3,1
<i>Digitaria sanguinalis</i>				91,8	1,6		68,8
<i>Echinochloa crus-galli</i>				236,3	3,1		78,1
<i>Galeopsis tetrahit</i>						16,3	
<i>Galium aparine</i>		1,5	5,0			0,3	1,6
<i>Galinsoga ciliata</i>					1,7		
<i>Galinsoga parviflora</i>				0,8	3,0		
<i>Lamium purpureum</i>		34,3	9,8				
<i>Matricaria</i> spp.	80,3	34,3	25,5				
<i>Myosotis arvensis</i>	1,1	0,3	0,3				
<i>Polygonum convolvulus</i>	0,8			3,8			3,1
<i>Polygonum lapathifolium</i>			3,3				
<i>Polygonum persicaria</i>				0,3			
<i>Raphanus raphanistrum</i>				4,8			
<i>Sinapis alba</i>	87,3						
<i>Sinapis arvensis</i>						17,5	
<i>Solanum nigrum</i>				0,5	129,7		
<i>Sonchus arvensis</i>			1,5				
<i>Sonchus asper</i>		0,8			1,6		
<i>Stellaria media</i>			1,3			7,3	
<i>Thlaspi arvense</i>		4,0	1,0	0,8		24,3	
<i>Veronica persica</i>		0,8	8,5	1,0			
Σ [Pfl./m²]	173,8	104,3	77,3	377,2	156,4	331,2	168,3

ZuckergehaltAnhang 9: Zuckergehalt ohne und unter Einfluss ständiger Verunkrautung
(Mittelwerte der entsprechenden Varianten beider Faktoren; n=8)

	HOH 98	HOH 99	HOH 00	GD 5 % (Tukey)
unkrautfrei [%]	18,16	18,18	17,64	0,5
ständig Unkraut [%]	n. e.	15,20	14,85	1,0
Zu-/Abnahme [%]	n. e.	- 16,39	- 15,81	5,8

n. e.= nicht erhoben

Anhang 10: Einfluss der Verunkrautung **bis** zu definierten Entwicklungsstadien der
Zuckerrüben auf den relativen Zuckergehalt (%) – Faktor 1

Unkraut bis..	HOH 98	HOH 99	HOH 00	GD 5 % (Tukey)	Mittel*
.. Saat	100,0	100,0	100,0	0,0	100,0
.. 2 BS ZR	n. e.	101,3	100,3	3,3	100,8
.. 4 BS ZR	100,9	100,5	100,1	1,8	100,5
.. 6 BS ZR	n. e.	99,6	101,0	1,8	100,3
.. 8 BS ZR	101,9	100,2	99,1	2,5	100,6
.. 10 BS ZR	n.e.	99,6	96,8	2,9	98,2
.. 12 BS ZR	96,9	99,6	96,2	5,7	97,6
.. RS ZR	94,1	96,0	93,3	4,9	94,5
.. RS + 2 W.	89,2	91,1	88,4	9,3	89,5
.. Ernte	n. e.	85,4	84,5	8,2	84,8
GD 5% (Tukey)	5,7	5,8	6,5		3,9
100= (%)	18,2	18,16	17,6		

BS= Blattstadien; ZR: Zuckerrübe; RS: Reihenschluss; RS+2.W.: 2 Wochen nach Reihenschluss; n. e.: nicht erhoben;
*Mittel der Standorte und JahreAnhang 11: Einfluss der Verunkrautung **ab** definierten Entwicklungsstadien der
Zuckerrüben auf den relativen Zuckergehalt (%) – Faktor 2

Unkraut ab..	HOH 98	HOH 99	HOH 00	GD 5 % (Tukey)	Mittel*
.. Saat	n. e.	82,6	83,9	11,5	83,2
.. 2 BS ZR	n. e.	92,3	94,3	10,3	93,2
.. 4 BS ZR	90,6	91,0	99,2	8,3	93,6
.. 6 BS ZR	n. e.	97,5	99,2	4,8	98,2
.. 8 BS ZR	99,5	96,3	99,9	5,6	98,4
.. 10 BS ZR	n. e.	100,7	100,1	2,0	100,3
.. 12 BS ZR	99,6	100,9	100,1	4,1	100,2
.. RS ZR	100,7	100,5	100,8	3,9	100,7
.. RS + 2 W.	99,6	101,2	99,7	4,0	100,2
.. Ernte	100,0	100,0	100,0	0,0	100,0
GD 5 % (Tukey)	5,2	8,8	8,1		5,2
100= (%)	18,05	18,2	17,65		

BS= Blattstadien; ZR: Zuckerrübe; RS: Reihenschluss; RS+2.W.: 2 Wochen nach Reihenschluss; n. e.: nicht erhoben;
*Mittel der Standorte und Jahre

StandardmelasseverlusteAnhang 12: Standardmelasseverluste ohne und unter Einfluss ständiger Verunkrautung
(Mittelwerte der entsprechenden Varianten beider Faktoren; n=8)

	HOH 98	HOH 99	HOH 00	GD 5 % (Tukey)
unkrautfrei [%]	1,68	1,49	1,34	0,16
ständig Unkraut [%]	n. e.	1,58	1,42	0,16
Zu-/Abnahme [%]	n. e.	+6,1	+6,9	12,44

n. e.= nicht erhoben

Anhang 13: Einfluss der Verunkrautung **bis** zu definierten Entwicklungsstadien der
Zuckerrüben auf den relativen Standardmelasseverlust (%) – Faktor 1

Unkraut bis..	HOH 98	HOH 99	HOH 00	GD 5 % (Tukey)	Mittel*
.. Saat	100,0	100,0	100,0	0,0	100,0
.. 2 BS ZR	n. e.	93,7	99,9	7,4	95,5
.. 4 BS ZR	99,1	94,4	100,8	9,6	98,1
.. 6 BS ZR	n. e.	97,3	103,1	7,2	98,9
.. 8 BS ZR	90,5	93,4	96,9	14,3	93,6
.. 10 BS ZR	n. e.	92,8	101,7	9,6	95,9
.. 12 BS ZR	86,9	90,7	99,0	13,4	92,2
.. RS ZR	85,4	89,5	103,2	17,7	92,7
.. RS + 2 W.	92,4	91,1	101,9	12,3	95,2
.. Ernte	n. e.	103,5	108,3	22,4	104,6
GD 5 % (Tukey)	19,5	13,3	17,1		10,5
100= (%)	1,64	1,59	1,29		

BS= Blattstadien; ZR: Zuckerrübe; RS: Reihenschluss; RS+2.W.: 2 Wochen nach Reihenschluss; n. e.: nicht erhoben;
*Mittel der Standorte und JahreAnhang 14: Einfluss der Verunkrautung **ab** definierten Entwicklungsstadien der
Zuckerrüben auf den relativen Standardmelasseverlust (%) – Faktor 2

Unkraut ab..	HOH 98	HOH 99	HOH 00	GD 5 % (Tukey)	Mittel*
.. Saat	n. e.	110,3	105,4	19,5	107,3
.. 2 BS ZR	n. e.	95,6	90,3	8,9	92,4
.. 4 BS ZR	92,7	100,4	91,2	12,5	94,8
.. 6 BS ZR	n. e.	93,7	93,5	5,4	93,1
.. 8 BS ZR	93,1	95,9	94,1	12,3	94,4
.. 10 BS ZR	n. e.	95,3	101,7	15,1	97,9
.. 12 BS ZR	93,9	100,6	94,0	11,4	97,8
.. RS ZR	101,4	103,3	95,4	15,8	100,2
.. RS + 2 W.	97,6	106,6	97,1	14,8	100,4
.. Ernte	100,0	100,0	100,0	0,0	100,0
GD 5 % (Tukey)	14,8	16,8	17,7		10,9
100= (%)	1,72	1,43	1,38		

BS= Blattstadien; ZR: Zuckerrübe; RS: Reihenschluss; RS+2.W.: 2 Wochen nach Reihenschluss; n. e.: nicht erhoben;
*Mittel der Standorte und Jahre

Bereinigter ZuckergehaltAnhang 15: Bereinigter Zuckergehalt ohne und unter Einfluss ständiger Verunkrautung
(Mittelwerte der entsprechenden Varianten beider Faktoren; n=8)

	HOH 98	HOH 99	HOH 00	GD 5 % (Tukey)
unkrautfrei [%]	15,87a	16,09	15,71	0,55
ständig Unkraut [%]	n. e.	13,06	12,83	1,14
Zu-/Abnahme [%]		18,87	18,33	7,33

n. e.= nicht erhoben

Anhang 16 : Einfluss der Verunkrautung **bis** zu definierten Entwicklungsstadien der
Zuckerrüben auf den relativen Bereinigten Zuckergehalt (%)

Unkraut bis..	HOH 98	HOH 99	HOH 00	GD 5% (Tukey)	Mittel*
.. Saat	100,0	100,0	100,0	0,0	100,0
.. 2 BS ZR	n. e.	102,1	100,4	3,7	101,3
.. 4 BS ZR	101,2	101,2	100,0	1,6	100,7
.. 6 BS ZR	n. e.	99,8	100,9	2,4	100,4
.. 8 BS ZR	103,2	100,9	100,1	3,0	101,3
.. 10 BS ZR	n. e.	100,2	96,3	3,3	98,3
.. 12 BS ZR	97,7	100,5	95,8	6,8	98,0
.. RS ZR	94,7	96,5	92,2	6,3	94,4
.. RS + 2 W.	88,4	90,7	86,8	10,4	88,6
.. Ernte	n. e.	82,8	81,9	10,3	82,5
GD 5% (Tukey)	7,3	7,1	7,5		4,6
100= (%)	16,02	15,99	15,74		

BS= Blattstadien; ZR: Zuckerrübe; RS: Reihenschluss; RS+2.W.: 2 Wochen nach Reihenschluss; n. e.: nicht erhoben;
*Mittel der Standorte und Jahre

Anhang 17: Einfluss der Verunkrautung **ab** definierten Entwicklungsstadien der
Zuckerrüben auf den relativen Bereinigten Zuckergehalt (%)

Unkraut ab..	HOH 98	HOH 99	HOH 00	GD 5 % (Tukey)	Mittel*
.. Saat	n. e.	79,5	81,4	14,4	80,3
.. 2 BS ZR	n. e.	91,6	94,4	11,9	92,9
.. 4 BS ZR	89,9	89,8	99,9	11,5	93,2
.. 6 BS ZR	n. e.	97,7	99,6	5,6	98,6
.. 8 BS ZR	99,6	96,2	100,4	6,5	98,8
.. 10 BS ZR	n. e.	101,2	99,9	2,9	100,4
.. 12 BS ZR	100,1	100,6	100,6	4,5	100,4
.. RS ZR	100,6	100,2	101,3	5,5	100,7
.. RS + 2 W.	99,8	100,8	99,9	4,5	100,2
.. Ernte	100,0	100,0	100,0	0,0	100,0
GD 5 % (Tukey)	6,5	10,7	10,1		6,38
100= (%)	15,70	16,12	15,66		

BS= Blattstadien; ZR: Zuckerrübe; RS: Reihenschluss; RS+2.W.: 2 Wochen nach Reihenschluss; n. e.: nicht erhoben;
*Mittel der Standorte und Jahre

Kalium GehaltAnhang 18: Kaliumgehalt ohne und unter Einfluss ständiger Verunkrautung
(Mittelwerte der entsprechenden Varianten beider Faktoren; n=8)

	HOH 98	HOH 99	HOH 00	GD 5 % (Tukey)
unkrautfrei [mmol/100g]	5,91	4,82	4,33	0,51
ständig Unkraut [mmol/100g]	n. e.	6,00	5,23	1,01
Zu-/Abnahme [%]	n. e.	+24,6	+20,6	22,25

n. e.= nicht erhoben

Anhang 19: Einfluss der Verunkrautung **bis** zu definierten Entwicklungsstadien der
Zuckerrüben auf den relativen Kaliumgehalt (%)

Unkraut bis..	HOH 98	HOH 99	HOH00	GD 5% (Tukey)	Mittel*
.. Saat	100,0	100,0	100,0	0,0	100,0
.. 2 BS ZR	n. e.	100,3	100,7	3,6	99,7
.. 4 BS ZR	104,4	96,2	103,1	8,7	101,2
.. 6 BS ZR	n. e.	104,2	105,7	7,6	104,2
.. 8 BS ZR	95,3	101,4	101,3	20,9	99,3
.. 10 BS ZR	n. e.	105,4	108,8	13,0	106,3
.. 12 BS ZR	95,8	101,8	107,7	28,4	101,7
.. RS ZR	90,4	106,6	113,7	31,7	103,6
.. RS + 2 W.	107,2	107,6	110,4	21,1	108,4
.. Ernte	n. e.	127,1	120,1	39,9	122,8
GD 5% (Tukey)	36,3	18,2	27,8		17,1
100= [mmol/100g]	5,8	4,77	4,19		

BS= Blattstadien; ZR: Zuckerrübe; RS: Reihenschluss; RS+2.W.: 2 Wochen nach Reihenschluss; n. e.: nicht erhoben;
*Mittel der Standorte und JahreAnhang 20: Einfluss der Verunkrautung **ab** definierten Entwicklungsstadien der
Zuckerrüben auf den relativen Kaliumgehalt (%)

Unkraut ab..	HOH 98	HOH 99	HOH 00	GD 5 % (Tukey)	Mittel*
.. Saat	n. e.	122,1	121,4	37,1	121,6
.. 2 BS ZR	n. e.	95,1	94,6	12,6	94,8
.. 4 BS ZR	99,9	105,2	94,7	19,1	99,6
.. 6 BS ZR	n. e.	88,5	92,8	9,8	90,6
.. 8 BS ZR	87,5	95,3	95,4	21,5	92,0
.. 10 BS ZR	n. e.	88,2	99,9	13,2	94,0
.. 12 BS ZR	86,8	96,3	95,1	19,7	92,7
.. RS ZR	102,3	96,4	94,8	17,8	97,8
.. RS + 2 W.	94,5	100,2	96,3	18,1	96,9
.. Ernte	100,0	100,0	100,0	0,0	100,0
GD 5 % (Tukey)	27,4	18,8	26,7		15,4
100= [mmol/100g]	6,01	4,87	4,47		

BS= Blattstadien; ZR: Zuckerrübe; RS: Reihenschluss; RS+2.W.: 2 Wochen nach Reihenschluss; n. e.: nicht erhoben;
*Mittel der Standorte und Jahre

Natrium GehaltAnhang 21: Natriumgehalt ohne und unter Einfluss ständiger Verunkrautung
(Mittelwerte der entsprechenden Varianten beider Faktoren; n=8)

	HOH 98	HOH 99	HOH 00	GD 5 % (Tukey)
unkrautfrei [mmol/100g]	0,37	0,42	0,39	0,07
ständig Unkraut [mmol/100g]	n. e.	0,64	0,49	0,15
Zu-/Abnahme [%]	n. e.	+27,9	+52,9	25,2

n. e.= nicht erhoben

Anhang 22: Einfluss der Verunkrautung **bis** zu definierten Entwicklungsstadien der
Zuckerrüben auf den relativen Natriumgehalt (%)

Unkraut bis..	HOH 98	HOH 99	HOH 00	GD 5 % (Tukey)	Mittel*
.. Saat	100,0	100,0	100,0	0,0	100,0
.. 2 BS ZR	n. e.	103,7	97,7	10,2	96,6
.. 4 BS ZR	95,4	100,9	101,7	18,6	99,3
.. 6 BS ZR	n. e.	105,2	104,3	12,9	100,7
.. 8 BS ZR	78,1	103,4	95,9	18,9	92,4
.. 10 BS ZR	n. e.	103,9	103,7	22,3	99,8
.. 12 BS ZR	89,4	101,5	111,0	18,9	100,6
.. RS ZR	94,1	102,7	117,4	28,9	104,7
.. RS + 2 W.	98,1	123,3	123,1	22,2	114,7
.. Ernte	n. e.	151,7	124,5	37,0	134,0
GD 5 % (Tukey)	28,7	29,7	26,4		17,5
100= [mmol/100g]	0,38	0,41	0,35		

BS= Blattstadien; ZR: Zuckerrübe; RS: Reihenschluss; RS+2.W.: 2 Wochen nach Reihenschluss; n. e.: nicht erhoben;
*Mittel der Standorte und JahreAnhang 23: Einfluss der Verunkrautung **ab** definierten Entwicklungsstadien der
Zuckerrüben auf den relativen Natriumgehalt (%)

Unkraut ab..	HOH 98	HOH 99	HOH 00	GD 5 % (Tukey)	Mittel*
.. Saat	n. e.	154,2	131,2	49,2	142,5
.. 2 BS ZR	n. e.	106,6	99,1	19,9	102,6
.. 4 BS ZR	116,3	115,3	99,1	32,6	110,2
.. 6 BS ZR	n. e.	88,4	93,4	11,8	90,7
.. 8 BS ZR	91,2	105,5	95,6	21,2	97,4
.. 10 BS ZR	n. e.	91,9	98,7	11,3	95,1
.. 12 BS ZR	84,4	96,8	94,0	25,6	91,7
.. RS ZR	97,9	91,1	88,9	17,6	92,3
.. RS + 2 W.	87,1	98,6	101,3	34,8	95,6
.. Ernte	100,0	100,0	100,0	0,0	100,0
GD 5 % (Tukey)	37,5	36,2	31,3		21,9
100= [mmol/100g]	0,37	0,43	0,39		

BS= Blattstadien; ZR: Zuckerrübe; RS: Reihenschluss; RS+2.W.: 2 Wochen nach Reihenschluss; n. e.: nicht erhoben;
*Mittel der Standorte und Jahre

Amino-N GehaltAnhang 24: α Amino-N Gehalt ohne und unter Einfluss ständiger Verunkrautung
(Mittelwerte der entsprechenden Varianten beider Faktoren; n=8)

	HOH 98	HOH 99	HOH 00	GD 5% (Tukey)
unkrautfrei [mmol/100g]	1,88a	1,58	1,21	0,45
ständig Unkraut [mmol/100g]	n. e.	1,29	1,08	0,19
Zu-/Abnahme [%]	n. e.	-15,8	-9,4	19,7

n. e.= nicht erhoben

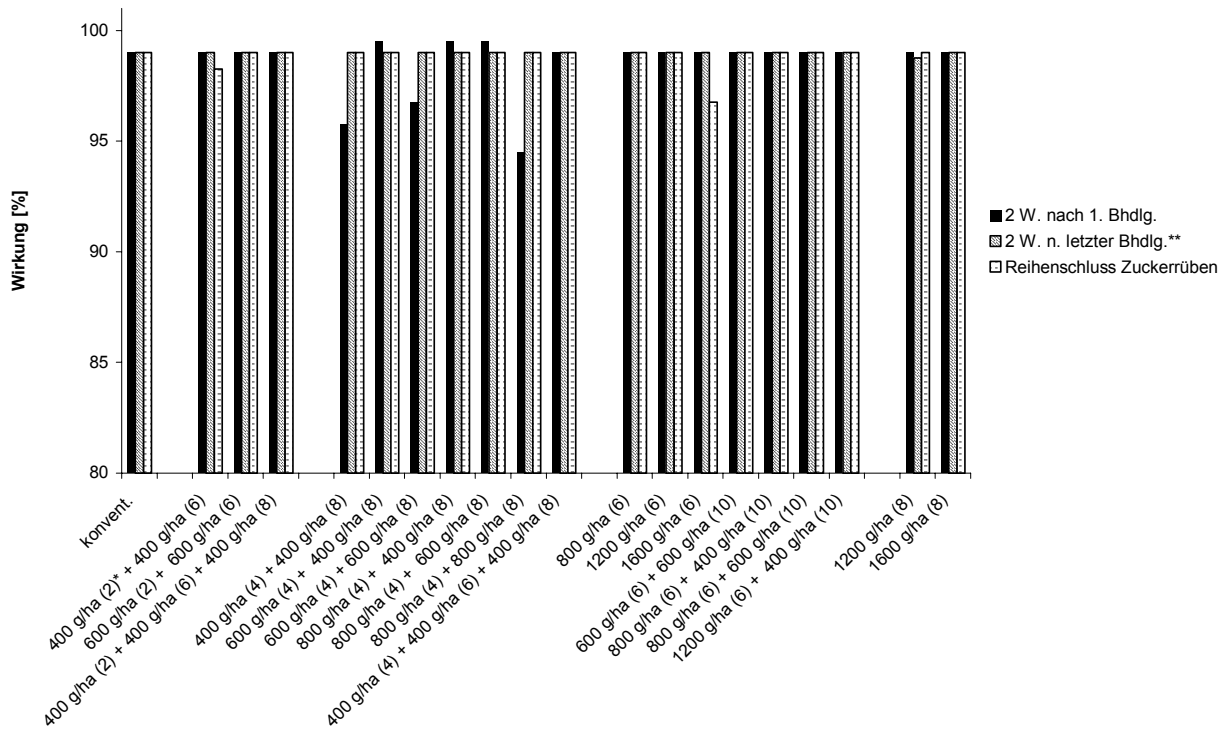
Anhang 25: Einfluss der Verunkrautung **bis** zu definierten Entwicklungsstadien der
Zuckerrüben auf den relativen α -Amino-N Gehalt (%)

Unkraut bis..	HOH 98	HOH 99	HOH 00	GD 5 % (Tukey)	Mittel*
.. Saat	100,0	100,0	100,0	0,0	100,0
.. 2 BS ZR	n. e.	77,4	98,9	28,5	85,7
.. 4 BS ZR	89,6	85,2	98,1	30,1	90,9
.. 6 BS ZR	n. e.	84,5	103,9	32,7	91,8
.. 8 BS ZR	73,2	74,7	82,9	26,0	76,9
.. 10 BS ZR	n. e.	67,3	90,8	23,4	76,7
.. 12 BS ZR	57,2	65,0	78,5	15,8	66,8
.. RS ZR	59,3	54,2	87,1	27,2	66,8
.. RS + 2 W.	58,6	56,1	85,9	18,5	66,8
.. Ernte	n. e.	71,2	98,2	30,3	82,3
GD 5 % (Tukey)	20,2	36,8	36,9		21,2
100= [mmol/g]	1,75	1,83	1,12		

BS= Blattstadien; ZR: Zuckerrübe; RS: Reihenschluss; RS+2.W.: 2 Wochen nach Reihenschluss; n. e.: nicht erhoben;
*Mittel der Standorte und JahreAnhang 26: Einfluss der Verunkrautung **ab** definierten Entwicklungsstadien der
Zuckerrüben auf den relativen α -Amino-N Gehalt (%)

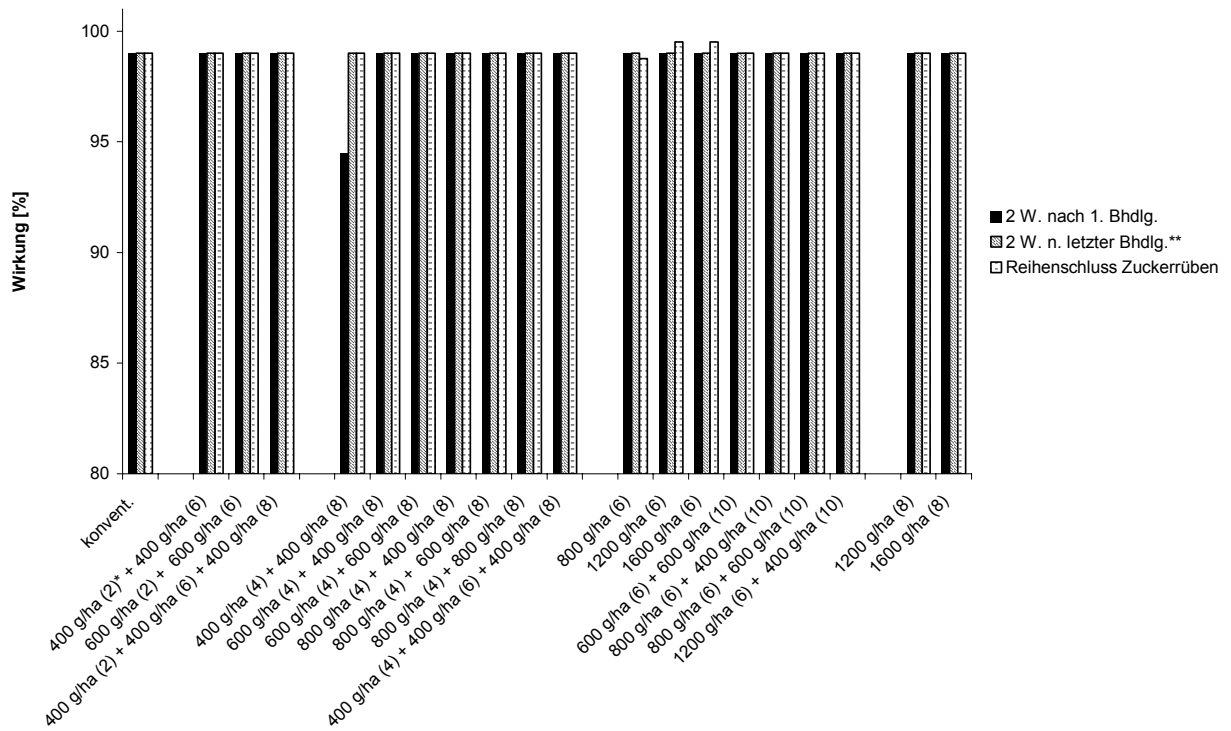
Unkraut ab..	HOH 98	HOH 99	HOH 00	GD 5 % (Tukey)	Mittel*
.. Saat	n. e.	97,1	83,1	23,5	89,1
.. 2 BS ZR	n. e.	87,9	66,8	20,0	76,3
.. 4 BS ZR	74,0	89,7	70,7	24,1	78,2
.. 6 BS ZR	n. e.	94,8	84,9	16,7	88,8
.. 8 BS ZR	94,9	89,4	82,5	25,4	88,9
.. 10 BS ZR	n. e.	101,6	108,1	47,8	103,8
.. 12 BS ZR	99,0	132,8	83,1	30,1	104,9
.. RS ZR	101,6	123,1	90,3	59,7	104,9
.. RS + 2 W.	101,0	130,1	93,5	45,9	108,1
.. Ernte	100,0	100,0	100,0	0,0	100,0
GD 5 % (Tukey)	24,3	56,6	35,35		28,6
100= [mmol/100g]	2,02	1,33	1,32		

BS= Blattstadien; ZR: Zuckerrübe; RS: Reihenschluss; RS+2.W.: 2 Wochen nach Reihenschluss; n. e.: nicht erhoben;
*Mittel der Standorte und Jahre



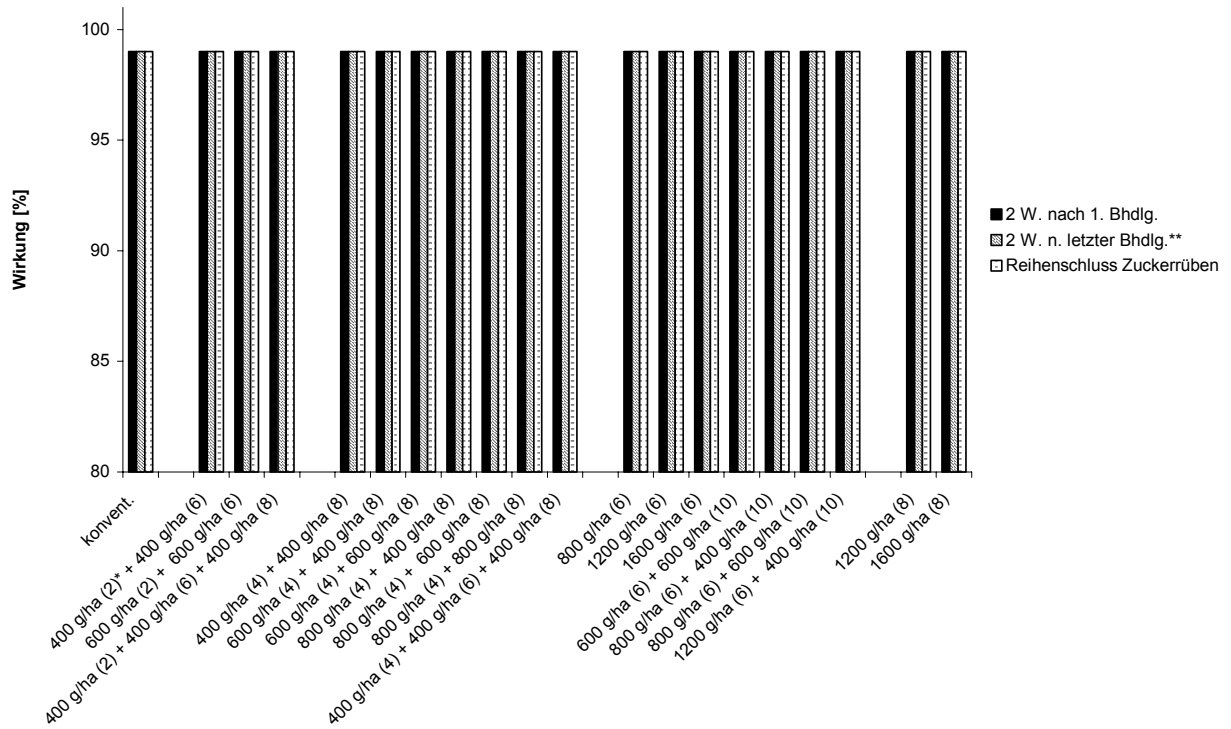
Anhang 27: Wirkung verschiedener Glufosinatanwendungen in Poltava 1999 gegen *Amaranthus retroflexus*;

*Blattstadium der Zuckerrüben zur Behandlung; ** in Varianten mit einer Bhdg.; hier Wirkung 4 W. nach dieser



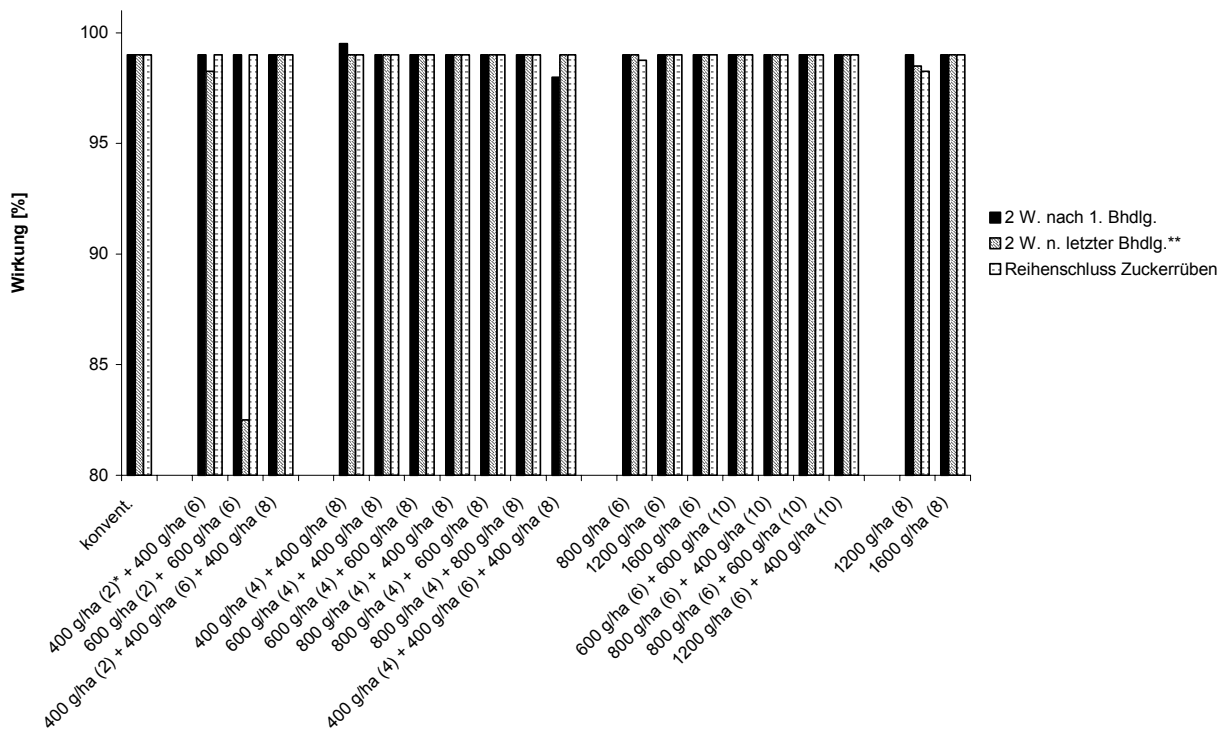
Anhang 28: Wirkung verschiedener Glufosinatanwendungen in Poltava 1999 gegen *Chenopodium album*;

* Blattstadium der Zuckerrüben zur Behandlung; ** in Varianten mit einer Bhdg.; hier Wirkung 4 W. nach dieser



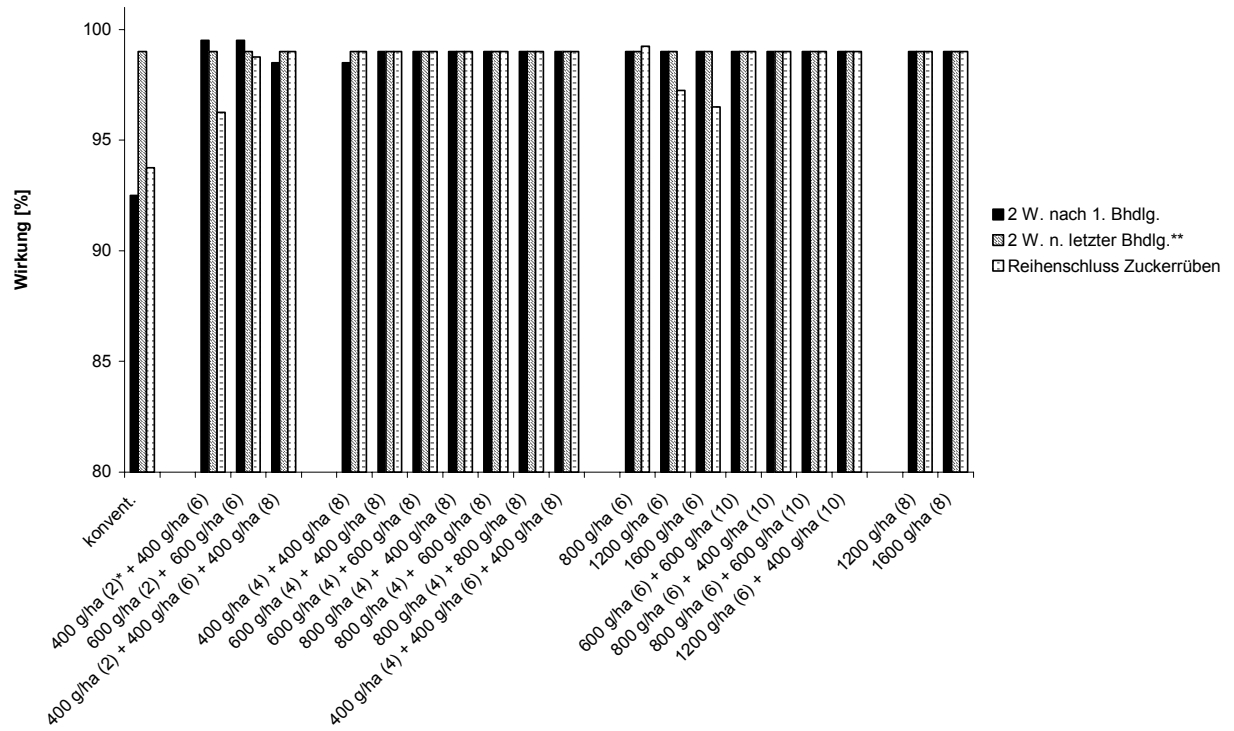
Anhang 29: Wirkung verschiedener Glufosinatanwendungen in Poltava 1999 gegen *Polygonum persicaria*;

* Blattstadium der Zuckerrüben zur Behandlung; ** in Varianten mit einer Bhdg.; hier Wirkung 4 W. nach dieser



Anhang 30: Wirkung verschiedener Glufosinatanwendungen in Poltava 1999 gegen *Raphanus raphanistrum*;

* Blattstadium der Zuckerrüben zur Behandlung; ** in Varianten mit einer Bhdg.; hier Wirkung 4 W. nach dieser



Anhang 31.: Wirkung verschiedener Glufosinatanwendungen in Poltava 1999 gegen *HERBA*;

* Blattstadium der Zuckerrüben zur Behandlung; ** in Varianten mit einer Bhdg.; hier Wirkung 4 W. nach dieser

Anhang 32: Ertrag (dt/ha) ohne und unter Einfluss ständiger Verunkrautung in Abhängigkeit des Erntetermins in Hohenheim 2000

	1. Ernte	2. Ernte	Haupternte	GD 5 % (Tukey)
unkrautfrei [%]	621,6	722,8	698,3	50,4
ständig Unkraut [%]	145,0	151,7	118,1	74,7
Zu-/Abnahme[%]	-78,8	-79,1	-83,1	10,8

Anhang 33: Einfluss des Erntetermins auf den relativen Rübenertrag in Abhängigkeit der Verunkrautung bis zu definierten Entwicklungsstadien der Zuckerrüben (%)

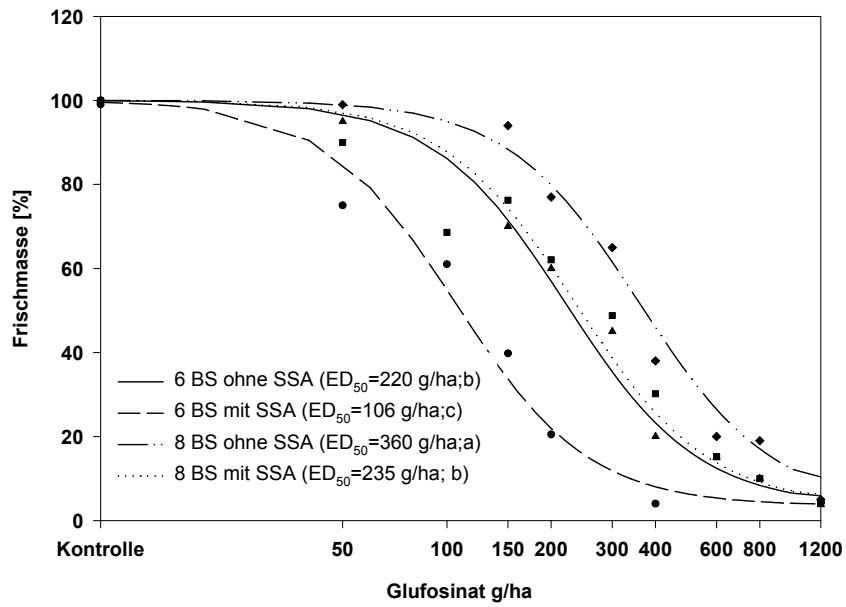
Unkraut bis	1. Ernte*	2. Ernte**	Haupternte	GD 5 % (Tukey)	Gesamt
Aussaat	100,0	100,0	100,0	8,7	100,0
2 BS ZR	101,8	92,2	92,2	12,9	95,4
4 BS ZR	96,2	97,1	98,4	18,1	97,3
6 BS ZR	99,1	99,5	93,8	16,2	97,5
8 BS ZR	89,6	84,2	93,0	14,0	88,9
10 BS ZR	71,6	75,6	76,5	17,0	74,5
12 BS ZR	64,6	66,8	63,2	23,1	64,9
RS ZR	31,4	43,5	45,2	29,9	39,5
RS + 2 W.	30,9	41,9	30,6	16,5	35,1
Ernte	24,5	24,9	16,1	19,8	21,9
GD 5 % (Tukey)	24,3	25,8	14,1		11,823
100= (%)	625,5	721,6	690,8		

*6 Wochen bzw. **3 Wochen vor Haupternte

Anhang 34: Einfluss des Erntetermins auf den relativen Rübenertrag in Abhängigkeit der Verunkrautung ab definierten Entwicklungsstadien der Zuckerrüben (%)

Unkraut ab	1. Ernte*	2. Ernte**	Haupternte	GD 5 % (Tukey)	Gesamt
Aussaat	22,0	16,9	17,6	14,8	18,8
2 BS ZR	49,3	59,9	48,7	44,6	52,6
4 BS ZR	76,5	72,6	78,3	15,5	75,7
6 BS ZR	77,8	79,1	79,1	15,2	78,7
8 BS ZR	89,7	89,6	90,5	11,1	89,9
10 BS ZR	99,6	90,7	91,5	13,1	93,9
12 BS ZR	100,4	92,1	99,2	15,4	97,2
RS ZR	104,9	102,5	92,9	10,9	100,1
RS + 2 W.	98,9	93,4	97,2	14,8	94,8
Ernte	100,0	100,0	100,0	15,8	100,0
GD 5% (Tukey)	21,8	24,1	20,6		11,73
100= (%)	618,6	732,9	705,8		

*6 Wochen bzw. **3 Wochen vor Haupternte



Anhang. 35: Einfluss von 10 kg/ha Schwefelsaurem Ammoniak (SSA) auf die Wirkung von Glufosinat gegen *Echinochloa crus-galli* zum 6- und 8-Blattstadium; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikant verschiedene ED_{50} -Werte

Danksagung

Herrn Prof. Dr. K. Hurlle danke ich für die Überlassung des Themas, die Übernahme des Referats, die gewährten Freiheiten bei der Arbeit und sein Interesse am Fortgang der Arbeit.

Herrn Prof. Dr. W. Claupein danke ich für die Übernahme des Koreferats und zusammen mit Prof. Dr. V. Römheld für die angenehme Prüfungsatmosphäre.

Den Kolleginnen und Kollegen des Fachgebiets Herbologie danke ich für die angenehme Arbeitsatmosphäre und für die tatkräftige Unterstützung bei der Ernte der Versuche. Insbesondere gilt mein Dank Frau Regina Belz für die kritische Durchsicht der Arbeit, für die ständige Hilfs- und Diskussionsbereitschaft und für die moralische Unterstützung.

Dem Osteuropazentrum der Universität Hohenheim, der Landwirtschaftlichen Hochschule Poltava und der Firma Bayer Crop Science Ukraine danke ich für die Unterstützung bei der Organisation und der Durchführung der Versuche in der Ukraine. Insbesondere danke ich Herrn Dr. h.c. Jochem Gieraths, Herrn Konstantin Lugowski, Herrn Martin Mach, Herrn Oleg Kriviniez und Herrn Oleg Gorb.

Zusätzlich danke ich Herrn Dr. Jan Petersen für die fachliche Unterstützung und Herrn Dr. Christoph Wittkugel für die Durchsicht der Arbeit.

Ganz besonders möchte ich mich an dieser Stelle bei Barbara für ihre Geduld und ihre Unterstützung bedanken und bei meinen Eltern für die Unterstützung während meiner Ausbildung.

Abschließend sei dem Fachgebiet Herbologie, dem Osteuropazentrum und der Firma Bayer CropScience Ukraine für die finanzielle Unterstützung gedankt.