

Institut für Pflanzenbau
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn
Lehrstuhl für Allgemeinen Pflanzenbau
Direktor: Prof. Dr. W. Kühbauch

**Bekämpfung, Konkurrenz und Diversität von
Abutilon theophrasti MED. (Lindenblättrige Schönmalve)
in Zuckerrüben**

Inaugural-Dissertation

zur
Erlangung des Grades

Doktor der Agrarwissenschaften
(Dr. agr.)

der
Hohen Landwirtschaftlichen Fakultät
der
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Bonn

vorgelegt am 10. Oktober 2005

von
Dipl.-Ing. sc. agr. Eva Haensel
aus Frankfurt am Main

Diese Dissertation ist auf dem Hochschulschriftenserver der ULB Bonn
http://hss.ulb-bonn.de/diss_online elektronisch publiziert.

Erscheinungsjahr 2006

Referent: Prof. Dr. R. Gerhards

Koreferenten: PD Dr. E.-C. Oerke

Prof. Dr. J. Léon

Tag der mündlichen Prüfung: 7. Dezember 2005

D 98

A	Inhaltsverzeichnis	
A	INHALTSVERZEICHNIS	1
B	VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN	4
C	VERZEICHNIS DER TABELLEN	6
D	VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN	8
1	EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNGEN	10
2	LITERATURÜBERBLICK	12
2.1	Invasive Neophyten	12
2.1.1	Charakteristika und wirtschaftliche Bedeutung einiger invasiver Neophyten	12
2.1.2	Internationale Rahmenbedingungen zum Umgang mit invasiven Arten	16
2.2	<i>Abutilon theophrasti</i> MEDICUS	17
2.2.1	Der Name „ <i>Abutilon theophrasti</i> MEDICUS“	17
2.2.2	Taxonomie, Habitus und Biologie	18
2.2.3	Nutzung, Herkunft und Verbreitung	22
2.3	Anbaubedingungen für Zuckerrüben	24
2.4	Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben	25
2.5	Bekämpfung von <i>A. theophrasti</i>	28
2.6	Konkurrenz zwischen Pflanzen	30
2.6.1	Konkurrenz zwischen Unkräutern und Kulturpflanzen	30
2.6.2	Konkurrenz zwischen Unkräutern und der Zuckerrübe	31
2.6.3	Konkurrenz zwischen <i>A. theophrasti</i> und Kulturpflanzen	32
2.7	Genetische Variabilität und phänotypische Plastizität	34
2.8	Markertechnik in der herbologischen Forschung	37
2.8.1	Genetische Marker	37
2.8.2	Anwendungsgebiete	38
3	MATERIAL UND METHODEN	40
3.1	Bekämpfung, Konkurrenz und Populationsdynamik von <i>A. theophrasti</i> in Zuckerrüben	40
3.1.1	Versuchsstandorte und Versuchspläne	40
3.1.2	Prüfglieder	43
3.1.3	Auflaufdynamik	49
3.1.4	Prüfparameter zur Ermittlung der Bekämpfung und Konkurrenz	49

3.1.5	Prüfparameter zur Ermittlung der Populationsdynamik von <i>A. theophrasti</i>	50
3.2	Diversität von <i>A. theophrasti</i>	51
3.2.1	Phänotypische Diversität.....	52
3.2.2	Genetische Diversität	53
3.3	Auswertung.....	59
3.3.1	Bekämpfung und Populationsdynamik von <i>A. theophrasti</i> in Zuckerrüben	59
3.3.2	Diversität von <i>A. theophrasti</i>	59
4	ERGEBNISSE	63
4.1	Auflaufdynamik	63
4.2	Bekämpfung von <i>A. theophrasti</i> in Zuckerrüben.....	66
4.3	Konkurrenz von <i>A. theophrasti</i> und sonstigen Unkräutern in Zuckerrüben.....	76
4.4	Konkurrenz zwischen den drei Pflanzengruppen Zuckerrübe, <i>A. theophrasti</i> und sonstigen Unkräutern	80
4.5	Populationsdynamik von <i>A. theophrasti</i> in Zuckerrüben	83
4.6	Diversität von <i>A. theophrasti</i>	85
4.6.1	Diversität zwischen Populationen	86
4.6.2	Diversität innerhalb von Populationen	91
4.6.3	Vergleich der Diversität	92
4.6.4	Güte der Cluster	94
4.6.5	Einfluss des Versuchsjahres	95
5	DISKUSSION	96
5.1	Bekämpfung, Konkurrenz und Populationsdynamik von <i>A. theophrasti</i> in Zuckerrüben	96
5.2	Diversität von <i>A. theophrasti</i>	102
5.2.1	Methoden.....	102
5.2.2	Diversität zwischen und innerhalb von Populationen.....	103
5.2.3	Vergleich der Diversität	105
5.3	Abstammungsanalyse.....	106
5.4	Fazit und Ausblick.....	107
6	ZUSAMMENFASSUNG	110
7	LITERATURVERZEICHNIS	113
8	ANHANG	124

8.1 Verzeichnis der Anhangsabbildungen	124
8.2 Verzeichnis der Anhangstabellen	124

B Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 2.1	Flora von Deutschland	13
Abb. 2.2	<i>Abutilon theophrasti</i> MED.....	19
Abb. 3.1	Versuchsspritze, Svinčany (2004).....	45
Abb. 4.1	Wuchsanomalie bei <i>A. theophrasti</i> nach Applikation von Debut + Lontrel. Wesseling, 16.06. 2004	67
Abb. 4.2	Durchschnittliche Trockenmasse [g] je <i>A. theophrasti</i> -Einzelpflanze bei geringer und hoher Dichte von <i>A. theophrasti</i> , Přelouč (2003)	69
Abb. 4.3	Vergleich der Trockenmasse der sonstigen Unkräuter [g/0,5 m ²] in Abhängigkeit von der <i>A. theophrasti</i> -Dichte, Přelouč (2003)	70
Abb. 4.4	Anteil [%] der beobachteten Zuckerrübenpflanzen im jeweiligen Entwicklungsstadium bei unterschiedlicher Behandlung zur Ernte in Přelouč (2003, oben) und Svinčany (2004, unten).....	71
Abb. 4.5	Anteil [%] der beobachteten <i>A. theophrasti</i> -Einzelpflanzen im jeweiligen Entwicklungsstadium bei unterschiedlicher Behandlung an sechs Terminen, Přelouč (2003).....	72
Abb. 4.6	Anteil [%] der beobachteten <i>A. theophrasti</i> -Einzelpflanzen im jeweiligen Entwicklungsstadium bei unterschiedlicher Behandlung an sechs Terminen, Svinčany (2004)	73
Abb. 4.7	Anteil [%] der beobachteten <i>A. theophrasti</i> -Einzelpflanzen im jeweiligen Entwicklungsstadium bei unterschiedlicher Behandlung am 28.09., Wesseling (2004)	73
Abb. 4.8	Anteil [%] der beobachteten <i>A. theophrasti</i> -Einzelpflanzen im jeweiligen Entwicklungsstadium bei unterschiedlicher <i>A. theophrasti</i> -Dichte, Přelouč (2003) Am 04.09. und 30.09. nur überlebende Pflanzen der Roundup-Behandlung gezählt.	74
Abb. 4.9	Durchschnittliche Wuchshöhe [cm] von <i>A. theophrasti</i> am 30.09. bei geringer bzw. hoher Dichte in Abhängigkeit von der Behandlung, Přelouč (2003)	75
Abb. 4.10	Durchschnittliche Wuchshöhe [cm] von <i>A. theophrasti</i> am 28.09. bei geringer bzw. hoher Dichte in Abhängigkeit von der Behandlung, Wesseling (2004)	76
Abb. 4.11	Vergleich der Rübetrockenmasse [g/0,5 m ²] in Abhängigkeit von der <i>A. theophrasti</i> -Dichte, ohne Prüfglied Roundup, Přelouč (2003).....	78
Abb. 4.12	Rübenkörpermasse aus 1 m Rübenreihe [kg/m] (links) und [t/ha] (rechts) in Abhängigkeit von der <i>A. theophrasti</i> -Dichte, Přelouč (2003)....	79
Abb. 4.13	Anteilig produzierte Trockenmasse von Zuckerrübe, <i>A. theophrasti</i> und sonstigen Unkräutern [g/0,5 m ²] bei geringer bzw. hoher Dichte von <i>A. theophrasti</i> , Přelouč (2003).....	82
Abb. 4.14	Anteilig produzierte Trockenmasse von Zuckerrübe, <i>A. theophrasti</i> und sonstigen Unkräutern [g/0,5 m ²], Svinčany (2004).....	83
Abb. 4.15	Dendrogramm der Ähnlichkeitsbeziehungen zwischen den Populationen des Anzuchtjahres 2003. Berechnet aus den phänotypischen Parametern.	87
Abb. 4.16	Verwandtschaftsbeziehungen der Proben des Jahres 2003. Basierend auf den Hauptkoordinatenanalysen, die aus der Ähnlichkeitsmatrix der phänotypischen Parameter berechnet wurden.	88

Abb. 4.17	Dendrogramm der Ähnlichkeitsbeziehungen zwischen den Populationen des Anzuchtjahres 2004 (Wiederholungen aus 2003 fett). Berechnet aus den phänotypischen Parametern.....	88
Abb. 4.18	Verwandtschaftsbeziehungen der Proben des Jahres 2004. Basierend auf den Hauptkoordinatenanalysen, die aus der Ähnlichkeitsmatrix der phänotypischen Parameter berechnet wurden.	89
Abb. 4.19	Dendrogramm der Ähnlichkeitsbeziehungen zwischen 18 Proben, jeweils stellvertretend für eine Population. Berechnet aus den AFLP-Banden.	90
Abb. 4.20	Verwandtschaftsbeziehungen von 36 Proben. Basierend auf den ersten drei Hauptkoordinaten, die aus der Ähnlichkeitsmatrix der AFLP-Banden berechnet wurden.	91
Abb. 4.21	Dendrogramm der Ähnlichkeitsbeziehungen zwischen Proben aus Přelouč (links) und Moutniče (rechts). Berechnet aus den phänotypischen Merkmalen.	91
Abb. 4.22	Dendrogramm der Ähnlichkeitsbeziehungen zwischen Proben aus Heilbronn (links) und Löwenstein (rechts). Berechnet aus den phänotypischen Merkmalen.	91
Abb. 4.23	Dendrogramm der Ähnlichkeitsbeziehungen zwischen Proben aus Dörverden (oben), Přelouč (links) und Moutniče (rechts). Berechnet aus den AFLP-Banden.....	92

C Verzeichnis der Tabellen

Tab. 3.1	Geographische Lage und Klima der Versuchsstandorte.....	40
Tab. 3.2	Daten zum Aufbau der vier Feldversuche	41
Tab. 3.3	Prüfglieder und Behandlungen, Přelouč (2003).....	44
Tab. 3.4	Prüfglieder und Behandlungen auf der Versuchsfläche Svinčany (2004) .	46
Tab. 3.5	Prüfglieder und Behandlungen auf der Versuchsfläche Wesseling (2003)	47
Tab. 3.6	Prüfglieder und Behandlungen auf der Versuchsfläche Wesseling (2004)	48
Tab. 3.7	Bonitierte Entwicklungsstufen für die Analyse der phänologischen Diversität.....	53
Tab. 4.1	Temperaturen und Niederschlag an den drei Versuchsstandorten vor und nach dem Auflaufen von <i>A. theophrasti</i>	63
Tab. 4.2	Durchschnittliche Anzahl aufgelaufener <i>A. theophrasti</i> -Pflanzen je m ² in den beiden Dichtestufen, gemittelt über die Blöcke A - E, Wesseling (2004)	64
Tab. 4.3	Unkrautarten am 15.05. auf der Zuckerrübenfläche in Přelouč (2003) und ihre durchschnittliche Dichte je m ²	65
Tab. 4.4	Unkrautarten am 17.05. auf der Zuckerrübenfläche in Svinčany (2004) und ihre durchschnittliche Dichte je m ²	65
Tab. 4.5	Unkrautarten am 04.05. in den Blöcken A - E und ihre durchschnittliche Dichte je m ² , Wesseling (2004)	66
Tab. 4.6	Durchschnittliche Trockenmasse [g/0,5 m ²] von <i>A. theophrasti</i> in Abhängigkeit von der Behandlung, Přelouč (2003).....	68
Tab. 4.7	Durchschnittliche Trockenmasse [g/0,5 m ²] von <i>A. theophrasti</i> in Abhängigkeit von der Behandlung, Svinčany (2004)	68
Tab. 4.8	Durchschnittliche Trockenmasse [g/0,5 m ²] der sonstigen Unkräuter in Abhängigkeit von der Behandlung, Přelouč (2003).....	69
Tab. 4.9	Durchschnittliche Trockenmasse [g/0,5 m ²] der sonstigen Unkräuter in Abhängigkeit von der Behandlung, Svinčany (2004)	70
Tab. 4.10	Durchschnittliche Wuchshöhe [cm] von <i>A. theophrasti</i> in Abhängigkeit von der Behandlung, Přelouč (2003).....	74
Tab. 4.11	Durchschnittliche Wuchshöhe [cm] von <i>A. theophrasti</i> in Abhängigkeit von der Behandlung, Svinčany (2004).....	75
Tab. 4.12	Durchschnittliche Rübenblatttrockenmasse [g/0,5 m ²] in Abhängigkeit von der Behandlung, Přelouč (2003).....	77
Tab. 4.13	Durchschnittliche Rübenblatttrockenmasse [g/0,5 m ²] in Abhängigkeit von der Behandlung, Svinčany (2004).....	77
Tab. 4.14	Durchschnittliche Rübenblatttrockenmasse [g/0,5 m ²] in Abhängigkeit von der Behandlung, Wesseling (2004).....	77
Tab. 4.15	Rübenkörperfrischmasse [kg/1 m Rübenreihe] im Verlauf der Rübenkörperbildung bzw. [kg/8 m Rübenreihe] und [t/ha] bei Ernte in Abhängigkeit von der Behandlung, Přelouč (2003).....	79

Tab. 4.16	Rübenkörperfrischmasse [kg/1 m Rübenreihe] im Verlauf der Rübenkörperbildung bzw. [kg/8 m Rübenreihe] und [t/ha] bei Ernte in Abhängigkeit von der Behandlung, Svinčany (2004)	79
Tab. 4.17	Zucker-, Kalium-, Natrium- und Stickstoffgehalt [% von Trockenmasse] in den Rüben bei Ernte am 08.10. in Abhängigkeit von der Behandlung, Wesseling (2004)	80
Tab. 4.18	Zucker-, Kalium-, Natrium- und Stickstoffgehalt [% von Trockenmasse] in den Rüben bei Ernte am 08.10. in Abhängigkeit von der <i>A. theophrasti</i> -Dichte, Wesseling (2004)	80
Tab. 4.19	Kapseln je Pflanze und je m ² , Přelouč (2003).....	84
Tab. 4.20	Kapseln, je Pflanze und je m ² , Svinčany (2004)	85
Tab. 4.21	Kapseln je Pflanze und je m ² , Wesseling (2004)	85
Tab. 4.22	Farbcode für Herkunftsregionen.....	86
Tab. 4.23	Varianzkomponentenschätzung der phänotypischen Parameter für die Populationen und Proben des Jahres 2003 mit der eingeschränkten Maximum Likelihood-Methode.....	93
Tab. 4.24	Varianzkomponentenschätzung der phänotypischen Parameter für die Populationen und Proben des Jahres 2004 mit der eingeschränkten Maximum Likelihood-Methode.....	93
Tab. 4.25	Varianzkomponentenschätzung der AFLP-Marker (exemplarisch) mit der eingeschränkten Maximum Likelihood-Methode.....	93
Tab. 4.26	Die Güte der Cluster auf Basis einer kophenetischen Korrelation	94
Tab. 4.27	Vergleich einiger phänotypischer Parameter der vier in beiden Versuchsjahren beobachteten Populationen sowie relative und absolute Veränderung	95

D Verzeichnis der Abkürzungen

Abb.	Abbildung
ABUTH, A	<i>Abutilon theophrasti</i>
AFLP	Amplified Fragment Length Polymorphism
AHL	Ammoniumnitrat Harnstoff Lösung
ALS	Acetolactat-Synthase
BBCH	Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Bundesortenamt und Chemische Industrie
BFI	Blattflächenindex
bzw.	beziehungsweise
°C	Grad Celsius
Ca (-Dünger)	Kalkdünger
ca.	circa
CHEAL	<i>Chenopodium album</i>
cm	Zentimeter
CZ	Tschechien, Tschechische Republik
D	Bundesrepublik Deutschland
dd H ₂ O	zweifach destilliertes Wasser
d. h.	das heißt
DNA	Desoxyribonukleinsäure
e. g.	zum Beispiel (<i>exempli gratia</i>)
et al.	und andere (<i>et alii</i>)
g	Gramm
GMOs	Genetisch modifizierte Organismen
GS	Genetische Ähnlichkeit (<i>genetic similarity</i>)
ha	Hektar
H	Ungarn
K (-Dünger)	Kalidünger
k. A.	keine Angaben
KAS	Kalkammonsulfat
kg	Kilogramm
km	Kilometer
l	Liter
M	Mol, molar
m	Meter
m ²	Quadratmeter
Mio.	Million(en)
mm	Millimeter
μ	micro (10 ⁻⁶)
N	Stickstoff

n	nano (10^{-9})
Na	Natrium
NAK	Nachauflaufbehandlung im Keimblattstadium
n. Chr.	nach Christi
NN	Normalnull
P (-Dünger)	Phosphatdünger
p	pico (10^{-12})
PCR	Polymerase-Kettenreaktion (<i>Polymerase Chain Reaction</i>)
Tab.	Tabelle
QTL	Quantitative Merkmalsloci (<i>Quantitative trait loci</i>)
R	Zuckerrübe
RAPD	Random Amplification of Polymorphic DNA
RFLP	Restricted Fragment Length Polymorphism
s. o.	siehe oben
SSR	Simple Sequence Repeats
s. u.	siehe unten
TKM	Tausendkornmasse
TNS	Tage nach Saat
U	Einheit (<i>unit</i>)
u. a.	unter anderem
u. U.	unter Umständen
v. Chr.	vor Christi
vgl.	vergleiche
z. B.	zum Beispiel

1 Einleitung und Fragestellungen

Abutilon theophrasti MEDICUS, die Lindenblättrige Schönmalve oder Samtpappel, wird in China als Faserpflanze seit mindestens 4000 Jahren kultiviert und wurde als Kulturpflanze über das südliche Russland und Südosteuropa bis ins westliche Mittelmeergebiet verbreitet (TUTIN et al., 1986; WARWICK und BLACK, 1988). Im 18. Jahrhundert wurde sie in die USA und Kanada eingeführt, nach etwa einem Jahrhundert Anbau jedoch von Hanf und Baumwolle abgelöst. Seitdem stellt *A. theophrasti* dort in Sojabohnen, Baumwolle, Mais und anderen Reihenkulturen ein Unkraut dar, das durch Ertragseinbußen und Bekämpfung hohe Kosten verursacht. Allein für Sojabohne und Mais schätzte SPENCER (1984) diese Kosten auf 343 Mio. Dollar. Ertragsmindernd wirken sich die Wasser- und Nährstoffkonkurrenz, allelopathisch wirksame Stoffe verschiedener Pflanzenteile und vor allem die Beschattung der Kulturpflanzen in der Phase des höchsten Ertragszuwachses aus. Wegen der hohen Produktion persistenter Samen müssen nicht nur die unmittelbaren Ertragseinbußen, sondern auch die langfristigen Probleme durch Befall der Folgekulturen in die Bekämpfungsentscheidung einbezogen werden.

Seit wenigen Jahren taucht *A. theophrasti* vereinzelt in Deutschland auf, vor allem in Zuckerrüben. Verbreitet wird *A. theophrasti* in Deutschland möglicherweise über verunreinigtes Örettichsaatgut aus Südosteuropa und über Stallmistdüngung nach der Verfütterung von Soja- und Maisschrot aus betroffenen Gebieten (MEINLSCHMIDT, 2005). Die Art erweist sich als unempfindlich gegen die meisten Rübenherbizide (ZANIN und SATTIN, 1988; VIEHWEGER und DITTRICH, 2002; MEINLSCHMIDT et al., 2004), was ihr einen Konkurrenzvorteil gegenüber den etablierten, herbizidsensitiven Rübenunkräutern verschafft. Ein Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die Konkurrenzbeziehungen zwischen *A. theophrasti*, der Zuckerrübe und der „einheimischen“ Rübenunkrautflora unter verschiedenen praxisnahen Bedingungen zu untersuchen und zu quantifizieren, sowie die Populationsdynamik dieser neuen Unkrautart abzuschätzen. Dabei sollten Flächen mit etablierten Populationen von *A. theophrasti* mit solchen Flächen verglichen werden, auf die *A. theophrasti* neu eingetragen wurde. Da *A. theophrasti* auf deutschen Zuckerrübenflächen bisher nicht flächendeckend auftritt, wurden die zweijährigen Feldversuche in Tschechien und Deutschland durchgeführt.

Ein zweites Ziel dieser Arbeit war es, die genetische, morphologische und phänologische Diversität innerhalb und zwischen Populationen verschiedener Herkünfte von *A. theophrasti* zu untersuchen, um daraus Aussagen über das Invasionspotenzial und die Abstammung neuer Populationen in Deutschland ableiten zu können. Besonders bei nichteinheimischen Unkrautarten ist es für eine nachhaltig effektive Unkrautkontrolle erforderlich, die Diversität innerhalb einer Population zu quantifizieren. Denn die gene-

tische Diversität legt die morphologische und phänologische Amplitude einer Art fest und damit deren Fähigkeit, sich an neue Lebensräume und störende Eingriffe wie Bewirtschaftungsmaßnahmen anzupassen. Aus ökonomischer Sicht stellt eine Herkunfts- oder Abstammungsanalyse neuer Unkrautarten eine wertvolle Möglichkeit dar, Einschleppungswege zu identifizieren und durch strengere Kontrollen oder Quarantänemaßnahmen zu unterbinden.

Zusammengefasst ergaben sich folgende Fragestellungen:

- Welche Konkurrenz stellt der invasive Neophyt *Abutilon theophrasti* in Zuckerrüben bei verschiedenen Unkrautkontrollmaßnahmen für die Kulturpflanze und die einheimische Unkrautflora dar?
- Wie entwickeln sich Populationen von *Abutilon theophrasti* in Zuckerrüben infolge verschiedener Unkrautkontrollmaßnahmen?
- Welches Maß an Diversität ist zwischen und innerhalb von Populationen von *Abutilon theophrasti* zu finden?
- Ist es möglich, die Abstammung und Herkunft neuer Populationen von *Abutilon theophrasti* in Deutschland anhand von molekularen Markern sowie morphologischen und phänologischen Merkmalen zu bestimmen?

2 Literaturüberblick

Die folgenden Abschnitte geben einen Überblick über die Hintergründe und den Stand der Forschung der unterschiedlichen Themenbereiche, die dieser Arbeit zugrunde liegen. Diese sind die Problematik der invasiven Neophyten, die Spezies *Abutilon theophrasti*, Informationen zum Anbau und zur Unkrautkontrolle in Zuckerrüben sowie zu Problemen durch *A. theophrasti*, Konkurrenzbeziehungen zwischen Pflanzen und zuletzt einige molekularbiologische Zusammenhänge und Anwendungsmöglichkeiten genetischer Marker für die herbologische Forschung.

2.1 Invasive Neophyten

2.1.1 Charakteristika und wirtschaftliche Bedeutung einiger invasiver Neophyten

Die Terminologie rund um die Worte „invasiv“ und „Neophyt“ ist uneinheitlich, weswegen einige wichtige Begriffe erläutert und für die vorliegende Arbeit definiert werden sollen.

Botanisch unterscheidet man einheimische (indigene oder autochthone) von gebietsfremden, nicht einheimischen (allochthonen) Pflanzenarten, wobei immer auf einen geographischen Raum Bezug genommen werden muss. Nicht einheimische Pflanzenarten werden untergliedert in Archäophyten und Neophyten. Während erstere per definitionem vor der Entdeckung Amerikas 1492, z. B. im Zuge des Ackerbaus eingebracht wurden, sind Neophyten erst nach dem Ausgang des Mittelalters mit Einsetzen des weltumspannenden Fernverkehrs eingewandert. Die Gruppe der nicht einheimischen Arten umfasst die eingebürgerten Arten (Agriophyten und Epökophyten) sowie unbeständige, nicht etablierte Arten (Ephemerophyten, vgl. Abb. 2.1). Die Zahl von dauerhaft etablierten Sippen¹ im Rang von Arten, Unterarten und Varietäten der heutigen Flora Deutschlands beträgt etwa 3000. 78 % davon sind indigene Sippen, 9 % Archäophyten und 13 % Neophyten (SUKOPP und SUKOPP, 2004).

¹ Eine Sippe bezeichnet eine der hierarchischen Rangstufen des taxonomischen Systems, ohne sich dabei festzulegen.



Abb. 2.1 Flora von Deutschland
(nach SUKOPP und SUKOPP, 2004)

Hinweis: Die Größe der Blöcke entspricht nicht der Artenzahl der dargestellten Gruppe.

Nach der „tens rule“ von WILLIAMSON und FITTER (1996) kommen etwa 10 % aller eingeführten, also nicht einheimischen Arten in einer neuen Umwelt unbeständig vor, 10 % davon können sich etablieren und davon wiederum werden 10 % invasiv, d.h. 0,1 % aller eingeführten Arten. Von den etwa 50.000 eingeführten Gefäßpflanzen (inklusive Arten der Botanischen Gärten) werden heute etwa 50 spezifisch bekämpft. 20 Arten davon sind landwirtschaftliche Unkräuter (KOWARIK, 2003).

Zur Frage, was eine Art „invasiv“ macht, wurden einige Ansätze entwickelt. HEGER und TREPL (2003) beispielsweise sagen, dass die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Invasion mit dem Vorhandensein der folgenden Charakteristika beim pflanzlichen Invasor steigt: effektive vegetative Reproduktion, effektive generative Reproduktion durch große Samenmengen, eine breite ökologische Amplitude bezüglich der Licht- und Wasserbedürfnisse sowie eine hohe Fähigkeit, Störungen zu bewältigen. Der Erfolg einer invasiven Art ist aber auch vom betroffenen Ökosystem abhängig. So vermuten die Autoren, dass alte, (vom Menschen) unbeeinflusste Pflanzengemeinschaften mit hoher Diversität weniger anfällig für Invasionen seien. Sie weisen jedoch darauf hin, dass diese Annahme bisher nicht empirisch bestätigt werden konnte. Die Empfindlichkeit z. B. der Regenwälder oder lange isolierter Ökosysteme wie Inseln führt eher zum entgegengesetzten Schluss. Letztlich muss jedoch der jeweilige Einzelfall betrachtet werden. Im Falle von *Impatiens parviflora* DC. (Kleines Springkraut) wird angenommen, dass dessen Erfolg in zentraleuropäischen Eiche-Hainbuche-Wälder auf dem flachen Wurzelwerk dieser Art begründet ist, mit dem sie der Konkurrenz durch die tiefer wurzelnden heimischen Bäume und krautigen Pflanzen entgeht. *I. parviflora* be-

setzt in diesem speziellen Habitat eine ökologische Nische, ohne dass hohe Aggressivität nötig wäre, gemäß dem Schlüssel-Schloss-Modell nach CORNELIUS et al. (1990) (HEGER und TREPL, 2003). CORNELIUS et al. (1990) verglichen die Ausbreitung florenfremder Arten in der ostafrikanischen Savanne (*Tribulus terrestris* L. (Erdburzeldorn)) und dem Stadtgebiet von Berlin (*Solidago canadensis* L. (Kanadische Goldrute)). Die Autoren fanden keine direkt zu beobachtenden gemeinsamen Schlüsselmerkmale, die den Ausbreitungserfolg von Neophyten erklären. Die Merkmale müssten vielmehr jeweils zu der herrschenden Nischenstruktur im Sinne des Schlüssel-Schloss-Modells in Beziehung gesetzt werden. Dagegen bestünden jedoch Gemeinsamkeiten im Bereich der Populationsstrategien, die den Einzelmerkmalen übergeordnet sind.

Merkmale eines „idealen“ Unkrauts wurden von BAKER (1965; 1974) zusammengefasst:

1. Keine speziellen Anforderungen an die Umweltbedingungen während der Keimung.
2. Langlebige Samen, die durch Dormanzmechanismen unregelmäßig und über einen langen Zeitraum keimen.
3. Schnelles vegetatives Wachstum, frühes Erreichen des Blütestadiums.
4. Selbstbefruchtend, aber nicht obligatorisch.
5. Fremdbestäubung (falls vorhanden) durch Wind oder spezialisierte Insekten.
6. Kontinuierliche Samenproduktion über einen langen Zeitraum.
7. Hohe Samenproduktion in bevorzugten Umwelten.
8. Samenproduktion in einer weiten Variationsbreite von Umweltbedingungen.
9. Samen oder Früchte sind an Nah- und Fernausbreitung adaptiert.
10. Mehrjährige weisen hohe Rate an vegetativer Reproduktion oder Regeneration aus Fragmenten auf.
11. Hohe interspezifische Konkurrenzkraft durch Allelopathie², Rosetten, schnelles Wachstum oder andere Mittel.

Während die Diskussion über den Einfluss invasiver Pflanzen weltweit sowohl die Natur- als auch die Kulturstandorte betrifft, sind in Deutschland bisher fast ausschließlich die Neophyten auf natürlichen oder naturnahen Standorten im Blickpunkt öffentlichen Interesses. So zum Beispiel der sich rasant ausbreitende Japan-Knöterich (*Reynoutria*

² Ausscheidung phytotoxischer, organischer Stoffe (vgl. 2.6.1)

japonica Houtt.), der Anfang des 19. Jahrhunderts aus dem ostasiatischen Raum als Zierpflanze nach England gebracht wurde. Der Japan-Knöterich vermehrt sich sowohl generativ also auch vegetativ durch Rhizome. Dichte Bestände des Japan-Knöterichs sind fast geschlossen. Durch das zentrifugale Wachstum verdrängt er andere Arten selbst aus intakten Beständen. Anfang der 1990er Jahre kam es infolge der Rhizombildung zu Auskolkungen, Uferabbrüchen und Damnbrüchen, was zu Überschwemmungen führte. In den Jahren 1991 und 1992 entstand an mit Knöterich bewachsenen Deichen in Baden-Württemberg ein Schaden von über 20 Mio. DM. Wollte man sämtliche Knöterichbestände in Deutschland bekämpfen, entstünden dadurch Kosten von 6,2 Mio. plus 16,7 Mio. Euro für die nachfolgende Ufersicherung (KOWARIK, 2003). Kosten ganz anderer Art verursachen zwei weitere Neophyten: der Riesen-Bärenklau (auch Herkulesstaude, *Heracleum mantegazzianum* Sommier und Levier) und die Beifußambrosie (*Ambrosia artemisiifolia* L.). Der Riesen-Bärenklau stammt ursprünglich aus dem Kaukasus und wurde ebenfalls als Zierpflanze im 19. Jahrhundert eingeführt. Er verwilderte und ist heute in Deutschland von den Alpen bis zur Küste, vornehmlich an Flüssen und Bächen sowie auf Wiesen- und Ackerbrachen zu finden. Die Pflanze enthält phototoxisch wirkende Furanocumarine. Bei Berührung und Sonneneinstrahlung können sich schwere Hautentzündungen mit starker Blasenbildung entwickeln. Neben den Schäden durch Ufererosionen und Vergiftungen von Weidevieh werden in Deutschland daher jährlich etwa 1 Mio. Euro für medizinische Behandlungen ausgegeben. Die Bekämpfungskosten belaufen sich auf etwa 10 Mio. Euro jährlich (KOWARIK, 2003). Die aus Nordamerika eingewanderte Beifußambrosie verursacht starke Allergien bis hin zu allergischem Asthma. Es ist umstritten, ob sich diese Pflanze dauerhaft etabliert hat oder ständig neu ausgebracht wird (beispielsweise durch verunreinigtes Vogelfutter). Eine stärkere Ausbreitung ist in Zukunft zu befürchten, insbesondere wenn die durchschnittlichen Jahrestemperaturen weiter ansteigen. Das Umweltbundesamt schätzte die jährlichen Kosten für medizinische Behandlungen auf 32 Mio. Euro (REINHARDT et al., 2003). Von landwirtschaftlicher Bedeutung ist die Beifußambrosie in Europa bisher vor allem in Sonnenblumenbeständen in einigen zentraleuropäischen Ländern, unter anderem in Ungarn, Italien und Frankreich, wo sie als gefährliches Unkraut eingestuft ist. Massive Ausbreitung melden auch Österreich (ESSL und RABITSCH, 2004) und die Schweiz („Schwarze Liste“ der S.K.E.W., 2004).

Zwei Neophyten, die in Deutschland besonders in der Landwirtschaft Beachtung finden sind der Zurückgekrümmte Fuchsschwanz (*Amaranthus retroflexus* L.) und die Erdmandel (*Cyperus esculentus* L.). *A. retroflexus* kam im 18. Jahrhundert mit Handelsgütern aus Nordamerika nach Europa. Vorkommen außerhalb von Äckern gelten als unproblematisch. In Hackfruchtkulturen und Maisäckern kann er jedoch zu erheblichen

Bekämpfungskosten führen. Da der Zurückgekrümmte Fuchsschwanz bereits Anfang des 19. Jahrhunderts in Deutschland als eingebürgert galt und die Bekämpfung mit geeigneten Herbiziden möglich ist, wird er heute nicht als typischer invasiver Neophyt aufgeführt.

Anders die Erdmandel (*Cyperus esculentus* L.), die als Unkraut in Deutschland zum ersten Mal 1976 in Baden-Württemberg beobachtet wurde. Zwar kommt die Art in Deutschland nur sporadisch vor, kann sich aber lokal durch Rhizomwachstum sehr stark vermehren und ausbreiten. Betroffen sind auch hier Maisfelder und Hackfruchtkulturen. Massenbestände der Erdmandel können zu Komplettausfällen der Ernte und mehrjährigem Verzicht auf den Anbau von Mais und Hackfrüchten führen. Da Herbizide nur auf die oberirdischen Teile von *C. esculentus* wirken und nicht die Knollen abtöten, muss gesteigerter Wert darauf gelegt werden, Massenentwicklung und Ausbreitung zu verhindern. Dazu gehören die Reinigung von Maschinen und Geräten, die auf befallenen Äckern eingesetzt wurden, sowie der Anbau von Halmfrüchten zur Lichtkonkurrenz. Als invasiver Neophyt wurde *C. esculentus* in Europa bisher nur in den Niederlanden eingestuft. In vielen anderen Ländern steht die Art unter Beobachtung (z. B. Schweizer „Watch List“ der S.K.E.W., 2004).

Ein fast weltweit auftretender invasiver Neophyt ist das Karottenkraut (*Parthenium hysterophorus* L.). Ursprünglich aus Mexiko, Zentral- und Südamerika stammend hat es sich mittlerweile bis nach Australien, Indien, Taiwan, Papua-Neuguinea, Madagaskar, Äthiopien, Südafrika, in die Karibik und die südlichen USA ausgebreitet. Das Karottenkraut gilt als aggressiv und sehr konkurrenzstark, auch wegen seines hohen allelopathischen Potenzials. Selbst intakte natürliche Ökosysteme können vom Karottenkraut zerstört werden. Neben ökonomischen Verlusten in der Nahrungs- und Futtermittelindustrie durch Mindererträge können beim Menschen allergische Reaktionen auftreten. Wird Karottenkraut von Weidetieren gefressen, ist deren Fleisch unter Umständen nicht mehr zum Verzehr geeignet. So werden die Kosten, die allein dem Staat Queensland im Jahre 1992 durch verminderte Rindfleischproduktion und Bekämpfung von Karottenkraut entstanden sind, auf 16,5 Mio. australische Dollars geschätzt (INVASIVE SPECIES SPECIALIST GROUP, 2005).

2.1.2 Internationale Rahmenbedingungen zum Umgang mit invasiven Arten

Weltweit wird die Ausbreitung von invasiven Pflanzenarten kritisch beobachtet und diskutiert. Nach den Leitprinzipien des Übereinkommens über die Biologische Vielfalt (CBD, 2004) werden als invasive (Pflanzen-) Arten sinngemäß solche bezeichnet, die in Lebensräume außerhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebietes durch menschliches

Zutun eingebracht wurden, sich dort massiv ausbreiten und die biologische Vielfalt bedrohen. Das BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (2005) erweitert diese Definition um den Zusatz "Pflanzen, die ökonomische oder gesundheitliche Probleme verursachen können". Der US-amerikanische NATIONAL INVASIVE SPECIES COUNCIL (2004) veröffentlicht auf seiner Internetseite eine ähnliche Definition: "An 'invasive species' is defined as a species that is 1) non-native (or alien) to the ecosystem under consideration and 2) whose introduction causes or is likely to cause economic or environmental harm or harm to human health. Invasive species can be plants, animals, and other organisms (e.g., microbes). Human actions are the primary means of invasive species introductions."

Das Internationale Pflanzenschutzübereinkommen (*International Plant Protection Convention* IPPC) und die Europäische Pflanzenschutzorganisation (*European and Mediterranean Plant Protection Organization* EPPO) als regionale Pflanzenschutzorganisation des IPPC für den euromediterranen Raum sind seit über 50 Jahren auf das übergeordnete Ziel ausgerichtet, die Einschleppung und Verbreitung von Schaderregern von Pflanzen zu verhindern. Zentrale Rolle spielt die Analyse der Risiken, die von gebietsfremden Arten ausgehen können. Zurzeit werden internationale Standardverfahren zur Bewertung und zum Management dieser Risiken entwickelt. Geplant ist auf Ebene der EPPO, bereits bestehende Listen für „klassische Schadorganismen“ von Pflanzen wie Insekten, Nematoden, Phytoplasmen, Bakterien, Pilze, Viren und Viroide um invasive gebietsfremde Pflanzen und andere invasive Arten, die zumindest indirekt Pflanzen schädigen können zu ergänzen. Die meisten der EPPO-Empfehlungen werden in EG-Empfehlungen übernommen und sind damit verbindlich in Deutschland anzuwenden (nach SCHRADER et al., 2002).

2.2 *Abutilon theophrasti* MEDICUS

2.2.1 Der Name „*Abutilon theophrasti* MEDICUS“

Der griechische Philosoph und Schriftsteller Theophrastus (ca. 372 - 287 v. Chr.), ein Schüler Aristoteles, gilt als Begründer der Botanik. Er benutzt das griechische Wort „side“ (= Wasserpflanze) für die Pflanzen, die wir heute der Gattung *Sida* und *Abutilon* zuordnen. Wieso er diese terrestrischen, nicht-sukkulenten Gattungen „Wasserpflanzen“ nennt, ist nicht mehr nachvollziehbar. Um 900 n. Chr. beschreibt der arabische Arzt und Philosoph Ibn Sina (Avicenna) die Pflanze als Heilpflanze. Er prägt den Ausdruck „Abutilon“ für Pflanzen, die Malven oder Maulbeeren ähneln (ZIMDAHL, 1989). Zu Ehren beider Philosophen klassifiziert Carolus Linnaeus (1707 - 1778) die Pflanze als

Sida abutilon. *Abutilon* als Name einer eigenen Gattung ist Philip Miller (1691 - 1771) zuzuordnen, (BAILEY und BAILEY, 1976).

Die Anführung „MEDICUS“ kommt von Friedrich Casimir Medicus (1736 - 1808), dem Direktor des Mannheimer Gartens während des späten 18. Jahrhunderts. 1787 veröffentlicht Medicus eine Umorganisation der Malvaceen, in der er *Sida abutilon* der Gattung *Abutilon* unter- und der Art das Epitheton „*theophrasti*“ beordnet (BAILEY und BAILEY, 1976). Der Name *A. avicennaea* GAERTNER, nach Joseph Gaertner (1732 - 1791), hat sich bis heute gehalten, ist aber wissenschaftlich nicht korrekt.

Abutilon theophrasti MEDICUS trägt die deutschen Namen Lindenblättrige Schönmalve, was auf die Blattform Bezug nimmt, oder Samtpappel, was sich auf die samtige Behaarung der Blätter und Stängel bezieht. Englische Namen sind unter anderem Velvetleaf, Elephant Ears, Cottonweed, China jute und *Abutilon hemp*. Während sich die beiden erstgenannten wiederum auf die Morphologie der Blätter beziehen, gehen die übrigen Namen auf die Nutzung der Pflanze als Faserlieferant zurück.

2.2.2 Taxonomie, Habitus und Biologie

Die Familie der Malvaceae, der Malven- und Eibischgewächse, ist mit über 900 Arten in 42 Gattungen über die ganze Erde verbreitet. Die meisten Arten bewohnen die tropischen Gebiete Amerikas und Asiens. Zu dieser Familie gehört die Baumwolle (verschiedene Arten der Gattung *Gossypium*) sowie die Arzneipflanzen Eibischwurzel (*Althaea officinalis*) und Hibiskus (*Hibiscus sabdariffa*) (HANF, 1999).

Die Gattung *Abutilon* MILL. ist mit etwa 200 Arten angegeben (FRYXELL, 1988) und in den tropischen und subtropischen Zonen aller Kontinente verbreitet. Einzig *A. theophrasti* bewohnt ein ausschließlich extratropisches Areal. Die meisten Arten sind weichholzige Sträucher, einige Stauden oder Bienne, wenige Annuelle oder auch kleine Bäume (JÄGER, 1991).

Der Habitus von *A. theophrasti* wird durch den aufrechten Wuchs der dominierenden Hauptachse und die gleichmäßig wechselständig verteilten Blätter bestimmt. Die Pflanze erreicht eine Höhe von 0,8 - 2,5 m. In der halben Wuchshöhe, etwa beim 10. Internodium, werden die ersten Blüten der Hauptfloreszenz sowie bei stärkeren Exemplaren Seitentriebe ausgebildet. Aus den Achseln der Kotyledonen und der unteren Blätter erfolgt keine Verzweigung (JÄGER, 1991). Die langgestielten, sehr großen Blätter (7 - 20 cm Durchmesser) sind breit herzförmig mit einer Verjüngung zur Spitze hin. Sie sind flach rundgezahnt und wie auch die Stängel samtig behaart.

Die Blüten entwickeln sich einzeln oder in kleinen Trauben aus den Blattachseln, wobei die Blütenstiele deutlich kürzer sind als die Blattstiele. Auf die fünf Kelchblätter folgen fünf gelb-orangefarbene, apikal leicht eingekerbte Kronblätter. Vollständig geöffnet hat die Blüte einen Durchmesser von 1,3 - 2,5 cm. Die Filamente sind zu einer zentralen Säule vereint. Die 12 - 15 zirkular angeordneten Karpellen bilden eine kelchförmige Kapsel, welche zunächst hellgrün, später fast schwarz erscheint. Eine Kapsel ist 1,3 - 2,5 cm lang und 2,5 cm breit, behaart und geschnäbelt. Jedes Karpell öffnet sich an der äußeren Kante mit einem vertikalen Schlitz und beinhaltet ein bis drei Samen. Die hartschaligen Samen sind dunkelbraun, nieren- bis herzförmig, abgeflacht, 1 mm dick und 2 - 3 mm lang (WARWICK und BLACK, 1988). Eine Pflanze produziert bis zu 8.000 Samen (SPENCER, 1984).

A. theophrasti entwickelt eine tief reichende, verzweigte und verholzte Pfahlwurzel. In der 6. - 10. Woche nach der Keimung ist das Wurzelwachstum besonders rasch. Das Hypokotyl kann sich sprossbürtig bewurzeln.



Abb. 2.2 *Abutilon theophrasti* MED.
(BRITTON und BROWN, 1913)

A. theophrasti ist eine einjährige, selbstbefruchtende C₃-Pflanze, die als Same überwintert. Die Samen bleiben bis zu 50 Jahre lebensfähig, wenn sie trocken oder im Boden gelagert werden (SPENCER, 1984). Nach 39 Jahren im Boden wurde die Keimfähigkeit noch auf 43 % geschätzt (TOOLE und BROWN, 1946). Die Persistenz beruht auf der Fähigkeit der Samen, im Boden lange dormant zu bleiben. Die primäre Dormanz von *A. theophrasti* fundiert auf der Wasserundurchlässigkeit der dichten Palisadenschicht in der Samenschale. Nahezu 100 % der frisch geernteten Samen sind zunächst impermeabel, wodurch die Samen nicht quellen können. Nach einem Jahr bei trockener Lagerung haben sie ihre Dormanz verloren. Diese Entwicklung vollzieht sich schneller bei hoher Luftfeuchtigkeit (STEINBAUER und GRIGSBY, 1959). Während WARWICK und BLACK (1988) davon ausgehen, dass die primäre Dormanz unter Freilandbedingungen durch die ständige Änderung von Temperatur und Feuchtigkeit gebrochen wird, konnten CARDINA und SPARROW (1997) für *A. theophrasti* keinen Zusammenhang zwischen Frost- und Tauzyklen bzw. Trocken- und Feuchtperioden und der Abnahme der Hartschaligkeit feststellen. Neben einer physikalischen Barriere konnte von KREMER (1986) nachgewiesen werden, dass von der Samenschale phenolische Verbindungen abgegeben werden, die 117 von 202 (58 %) der Bodenbakterien und alle Pilze hemmten und so mikrobielle Zersetzung verhindern. Nach HOROWITZ und TAYLORSON (1985) gehen alle lebensfähigen Samen in die Keimung über, wenn die physikalische Dormanz gebrochen ist. LUESCHEN und ANDERSEN (1980) sowie WARWICK und BLACK (1986) wiesen jedoch eine sekundäre, embryonale Dormanz nach. CARDINA und SPARROW (1997) bezweifeln das Vorhandensein einer embryonalen Dormanz. In ihren Versuchen keimten nahezu 100 % aller physikalisch dormanten (hartschaligen) Samen nach Skarifikation³. Dagegen fanden die Autoren permeable Samen, die nicht im Feld, aber im Labor keimten. Wahrscheinlich, weil im Feld keine geeigneten Umweltbedingungen vorgefunden wurden. Sie nennen diese sekundäre Dormanz „enforced dormancy“, erzwungene Dormanz. Die Dormanzmechanismen führen dazu, dass pro Jahr gleich bleibend nur $6,8 \pm 0,5$ % aller Samen aus der Bodensamenbank keimen (LINDQUIST et al., 1995, in Sojabohnen). ROETH (1987) spricht von 5 - 15 % der Samenbank. Dieser Wert kann durch intensive Bodenbearbeitung verdoppelt werden (ROETH, 1987). Die Dormanzmechanismen sind auch dafür verantwortlich zu machen, dass sich die Keimphase von *A. theophrasti* über einen langen Zeitraum hinstreckt. In Norditalien zum Beispiel von Ende März bis in den Spätsommer (CANTELE et al., 1987, zitiert in SATTIN et al., 1992). Ähnliche Keimzeiträume nennt auch HULINA (2000) für Kroatien. In Dresden keimte *A. theophrasti* von Anfang Mai bis Ende Juni (MEINLSCHMIDT et al., 2004). Bei eigenen Versuchen in Tschechien, die dieser Arbeit zugrunde liegen, wur-

³ Anritzen der Samenschale.

den kürzere Keimphasen ermittelt: Mitte April bis Mitte Mai (Přelouč, Versuchsstandort im Jahr 2003) bzw. Ende April bis Ende Mai (Svinčany, 2004). Limitierende Faktoren für die Keimung scheinen Licht- und Wasser Konkurrenz durch die Kulturpflanze bzw. andere Unkräuter zu sein. *A. theophrasti* kann auch aus 10 cm Tiefe noch erfolgreich auflaufen (BENVENUTI et al., 2001).

Unter Bezug auf die Klassifikation nach GRIME (1977) definieren SATTIN et al. (1992) die Entwicklungsstrategie von *A. theophrasti* als kompetitiv-ruderal. Nach GRIME (1977) können die externen Faktoren, die die Pflanzenbiomasse einer Art limitieren, in zwei Kategorien eingeteilt werden: zum einen Stress, d.h. Faktoren, die die Ausbildung von Biomasse begrenzen wie Licht-, Wasser- oder Nährstoffmangel und suboptimale Temperatur. Zum zweiten Störung, d.h. Faktoren, die zu teilweiser oder völliger Zerstörung von Biomasse führen wie Herbivore und Pathogene, Einfluss des Menschen oder Zerstörung durch Wetterereignisse, Bodenerosion oder Feuer. Aus diesen Kategorien ergeben sich vier (extreme) Strategietypen. Die KOMPETITIVEN Pflanzen sind auf Habitate mit geringem Stress und geringer Störung spezialisiert, STRESSTOLERANTE Pflanzen auf hohen Stress und geringe Störung, RUDERALE Pflanzen auf geringen Stress und hohe Störung. Die Kombination von hoher Stress- und hoher Störungstoleranz ist nach GRIME (1977) keine lebensfähige Strategie.

Zu Beginn seiner Entwicklung bis zum Erreichen des Blütestadiums ist *A. theophrasti* nach SATTIN et al. (1992) den KOMPETITIVEN Pflanzen zuzuordnen. Nur wenn *A. theophrasti* während der langen Jugendphase kaum Konkurrenz ausgesetzt ist, kann es seine spätere Dominanz entwickeln. Vom Beginn des Blütestadiums an verfolgt *A. theophrasti* die RUDERALE Strategie einer reichlichen und lang anhaltenden Blüten- und Samenproduktion, die in Kanada bis zum ersten Frost anhält (WARWICK und BLACK, 1986). Während OLIVER (1979) *A. theophrasti* als Kurztagspflanze einstuft, deren Konkurrenzstärke entscheidend von der Tageslänge beeinflusst wird, konnten ANDERSEN et al. (1985) keinen starken photoperiodischen Einfluss feststellen.

Durchschnittlich werden je Kapsel etwa 35 Samen und je Pflanze 70 - 199 Kapseln gebildet (ANDERSON et al., 1985; BROWN, 1985; WARWICK und BLACK, 1986). Die Tausendkornmasse wird von BALOCH et al. (2001) mit 6 - 11 g angegeben, davon liegen 75 % im Bereich 8 - 10 g. BALOCH et al. (2001) stellten hohe Variation der Samenmasse innerhalb einer Mutterpflanze fest. Studien von BROWN (1985) in Ontario, Kanada, zeigten, dass *A. theophrasti* in einer Monokultur bei einem Reihenabstand von 45 cm Wuchshöhen von 3 m erreicht und 4032 kg Samen je Hektar bildet.

2.2.3 Nutzung, Herkunft und Verbreitung

Die Bastfasern werden zur Herstellung von Seilen, Fischernetzen, Säcken, Schuhen und grober Kleidung sowie zur Abdichtung von Booten genutzt. Die Samen enthalten 15 - 30 % eines für Speisen verwendbaren Öls (L'IN, 1949). SCHWENKFELD (1600) beschreibt die Nutzung als Heilpflanze folgendermaßen: „Glutinosa et vulveraria est. Recentia consolidat et glutinat“ (Schleimdroge und Wundkraut. Stillt die Blutung frischer Wunden und verklebt diese.)

VAVILOV (1951) und LI (1970) nennen China als Herkunft von *A. theophrasti*. Danach geht die Nutzung von „Ching-ma“ in weiten Teilen Chinas bis auf ungefähr 2000 Jahre v. Chr. oder früher zurück. Nach KIRBY (1963) werden verschiedene Sorten von *A. theophrasti* in den unterschiedlichen Regionen Chinas angebaut, angepasst an Boden- und Klimaverhältnisse. Andere Quellen nennen Indien als Herkunft (SHAW et al. 1974; FLINT et al. 1983). STEGNIK und SPENCER (1988) versuchten erfolglos, die Elternlinien und damit die Herkunft von *A. theophrasti* zu ermitteln. Auf der Grundlage, dass sich das hexaploide *A. theophrasti* wohl von einem diploiden und einem tetraploiden Eltern teil ableiten müsse, untersuchten sie elf tropische und subtropische Abutilonarten. Sie verglichen Enzymaktivität und molekulare Marker mittels Polyacrylamid-Elektrophorese. Da keine Verwandtschaft festgestellt werden konnte und *A. theophrasti* die einzige Abutilonart ist, die in gemäßigten Klimazonen gedeiht und nicht in Süd- und Mittelamerika vorkommt, zogen die Autoren den Schluss, dass die Herkunft von *A. theophrasti* nicht in einer tropischen oder subtropischen Region liegt.

A. theophrasti wurde bis ins 18. Jahrhundert als Faserlieferant in viele Ackerbauregionen Europas, Nordamerikas und Australiens beabsichtigt eingeführt, später jedoch von Hanf und Baumwolle abgelöst. In einigen Regionen verschwand *A. theophrasti* daraufhin wieder aus der Flora (u. a. in Schlesien; hier fehlt die Art in mehreren älteren Floren) oder kam nur ephemere und sporadisch vor.

Abgesehen von ephemeren Vorkommen in Nordkanada, Mittel- und Nordwestrussland sowie Zentral- und Nordeuropa stimmt die Nordgrenze des gegenwärtigen Verbreitungsareals nach JÄGER (1991) gut mit der 20°-Juli-Isotherme überein. Diese verläuft in Deutschland etwa durch Freiburg. Mittlerweile gibt es jedoch diverse Meldungen über Funde nördlich dieser Isotherme. Auch die beiden Versuchsstandorte dieser Arbeit in Tschechien liegen nördlicher. JÄGER (1991) gibt zu Bedenken, dass infolge der lang anhaltenden Keimfähigkeit der Samen ein wiederholtes Auftreten ohne erneute Einschleppung auch ohne regelmäßige Ausbildung reifer Samen möglich ist. Eigene Beobachtungen zeigen jedoch, dass *A. theophrasti* seinen Entwicklungszyklus sehr wohl deutlich nördlich der 20°-Juli-Isotherme vollständig und regelmäßig abschließen kann.

Der Temperaturanstieg im Zuge der globalen Klimaänderung könnte *A. theophrasti* Gebiete erschlossen haben, die bisher außerhalb des Lebensraumes lagen, wie HÜGIN (1986) für *Amaranthus*-Arten in der Oberrheinebene annimmt. Außerdem ist mit dem Ausbau des freien Handels und des internationalen Transports seit Anfang der 1990er Jahre der Güterverkehr zwischen Ost- und Westeuropa stark angestiegen, was die Möglichkeit der Einschleppung von temperaturtoleranteren Biotypen erhöhte. In den Jahren 2001 und 2002 wurden *A. theophrasti*-Samen in Gelbsenf- und Ölrettichsaatgut gefunden. Als weiterer möglicher Eintragungsweg gilt importiertes Tierfutter, da *A. theophrasti*-Samen den Verdauungstrakt von landwirtschaftlichen Nutztieren überleben. Eine Bestandsaufnahme von *A. theophrasti* in Sachsen ergab, dass in 36 von 40 befahrenen Flächen entweder Gelbsenf oder Ölrettich als Zwischenfrucht angebaut oder organischer Dünger ausgebracht worden war (MEINLSCHMIDT, 2005). In Deutschland ist das Auftreten von *A. theophrasti* momentan stark mit dem Rübenanbau korreliert.

Mit amerikanischem Futtermais, Soja und Sonnenblumen wurde *A. theophrasti* Anfang des 20sten Jahrhunderts nach Skandinavien eingeschleppt (Dänemark 1911: HANSEN, 1972; Schweden 1925: HYLANDER, 1970; Finnland 1930: SUOMINEN, 1979), nach Großbritannien mit Vogelfutter (HANSON und MASON, 1985). In den Niederlanden wurde die Art von 1913 - 1950 27 Mal, 1951 - 1980 84 Mal gemeldet (MENNEMA, 1982) und gilt heute als Problemunkraut (ROTTEVEEL, 1981). Den ersten Wiedereintrag nach Deutschland beschreiben FUKAREK und HENKER (1983) für Lübz in Mecklenburg im Jahr 1957. Seit Anfang der 1990er Jahre taucht *A. theophrasti* in einigen Regionen Deutschlands in Zuckerrüben, Mais und Sonnenblumen auf. Für Baden-Württemberg und Niedersachsen gibt es Hinweise, dass *A. theophrasti* bereits Anfang der 1980er Jahre vereinzelt in Zuckerrübenschlägen beobachtet wurde (eigene Befragung von Landwirten und Beratern sowie Auskünfte der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft).

In der „Flora Europaea“ (TUTIN et al., 1964 - 80) wird die Verbreitung von *A. theophrasti* in zehn südosteuropäischen Ländern beschrieben, für acht weitere angenommen. In Kroatien und Ungarn hat sich *A. theophrasti* nach HULINA (1995) und TOTH et al. (1995) in den vergangenen 25 Jahren rasant ausgebreitet und zu einem dringenden Unkrautproblem entwickelt. In Tschechien erfolgte der Eintrag wahrscheinlich entlang der Elbe mit dem Transport von verseuchtem Sojaschrot zur Viehfütterung (JEHLIK et al., 1988). In der Slowakei steht die Art auf der Quarantäneliste.

TANJI und TALEB (1997) fanden 1981 eine *A. theophrasti*-Pflanze auf einer Versuchstation im Norden Marokkos, konnten sie aber zu diesem Zeitpunkt nicht eindeutig bestimmen. 1995 hatte sich die Art zu einem massiven Unkrautproblem auf der Ver-

suchsstation entwickelt. Die Autoren vermuten, dass *A. theophrasti* mit Baumwollsaatgut eingeschleppt wurde.

Nach Japan wurde *A. theophrasti* als Faserpflanze importiert und bis in das späte 19. Jahrhundert kultiviert (YOSHIKAWA, 1919). Bis etwa 1980 fiel die Art nicht als schädigend auf (ITO, 1993). Seitdem hat es sich jedoch zu einem der ökonomisch bedeutendsten Unkräuter Japans entwickelt (SHIMIZU et al., 1994; KUOKAWA et al., 2003a). KUOKAWA et al. (2003b) gingen der Frage nach, ob sich die aktuelle Ausbreitung von *A. theophrasti* auf der versehentlichen Freisetzung von kultivierten Sorten begründet oder auf Einführung von Unkrauttypen aus Übersee. Die Autoren konnten *A. theophrasti*-Samen in importierter Sojabohne, Körnerhirse und Lupine aus den USA und Australien nachweisen. Sie fanden außerdem eine hohe zeitliche Korrelation zwischen gesteigertem Importvolumen und Auftreten von *A. theophrasti* als Unkraut. Anhand morphologischer und molekularer Marker hatten die Autoren in Japan einen „Kulturtyp“ und einen „Unkrauttyp“ ermittelt (KUOKAWA et al., 2003a und 2003b). Die alten Sorten konnten sie dem Kulturtyp zuordnen, während die problematischen Pflanzen eindeutig unkrauttypische Charakteristika zeigten. Sie kamen daher zu dem Schluss, dass die Invasion von *A. theophrasti* auf eingeschleppte Samen in Importgetreide zurückzuführen ist.

2.3 Anbaubedingungen für Zuckerrüben

Zuckerrüben stellen hohe Anforderungen an Standort und Produktionstechnik. Werden diese nicht erfüllt, drohen Totalausfälle. Zuckerrüben benötigen zur Keimung eine Mindesttemperatur von 5°C. Je schneller sich der Boden auf etwa 10 - 12°C erwärmt, desto schneller und gleichmäßiger ist der Feldaufgang. Aussattermin ist daher meist Ende März bis Mitte April. Eine Krumentiefe von 25 cm sollte nicht unterschritten werden. Ungeeignet sind Böden mit Verdichtungshorizonten, stauender Nässe oder mit hohem Grundwasserstand (Förderung der Beinigkeit) sowie Böden mit hohem Tongehalt bei Gefahr von Sommertrockenheit und bei hohem Niederschlagsrisiko im Herbst (Ernterschwernis). Zuckerrüben benötigen zur Ertragsbildung des Rübenkörpers eine Vegetationsdauer von 180 - 220 Tagen. Für die Ausbildung der Blattmasse benötigt die Zuckerrübe hohe und regelmäßige Niederschläge, vor allem im Juli und August. Gebiete mit häufiger und lang anhaltender Bewölkung sind jedoch ungeeignet für den Zuckerrübenanbau, da hohe Einstrahlungsenergie für die Trockensubstanzeinlagerung und damit das Erreichen der technologischen Reife notwendig ist. Diffuses Licht führt zudem zu Schossern.

Das pillierte Saatgut wird mit Einzelkornsämaschinen im Abstand von 17 bis 19 cm in der Reihe und einem Reihenabstand von 45 bis 50 cm abgelegt. Daraus ergibt sich eine Bestandesdichte von etwa 70.000 bis 110.000 Pflanzen je ha. Die Grunddüngung mit P, K und Ca sollte wegen Luxuskonsums und damit Qualitätsverschlechterung der Rübe im Herbst oder bereits zur Vorfrucht gegeben werden. Die N-Versorgung der Zuckerrübe ist ein Problem, denn eine zu späte Stickstoffdüngung (oder Freisetzung des Stickstoffs aus organischem Dünger) reduziert den Zuckergehalt und erhöht den Anteil schädlichen Stickstoffs in der Zuckerrübe. Die letzte Stickstoffgabe sollte daher spätestens im 4-Blattstadium der Zuckerrübe erfolgen. Die Ernte erfolgt zwischen Ende September und Mitte November.

Neben bodenbürtigen Schaderreger wie dem Zystenälchen (*Heterodera schachtii*) oder der Späten Rübenfäule (*Rhizoctonia solani*) sind es vor allem die schwer bekämpfbaren Unkräuter, die zu Anbaupausen von 2 - 3 Jahren zwingen. Wegen ihrer langsamen Jugendentwicklung ist die Zuckerrübe durch Unkräuter sehr gefährdet und damit auf eine intensive Unkrautbekämpfung angewiesen. Eine mögliche Felderfolge ist Zuckerrübe - Winterweizen – Wintergerste/Phacelia (Winterzwischenfrucht), da die in Zuckerrüben schwer bekämpfbaren Unkrautarten wie Amarant, Weißer Gänsefuß, Melde oder auch die Lindenblättrige Schönmalve im Getreide problemlos unterdrückt oder bekämpft werden können.

2.4 Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben

Bereits vor dem Anbau der Zuckerrüben können präventive Maßnahmen zur Verminderung der Unkrautkonkurrenz durchgeführt werden. Dazu gehört, dass der Unkrautbesatz in den Vorfrüchten durch intensive Unkrautbekämpfung gering gehalten wird. Zwischen Ernte der Vorfrucht und Aussaat der Rüben können durch Stoppelbearbeitung und bei günstiger Witterung im Frühjahr durch die Saatbettbereitung Unkräuter zum Keimen angeregt und bekämpft werden. Die Auswahl einer geeigneten Rübensorte spielt insofern eine wichtige Rolle, als die zügige und kräftige Entwicklung der Zuckerrübe zur Unterdrückung der Unkräuter mit beiträgt.

Die mechanische Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben erfolgt mit einer Reihenhacke. Die Hacke kann grundsätzlich bis zum Reihenschluss zum Einsatz kommen. Der höchste Bekämpfungserfolg wird im Keimblatt- bis Zweiblattstadium der Unkräuter erreicht. Die Bekämpfungswirkung beruht auf dem Verschütten, dem Abschneiden und Herausreißen der Unkräuter. Der Umfang der mechanischen Unkrautbekämpfung ist in den Zuckerrüben stark rückläufig. Viele Zuckerrübenanbauer verzichten vollständig auf

dieses Mittel, da die Arbeitsbreite und die Arbeitsgeschwindigkeit der Unkrauthacke viel geringer als die einer modernen Pflanzenschutzspritze sind. Zudem wird der Herbizidfilm durch die Maschinenhacke zerstört und ruhende Unkrautsamen werden zur Keimung angeregt. Weiterhin ist ein hoher Wirkungsgrad der mechanischen Unkrautbekämpfung nur bei oberflächlicher Abtrocknung des Bodens sowie in Zeiträumen sonniger und niederschlagsfreier Witterung zu gewährleisten. Diesem Nachteil gegenüber steht die meist bessere Umweltverträglichkeit verglichen mit chemischen Verfahren. Wegen des hohen Wasseranspruchs der Rübe zur Massebildung kann sich der Einsatz der Hacke auch lohnen, weil dadurch die Kruste des Bodens aufgebrochen und so der Gasaustausch gefördert und die Verdunstung vermindert wird (DIEPENBROCK et al., 1999).

Auf Mulch- oder Direktsaatflächen ist vor der Rübenaussaat eine Bereinigung der Altverunkrautung über ein nichtselektives Herbizid häufig notwendig (Glyphosat, Paraquat). Die Herbizidapplikation in den Zuckerrüben kann im Voraufbau, im Nachaufbau oder, im Notfall bei starker Spätverunkrautung, als Unterblattspritzung erfolgen. Der Trend geht zur reinen Nachaufbauapplikation. Zum einen ist die Nachaufbaubehandlung weniger abhängig von der Bodenfeuchtigkeit als die Voraufbauapplikation, zum anderen können die Herbizide gezielt gegen die aufgelaufenen Unkräuter zusammengestellt werden. Auch können die empfindlichen jungen Rübenpflanzen so bis zur ersten Applikation ohne Herbizidbelastung aufbauen. Obwohl die Konkurrenz durch Unkräuter sich erst auf die Zuckerrübe auswirkt, wenn diese das 3- bis 4-Blattstadium erreicht hat (vgl. 2.6.2), wird die erste **Nachaufbau**behandlung bereits im **Keimblattstadium** (NAK) durchgeführt. Denn die Applikation der Herbizide im Keimblattstadium der Unkräuter bringt die sicherste Wirkung und gestattet eine deutliche Verminderung der Aufwandmenge, weil Unkräuter im frühen Entwicklungsstadium empfindlicher auf Herbizide reagieren. Das setzt jedoch voraus, dass der Landwirt die aufgelaufenen Unkräuter bereits im Keimblattstadium erkennt (DIEPENBROCK et al., 1999). In der Regel sind drei Behandlungstermine erforderlich, um auch spät oder in Wellen auflaufende Arten wie Amarant, Schwarzen Nachtschatten, Weißen Gänsefuß und Melde zu erfassen. Es wird ein Spritzabstand von 8 bis 12 Tagen empfohlen. Die Applikation sollte bei windstillem Wetter auf den abgetrockneten Bestand stattfinden. Bei hohen Temperaturen oder Frostgefahr soll wegen der verminderten Aufnahme nicht behandelt werden.

Für die Verfahren zur Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben hat sich die verfügbare Mittelpalette in den letzten Jahren kaum verändert. Es sind weiterhin Tankmischungen verschiedener Präparate erforderlich. Dabei werden blattaktive Wirkstoffe wie Phenmedipham und Desmedipham mit boden- und wurzelaktiven Wirkstoffen wie Chloridazon, Ethofumesat und Metamitron gemischt. Eine übliche Präparatemischung für

Westeuropa ist 1,0 – 1,25 l/ha Betanal Expert (Ethofumesat 151 g/l + Phenmedipham 75 g/l + Desmedipham 25 g/l) + 1,0 – 2,0 l/ha Goltix 700 SC (Metamitron 700 g/l) je NAK (nach HEINRICHS, 2005). Je nach vorgefundener Verunkrautung werden zusätzliche Präparate ausgebracht. Die für die vorliegende Arbeit verwendeten Wirkstoffe sollen kurz vorgestellt werden:

Die Biscarbamate Phenmedipham und Desmedipham sind Blattherbizide. Sie verursachen über den Eingriff in das Photosystem II Chlorosen und Wuchshemmungen. Die Selektivität beruht auf dem Verhältnis zwischen Aufnahmegeschwindigkeit und Metabolisierung. Empfindliche Pflanzen nehmen die Wirkstoffe schneller auf, als sie sie metabolisieren können. Die tolerante Zuckerrübe nimmt die Wirkstoffe langsam auf und kann sie dann schnell entgiften. Bei hoher Belichtung und Temperatur wird die toxische Wirkung so verstärkt, dass die Metabolisierung nicht mehr schnell genug ist. Es entstehen Kulturpflanzenschäden. Daher soll die Applikation in den Abendstunden oder bei bedecktem Himmel erfolgen (ZWERGER und AMMON, 2002).

Ethofumesat hemmt die Bildung sehr langkettiger Fettsäuren und somit die Ausbildung der Wachsschicht. Es wird in Rüben im Vor- und Nachauflauf gegen dikotyle Unkräuter (auch *Galium aparine*) und Gräser eingesetzt. Die Aufnahme erfolgt hauptsächlich über die Wurzeln, aber auch über die Blätter (ZWERGER und AMMON, 2002).

Die Wirkstoffe Phenmedipham, Desmedipham und Ethofumesat sind zum Beispiel im Handelspräparat Betanal Expert kombiniert. Betanal Expert wurde in Wesseling verwendet, in Tschechien wurden dieselben Wirkstoffe in anderen Handelspräparaten appliziert.

Metamitron und Chloridazon sind Bodenherbizide, die den Elektronentransport im Photosystem II hemmen. Sie wirken gegen breitblättrige, einjährige, dikotyle Unkräuter und einige Gräser. Beide zeigen eine Wirkungslücke bei Klettenlabkraut (*Galium aparine*). Sie können sowohl vor der Saat (mit Einarbeitung), im Voraufbau oder im Nachauflauf appliziert werden (ZWERGER und AMMON, 2002).

Triflursulfuron wird hauptsächlich über die Blätter aufgenommen und systemisch in der Pflanze verteilt. Es hemmt die Acetolactat-Synthase (ALS) und so die Bildung der verzweigten Aminosäuren Valin, Leucin und Isoleucin. Dies führt zur Behinderung der Zellteilung im meristematischen Gewebe und damit zur Hemmung der Pflanzenentwicklung. Der Wachstumsstillstand geht in einen Absterbeprozess über. In Wesseling wurde Debut, in Tschechien Safari verwendet. Versuche der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft zeigten in den Jahren 2000 bis 2002 einen hohen Wirkungsgrad des Sulfonylharnstoffs Triflursulfuron gegen *A. theophrasti* (VIEHWEGER und DITTRICH, 2002; MEINLSCHMIDT et al., 2004). Diese Versuche fanden in Kleinparzellen statt. Über

Wirkung im praxisnäheren Feldversuch in Zuckerrüben gab es vor den in der vorliegenden Arbeit beschriebenen Untersuchungen keine Erkenntnisse.

Lontrel ist ein systemisches Nachauflaufherbizid, unter anderem zur Bekämpfung von Kamille-, Knöterich- und Distelarten in Zucker- und Futterrüben. Der Wirkstoff Clopyralid stellt ein künstliches Auxin dar. Die Schädigung tritt über Stimulierung des Wachstums und anschließenden Zerfall durch Reservenverbrauch und Membranzerstörung ein (LANDESUMWELTAMT NRW, 1997). Wie alle Auxine darf Clopyralid nur bei wüchsigem Wetter und Temperaturen > 15°C ausgebracht werden, auch um die Zuckerrübe nicht zu schädigen. Optimale Wirksamkeit gegen Disteln wird nach Herstellerangaben bei einer Wuchshöhe von 10 - 20 cm erreicht.

2.5 Bekämpfung von *A. theophrasti*

Trotz aller Bekämpfungsmaßnahmen wird es kaum möglich sein, die persistente Samenbank einer etablierten Population von *A. theophrasti* vollständig zu eliminieren, auch wenn intensive Bodenbearbeitung die Keimrate verdoppelt (ROETH, 1987). Daher kommt der Prävention eine hohe Bedeutung zu. Die Einschleppung von *A. theophrasti* auf einen Schlag muss vermieden werden. Mögliche Einschleppwege wurden im Kapitel 2.2.3 beschrieben. Tritt *A. theophrasti* bereits auf einem Schlag auf, müssen die ersten Pflanzen vor dem Aussamen beseitigt werden, um eine Etablierung zu vermeiden (NORRIS, 1984; ZANIN und SATTIN, 1988).

Aus der Literatur sind keine mechanischen Bekämpfungsmöglichkeiten gegen *A. theophrasti* bekannt. In der vorliegenden Arbeit wurden zwei Maßnahmen geprüft: Hacken zwischen den Zuckerrübenreihen zur direkten Bekämpfung und Abschneiden der *A. theophrasti*-Pflanzen knapp oberhalb des Rübenbestandes, um die Samenbildung zu verhindern.

Im Zuge des sich weiter verbreitenden Anbaus glyphosat- und glufosinatreisistenter Kulturpflanzen wurden diverse Untersuchungen zur Wirksamkeit dieser beiden Wirkstoffe bei *A. theophrasti* durchgeführt. KRAUSZ et al. (1996) variierten Dosierung und Ausbringungsmenge von Glyphosat bzw. Glufosinat (560 bis 2800 g/ha bzw. 93 bis 187 l H₂O/ha Ausbringungsmenge) sowie Ausbringungszeitpunkt („early post“ bei 10 cm Wuchshöhe des Unkrauts, „late post“ bei 20 cm Wuchshöhe) in einem Maisfeld. Die Autoren ermittelten 96 % Wirkung bei früher Anwendung, unabhängig von der Ausbringungsmenge. Bei später Anwendung wurden bei 93 l H₂O/ha Ausbringungsmenge 82 % der *A. theophrasti*-Pflanzen bekämpft, bei 187 l H₂O/ha 89 %. Auch JORDAN et al. (1997) ermittelten höhere Wirkungsgrade von Glyphosat bei *A. theophrasti*

im 1- bis 3-Blattstadium als bei vier und mehr Blättern. Ein Vergleich von Glyphosat- und Glufosinatwirkung auf *A. theophrasti* zeigte eine bessere Wirkung von Glyphosat (THARP et al., 1999, Gewächshausversuche). Im 2- bis 3-Blattstadium zeigte *A. theophrasti* bereits bei 0,12 kg/ha Glyphosat einen 50 %igen Rückgang der oberirdischen Biomasse im Vergleich zur Kontrolle. Dieselbe Wirkung wurde durch Glufosinat erst bei 0,16 kg/ha erzielt.

Die Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft prüfte diverse Herbizidanwendungen. In ersten Versuchen zeigten das Getreideherbizid Stomp SC (Wirkstoff Pendimethalin) und Basagran (Wirkstoff Bentazon), das in Sommergetreide sowie Leguminosen zugelassen ist, gute Wirkung gegen *A. theophrasti* (99 %). Die geprüften Herbizide führten zu Wuchsverzögerung an *A. theophrasti*, die jedoch bis August fast vollständig aufgeholt werden konnte. In einer weiteren Variante wurde im Abstreichverfahren eine 30%ige Roundup Ultra (Glyphosat)- Mischung auf die Pflanzen ausgebracht. Die Mortalität lag bei 88 %, es traten jedoch Schäden an der Zuckerrübe auf. In allen Prüfgliedern bildete *A. theophrasti* bis zum Versuchsende am 5.10. 2001 reife Samen (VIEHWEGER und DITTRICH, 2002). Für die in Zuckerrüben zugelassene Herbizidmischung aus Betanal Expert, Goltix 700 SC und Debut wurden sehr unterschiedliche Ergebnisse ermittelt. Während im Jahr 2002 Mortalitätsraten um 97 % erreicht wurden, konnten im Jahr 2003 weniger als 10 % Mortalität in der Schlussbonitur festgestellt werden. Wie bereits im Vorversuch im Jahr 2001 zeigte *A. theophrasti* auch 2003 hohes Regenerationsvermögen. Sowohl in Mais als auch in Sommergerste konnte *A. theophrasti* im Jahr 2003 mit entsprechenden Herbiziden vollständig bekämpft werden (MEINLSCHMIDT et al., 2004).

In einer Studie von MURPHY und LINDQUIST (2002) wurde die Reaktion von *A. theophrasti* auf drei gängige Nachauflaufferbizide mit unterschiedlichen Wirkmechanismen bei unterschiedlichen Dosierungen (keine bis volle empfohlene Aufwandmenge) getestet. Die Wirkstoffe sind Dicamba (ein auxin-ähnlicher Wuchsregulator), Flumiclorac (Wirkung beruht auf Zerstörung der Zellmembranen) und Halosulfuron (ein ALS-Hemmer). Die Autoren erfassten Keimlingsmortalität, maximal erreichte Wuchshöhe, Blattflächenindex (BFI), Anzahl grüner Blätter, Dauer der reproduktiven Phase (Blütenansatz bis Kapselreife) und Kapseln je Pflanze in einer *A. theophrasti*-Monokultur. Zusammenfassend fanden MURPHY und LINDQUIST (2002) für alle drei Herbizide starke Schwankungen bei der Keimlingsmortalität und sinkende Wuchshöhen und Wachstumsraten bei steigender Wirkstoffmenge (bleibende Wirkung). Der BFI sowie die Anzahl grüner Blätter sanken unmittelbar nach der Anwendung unter das Niveau der unbehandelten Kontrolle, was jedoch rasch aufgeholt und teilweise sogar überkompensiert wurde. Diese Überkompensation wird von den Autoren auf die fehlende Konkur-

renz durch einen Kulturpflanze zurückgeführt. Unabhängig vom Herbizid verlängerten sich die reproduktive Phase und damit die Gesamtwachstumsphase mit steigender Dosierung, wahrscheinlich als Kompensationsversuch. Nach Ansicht der Autoren kann das zu einer erhöhten Konkurrenz von Unkraut und Kulturpflanze führen, wenn der (verspätete) Zeitpunkt des höchsten BFI und z. B. die (Mais-) Kornfüllungsphase zusammenfallen. Die Anzahl der Kapseln je überlebender Pflanze zeigte keine Variation in Abhängigkeit von der Dosis. MURPHY und LINDQUIST (2002) betonen, dass die von ihnen ermittelten herbiziden Wirkungsgrade deutlich geringer waren als die ähnlicher Studien, in denen *A. theophrasti* mit der Kulturpflanze aufwächst. Sie weisen in diesem Zusammenhang auf den nicht zu unterschätzenden Anteil an der Unkrautunterdrückung hin, der von einem Kulturpflanzenbestand ausgeht. Auch SATTIN et al. (1992; in Mais), BELLO et al. (1995) sowie CARDINA und NORQUAY (1997, in Mais) konnten zeigen, dass interspezifische Konkurrenz durch gesunde Kulturpflanzenbestände zu deutlich geringerer Konkurrenzkraft von *A. theophrasti* führt.

2.6 Konkurrenz zwischen Pflanzen

2.6.1 Konkurrenz zwischen Unkräutern und Kulturpflanzen

Unter Konkurrenz versteht BAEUMER (1992) die gegenseitige Beeinflussung benachbarter Pflanzen durch Wettbewerb um knappe, wachstumsbegrenzende Mengen von Licht, Wasser und Nährstoffen. Konkurrenz ist ein in der Zeit ablaufender Prozess, dessen Intensität mit dem Heranwachsen der Pflanzen zunimmt. Erst wenn ein Wachstumsfaktor ins Minimum gerät beginnt die Konkurrenz. Einige Pflanzen haben die Eigenschaft, organische Verbindungen auszuschcheiden, die direkt oder nach Umwandlung phytotoxisch sind, so genannte Allelopathika. Sie wirken hemmend auf die Keimung oder das Wachstum anderer Arten in der unmittelbaren Umgebung, aber auch teilweise auf die eigene Art (Autotoxizität). Dadurch sichern sich diese Pflanzen einen ausreichenden Standraum und Lichteinfall in der Jugendphase.

In der Pflanzenproduktion versucht man, die von den Unkräutern auf die Kulturpflanze ausgeübte Konkurrenz so niedrig zu halten, dass der Ertrag und die Qualität der Kulturpflanzen nicht beeinträchtigt werden. Als Schwelle für die Bekämpfung definierten STERN et al. (1959) die WIRTSCHAFTLICHE SCHADENSCHWELLE wie folgt: „Mindestdichte von Schaderregern, durch die Ertragsverluste verursacht werden, die den Kosten der geeigneten Bekämpfungsmaßnahmen entsprechen“. Da auch von der Kulturpflanze Konkurrenz auf die Unkräuter einwirkt, muss diese Schadensschwelle für jede Kulturpflanze - Unkraut - Interaktion spezifisch ermittelt werden. Wegen des ho-

hen experimentellen Aufwandes wurden solche Behandlungsschwellenwerte nur für häufige und wirtschaftlich besonders bedeutende Kulturpflanze - Unkraut - Konkurrenzbeziehungen ermittelt. Sie können außerdem nur als Richtwerte verstanden werden, weil diese Interaktionen standort- und jahresabhängig sowie u. U. sogar sortenspezifisch sind (NIEMANN, 1988) und pflanzenbauliche Maßnahmen wie unterschiedliche Saat- und Düngungszeitpunkte die Interaktionen beeinflussen.

2.6.2 Konkurrenz zwischen Unkräutern und der Zuckerrübe

Wegen der geringen Wuchshöhe der Zuckerrübe spielt bei der Konkurrenz zwischen Zuckerrübe und Unkräutern das Licht die wichtigste Rolle (SCHÄUFELE, 1986 und 1991; KROPFF und SPITTERS, 1992). Licht kann nicht gespeichert und unter Freilandbedingungen nicht zugefügt werden. Wasser dagegen kann durch Bewässerung als limitierender Faktor ausgeschlossen werden und ist zusätzlich im Boden begrenzt speicherbar. Die Konkurrenz um Wasser zwischen Zuckerrübe und Unkräutern ist nach KROPFF et al. (1995) zu vernachlässigen, da der Wasserbedarf der Zuckerrübe zwischen dem Reihenschluss und der Ernte am höchsten ist, bei den Unkräutern jedoch schon früher. Bei Reihenschluss der Zuckerrübe beginnen die Unkräuter in der Regel bereits mit dem Rückgang der Biomasse durch den Übergang von der vegetativen in die generative Phase. Nährstoffe können durch Düngung ausreichend zur Verfügung gestellt werden. Eine zu frühe und intensive Düngung kann bei Kulturen mit einer langsamen Jugendentwicklung wie der Zuckerrübe ein Wettbewerbsvorteil für die Unkräuter sein (BRÄUTIGAM, 1998). Die dann folgende Mangelsituation begleicht die Rübe, indem sie die Ausbildung des assimilatverbrauchenden Organs, des Rübenkörpers, hemmt (HEYLAND, 1996). Die Assimilateinlagerung wird gestört. Hierdurch treten Ertragsverluste auf.

Für die Zuckerrübe werden von diversen Autoren ZEITBEZOGENE SCHADENSCHWELLEN oder KRITISCHE PERIODEN vorgeschlagen. Nur in dieser Zeit muss die Zuckerrübe konkurrenzfrei bleiben. Davor kann Unkraut toleriert werden, weil die Entwicklung der Jungpflanzen durch keinen begrenzenden Wachstumsfaktor limitiert wird. Nach dieser Zeit hat sich die Kulturpflanze soweit entwickelt, dass sie Unkräuter unterdrücken kann. Ist die Kulturpflanze jedoch während dieser Zeit Unkrautkonkurrenz ausgesetzt, muss mit Ertragseinbußen gerechnet werden. Unkrautfreiheit in der Kritischen Periode ist abhängig von der Auflaufdynamik der Unkräuter und der (daran gekoppelten) Effizienz der Bekämpfungsmaßnahmen. Unkrautfreiheit zur Ertragssicherung ist nach BRANDES et al. (1998) sowie SCHÄUFELE und HARMS (1998) zwischen der 4. und 8. Woche nach dem Auflaufen der Rübe erforderlich, das heißt vom 3- bis 4-

Blattstadium bis zum 6- bis 8-Blattstadium. KOBUSCH (2003) ermittelte die Kritische Periode, in der die Zuckerrübenfläche unkrautfrei bleiben muss, für das 4- bis 12-Blattstadium der Zuckerrübe. KOBUSCH (2003) kommt jedoch zu dem Schluss, dass der Parameter „Entwicklungsstadium der Zuckerrübe“ nicht zur Beschreibung einer standort- und jahresunabhängigen Kritischen Periode geeignet ist, sondern vielmehr weitere Parameter wie „relativer Unkrautdeckungsgrad“ und „Temperatursumme“ einbezogen werden müssen.

2.6.3 Konkurrenz zwischen *A. theophrasti* und Kulturpflanzen

Die meisten Arbeiten zur Konkurrenz von *A. theophrasti* liegen für Sojabohne und Mais vor. So beschreibt ROETH (1987), dass Sojabohne und Mais zunächst schneller wachsen als *A. theophrasti*. *A. theophrasti*-Pflanzen, die mehr als 20 Tage nach der Sojabohne aufliefen, hatten keinen Einfluss auf den Ertrag. Die Bekämpfung von etwa zeitgleich mit der Kultur aufgelaufenen *A. theophrasti*-Pflanzen innerhalb der ersten vier Wochen nach dem Auflaufen verhinderte Ernteverluste größtenteils. In der sechsten bis achten Woche nach dem Auflaufen zeigte *A. theophrasti* den höchsten Biomassezuwachs und die höchste Wachstumsrate. Sojabohne und Mais wurden jetzt meist überwachsen (ROETH, 1987). SCHWEIZER und BRIDGE (1982) untersuchten die Auswirkungen unterschiedlicher Dichten von *A. theophrasti* auf den Zuckerrübenenertrag. Danach wurde bei Dichten von 6, 12, 18 bzw. 24 *A. theophrasti*-Pflanzen je 30 Meter Rübenreihe der Rübenenertrag um 14, 17, 25 bzw. 30 % vermindert. Nach RENNER und POWELL (1991) ist maximal eine *A. theophrasti*-Pflanze in 7,6 Metern Zuckerrübenreihe ohne Ertragsverluste tolerierbar. Die meisten Autoren ermittelten Licht als wichtigsten limitierenden Faktor der Entwicklung der Kulturpflanze, wenn sie in Konkurrenz zur *A. theophrasti* aufwächst. ROETH et al. (1983) beschreiben *A. theophrasti* jedoch auch als starken Konkurrent um Wasser und Bodennährstoffe, der selbst kräftigen Kulturen diese Faktoren erfolgreich streitig macht.

Nach ROETH (1987) ist *A. theophrasti* fähig, auch bei teilweiser Beschattung effektiv Photosynthese zu betreiben, was es auch den später keimenden Pflanzen ermöglicht, unter der Kulturpflanzendecke herauszuwachsen. BENVENUTI et al. (1994) ließen *A. theophrasti*, *Datura stramonium* L. und *Sorghum halepense* L. unter 75%iger Beschattung aufwachsen. *A. theophrasti* wuchs um 8 % höher, die anderen beiden Arten um je 6 % höher als im vollen Sonnenlicht. Nach SATTIN et al. (1992) gehen Ertragsverluste durch *A. theophrasti* in Mais auf eine verminderte Nettophotosyntheserate zurück. *A. theophrasti* wirft bei Bedarf die unteren Blätter ab, um die Lichtaufnahme zu optimieren („active foraging“). JURIK und AKEY (1994) wiesen heliotrophe Bewegungen der Blätter

nach, die einen optimalen Lichteinfallswinkel bewirken. Diese Fähigkeit ist abhängig vom Turgordruck und somit vom ausreichenden Wasserangebot.

Andere Untersuchungen konnten für *A. theophrasti* keine ausgesprochenen Fähigkeiten nachweisen, besonders erfolgreich um Wasser oder Nährstoffe zu konkurrieren (HOLT und BOOSE, 2000; BENNER und BAZZAZ, 1985; SATTIN et al., 1992; MCCONNAUGHAY und COLEMAN, 1998). Vielmehr schreiben die Autoren *A. theophrasti* eine hohe morphologische Plastizität zu und die Fähigkeit, auf unterschiedliches Wasser- und Nährstoffangebot sehr flexibel reagieren zu können.

Auch schwach versorgte Pflanzen bilden keimungsfähige Samen. Unter den reproduktiven Merkmalen zeigt nur die Anzahl der gebildeten Kapseln Plastizität. Die Anzahl Samen je Kapsel und die Tausendkornmasse bleiben, unabhängig von den Aufwuchsbedingungen, relativ konstant (ZANIN und SATTIN, 1988; SATTIN et al., 1992; STEINMAUS und NORRIS, 2002; BAILEY et al., 2003).

KAZINCZI et al. (2001) fanden Allelochemikalien (freie Aminosäuren, phenolische Verbindungen, Flavonoide und Terpenoide) in verschiedenen Pflanzenteilen von *A. theophrasti*. Die Autoren stellten an Rübsen (*Brassica rapa*) in Topfversuchen Keimungshemmung fest, wie auch zuvor schon GRESSEL und HOLM (1964) bei Luzerne, Rettich, Rübsen und Tomate. Ob auch die Keimung von Zuckerrüben oder Rübunkräutern unter Freilandbedingungen gehemmt wird, wurde bisher nicht untersucht. Ausfall von Rübepflanzen hätte direkt, Unterdrückung sonstiger Unkräuter hätte indirekt Auswirkung auf den Zuckerrübenertrag.

Die Produktion von keimungsfähigen Samen stellt den wesentlichsten Parameter einer potentiellen langfristigen Konkurrenz durch ein generativ vermehrtes Unkraut dar. Besonders bei persistenten Samen wie denen von *A. theophrasti* kann das Ausreifen weniger Pflanzen eine jahrzehntelange Bekämpfungsproblematik nach sich ziehen. Mehrere Autoren fordern daher für *A. theophrasti* eine Schadenschwelle von Null (NORRIS, 1984; ZANIN und SATTIN, 1988). BAUER und MORTENSEN (1992) unterscheiden zwischen einer Einjahresschadenschwelle (single year economic threshold) und einer optimalen Schadenschwelle (economic optimum threshold), die die langfristige Verunkrautung berücksichtigt. Die optimale Schadenschwelle ist für *A. theophrasti* in Sojabohne mit 0,3 - 0,4 Pflanzen je 10 m Reihe 7,5fach geringer als die Einjahresschadenschwelle mit 2,6 Pflanzen je 10 m Reihe. In dem dort vorgestellten Modell ist eine 99,78%ige Kontrolle von *A. theophrasti* notwendig, um den Bodensamenvorrat nicht zu steigern.

Neben der Konkurrenz von *A. theophrasti* um Wachstumsfaktoren wird die Rentabilität des Kulturpflanzenanbaus auch dadurch verringert, dass die Ernte durch die Fasern

der *A. theophrasti*-Pflanzen erschwert wird. Zudem ist *A. theophrasti* ein Wirt für diverse Kulturpflanzenschaderreger, zum Beispiel die Baumwollmotte (*Heliothis virescens*), den Baumwollkapselwurm (*Heliothis zea*), den Maiserdfloh (*Systema frontalis*), die drei Sojabohnenpathogene *Phomopsis sojae*, *Colletotrichum dematium* und *C. gloeosporioides* (Blattflecken) sowie einige Spezies der Gattung *Meloidogyne* (Nematoden).

2.7 Genetische Variabilität und phänotypische Plastizität

Der zweite Teil der vorliegenden Arbeit befasst sich mit der Diversität innerhalb und zwischen Populationen von *A. theophrasti*. Dazu sollen hier einige Begriffe und Hintergründe erläutert werden.

Genetische Variabilität oder Diversität beschreibt den Heterozygotiegrad⁴ und die Heterogenität⁵ einer Gruppe Individuen derselben Art, d.h. die Variation von DNA-Sequenzen zwischen den Individuen. Nach JASIENIUK und MAXWELL (2001) bestimmen die genetische Variabilität innerhalb von Lokalpopulationen und die, die von Populationen eines geographischen Gebiets geteilt wird, die evolutionäre Fähigkeit einer (Pflanzen-) Art, sich an veränderliche Umweltbedingungen anzupassen. Völlig neue Genotypen entstehen durch Mutation. Vom Elterntyp abweichende Genotypen entstehen außerdem durch Rekombination oder Selektion. Neue Genotypen können in veränderten oder bisher von dieser Art unbesetzten Habitaten von Vorteil sein und so zum Überleben oder der Ausbreitung einer Art beitragen. Für Unkräuter gilt nach MAXWELL et al. (1990), JASIENIUK et al. (1996) sowie JORDAN und JANNINK (1997): Je höher die genetische Variabilität einer Population, desto erfolgreicher kann die Anpassung an Bearbeitungsmaßnahmen und die Besiedelung neuer Habitate stattfinden. MARTINS und JAIN (1979) untersuchten in aufwändigen Feldstudien die Rolle der genetischen Variabilität in Populationen von *Trifolium hirtum* All. für dessen Kolonisationsfähigkeit. Unter anderem beobachteten die Autoren den Keimungserfolg dreier Saatgutgruppen: Einer Gruppe mit hoher, einer mit mittlerer und einer mit geringer genetischen Variabilität. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass über die (meteorologisch sehr verschiedenen) Versuchsjahre Kolonien, die mit größtenteils monomorphem Saatgut gegründet worden waren geringere Etablierungsraten aufwiesen als solche mit polymorphen Samenquellen.

⁴ Relativer Anteil heterozygoter (mischerbiger) Genpaare.

⁵ Verschiedenartigkeit

Wenn jedoch nur einige wenige Genotypen jeweils optimal angepasst sind an ein verändertes oder neues Habitat und die nicht angepassten Genotypen sich nicht vermehren, sind nach der ersten Ansiedlung zwei Phänomene zu erwarten: (1) „lag-Phase“: In dieser für Wachstumskurven typischen „Anlaufphase“ ist kaum ein Anstieg der Anzahl Pflanzen einer Art in einem Habitat zu verzeichnen. Erst nach Etablierung der Art geht die Kurve in die log-Phase oder exponentielle Phase über. Der Neuling ist zum massenhaften Problem geworden. Diese Entwicklung ist für einige invasive Arten beschrieben, z. B. für *Senecio inaequidens* DC. (in BÖHMER et al., 2001). (2) „Flaschenhalseffekt“: Bei Selbstbefruchtern ist die genetische Variation innerhalb einer Population geringer als die genetische Variation zwischen zwei (an unterschiedliche Habitate angepassten) Populationen (HAMRICK, 1991), da nur die Genotypen überleben und sich fortpflanzen, die an das entsprechende Habitat optimal angepasst sind. SENDA et al. (2004) konnten 48 Proben von *Lolium temulentum* L. (Taumel-Weidelgras) aus acht Ländern auf Grund der genetischen Ähnlichkeit bzw. Unterschiede geographisch zuordnen. Sie fanden bei den Proben aus dem südwestlichen Asien und dem Mittelmeergebiet die höchste genetische Diversität. Die Autoren vermuten daher, dass sich hier das Ursprungsgebiet von *L. temulentum* befindet.

Diverse Autoren konstatieren, dass für effektive, langfristige Unkrautmanagementmaßnahmen und zur Vermeidung von Invasionen in bisher unbesetzte Gebiete Kenntnisse über die genetische Variabilität eines Unkrauts unentbehrlich sind (z. B. DEKKER, 1997; HAAS et al., 1997).

Das Erscheinungsbild eines Individuums, sein Phänotyp, beruht auf zwei Komponenten: (1) seinem Genotyp, d.h. die für das Individuum spezielle Zusammensetzung seiner Gene und (2) der Umwelt, d.h. allen nichtgenetischen Umständen, die das Individuum beeinflussen. Die Fähigkeit eines einzigen Genotypes, in unterschiedlichen Umwelten unterschiedliche Phänotypen auszubilden wird mit der phänotypischen Plastizität beschrieben. Besonders bei Pflanzen ist die phänotypische Plastizität wichtig und häufig sehr ausgeprägt, denn einmal gekeimte Pflanzen können ihren Standort aus eigener Kraft nicht mehr ändern. Das erfordert, dass sie sich den unterschiedlichen Bedingungen ihres Standortes besser anpassen müssen als dies bei einem tierischen Organismus nötig ist. Paradebeispiel für phänotypische Plastizität ist der Löwenzahn (*Taraxacum officinale* L.). Wird eine junge Pflanze längs entzwei geschnitten und die eine Hälfte im Flachland, die andere im Hochland angepflanzt, so entwickelt die Flachlandpflanze eine kürzere, dickere Wurzel, mehr und kräftigere Blätter und wird größer als die Hochlandpflanze. Während die phänotypische Plastizität lange lediglich als „Rauschen“ wahrgenommen wurde, das die „wahren“ genotypischen Eigenschaften eines Organismus verschleiert, wird der Genotyp heute eher als Repertoire phänotypi-

scher Möglichkeiten gesehen denn als Blaupause für einen fixen Phänotypen (SULTAN, 2000). Nach SCHLICHTING (1986) ist die phänotypische Plastizität die Fähigkeit eines Individuums, seine Morphologie und Physiologie den sich verändernden Umweltbedingungen anzupassen. Damit ist sie eine wesentliche Voraussetzung für die Besiedlung neuer Habitate.

Eine ganze Reihe von Autoren beschäftigt sich seit langem mit der Frage, in welchem Zusammenhang die genetische Variabilität (einer Gruppe) und die phänotypische Plastizität (eines Individuums aus dieser Gruppe) stehen. BRADSHAW (1965) und PEDERSON (1986) proklamieren eine inverse Beziehung. Sie gehen davon aus, dass die Erhöhung der phänotypischen Plastizität eine Folge des Verlusts von Heterozygotie durch den Anstieg von fehlerhaften, homozygot rezessiven Genen ist. Zur gleichen Schlussfolgerung, allerdings mit anderer Begründung, kommen auch MARSHALL und JAIN (1968) und JAIN (1979). Ihre Hypothese ist, dass Heterozygotie und Plastizität alternative Methoden darstellen, mit Umweltheterogenitäten umzugehen. Für die Ausprägung beider Methoden bestünde demnach kein Bedarf. Diese Hypothese impliziert die Annahme, dass ein hoher Grad an genetischer Variabilität in Kombination mit hoher phänotypischer Plastizität dem Organismus „Kosten“ verursacht. SILANDER (1985) z. B. unterstützt diese Annahme. SCHEINER und GOODNIGHT (1984) sowie SCHLICHTING (1984) widersprechen ihr, auch weil WILKEN (1977) in hochgradig heterozygoten Populationen von *Collomia linearis* Nutt. mehr Plastizität fand als in benachbarten Populationen mit niedrigem Heterozygotiegrad.

JASIEŃSKI et al. (1997) versuchten, die der phänotypischen Plastizität *innerhalb von Genotypen* zu Grunde liegende genetische Basis abzuleiten, indem sie die Beziehungen zwischen ökologischer und genetischer Ähnlichkeit *zwischen Genotypen* untersuchten. Dafür sammelten sie Samen von 27 *Abutilon theophrasti*-Genotypen aus einer Population. Aus den hieraus resultierenden Pflanzen wurden 2800 Klone unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus aufgezogen. Die Faktoren Lichtintensität, Bodenfeuchte, Nährstoffangebot und Temperatur wurden in fünf bzw. sechs Stufen variiert. Für den Parameter Temperatur fanden die Autoren eine signifikante Korrelation von genetischer und phänotypischer Ähnlichkeit, für den Parameter Bodenfeuchte eine leicht signifikante Korrelation. Im Falle der Parameter Lichtintensität und Nährstoffversorgung waren genetische und phänotypische Ähnlichkeit nicht korreliert. JASIEŃSKI et al. (1997) entwickelten daraus zwei Hypothesen. Entweder, die phänotypische Plastizität, also die Reaktionsnorm auf Veränderung der Parameter Lichtintensität und Nährstoffversorgung ist genetisch schwächer untermauert als die von Temperatur und Bodenfeuchte (siehe auch PIGLIUCCI et al., 1995). Oder, die plastische Reaktion auf Licht- und Nährstoffveränderung wird von nur wenigen Genen mit Haupteffekt oder

regulatorischen Effekten gesteuert (ORR und COYNE, 1992; SCHLICHTING und PIGLIUCCI, 1995; VIA et al., 1995; MITCHELL-OLDS, 1995). Zieht man zudem in Betracht, dass es womöglich eine Interaktion von QTL (quantitative trait loci, quantitativen Merkmalsloci) und Umwelt gibt, dass also Vorhandensein und Ausmaß der Effekte von QTLs von der jeweiligen Umwelt abhängig sind (TANKSLEY, 1993), gestaltet sich der Nachweis über den Zusammenhang von genetischer Variabilität und phänotypischer Plastizität äußerst schwierig.

2.8 Markertechnik in der herbologischen Forschung

2.8.1 Genetische Marker

Unter einem genetischen Marker versteht man eine Eigenschaft, die optimalerweise folgende Anforderungen erfüllt: Sie muss eine sehr hohe Heritabilität⁶ und eine geringe oder besser fehlende Umweltabhängigkeit aufweisen. Je mehr Polymorphismus durch einen Marker abgedeckt wird, das heißt je größer die Anzahl der Erscheinungsformen einer Eigenschaft, desto höher ist seine Fähigkeit zur Differenzierung. Für die Berechnung der Schätzwerte genetischer Diversität ist es nötig, dass der Marker einen einzigen Genlocus multipler Allelie⁷ mit kodominanter Vererbung⁸ darstellt, der weder pleiotropischen⁹ noch epistatischen¹⁰ Wirkungen unterliegt (HATZ, 1997). Weiterhin sollten die Anwendung der Marker und die zugehörige Datengewinnung für den Anwender verlässlich und sicher durchzuführen sein.

Genetische Marker können morphologische Marker, cytogenetische Marker, Sekundärmetabolite, biochemische Marker oder molekulare Marker sein. Im Folgenden werden nur die hier zur Anwendung kommenden morphologischen und molekularen Marker betrachtet, innerhalb der molekularen Marker nur die AFLP-Marker (*Amplified Fragment Length Polymorphism*).

Die ersten und bekanntesten morphologische Marker waren die Samen- und Blütenfarbe der von MENDEL (1866) untersuchten Erbsenpflanzen. Definiert sind morphologische Marker als monogen (von einem einzigen Gen) vererbte, phänotypisch erkennbare Eigenschaften wie Farbe oder die Gestalt einzelner Organe bzw. der ganzen Pflanz-

⁶ Heritabilität: Vererbbarkeit

⁷ Multiple Allelie: mehr als zwei unterschiedliche Zustandsformen eines Gens.

⁸ Kodominante Vererbung: beide Merkmale sind voll ausgeprägt.

⁹ Pleiotropie: Veränderung mehrerer, meist scheinbar unzusammenhängender, phänotypischer Merkmale die durch die Veränderung eines oder mehrerer Gene hervorgerufen wird.

¹⁰ Epistase: Wechselwirkung zwischen Genen, die zur Unterdrückung der phänotypischen Wirkung eines nichtallelischen Gens führt.

ze. Im Folgenden unterscheiden die Begriffe „Marker“ und „Merkmal“ diskrete (vorhanden / nicht vorhanden) bzw. kontinuierlich veränderliche Eigenschaften (Wuchshöhe, Samenzahl etc.). Morphologische Merkmalsausprägungen waren lange Zeit die einzige Basis für die taxonomische Einordnung von Pflanzen und Tieren. Die Verwendbarkeit von morphologischen Markern und Merkmalen für die Beschreibung von genetischer Diversität ist jedoch umstritten, da ihre Ausprägung häufig Umwelteinflüssen unterliegt und die genetische Kontrolle dieser Marker bzw. Merkmale meist nicht aufgeklärt ist (SMITH und SMITH, 1989). Neben morphologischen Merkmalen wurden in dieser Arbeit auch phänologische Merkmalsausprägungen wie Beginn und Dauer von Entwicklungsstadien untersucht.

Der Oberbegriff „molekulare Marker“ fasst eine Reihe von Markern zusammen, deren allelische Unterschiede direkt in der Erbinformation liegen, je nach Markertyp sowohl innerhalb als auch außerhalb der codierenden Regionen der DNA. Dadurch sind sie keinerlei Umwelteinflüssen unterworfen. Grundlage der hier verwendeten AFLP-Methode ist die Amplifizierung von spezifischen Restriktionsfragmenten mittels PCR-Technik (*Polymerase Chain Reaction*). Unter den PCR-basierten molekularen Markern (z. B. *simple sequence repeats*, SSR; *microsatellites*; *random amplified polymorphic DNA*, RAPD) gilt die AFLP-Methode als eine „robuste“ Methode, d.h. sie zeigt eine hohe Reproduzierbarkeit von Lauf zu Lauf und von Labor zu Labor. In vergleichenden Studien zu verschiedenen PCR-basierten molekularen Markern ließ sich mit der AFLP-Methode die höchste genetische Diversität ermitteln und sie deckte die höchste Anzahl an Polymorphismen je Primer auf. Nachteile der AFLP-Methode sind die unvollständige Verdauung im ersten Schritt, die zu falschen Polymorphismen führen kann und die Tatsache, dass der dominante AFLP-Marker nicht zwischen heterozygoten und homozygoten Loci unterscheiden kann (O'HANLON et al., 1999). SENDA et al. (2004) führten ihre Analysen zur geographischen Abgrenzung von *L. temulentum* (vgl. 2.7) mit Mikrosatelliten und AFLP durch. Während Mikrosatelliten in ihrer Entwicklung kosten- und zeitaufwendig sind, können AFLPs sofort eingesetzt werden. Die Ergebnisse zeigten, dass die AFLPs klare Einteilungen in Herkunftsregionen von *L. temulentum* ermöglichten.

Die PCR- und die AFLP-Technik werden im Kapitel 3.2.2 beschrieben.

2.8.2 Anwendungsgebiete

Während genetische Marker bereits seit langem als Werkzeug der Pflanzenzüchtung eingesetzt werden (SAX, 1923), kommen sie in der herbologischen Forschung erst seit der Zunahme von resistenten Unkrautbiotypen zum Einsatz. Vor allem das Aufkommen

der Atrazinresistenz in den frühen 1980er Jahren in den USA und Kanada und dessen rasante Verbreitung weltweit (INTERNATIONAL SURVEY OF HERBICIDE RESISTANT WEEDS, 2003) führten zur Entwicklung einer Reihe von Testmethoden zum Nachweis einer Triazinresistenz (ZWERGER und AMMON, 2002). 1996 beschreiben ZENG et al. die Identifizierung eines molekularen (RAPD) Markers für die Resistenz der Indischen Eleusine (*Eleusine indica* L. Gaertner) gegen Dinitroaniline. Diverse Autoren untersuchen aktuell Möglichkeiten, ALS-Inhibitor-Resistenzen an verschiedenen Unkrautarten mittels geeigneter Marker zu detektieren (z. B. WAGNER, 2004). Neben dem Schwerpunkt der Resistenzforschung werden genetische Marker in der Herbologie auch eingesetzt, um die Herkunft meist neophytischer, teilweise invasiver Arten bestimmen zu können. So konnte von AYRES und STRONG (2001) das um 1800 nach England eingeschleppte *Spartina alterniflora* Loisel als eine sehr wahrscheinliche Elternkomponente von *Spartina anglica* C. E. Hubbard identifiziert werden. Diese „Spurensuche“ kann hilfreich sein, wenn, wie im Falle der meisten invasiven Arten, im neuen Habitat keine natürlichen Gegenspieler vorhanden sind, die dem Invasoren Einhalt gebieten könnten. Lässt sich bestimmen, woher eine Art stammt, kann in dessen Heimatareal nach Möglichkeiten einer biologischen Kontrolle gesucht werden. Im Falle von *Chromolaena odorata* L. konnte eine neue Infestation im Norden Queensland (Australien) genetisch eindeutig von den bisher dort wachsenden Individuen abgegrenzt werden. Der neue Genotyp ist sonst nur im Süden Brasiliens dokumentiert, was eine Einschleppung aus dieser Region indiziert (SCOTT et al., 1998). O'HANLON et al. (2000) führen molekulargenetische Untersuchungen von Unkräutern außerdem als geeignetes Mittel auf, deren taxonomische Identität zu klären, die bisher hauptsächlich auf morphologischen Markern aufbaut.

3 Material und Methoden

3.1 Bekämpfung, Konkurrenz und Populationsdynamik von *A. theophrasti* in Zuckerrüben

3.1.1 Versuchsstandorte und Versuchspläne

Die Feldversuche zur Bekämpfung, Konkurrenzkraft und Populationsdynamik von *A. theophrasti* wurden im Jahr 2003 in Přelouč und im Jahr 2004 in Svinčany in der Tschechischen Republik (CZ) mit Unterstützung der Tschechischen Landwirtschaftlichen Universität Suchdol durchgeführt und in beiden Jahren in Wesseling auf der Versuchsstation Dikopshof des Instituts für Pflanzenbau der Universität Bonn (D) angelegt. Auf den tschechischen Versuchsflächen ist *A. theophrasti* bereits ein etabliertes Unkraut und tritt flächendeckend auf. Im Gegensatz dazu wurden in Wesseling Samen von *A. theophrasti* ausgesät. Grundsätzlich ist der Anbau von Zuckerrüben in beiden Ländern vergleichbar.

Die Orte Přelouč und Svinčany liegen im Kreis Pardubice, 95 bzw. 105 km östlich von Prag. Als Klimareferenz dient die Wetterstation Pardubice. Wesseling liegt in der Köln-Aachener Bucht 56 - 63 m über NN. Im Anhang werden eine Karte von Tschechien und die genaue Lage der dortigen Versuchsstandorte gezeigt. Die langjährigen monatlichen Durchschnittswerte von Temperatur und Niederschlägen werden den Werten aus den Versuchsjahren 2003 und 2004 gegenüber gestellt (siehe auch Tab. 3.1). Die Lage der Blöcke, die Parzellierung der Versuchsfläche sowie die Aufteilung einer Parzelle in Sammelbereich(e) und Beobachtungsbereich(e) sind ebenfalls im Anhang dargestellt.

Tab. 3.1 Geographische Lage und Klima der Versuchsstandorte

	Přelouč 03	Svinčany 04	Wesseling 03 /04
Breite	50° 2' 14" N	49° 58' 33" N	50° 48' 22" N
Länge	15° 33' 50" O	15° 38' 32" O	6° 57' 06" O
Klimastation	Pardubice		Wesseling
Jahresdurchschnittstemperatur	8,4°C		9,7 °C
Durchschnittsniederschläge	599 mm		630 mm

In Tschechien wurden die Versuchsflächen mit natürlichem Befall von *A. theophrasti* für 2003 bereits im Spätsommer 2002 ausgewählt und die Flächen für 2004 im Sommer 2003, damit ein ausreichenden Besatz mit *A. theophrasti* gewährleistet war. Daher

wurden auf beiden Flächen jeweils zweimal in Folge Zuckerrüben angebaut (vgl. Tab. 3.2).

Tab. 3.2 Daten zum Aufbau der vier Feldversuche

	Přelouč 03	Svinčany 04	Wesseling 03	Wesseling 04
Fläche	3500 m ²	1800 m ²	1200 m ²	2100 m ²
Fruchtfolge	Wintergerste- Zuckerrübe- Zuckerrübe	Wintergerste- Zuckerrübe- Zuckerrübe	Ackerbohnen- Körnermais- Zuckerrüben	Sommergerste- Sommerhafer- Zuckerrüben
Faktoren (Stufen / Wdh.)	I. Behandlung (6 / 8) II. ABUTH*- Dichte (2 / 24)	I. Behandlung (6 / 6)	I. Behandlung (7 / 8) II. ABUTH- Dichte (2 / 12)	I. Behandlung (5 [7] / 8) II. ABUTH- Dichte (2 / 20)
Rübensaat	24.03.2003	23.04. 2004	24.03. 2003	30.03. 2004
Saat ABUTH	keine	keine	03.04. 2003	30.03. 2004
Saat CHEAL*	keine	keine	28.03. 2003	keine
Parzellen- länge/-breite	12 m / 4 m	10 m / 3,15 m	6 m / 3 m	9 m / 3 m
Sammel- bereich (Länge)	1x (4 m)	2x (je 3 m)	1x (2 m)	2x (je 3 m)
Beobach- tungsbereich (Länge)	2x (je 4 m)	1x (4 m)	2x (je 2 m)	1x (3 m)

* ABUTH: *Abutilon theophrasti*, CHEAL: *Chenopodium album* (EPPO-Code)

Der Versuch in **Přelouč** war als vollständige, randomisierte, einfaktorielle Blockanlage mit dem Faktor Behandlung geplant. Nach dem Auflaufen von *A. theophrasti* stellte sich heraus, dass dessen Verteilung auf der Fläche stark heterogen war (vgl. Kapitel 4.2), so dass die Dichte von *A. theophrasti* einen Einfluss auf die Behandlungswirkung haben würde und nicht vernachlässigt werden durfte. Die *A. theophrasti*-Dichte wurde daher als zweiter Faktor geprüft. Da die Lage der Prüfglieder schon vor der ersten NAK festgelegt werden musste (Prüfglied „unbehandelte Kontrolle“), wurde die Unterteilung in hohe und geringe Dichtestufe nach der zweiten Auflaufzählung am 15.05. blockweise vorgenommen. Die Blöcke A, B, C und F wurden der hohen Dichtestufe zugeordnet, die Blöcke D, E, G und H der geringen Dichtestufe. Die Versuchsanlage war damit nicht vollständig randomisiert. Bei der Auswertung wurde dennoch von der ursprünglich geplanten vollständig randomisierten, jetzt zweifaktoriellen Blockanlage ausgegangen. Die Parzellen waren in einen Sammelbereich in der Mitte und zwei Beobachtungsbe-

reiche im vorderen und hinteren Parzellenraum aufgeteilt. Im Sammelbereich wurden im Laufe der Vegetationszeit alle destruktiven Probenahmen vorgenommen, während in den Beobachtungsbereichen bis zur Rübenernte nur die nicht-destruktiven Messungen und schließlich die Rübenernte vorgenommen wurden.

Die Versuchsfläche in **Svinčany** lag über den Winter brach. Wegen langer Nässeperioden im Frühjahr konnte die Fläche nicht gepflügt werden. Der Versuch war als vollständig randomisierte, einfaktorielle Blockanlage mit dem Faktor Behandlung angelegt. Um die Flächen der destruktiven Beprobungen vergrößern zu können, wurden die Parzellen in zwei Sammelbereiche sowie einen Beobachtungsbereich in der Parzellenmitte aufgeteilt.

In **Wesseling** wurde der **Versuch im Jahr 2003** als vollständig randomisierte, zweifaktorielle Blockanlage mit den Faktoren Behandlung und *A. theophrasti*-Dichte aufgebaut. *A. theophrasti* wurde nicht ausgesät, da das Risiko einer langfristigen Verseuchung des Schlages durch unkontrolliert keimende Abutilonsamen als zu hoch eingeschätzt wurde (siehe dazu Kapitel 2.2.2). Stattdessen wurden bereits gekeimte Samen in den Boden eingearbeitet. Dafür wurde zunächst nach dem Verfahren von STEINBAUER und GRIGSBY (1959) die Dormanz der Samen gebrochen, indem die Samen unter einem Laborabzug für 15 Minuten in konzentrierter Schwefelsäure (H_2SO_4 96 %) geschwenkt und anschließend für 30 Minuten unter fließendem Leitungswasser gespült wurden. Die so vorbehandelten Samen wurden auf Küchenpapier ausgelegt und feucht gehalten. Nach 20 Stunden bei 30°C im Klimaschrank waren etwa 95 % aller Samen gequollen und hatten Keimwurzeln entwickelt. Es wurden nur solche Samen weiter verwendet, deren Keimwurzel zwischen 0,1 und 0,3 mm lang war. Die gekeimten Samen wurden vorsichtig auf die Parzellen ausgestreut und mit einer Harke von Hand einige Millimeter tief leicht eingearbeitet. Diese Maßnahme sollte die Samen vor Fraßfeinden und vor Vertrocknung schützen. Es wurden 100 bzw. 15 vorgekeimte Samen je m² in den Parzellen mit hoher bzw. geringer geplanter Abutilon-Dichte ausgebracht. Ziel war, eine Abutilon-Dichte von 10 bzw. 1 Pflanze(n) je m² zu erreichen. Die Aussaat von *Chenopodium album*-Samen in einem der Prüfglieder erfolgte breitwürfig von Hand. Absicht dieser Maßnahme war, ein weiteres konkurrenzfähiges Rübunkraut zu etablieren und direkt mit *A. theophrasti* zu vergleichen. Ein Prüfglied war die Kontrolle ohne Abutilon, d.h. in acht Parzellen – zwei je Block – wurden keine Samen ausgebracht. Anschließend wurde die Versuchsfläche mit einer Feldspritze gleichmäßig bewässert.

Der Versuch in **Wesseling im Jahr 2004** war ebenfalls als vollständig randomisierte, zweifaktorielle Blockanlage mit den Faktoren Behandlung und *A. theophrasti*-Dichte aufgebaut. Es wurden 75 bzw. 25 Samen je m² ausgebracht. Angestrebt waren eine hohe *A. theophrasti*-Dichte von 5 - 10 Pflanzen je m² und eine geringe *A. theophrasti*-

Dichte von 1 - 2 Pflanzen je m². Alle Samen wurden zunächst portioniert, dann dem oben beschriebenen chemischen Verfahren zum Brechen der Dormanz unterzogen. Nach der Schwefelbehandlung und der Wasserspülung wurden die Samen jedoch nicht zum Keimen gebracht, sondern getrocknet und in diesem Zustand ausgesät. Nach den Erfahrungen aus dem Vorjahr (vgl. Seite 63) wurde das Risiko von unkontrolliert keimenden *A. theophrasti* Samen in den Folgejahren dem Risiko einer zu geringen Etablierung von *A. theophrasti* im Versuchsjahr untergeordnet. Mit einem Striegel wurden die Samen etwa 1 cm tief eingearbeitet. Das Prüfglied Mahd musste aus technischen Gründen in einem gesonderten Block angelegt werden. Ein weiterer Block blieb ohne *A. theophrasti*. Zwischen diesem und den übrigen Blöcken lag in Fahrtrichtung ein Abstand von 5 m, um eine Beeinflussung der Rüben durch *A. theophrasti* sicher auszuschließen.

3.1.2 Prüfglieder

Ermittelt werden sollte die von *A. theophrasti* ausgehende Konkurrenz auf Zuckerrüben bei unterschiedlichen praxisnahen Unkrautbekämpfungsmaßnahmen. Außerdem wurden diese Maßnahmen unter dem Aspekt der kurzfristigen, auf das Anbaujahr begrenzten sowie der nachhaltigen Bekämpfung (Populationsdynamik) von *A. theophrasti* in Zuckerrüben geprüft. Im Folgenden sind die Prüfglieder der vier Feldversuche mit Datum der Behandlung und dem jeweiligen Entwicklungsstadium von Zuckerrübe und *A. theophrasti* aufgeführt und beschrieben. Die Bonitur der Entwicklungsstadien beruht auf der BBCH-Codierung (BIOLOGISCHE BUNDESANSTALT FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT 2001a+b, Anhangstab. 9 und Anhangstab. 10). Die Wirkstoffzusammensetzung der verwendeten Präparate ist der Anhangstab. 8 zu entnehmen. Alle pflanzenbaulichen Daten, die nicht in unmittelbarem Zusammenhang zu den Versuchsfragen standen, sind ebenfalls im Anhang angegeben.

Prüfglieder auf der Versuchsfläche Přelouč (2003)

In einer unbehandelten Kontrolle sollte das Wachstums- und Konkurrenzverhalten von *A. theophrasti* unter dem ungestörten Einfluss der weiteren Unkrautflora beobachtet werden. Die Standardherbizidmischung wurde mit einer Feldspritze appliziert. In den Parzellen des Prüfgliedes Standard wurden keine weiteren Unkrautkontrollmaßnahmen durchgeführt, während in Prüfglied Safari zu jeder NAK 30 g/ha Safari mit einer Rückenspritze ausgebracht wurden. In den Parzellen des Prüfgliedes Hacke wurde einmalig zwischen den Rübenreihen maschinell gehackt. In den Parzellen des Prüfgliedes Roundup wurde am 02.07. 2003 eine 30%ige Roundup Ultra-Lösung mit einem Docht-

streichgerätes ausgebracht. Alle Pflanzenteile, die mindestens 10 cm über den Rübenbestand ragten, wurden ab dieser Höhe mit der Lösung bestrichen. Blätter wurden vor allem auf der Unterseite bestrichen. Mit dieser Behandlung sollte der Einsatz des Rotowipers[®] simuliert werden. Dieses Gerät der Firma Rotowiper wurde ursprünglich zur Ampferbekämpfung im Grünland entwickelt, wird aber auch zur Bekämpfung von Schosserrüben eingesetzt. Das Herbizid-Wasser-Gemisch wird dabei über eine entgegengesetzt zur Fahrtrichtung rotierende Walze auf alle Einzelpflanzen aufgetragen, die länger als die Kultur gewachsen sind. Um die Überfahrt mit einem Mähbalken etwa 5 cm über den Rübenbestand zu simulieren, wurden in Prüfglied Schnitt alle die Rüben überragenden Pflanzenteile in dieser Höhe abgeschnitten. Tab. 3.3 fasst die Behandlungen zusammen.

Tab. 3.3 Prüfglieder und Behandlungen, Přelouč (2003)

Prüfglied	Behandlung	Datum	Eingesetzte Mittel und Dosierungen [l/ha] [g/ha]	BBCH-Stadium Rübe / ABUTH
Kontrolle	unbehandelt			
Standard	1. NAK	23.04.	Kompakt Stefes 2,0; Flirt 1,0; Stemat 0,2	R: 10; A: 8 - 10
	2. NAK	30.04.	Mix Stefes 2,5; Stemat 0,3; Pyradex 1,5;	R: 12; A: 10 - 12
	3. NAK	21.05.	Mix Stefes 3,0; Stemat 0,2; Pyradex 1,2; Gallant Super 0,8	R: 16; A: 11 - 13
Safari	Standard + Safari	07.05.	Safari 0,03	A: 10 - 12
	Safari	19.05.	Safari 0,03	A: 11 - 13
	Safari	03.06.	Safari 0,03	A: 16 - 23
Hacke	Standard+ Hacken	19.05.	Maschinenhacke	R: 16; A: 11 - 13
Roundup	Standard+ Dochtstreichgerät	02.07.	Roundup Ultra 30%ig	R: 31; A: 15 - 72
Schnitt	Standard+ Handschnitt	01.07.	Gartenschere	R: 31; A: 15 - 72

Prüfglieder auf der Versuchsfläche Svinčany (2004)

Das Feld konnte nicht gepflügt werden (vgl. Kapitel 3.1.1). Der insgesamt hohen Verunkrautung wurde mit vier statt der betriebsüblichen drei NAKs begegnet. Auch in Svinčany blieb eine Variante unbehandelt. Safari und Lontrel wurden als Mischung in zwei unterschiedlichen dosierten Kombinationen geprüft. Die Applikation der Mischung fand im Abstand von drei Tagen nach der Standardherbizidbehandlung statt. Ziel dieser zusätzlichen Prüfglieder war es, *A. theophrasti* erst in fortgeschrittenem Wuchsstadium zu bekämpfen, wenn die sonstigen Herbizide nicht mehr optimal wirken können (vgl. 2.4 Clopyralid). Alle Applikationen wurden mit einer Versuchsspritze durchgeführt (vgl. Abb. 3.1). Die Reihenhacke kam sowohl in Kombination mit Applikationen von Standardherbizidmischung und Safari als auch in Kombination nur mit der Standardherbizidmischung zum Einsatz, wobei in diesem Prüfglied zusätzlich zweimal per Hand alle Pflanzenteile, die über den Rübenbestand ragten, abgeschnitten wurden. Tab. 3.4 fasst die oben beschriebenen Prüfglieder zusammen.



Abb. 3.1 Versuchsspritze, Svinčany (2004)

Tab. 3.4 Prüfglieder und Behandlungen auf der Versuchsfläche Svinčany (2004)

Prüfglied	Behandlung	Datum	Eingesetzte Mittel und Dosierungen [l/ha] [g/ha]	BBCH-Stadium Rübe / ABUTH
Kontrolle	unbehandelt			
Standard	1. NAK	05.05.	Betanal Expert	R: 10; A: 8 - 10
	2. NAK	17.05.	Betanal Expert	R: 12; A: 10 - 12
	3. NAK	28.05.	Betanal Expert + Gallant Super	R: 12 - 14; A: 10 - 14
	4. NAK	08.06.	DMP Stefes 5,0	R: 15 - 18; A: 11 - 15
Safari (S) + Lontrel (L) gering	1. NAK inkl. S	05.05.	Betanal Expert + Safari 0,2	A: 10
	2. NAK + S+L gering	20.05.	Synbetan Duo 2,5; Safari 0,2; Lontrel 0,15	A: 10 - 12
	3. NAK + S+L gering	31.05.	Kontakttwin 3,0; Safari 0,3; Lontrel 0,2	A: 10 - 14
	4. NAK	08.06.	DMP Stefes 5,0	A: 11 - 15
Safari (S) + Lontrel (L) hoch	1. NAK inkl. S	05.05.	Betanal Expert ; Safari 0,2	A: 10
	2. NAK + S+L hoch	20.05.	Synbetan Duo 2,5; Safari 0,3; Lontrel 0,15	A: 10 - 12
	3. NAK + S+L hoch	31.05.	Kontakttwin 3,0; Safari 0,3+ Lontrel 0,2	A: 10 - 14
	4. NAK + L	08.06.	DMP Stefes 5,0; Lontrel 0,25	A: 11 - 15
Hacken + S+L gering	S+L gering + Hacken	02.06.	Maschinenhacke	R: 15 - 18; A: 11 - 15
		01.07.	Maschinenhacke	R: 19 - 32; A: 14 - 55
Hacken + Schnitt	Standard + Hacken + Handschnitt	02.06.	Maschinenhacke	
		01.07.	Maschinenhacke	
		04.08.	Sichel	R: 31; A: 34 - 81
		06.09.	Sichel	R: 39; A: 51 - 88

Prüfglieder auf der Versuchsfläche Wesseling (2003)

Acht Parzellen blieben frei von *A. theophrasti* („Ohne ABUTH“). Sie sollten einen direkten Vergleich zwischen standardmäßig behandelten Rübenflächen mit und ohne Abutilonbesatz ermöglichen. Auf die gesamte Versuchsfläche wurden vier NAKs gebracht. In den Parzellen der Prüfglieder Standard, Ohne ABUTH und CHEAL wurden keine weiteren Unkrautkontrollmaßnahmen durchgeführt. Das Prüfglied Debut ent-

spricht dem Prüfglied Safari aus dem Versuch in Přelouč. In Prüfglied Hacke wurde zweimal maschinell zwischen den Rübenreihen gehackt. Die Prüfglieder Roundup und Schnitt entsprechen den gleichnamigen Prüfgliedern in Přelouč. Bei Prüfglied „CHEAL“ wurden vier Tage nach der Rübensaat breitwürfig Samen von *Chenopodium album* gesät. Tab. 3.5 fasst die Maßnahmen zusammen.

Tab. 3.5 Prüfglieder und Behandlungen auf der Versuchsfläche Wesseling (2003)

Prüfglied	Behandlung	Datum	Eingesetzte Mittel und Dosierungen [l/ha] [g/ha]	BBCH-Stadium Rübe / ABUTH
Standard	1. NAK	15.04.	Rebell 0,5; Tandem 0,5;	R: 10; A: 07 - 08
	2. NAK	22.04.	Goltix 1,2; Betanal Progress 1,0; Debut 0,02	R: 11; A: 07 - 08
	3. NAK	10.05.	Betosip 1,2	R: 13; A: 09 - 10
	4. NAK	23.05.	Goltix 2,0; Powertwin 1,0	R: 14; A: 10 - 11
Ohne ABUTH	Standard		Ohne Aussaat von <i>A. theophrasti</i>	
Debut	Standard + Debut	10.05.	Debut 0,03	A: 09 - 10
	Debut	16.05.	Debut 0,03	A: 09 - 10
	Debut	23.05.	Debut 0,03	A: 10 - 11
Hacke	Standard + Hacken	27.05.	Maschinenhacke	R: 15; A: 10 - 11
	Hacken	10.06.	Maschinenhacke	R: 33; A: 16 - 33
Roundup	Standard + Dochtstreichgerät	16.07.	Roundup Ultra 30 %ig	R: 39; A: 31 - 55
Schnitt	Standard + Handschnitt	16.07.	Gartenschere	R: 39; A: 31 - 55
CHEAL	Standard		Aussaat von <i>Chenopodium album</i>	

Prüfglieder auf der Versuchsfläche Wesseling (2004)

Außer auf die unbehandelte Kontrolle wurden auf alle Parzellen betriebsüblich vier NAKs ausgebracht. In die Parzellen einer Variante wurde kein *A. theophrasti* (Ohne ABUTH) ausgesät. In den Parzellen der Prüfglieder Standard und „Ohne ABUTH“ wurden keine weiteren Unkrautkontrollmaßnahmen durchgeführt. Im Prüfglied Debut wurden zu jeder NAK 30 g/ha Debut ausgebracht, im Prüfglied Debut + Lontrel wurden

zusätzlich in der zweiten und dritten NAK 0,6 l/ha Lontrel appliziert. Die Applikation der Mischung fand jeweils einen Tag nach der Standardherbizidbehandlung statt. Lontrel stellt wie im Versuch in Svinčany eine späte Kontrollmöglichkeit von Problemunkräutern in Zuckerrüben dar. Im Prüfglied Hacke wurde zusätzlich zur Standardherbizidbehandlung zweimal maschinell zwischen den Rübenreihen gehackt. Im Prüfglied Mahd wurde am 18.08. 2004 knapp über dem Rübenbestand mit einem Frontmesserbalken gemäht. Weitere Angaben sind Tab. 3.6 zu entnehmen.

Tab. 3.6 Prüfglieder und Behandlungen auf der Versuchsfläche Wesseling (2004)

Prüfglied	Behandlung	Datum	Eingesetzte Mittel und Dosierungen [l/ha] [g/ha]	BBCH-Stadium Rübe / ABUTH
Kontrolle	unbehandelt			
Standard	1. NAK	20.04.	Rebell 1,2; Powertwin 0,5; Tornado 0,8	R: 10; A: 08 - 10
	2. NAK	27.04.	Rebell 1,0; Powertwin 0,8; Goltix 0,8;	R: 11; A: 08 - 10
	3. NAK	12.05.	Rebell 0,8; Powertwin 0,8; Tornado 0,8	R: 13; A: 10 - 11
	4. NAK	23.05.	Powertwin 0,7; Tornado 1,5	R: 15; A: 10 - 13
Ohne ABUTH	Standard		Ohne Aussaat von <i>A. theophrasti</i>	
Debut	1. NAK inkl. Debut	20.04.	Debut 0,03	A: 07 - 08
	2. - 4. NAK + Debut	28.04.	Debut 0,03	A: 07 - 08
		14.05.	Debut 0,03	A: 10 - 11
		24.05.	Debut 0,03	A: 10 - 13
Hacke	Standard + Hacken	04.05.	Maschinenhacke	R: 12; A: 10 - 11
	Hacken	04.06.	Maschinenhacke	R: 33; A: 11 - 13
Debut + Lontrel (D+L)	1. NAK inkl. Debut	20.04.	Debut 0,03	A: 07 - 08
	2. - 3 NAK + D+L	28.04.	Debut 0,03; Lontrel 0,6	A: 07 - 08
		14.05.	Debut 0,03; Lontrel 0,6	A: 10 - 11
	4. NAK inkl. Debut	24.05.	Debut 0,03	A: 10 - 13
Mahd	Standard + Mahd	18.08.	Frontmesserbalken	R: 39; A: 31 - 55

3.1.3 Auflaufdynamik

In Tschechien fanden die Versuche auf Flächen statt, auf denen *A. theophrasti* etabliert war und seinen Dormanzmechanismen folgend natürlich auflief. In Wesseling dagegen wurde die Dormanz künstlich gebrochen. Die Auflaufdynamik von *A. theophrasti* und den sonstigen Unkräutern wurde daher beobachtet, um gegebenenfalls ergebnisrelevante Unterschiede absichern zu können. Mit dem Auflaufen der ersten *A. theophrasti*-Pflanzen wurden in Tschechien jeweils viermal 0,25 m² und in Wesseling jeweils viermal 0,1 m² in jeder Parzelle ausgezählt und die Pflanzen nach Arten getrennt erfasst. In Přebouč wurde 2003 zweimal im Abstand von acht Tagen gezählt. In 2004 wurde in Svinčany im Abstand von 12 und 14 Tagen, in Wesseling im Abstand von vier bis sieben Tagen jeweils dreimal und immer an den exakt selben Stellen gemessen.

3.1.4 Prüfparameter zur Ermittlung der Bekämpfung und Konkurrenz

Die hier dargestellten Parameter Trockenmasse des oberirdischen Aufwuchses der Rüben, von *A. theophrasti* und den sonstigen Unkräutern, die Entwicklung der Zuckerrüben, die Entwicklung und Wuchshöhe von *A. theophrasti* sowie die Rübenkörperfrischmasse und die Rübeninhaltsstoffe dienten dazu, die Wirkung der durchgeführten Maßnahmen und die von *A. theophrasti* ausgehenden Konkurrenz auf die Zuckerrübe und die sonstigen Unkräuter in Abhängigkeit von der Behandlung zu quantifizieren.

Entwicklung und Wuchshöhe

An allen Standorten wurde sieben Mal im Abstand von etwa zwei bis drei Wochen das Entwicklungsstadium von *A. theophrasti* und der Zuckerrübe erfasst. Die Bonitur der Entwicklungsstadien beruht auf der BBCH-Codierung. Der erste Boniturtermin war jeweils zum 1- bis 3-Blattstadium von *A. theophrasti*. Im Beobachtungsbereich jeder Parzelle wurden vier willkürlich bestimmte *A. theophrasti*-Pflanzen markiert. Zur Rübenbonitur wurde immer das Entwicklungsstadium der markierten *A. theophrasti*-Pflanze nächststehenden Rübe geschätzt. Bei *A. theophrasti* wurde die Wuchshöhe gemessen.

Trockenmasse des oberirdischen Aufwuchses

Sieben (Přebouč und Svinčany) bzw. sechs Mal (Wesseling) wurden im Verlauf der Vegetationsperioden all drei bis vier Wochen in jeder Parzelle Biomasseproben genommen. Der erste Termin war das 4-Blattstadium der Rüben, der letzte unmittelbar vor der Rübenernte. Auf einer Fläche von 0,5 m² wurden alle Pflanzen knapp über dem

Boden abgeschnitten und getrennt nach „Rübe“, „ABUTH“ und „Sonstigen“ gezählt. Dafür wurde ein Rahmen mit den Maßen 0,5 x 1 m so in den Sammelbereich der Parzelle gelegt, dass 1 m Rübenreihe im Schnittfeld lag. Die Anzahl der Pflanzen aus der jeweiligen Beprobungsfläche war für die Ermittlung der Trockenmasse nicht relevant. Der Parameter Pflanzen je m² wurde jedoch zur Schätzung der gebildeten Kapseln je m² benötigt (vgl. 4.5). Die Pflanzen wurden bei 100°C im Trockenschrank bei Frischluftzufuhr 48 Stunden getrocknet.

Rübenkörperfrischmasse

Vier (Přelouč und Wesseling) bzw. fünf Mal (Svinčany) im Verlauf der Vegetationsperioden wurden die Rübenkörper entnommen. Der erste Termin war zu Beginn des Reihenschlusses, der letzte unmittelbar vor der abschließenden Ernte. Am Erntetermin wurden aus dem Beobachtungsbereich jeder Parzelle 8 m (CZ) bzw. 10 m (D) Rübenreihe geerntet.

Rübeninhaltsstoffe

Die Rüben des Versuchs Wesseling 2004 wurden bei Erntereife von der Pfeifer & Langen KG im Labor der Fabrik Euskirchen auf ihren Zucker-, Kalium-, Natrium- und Stickstoffgehalt untersucht.

3.1.5 Prüfparameter zur Ermittlung der Populationsdynamik von *A. theophrasti*

Durch die Erfassung der Kapsel- bzw. Samenproduktion sollte das Ausmaß einer langfristig, d.h. über das aktuelle Anbaujahr hinaus, von *A. theophrasti* ausgehenden Konkurrenz auf die Zuckerrübe und die sonstigen Unkräuter in Abhängigkeit von der Behandlung und der *A. theophrasti*-Dichte abgeschätzt werden.

In den Versuchen in Tschechien wurden jeweils einmal, zur Rübenernte, alle reifen Kapseln an den markierten Pflanzen gezählt. (Die vollreifen Kapseln bleiben auch nach der Entleerung ihrer Samen noch an der Pflanze hängen.) In Wesseling wurden alle voll ausgereifte Kapseln der markierten Pflanzen während der Laufzeit des Versuchs dicht unter dem Kapselansatz abgeschnitten, nach Einzelpflanzen getrennt gezählt und entsorgt. Damit sollte der Aufbau eines Bodensamenvorrats auf dem bis zum Versuch nicht mit *A. theophrasti* besetzten Feld verhindert werden.

Für eine Abschätzung der Folgeverunkrautung interessiert die Anzahl der gebildeten und lebensfähigen *A. theophrasti*-Samen je m². Da die Anzahl der Samen je Kapsel

auch bei unterschiedlichen Aufwuchsbedingungen relativ konstant bleibt, wurden hier nur die reifen Kapseln gezählt (ZANIN und SATTIN, 1988; STEINMAUS und NORRIS, 2002). Die Anzahl Kapseln je m² ist das Produkt aus reifen Kapseln je Pflanze und der Anzahl der reifen Pflanzen je m², die sich aus der Anzahl aller Pflanzen je m² und dem Anteil der reifen oder totreifen Pflanzen berechnet. (Vgl. Kapitel 4.5, Anhangstab. 22 für Přelouč, Anhangstab. 23 für Svinčany und Anhangstab. 24 für Wesseling und Abb. 4.5, Abb. 4.6 sowie Abb. 4.7).

3.2 Diversität von *A. theophrasti*

Im Folgenden bezeichnet die Herkunft den Ort, an dem eine Population gefunden wurde. Mit Herkunftsregion werden mehrere Herkünfte, die in einem geographischen Zusammenhang stehen, zusammengefasst. Als Population gelten alle Pflanzen, die auf einer abgegrenzten, über mehrere Jahre gleich bewirtschafteten Ackerfläche aufwachsen. Innerhalb einer Population wurden von Einzelpflanzen (= Proben) Samen gesammelt und daraus Nachkommen angezogen. Für die Untersuchungen wurden diese Einzelpflanzennachkommen als Wiederholungen genutzt.

Ziel der Untersuchungen war es, die Diversität innerhalb und zwischen Populationen von *A. theophrasti* von verschiedenen Herkünften zu quantifizieren. Außerdem sollte die Abstammung neuer Populationen von *A. theophrasti* in Deutschland bestimmt werden. Die angewandten Methoden werden unter 3.2.2 vorgestellt. Die 28 deutschen Populationen und die 16 Populationen ausländischer Herkunft wurden anhand morphologischer und phänologischer Merkmale miteinander verglichen und geclustert. Zur Bestimmung der genetischen Diversität zwischen Populationen wurde am Institut für Phytomedizin der Universität Hohenheim für 18 Proben eine AFLP-Analyse durchgeführt. Zur Bestimmung der Diversität innerhalb einer Population wurden Populationen ausgewählt, aus denen mehrere Proben vorlagen. Es werden die Begriffe Diversität und Ähnlichkeit benutzt, die nach NEI und LI (1979) folgendermaßen definiert sind: $d = 1 - s$ (d = Diversität / s = Ähnlichkeit (*similarity*)).

Herkünfte

Mit einem Artikel in diversen landwirtschaftlichen Zeitschriften im Frühsommer 2003 wurde versucht, Landwirte und Berater für den Neophyten *A. theophrasti* zu sensibili-

sieren¹¹. Dafür wurden neben Fotos und Beschreibung der Pflanze auch das mögliche Gefahrenpotenzial und erste ermittelte Maßnahmen zur Kontrolle veröffentlicht. In dem Artikel wurden Landwirte und Berater außerdem aufgefordert, Vorkommen von *A. theophrasti* auf ihren Ackerflächen zu melden und wenige beobachtete Pflanzen ausreifen zu lassen. Die Kapseln oder Samen von reifen *A. theophrasti*-Pflanzen sollten sie dem Autor nach Einzelpflanzen getrennt zusenden. Weitere Landwirte und Berater wurden auf Messen, Tagungen oder sonstigen Veranstaltungen erreicht. Anhangstab. 11 zeigt Aufwuchsjahr und Herkunft der deutschen Proben, deren Anzuchtjahr für die Versuche sowie die jeweilige Anzahl Einzelpflanzen, von denen Kapseln oder Samen zur Verfügung standen. Anhangstab. 12 zeigt die gleichen Informationen für die ausländischen Proben.

3.2.1 Phänotypische Diversität

Aufzucht

Von jeder Probe wurden 25 - 30 Samen nach dem Verfahren von STEINBAUER und GRIGSBY (1959) behandelt, um die Dormanz zu brechen (vgl. 3.1.1). Zeitgleich mit der Rübenaussaat (vgl. Tab. 3.2) auf dem Feld wurden in den Jahren 2003 und 2004 jeweils vier vorbehandelte Samen in einem Topf (16 x 16 cm) mit gedämpfter Erde angezogen. Nach 23 Tagen war in jedem Topf mindestens ein Keimling aufgelaufen. Bei höherem Auflauf wurde auf einen Keimling reduziert. Je Probe wurden jeweils vier Nachkommen einzeln angezogen, die als Blockversuch auf Gewächshauswagen randomisiert aufgestellt wurden. Die Wagen laufen auf Schienen und können so zwischen einem unbeleuchteten Glashaus und einer drahtumschlossenen Vegetationshalle verschoben werden. Die Wagen wurden nur bei extremen Wetterbedingungen unter Dach gefahren, wenn hohe Pflanzenverluste befürchtet werden mussten. Der Boden wurde feucht gehalten. In beiden Jahren wurde im Keimlingsstadium mit dem Nützling *Steinernema felitae* gegen Trauermückenlarven behandelt. Sonst waren die Pflanzen den Wetter- und sonstigen Umweltbedingungen ausgesetzt.

Die Samen von vier Proben (Dörverden (D), Přelouč (CZ), China und Korea) wurden in beiden Jahren geprüft, um jahresbedingte Wachstums- und Entwicklungsunterschiede schätzen zu können.

¹¹ Land&Forst, 05 / 2003; Schwäbischer Bauer, 05 / 2003; Landwirtschaftliches Wochenblatt, 05 / 2003; Brandenburger Bauernzeitung, 06 / 2003; Badische Bauernzeitung, 06 / 2003; Das Landvolk, 07 / 2003;

Parameter

Wöchentlich wurden Wuchshöhe und Stängeldurchmesser jeder Pflanze festgehalten. Die Bonitur des Entwicklungsstadiums erfolgte zweimal wöchentlich gemäß BBCH-Code. Die BBCH-Codes zur Bonitur der Entwicklungsstadien stehen in keinem mathematischen Zusammenhang zueinander. Um dennoch für die weiteren Analysen Mittelwerte der je vier beprobten Einzelpflanzen verwenden zu können, wurden einige markante und gut erkennbare Entwicklungsstadien ausgewählt und jeweils die Anzahl der Tage von der Aussaat (TNS, Tage nach Saat) bis zum Erreichen dieses Stadiums festgehalten. Diese Entwicklungsstufen sind in Tab. 4.2 aufgelistet. Zweimal wöchentlich wurden alle reifen Kapseln am Kapselansatz abgeschnitten, gezählt und nach Pflanzen getrennt gesammelt. Die Anzahl Samen je Kapsel und die Tausendkorntmasse wurden aus einer Mischprobe für jede Pflanze festgestellt.

Tab. 3.7 Bonitierte Entwicklungsstufen für die Analyse der phänologischen Diversität

Entwicklungsstufe	Korrespondierender BBCH-Code	Erreichtes Entwicklungsstadium
TNS 0	09	Keimblätter durchbrechen Bodenoberfläche (Auflaufen)
TNS 1	10	Beide Keimblätter entwickelt
TNS 2	11	Erstes Laubblatt voll entfaltet
TNS 5	51	Blütenansatz sichtbar
TNS 6	60	Erste Blüte geöffnet
TNS 8	81	Erste Kapsel reif

3.2.2 Genetische Diversität

Zur Bestimmung der Diversität zwischen Populationen wurde für 18 Proben eine AFLP-Analyse durchgeführt. Zur Bestimmung der Diversität innerhalb einer Population wurden je Anzuchtjahr zwei Herkünfte ausgewählt, von denen möglichst viele Proben aus einer Population vorlagen. Von den einzelnen Proben wurden je zwei Einzelpflanzen-nachkommen verwendet.

Methoden

- PCR (*Polymerase Chain Reaction*)

Anfang der achtziger Jahre entwickelte Kary Banks Mullis die Polymerase-Kettenreaktion (*Polymerase Chain Reaction* PCR), wofür er 1993 den Nobelpreis für

Chemie erhielt. Mit der PCR ist es möglich, aus einem komplexen DNA-Gemisch selektiv eine DNA-Matrize zu vervielfachen. Im ersten Schritt wird die doppelsträngige DNA-Vorlage durch Erhitzen in einzelsträngige DNA überführt (Denaturierung). Beim Absenken der Temperatur lagern sich zwei Oligonukleotid-Primer an die Matrizen-DNA an (*Primer-Annealing*) und flankieren die zu amplifizierenden komplementären Zielregionen. Um eine unspezifische Hybridisierung der Primer an die Matrize zu verhindern, werden diese mit Hilfe einer thermostabilen Polymerase bei einer hohen Temperatur verlängert (*Primer-Extension*). Es wird eine bestimmte Anzahl an Amplifikationszyklen durchgeführt, wodurch sich die Primer-flankierte DNA-Region exponentiell vervielfältigt (MULLIS et al., 1986; MULLIS und FALOONA, 1987; SAIKI et al. 1988). Das PCR-Produkt kann durch Agarose-Gelelektrophorese anhand seiner Größe identifiziert werden. Die Menge des PCR-Produkts kann durch einen Vergleich mit einer DNA-Leiter, die DNA-Fragmente bekannter Größe enthält, bestimmt werden.

- *AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism)*

Die AFLP-Technik basiert auf selektiver PCR-Amplifikation von zufällig ausgewählte Restriktions-Fragmenten, die man bei einem vollständigen Verdau genomischer DNA erhält. Die Technik beinhaltet drei Schritte (VOS et al., 1995; siehe auch ZABEAU und VOS, 1993 sowie VOS und KUIPER, 1997):

1. Restriktion der DNA und Ligation von Oligonukleotiden
2. Selektive Amplifikation von Sets der Restriktionsfragmente
3. Gelanalyse der amplifizierten Fragmente

Im ersten Schritt wird die genomische DNA mit den zwei Restriktionsenzymen *Tru1I* (4-bp-Erkennungssequenz) und *EcoRI* (6-bp-Erkennungssequenz) komplett verdaut. An die entstandenen komplementären Enden der Restriktionsfragmente werden fremde DNA-Fragmente (Oligonukleotid-Adapter) mit Hilfe des Enzyms T4-Ligase angehängt (ligiert). Diese Adapter liefern eine Erkennungssequenz für weitere Amplifikationen der Fragmente mit speziellen Primern.

Bei der Präamplifikation wird mittels PCR zunächst die Doppelhelixstruktur aufgelöst, d.h. die DNA wird denaturiert. An die einzelsträngigen Fragmente werden Primer angehängt, die komplementär zur Adaptersequenz an der entsprechenden Schnittstelle sind (Anlagerung). Bei der Polymerisation werden Kopien der markierten Fragmente erstellt. In einer zweiten PCR, der selektiven Amplifikation, erfolgt eine deutliche Reduktion der amplifizierten Fragmente, da die hier eingesetzten Primer drei selektive

Nukleotide tragen, die über die Adaptersequenzen in die Fragmente hineinragen. Die markierten Einzelstrangfragmente werden wieder komplementär kopiert.

Auf einem denaturierenden Polyacrylamid-Gel werden die Fragmente elektrophoretisch aufgetrennt. Der *EcoRI*-Primer ist mit einem Fluoreszenz-Farbstoff markiert, so dass nur Fragmente unter Beteiligung dieses Primers bei der Polyacrylamid-Gelelektrophorese sichtbar gemacht werden. Auf diese Weise können mit der AFLP-Technik in der Regel bis zu 100 auswertbare Fragmente erzeugt werden. Damit steht auch eine hohe Anzahl an nutzbaren Polymorphismen zur Verfügung.

Chemikalien, Puffer und Lösungen

Die Bezugsquellen der verwendeten Chemikalien sind in der Anhangstab. 13 angegeben. Die Herstellung der Puffer erfolgte unter Verwendung von zweifach destilliertem Wasser (dd H₂O). Im Folgenden ist die Zusammensetzung der verwendeten Puffer angegeben. Weiterhin eingesetzte Lösungen und Medien sind bei der Beschreibung der jeweiligen Methoden aufgeführt.

Sorbitolpuffer	Kernlysepuffer
350 mM Sorbitol ¹⁰	200 mM Tris-Base ³
100 mM Tris-Base ³	50 mM EDTA ¹²
5 mM EDTA ¹²	2 M NaCl ⁶
pH 7,5 mit HCl einstellen	2 % CTAB (Cetyltrimethylammoniumbromid) ⁶

50x TAE-Puffer	5x TBE-Puffer	1x TE-Puffer
2,0 M Tris-Base ²	0,45 M Tris-Base ²	10 mM Tris-HCl ²
1,0 M Essigsäure ³	0,45 M Borsäure ²	1 mM EDTA pH 8,0 ³
0,05 M EDTA pH 8,0 ³	0,05 M EDTA pH 8,0 ³	

Indizes 1-12: Hersteller, siehe Anhangstab. 13

Präparation von Template-DNA

▪ Anzucht der Pflanzen

Von jeder Probe wurden 25 - 30 Samen nach dem Verfahren von STEINBAUER und GRIGSBY (1959) behandelt. Nach 20 Stunden bei 30°C im Klimaschrank waren etwa 95 % aller Samen gequollen und hatten Keimwurzeln entwickelt. Jeweils 10 Keimlinge, deren Keimwurzel zwischen 0,1 und 0,3 mm lang war, wurden im Gewächshaus einzeln in Töpfen (12 x 12 cm) mit gedämpfter Erde angezogen. Nach etwa 30 Tagen bei 20°C und 70 % Luftfeuchtigkeit hatten die Pflanzen 3 - 4 Laubblätter entwickelt. Die

Laubblätter von maximal jeweils sechs Nachkommen einer Probe wurden ohne Stängel abgetrennt, nach Pflanzen getrennt in 50 ml-Röhrchen gepackt und sofort bei -20°C tiefgefroren.

- DNA-Extraktion

Die Pflanzen-DNA wurde aus 3 - 4 g tiefgefrorenen Blattmaterial nach der CTAB-Methode (DOYLE und DOYLE, 1987) isoliert. Das DNA-Pellet wurde zuletzt mit 300 µl sterilem, zweifach destilliertem Wasser aufgenommen. Das gelöste Pellet wurde in ein 0,5 ml Reaktionsgefäß überführt und bei -20°C bis zur weiteren Verarbeitung gelagert.

- DNA-Aufreinigung

Zur Aufreinigung der gelösten DNA wurde der DNeasy-Plant-Mini-Kit (Qiagen) benutzt. Die Aufreinigung funktioniert über die selektive Bindung der Nukleinsäuren an eine Silica-Matrix in Gegenwart einer hohen Konzentration chaotroper Salze¹². Das Protokoll entspricht dem des Herstellers. Die gereinigte DNA wurde unter Zugabe von 1x TE-Puffer zweimal von der Säule eluiert.

- Bestimmung der DNA-Quantität und -Qualität

Jeweils 2 µl der aufgereinigten DNA jeder Probe wurden auf ein 1%iges Agarosegel aufgetragen. Zusätzlich wurden die Standards 50 ng, 100 ng, 150 ng, 200 ng und 250 ng λ-DNA aufgetragen. Die Gelelektrophorese wurde bei 90 V für ca. 50 Minuten in 1x TAE-Puffer durchgeführt. Das Gel wurde nach dem Lauf 20 Minuten in Ethidiumbromidlösung (0,25 µg/ml) gefärbt, anschließend für 20 Minuten gewässert und unter UV (254 nm) dokumentiert. Die Intensität der Fluoreszenz der extrahierten DNA wurde mit der Fluoreszenzintensität der λ-DNA verglichen und daraus der DNA-Gehalt der Probe abgeschätzt. Über die Schärfe der Banden können Verunreinigungen der DNA erkannt werden.

DNA-Extraktion	DNA-Reinigung	Quantität / Qualität
Sorbitolpuffer	Qiagen DNeasy-Plant-Mini-Kit	Agarosegel 1 %
Natriumbisulfit ⁶	Natrium Acetat (pH 5,2)	λ-DNA ⁹
Kernlysepuffer	Ethanol 100 % ³	Loading Dye ⁵
Laurylsarkosin 5 % ¹¹	Ethanol 70 %	Ethidiumbromid ²
Chloroform ³ / Isoamyalkohol ³ 24 : 1	Puffer 1x TE	dd H ₂ O
Isopropanol ³		
Ethanol 70 % ³		

Indizes 1-12: Hersteller, siehe Anhangstab. 13

¹² Chaotrope Salze ändern die Raumstruktur eines Proteins.

Amplified Fragment Length Polymorphism (AFLP)

Die AFLP-Analysen wurden nach einer Modifikation der Methoden von VOS et al. (1995) bzw. REINEKE (1998) durchgeführt.

▪ Restriktionsverdau und Adapter-Ligierung

In einem Reaktionsansatz von 10 µl wurden 200 ng genomische DNA mit 10 U *EcoRI* und 10 U *Tru1I* in 10x Puffer Y⁺ / Tango™ + BSA für 90 Minuten bei 37°C und weiteren 90 Minuten bei 65°C im Wasserbad inkubiert. Anschließend wurden dem Ansatz je 4 pmol *EcoRI*- und *Tru1I*-Adapter, 10x Ligierungspuffer und 0,8 U T4-Ligase hinzugefügt. Die Inkubation wurde für 2 Stunden bei 20°C fortgesetzt. Die Ligase ist nach anschließenden 10 Minuten im Wasserbad bei 65°C deaktiviert. Das Reaktionsgemisch wurde 1:10 mit zweifach destilliertem Wasser verdünnt und bis zur weiteren Verwendung bei -20°C eingefroren.

Restriktionsverdau je Probe	Ligation je Probe
2 µl 10x Puffer Y ⁺ / Tango™ + BSA ⁴	10 µl Adapter-Ligation-Solution (s.u.)
1 µl <i>EcoRI</i> (10u/µl) ⁴	2 µl dd H ₂ O
1 µl <i>Tru1I</i> (10u/µl) ⁴	0,2 µl T4-Ligase (4u/µl) ⁴

Adapter-Ligation-Solution :

20 µl *Eco*-Adapter-Top (10 pmol/µl) OL 84 (CTCGTAGACTGCGTACC)⁷
 20 µl *Eco*-Adapter-Bottom (10 pmol/µl) OL 85 (AATTGGTACGCAGTCTAC)⁷
 20 µl *Mse*-Adapter-Top (10 pmol/µl) OL 86 (GACGATGAGTCCTGAG)⁷
 20 µl *Mse*-Adapter-Bottom (10 pmol/µl) OL 87 (TACTCAGGACTCAT)⁷
 100 µl 10x T4 Ligase Puffer⁴
 820 µl dd H₂O

Indizes 1-12: Hersteller, siehe Anhangstab. 13

▪ AFLP-Reaktionen

Für die Präamplifizierung setzte sich der PCR-Ansatz aus 4,5 µl verdünnter Ligation, je 0,8 µM *Eco4* und *Mse13*, 0,2 mM dNTPs, 2,5 U Taq Polymerase und 1x PCR-Puffer zusammen. Nach Ablauf des PCR-Programms (s.u.) wurde die Reaktion mit zweifach destilliertem Wasser 1:10 verdünnt.

Für die selektive Amplifizierung wurden fünf Primerkombinationen getestet (*Eco16* + *Mse5* / *Mse8* / *M19* / *M33* / *M35*). Die höchste Anzahl Polymorphismen und damit die beste Möglichkeit zur Differenzierung der Proben bot die Kombination der Primer *Eco16* und *Mse5*, die im Weiteren verwendet wurden. Zur selektiven Amplifizierung wur-

den 4,5 µl der verdünnten Präamplifizierungsreaktion je 0,8 µM *Eco16* und *Mse5*, sowie 0,2 mM dNTPS, 2,5 U Taq Polymerase und 1x PCR-Puffer zugegeben. Nach Ablauf des PCR-Programms wurde das PCR-Produkt bis zur Weiterverwendung bei -20°C eingefroren.

Präamplifikation je Probe	Selektive Amplifikation je Probe
12,75 µl dd H ₂ O	12,75 µl dd H ₂ O
3,25 µl 10x PCR-Puffer (enthält Mg) ⁵	3,25 µl 10x PCR-Puffer (enthält Mg) ⁵
2 µl Primer <i>Eco4</i> (10 pmol/µl) (GAC-TGCGTACCAATT) ⁷	2 µl Primer <i>Eco16</i> (10 pmol/µl) (GAC-TGCGTACCAATT CA) ⁷
2 µl Primer <i>Mse13</i> (10 pmol/µl) (GATGAGTCCTGAGTAA) ⁷	2 µl Primer <i>Mse5</i> (10 pmol/µl) (GAT-GAGTCCTGAGTAA CTT) ⁷
0,5 µl dNTPs (10 mM) ⁵	0,5 µl dNTPs (10 mM) ⁵
0,5 µl Taq Polymerase (5 u/µl) ⁵	0,5 µl Taq Polymerase (5 u/µl) ⁵

* Das 16. nt (C) des *EcoRI*-Primers wird nicht als selektives Nukleotid gewertet, da es Bestandteil der Erkennungssequenz von *EcoRI* ist. Indizes 1-12: Hersteller, siehe Anhangstab. 13

PCR-Programm zur Präamplifizierung und selektiven Amplifizierung		
1 Zyklus	94°C für 3 min.	Initialisierung
35 Zyklen	94°C für 30 sec.	Denaturierung
	51°C für 1 min.	Anlagerung
	72°C für 1 min.	Polymerisation
1 Zyklus	72°C für 10 min.	
Kühlen	4°C	

▪ Gelelektrophorese und Dokumentation

Für die elektrophoretische Auftrennung der AFLP-Fragmente wurde ein denaturierendes 10%iges Polyacrylamidgel eingesetzt. Die Gelmatrix bestand aus 7,5 ml Acrylamid, 25,2 g Harnstoff und 1x TBE-Puffer. Zu 56 ml der Gellösung wurde 1 ml einer 10%igen Ammoniumpersulfatlösung gegeben und 30 µl TEMED. Als Elektrophorese-puffer diente 0,6x TBE-Puffer. 5 µl der amplifizierten DNA-Lösung wurden unmittelbar vor der Elektrophorese 1:1 mit Formamid versetzt, das Gemisch für 2 min bei 94°C im Thermocycler denaturiert und sofort auf Eis gekühlt. So bleibt die einzelsträngige Struktur erhalten. Die 10 µl Reaktionsgemisch wurden auf das Gel aufgetragen und am ALFexpress (Amersham Biosciences) bei 42 V/cm für 360 Minuten bei 55°C elektrophoretisch aufgetrennt. In die äußeren Bahnen des Gels wurden jeweils 4 µl Sizer mit 2 µl 1x TE-Puffer und 4 µl Loading Dye aufgetragen. Der Sizer dient als Standard und als Orientierungshilfe auf dem Gel.

Polyacrylamidgel

25,2 g Urea ²	2 L 0,6x TBE-Puffer
12 ml 5x TBE-Puffer	5 µl Formamid ¹ (je Probe)
18 ml dd H ₂ O	4 µl ALFexpress™ Loading Dye ¹
7,5 ml Acrylamid ³	2 µl 1x TE-Puffer
1 ml APS (Ammoniumpersulfat H ₈ N ₂ O ₈ S ₂ min. 98%ig) ²	4 µl ALFexpress™ Sizer™ 50-500 ¹
30 µl TEMED (C ₆ H ₁₆ N ₂ 99%ig) ³	

Indizes 1-12: Hersteller, siehe Anhangstab. 13

3.3 Auswertung

3.3.1 Bekämpfung und Populationsdynamik von *A. theophrasti* in Zuckerrüben

Mit der Prozedur UNIVARIATE (SAS, Version 8.2) wurde die Normalverteilung der Daten kontrolliert. Die balancierten Daten wurden mit dem Tukey-Test und die unbalancierten Daten mit dem Student-Newman-Keuls-Test auf signifikante Unterschiede überprüft. Für alle Tests wurde ein Konfidenzintervall von 95 % festgelegt.

Für den Mittelwertvergleich der Behandlungen wurde in einigen Fällen die unbehandelte Kontrolle nicht mit einbezogen. Das ist jeweils im Text angemerkt. Diese Maßnahme ist sinnvoll, da für einige Parameter in der unbehandelten Kontrolle erwartungsgemäß Ergebnisdaten ermittelt wurden, die extrem von denen der behandelten Varianten abwichen. Wird die unbehandelte Kontrolle mit verrechnet, erhöhen diese „Ausreißer“ die Varianz der Stichprobe teilweise so stark, dass signifikante Unterschiede zwischen den behandelten Varianten nicht mehr erkannt werden. Für die landwirtschaftliche Praxis ist eine unbehandelte Variante in Zuckerrüben irrelevant, weswegen das Hauptaugenmerk im Einzelfall auf die behandelten Varianten gerichtet wurde.

Die Prüfglieder „Mahd“ und „Ohne ABUTH“ des Wesselingversuchs 2004 konnten nicht statistisch verrechnet werden, da sich die Parzellen außerhalb der vollständig randomisierten Blockanlage befanden (vgl. Kapitel 3.1.1).

3.3.2 Diversität von *A. theophrasti*

Mit der Prozedur UNIVARIATE (SAS, Version 8.2) wurde die Normalverteilung der Daten kontrolliert. Die erforderlichen Berechnungen zur Schätzung der phänotypischen und genetischen Ähnlichkeiten, die Durchführung der Clusteranalyse und Erstellung der Dendrogramme, sowie die Berechnung der Hauptkoordinatenanalyse erfolgten mit den Programmpaketen SAS, Version 8.2 und NTSYSpc, Version 2.01.

Im extrem trocken-heißen Sommer 2003 konnte auf einem der Schienenwagen die Wasserversorgung nicht durchgehend sichergestellt werden (vgl. 3.2.1). Der Block wurde daher nicht ausgewertet.

Genetische Ähnlichkeit, genetische Distanz

Es wird allgemein eine Gleichgewichtung der Merkmale zur Gruppenbildung unterstellt. Durch hoch korrelierende Merkmale gilt diese Gleichgewichtung nicht mehr und bestimmte Aspekte werden somit übertönt, was zu einer Verzerrung der Ergebnisse führen kann. Die Streuungsinformationen, die eine hoch korrelierte Variable X ($r(X, Y) > 0,9$) liefert, werden größtenteils durch die andere korrelierte Variable Y mit erfasst und können als redundant angesehen werden. Um beim Vorhandensein von stark korrelierten Variablen die Gleichgewichtung der Merkmale sicherzustellen, werden korrelierte Variablen ausgeschlossen. Die **phänotypischen Parameter** und daraus errechnete Mittelwerte (für Wuchshöhe, Stängeldurchmesser und TNS) wurden mit der Rangkorrelationsanalyse nach Spearman korreliert. Nach Ausschluss der hoch korrelierten Variablen gingen für die Analyse der Gesamtvarianz die folgenden Parameter und Mittelwerte in die Berechnung ein:

- Mittelwert der Wuchshöhe über alle Termine (7) in 2003
- Mittelwert der Wuchshöhe über alle Termine (7) im Juni und Juli 2004
- Mittelwert der Wuchshöhe über alle Termine (7) im August und September 2004
- Mittelwert des Stängeldurchmessers über alle Termine in 2004
- Mittelwert der TNS in 2003
- Mittelwert der TNS bis zum Erreichen der Entwicklungsstufen 0, 1 und 2 in 2004
- Mittelwert der TNS bis zum Erreichen der Entwicklungsstufen 5, 6 und 8 in 2004
- Anzahl der Kapseln je Pflanze
- Anzahl der Samen je Kapsel
- Tausendkornmasse

Morphologische und phänologische Parameter wurden gemeinsam mit Hilfe des Korrelationsmaßes (Coefficient CORR) verrechnet.

Für die **Berechnung der genetischen Ähnlichkeit** wurden in der AFLP-Analyse 33 Fragmente detektiert. Aus den AFLP-Bandenmustern wurde jeweils eine binäre Matrix erstellt. Im Falle zweideutiger Bandenmuster wurde die Auswertung als fehlend betrachtet. In der weiteren Analyse wurde das Vorhandensein einer Bande mit „1“, das

Fehlen mit „0“ bezeichnet. Die binäre Gesamtdatenmatrix bildete den Ausgang für die Berechnung der genetischen Ähnlichkeit (*genetic similarity*, GS), die für alle möglichen paarweisen Vergleiche zwischen den untersuchten Genotypen berechnet wurde. Die genetische Ähnlichkeit wurde nach der Formel von DICE (1945) geschätzt:

$$GS = (2 N_{xy}) / (N_x + N_y)$$

GS: genetische Ähnlichkeit (*genetic similarity*)

N_{xy} : Anzahl der Banden, die in beiden Genotypen vorkommen

N_x ; N_y : Anzahl der Banden, die nur in Genotyp x bzw. Genotyp y vorkommen

Clustering

Sowohl das Clustern der Proben auf der Basis der phänotypischen Merkmale als auch der genetischen Marker erfolgte mit der SAHN-Analyse (*Sequential agglomerative hierarchical nested cluster analysis*) nach SNEATH und SOKAL (1973) sowie DUNN und EVERITT (1982). Clustermethode war das “average linkage“-Verfahren (= UPGMA-Methode: *unweighted pair group method with arithmetic average*). In den hieraus erstellten Dendrogrammen wird die Ähnlichkeit bzw. Distanz zwischen den Proben veranschaulicht.

Varianzkomponentenschätzung

Da die Diversitätsschätzung zwischen und innerhalb von Populationen jeweils auf Korrelationen, also relativen Werten beruhen, ist ein direkter Vergleich der Diversität zwischen Populationen mit der Diversität innerhalb von Populationen nicht zulässig. Daher wurden die einzelnen Varianzkomponenten mit der Prozedur VARCOMP und der REML-Methode (*Restricted Maximum Likelihood*, eingeschränkte Maximum Likelihood-Methode) in SAS geschätzt und miteinander verglichen.

Hauptkoordinatenanalyse

In der Hauptkoordinatenanalyse werden Faktoren errechnet, die die Gesamtvarianz aller Variablen abdecken. Dabei wird der erste Faktor so gelegt, dass er den größtmöglichen Teil der Gesamtvarianz erfasst, der zweite Faktor den größtmöglichen Teil der verbleibenden Gesamtvarianz und so weiter. Die Hauptkoordinaten wurden mit Hilfe der EIGEN-Funktion in NTSYS ermittelt. Die Faktoren sind nicht an die Parameter ge-

bunden und damit ohne Einheit. In den dargestellten Diagrammen wurde daher auf die Titel der Achsen verzichtet. Zu Gunsten der Übersichtlichkeit und da die ersten beiden Faktoren bereits den größten Teil der Gesamtvarianz wiedergaben, werden bis auf eine Ausnahme die zweidimensionalen Diagramme abgebildet.

Güte der Cluster

Die Überprüfung der Übereinstimmung zwischen der Ähnlichkeitsmatrix und den daraus erstellten Dendrogrammen erfolgte nach SNEATH und SOKAL (1973). Dabei wurden cophenetische Korrelationen zwischen den nach DICE (1945) geschätzten genetischen Ähnlichkeitswerten der einzelnen Paarvergleiche und den zugehörigen Ähnlichkeitswerten, die sich aus der Clusteranalyse ergaben, berechnet.

Die Güte der Cluster kann durch systematische Fehler, Fehler durch die Subjektivität der Auswertung oder technische Fehler beeinträchtigt sein. Systematische Fehler sind zum Beispiel die falsche Zuordnung von Daten zu einer Probe, Messfehler oder mangelhafte Eichung und Justierung von Geräten. Solche Fehler sind nie ganz auszuschließen, fallen aber bei mehrfacher Beprobung meistens auf und lassen sich durch die Wiederholungen herausrechnen. Bei Bonituren oder anderen visuellen Schätzungen können Fehler durch die Subjektivität der Auswertung entstehen. Die Entwicklungsstadien wurden visuell bestimmt. Mögliche Fehlinterpretationen wurden durch die zeitlich engmaschige Bonitur jedoch minimiert. Die AFLP-Banden wurden ebenfalls visuell ausgewertet. DRESLER-NURMI et al. (2000) beobachteten, dass AFLP-Banden in ihrer Intensität weit schwankten, was die Auswertung erschwerte. Die Autoren raten für die Vermeidung von Artefakten zur visuellen Auswertung (anstatt ausschließlich automatischer Auswertung durch Programme wie zum Beispiel GelCompar). Die Subjektivität der Auswertung stellt eine Fehlerquelle dar, die nicht vollständig beseitigt werden kann. Mit technischem Fehler sind analysebedingte Ergebnisunterschiede gemeint. In der vorliegende Arbeit kann zum Beispiel eine Konkurrenz um Bindungsstellen während der Ligation (vgl. 3.2.2) aufgetreten sein, weshalb für eine Probe eher die eine Bande ausgeprägt war, für die nächste Probe eher die konkurrierende Bande, ohne dass ein tatsächlicher Genomunterschied vorhanden war. Wenn diese Intensitätsunterschiede so stark waren, dass die schwächer ausgeprägte Bande in der Auswertung als Artefakt oder „Schmier“ interpretiert wurde, sind fälschlicherweise einige Banden als „nicht vorhanden“ bewertet worden, die eigentlich „vorhanden“ waren. Solche Fehlinterpretationen können durch eine höhere Wiederholungsrate verringert werden, auf die wegen des hohen Kosten- und Zeitaufwandes zu Gunsten eines höheren Proben-durchsatzes hier verzichtet wurde.

4 Ergebnisse

4.1 Auflaufdynamik

A. theophrasti lief im ersten Versuchsjahr in Wesseling nur vereinzelt auf. Die Pflanzen blieben klein und bildeten kaum Blüten. Ein wahrscheinlicher Grund für die geringe Etablierung war die Vorbehandlung. Die Keimwurzeln wurden verletzt oder brachen ganz ab, als sie in den Boden eingearbeitet wurden. Die freiliegenden Keimwurzeln vertrockneten trotz der Bemühungen, den Boden ausreichend feucht zu halten. Auch ein zweiter Etablierungsversuch mit neuem Saatgut scheiterte. Der Aussaatmodus wurde daraufhin im zweiten Versuchsjahr verändert (vgl. 3.1.1). Die durchgeführten NAKs zeigten eine sehr gute Wirkung gegen *Chenopodium album*. Diese Variante wurde daher im zweiten Versuchsjahr nicht wieder angelegt. Der Versuch in Wesseling im Jahr 2003 wurde nicht ausgewertet und wird im Folgenden nicht mehr beschrieben.

In Tschechien begann *A. theophrasti* im ersten Versuchsjahr zwei Wochen nach der Rübe aufzulaufen, im zweiten Versuchsjahr lief *A. theophrasti* etwa gleichzeitig mit der Rübe auf. In den etablierten Beständen von *A. theophrasti* in Tschechien zog sich die Auflaufphase über mehrere Wochen hin. In Wesseling (2004) waren alle Pflanzen nach zwei Wochen aufgelaufen. Aus Tab. 4.1 wird ersichtlich, dass die Temperaturbedingungen in den sieben Tagen vor dem Auflaufen von *A. theophrasti* auf allen Versuchsstandorten etwa gleich waren. In den ersten sieben bzw. 14 Tagen nach dem Beginn des Auflaufens war das Wetter in Tschechien wesentlich wärmer als in Wesseling (vgl. auch Anhangstab. 1, Anhangstab. 2 und Anhangstab. 4).

Tab. 4.1 Temperaturen und Niederschlag an den drei Versuchsstandorten vor und nach dem Auflaufen von *A. theophrasti*

	Přelouč	Svinčany	Wesseling
Auflaufen von <i>A. theophrasti</i>	22.04.03	29.04.04	05.04.04
Durchschnittliche Höchst- / Tiefst- / mittlere Tagestemperatur [°C]			
1 - 7 Tage vor dem Auflaufen	17 / 4 / 10	16 / 6 / 10	17 / 6 / 12
1 - 7 Tage nach dem Auflaufen	20 / 6 / 13	21 / 10 / 16	9 / 2 / 6
1 - 14 Tage nach dem Auflaufen	21 / 8 / 15	19 / 9 / 14	12 / 4 / 8
Durchschnittlicher Niederschlag [mm]			
1 - 7 bzw. 1 - 14 Tage nach dem Auflaufen	0,2 / 1,0	0,1 / 1,2	2,7 / 1,5

Die Behandlungen (bis dahin Standard und Safari bzw. Debut) führten nicht zu einem Rückgang von *A. theophrasti*-Keimlinge, aber zu einem Rückgang der sonstigen Rübunkräuter. Dadurch erhöhte sich der Anteil von *A. theophrasti*-Keimlinge an allen Unkrautkeimlingen (Přelouč 31 → 50 %; Svinčany 5 → 11 %; Wesseling 14 → 20 %).

Die aufgelaufenen Pflanzen von *A. theophrasti* haben die Keimung und das Auflaufen der Zuckerrüben oder der sonstigen Unkräuter nicht beeinflusst, so dass vermutlich keine allelopathischen Effekte auftraten.

Die Verteilung von *A. theophrasti* und den sonstigen Unkräutern im Feld war zwischen den Versuchsstandorten sehr unterschiedlich. In Přelouč war *A. theophrasti* heterogen und nesterweise über die Versuchsfläche verteilt. Die Nester waren klar abgegrenzt. In einer Ecke des Feldes sowie in der in Fahrtrichtung liegenden Verlängerung wurden am 07.05. bzw. 15.05. 2003 durchschnittlich 86 bzw. 77 Pflanzen je m² gezählt. Links und rechts dieses Bandes mit hoher Dichte wurden dagegen durchschnittlich nur 3 Pflanzen je m² zu beiden Terminen gezählt. Der Besatz mit sonstigen Unkräutern war zwar zwischen den Messpunkten stark schwankend, folgte aber keinem erkennbaren Muster. In Svinčany war *A. theophrasti* wie die sonstigen Unkräuter relativ homogen verteilt. Hohe Auflaufraten von 87 - 900 Pflanzen je m² in der Gruppe der sonstigen Unkräuter am 17.05. 2004 können darauf zurückgeführt werden, dass die Fläche nicht gepflügt worden war. In den behandelten Parzellen war die Anzahl Keimlinge zu diesem Zeitpunkt bereits beträchtlich reduziert. Tab. 4.2 zeigt, dass in Wesseling die angestrebten Pflanzenzahlen von 1 - 2 Pflanzen je m² in der geringen Dichtestufe und von 5 - 10 Pflanzen je m² in der hohen Dichtestufe leicht überschritten wurden. Es traten erhebliche Schwankungen auf, die sich nicht auf die Behandlungen zurückführen lassen. Die genauen Zahlen sind dem Anhang zu entnehmen. Tab. 4.3, Tab. 4.4 und Tab. 4.5 informieren im Einzelnen über die vorkommenden Unkrautarten und ihr durchschnittliches Auftreten.

Tab. 4.2 Durchschnittliche Anzahl aufgelaufener *A. theophrasti*-Pflanzen je m² in den beiden Dichtestufen, gemittelt über die Blöcke A - E, Wesseling (2004)

Anzahl der <i>A. theophrasti</i> -Keimlinge bei	Zähltermin		
	23.04.	27.04.	04.05.
geringer <i>A. theophrasti</i> -Dichte	3,4	3,0	2,3
hoher <i>A. theophrasti</i> -Dichte	11,5	11,3	8,2

Tab. 4.3 Unkrautarten am 15.05. auf der Zuckerrübenfläche in Přelouč (2003) und ihre durchschnittliche Dichte je m²

Lateinischer Name	Deutscher Name	EPPO-Code	Dichte / m ²
<i>Abutilon theophrasti</i>	Lindenblättrige Schönmalve	ABUTH	39,9
<i>Amaranthus spp.</i>	Amarant-Arten	AMA spp.	34,8
<i>Echinochloa crus-galli</i>	Hühnerhirse	ECHCG	24,7
<i>Polygonum spp.</i>	Knöterich-Arten	POL spp.	5,0
<i>Chenopodium album</i>	Weißer Gänsefuß	CHEAL	2,7
<i>Anagalis arvensis</i>	Acker-Gauchheil	ANGAR	0,4
<i>Euphorbia cyparissias</i>	Zypressen-Wolfsmilch	EPHCY	0,2
Weitere (siehe unten)			6,8
<i>Galium aparine</i>	Klettenlabkraut	GALAP	
<i>Lamium purpureum</i>	Rote Taubnessel	LAMPU	
<i>Stellaria media</i>	Vogelmiere	STEME	
<i>Solanum nigrum</i>	Schwarzer Nachtschatten	SOLNI	
<i>Viola arvensis</i>	Ackerstiefmütterchen	VIOAR	

Tab. 4.4 Unkrautarten am 17.05. auf der Zuckerrübenfläche in Svinčany (2004) und ihre durchschnittliche Dichte je m²

Lateinischer Name	Deutscher Name	EPPO-Code	Dichte / m ²
<i>Amaranthus spp.</i>	Amarant-Arten	AMA ssp	172,44
<i>Chenopodium album</i>	Weißer Gänsefuß	CHEAL	56,78
<i>Abutilon theophrasti</i>	Lindenblättrige Schönmalve	ABUTH	46,61
<i>Echinochloa crus-galli</i>	Hühnerhirse	ECHCG	44,64
<i>Polygonum lapathifolium</i>	Ampfer-Knöterich	POLLA	21,36
<i>Matricaria ssp.</i>	Kamille-Arten	MAT ssp	4,31
<i>Artemisia vulgaris</i>	Gemeiner Beifuss	ARTVU	2,69
<i>Polygonum aviculare</i>	Vogelknöterich	POLAV	2,11
<i>Galium aparine</i>	Klettenlabkraut	GALAP	0,36
<i>Agropyron repens</i>	Gemeine Quecke	AGRRE	0,19
<i>Veronica persica</i>	Persischer Ehrenpreis	VERPE	0,14
<i>Thlaspii arvense</i>	Acker-Hellerkraut	THLAR	0,11
<i>Convolvulus arvensis</i>	Ackerwinde	CONAR	0,08
<i>Atriplex patula</i>	Gemeine Melde	ATRPA	0,03
<i>Lamium amplexicaule</i>	Stängelumfassende Taubnessel	LAMAM	0,03
<i>Taraxacum officinale</i>	Gemeiner Löwenzahn	TAROF	0,03

Tab. 4.5 Unkrautarten am 04.05. in den Blöcken A - E und ihre durchschnittliche Dichte je m², Wesseling (2004)

Lateinischer Name	Deutscher Name	EPPO-Code	Dichte / m ²
<i>Abutilon theophrasti</i>	Lindenblättrige Schönmalve	ABUTH	5,25
<i>Fumaria officinalis</i>	Gemeiner Erdrauch	FUMOF	4,60
<i>Chenopodium album</i>	Weißer Gänsefuß	CHEAL	1,70
<i>Polygonum convolvulus</i>	Windenknöterich	POLCO	0,50
<i>Amaranthus retroflexus</i>	Zurückgekrümmter Amarant	AMARE	0,31
<i>Mercurialis annua</i>	Einjähriges Bingelkraut	MERAN	0,25
Weitere (siehe unten)			0,63
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	Hirtentäschelkraut	CAPBP	
<i>Cirsium arvense</i>	Ackerkratzdistel	CIRAR	
<i>Galium aparine</i>	Klettenlabkraut	GALAP	
<i>Matricaria chamomilla</i>	Echte Kamille	MATCH	
<i>Raphanus raphanistrum</i>	Hederich	RAPRA	
<i>Sinapis arvensis</i>	Ackersenf	SINAR	
<i>Solanum nigrum</i>	Schwarzer Nachtschatten	SOLNI	
<i>Urtica urens</i>	Kleine Brennessel	URTUR	
<i>Veronica arvensis</i>	Feldehrenpreis	VERAR	
<i>Viola arvensis</i>	Ackerstiefmütterchen	VIOAR	

4.2 Bekämpfung von *A. theophrasti* in Zuckerrüben

Im Folgenden wird der Einfluss der Behandlungsvarianten und der *A. theophrasti*-Dichte auf die Trockenmasse des oberirdischen Aufwuchses der drei Pflanzengruppen (Zuckerrübe, *A. theophrasti*, sonstige Unkräuter) bewertet. Als Vergleich dient immer die Variante mit der Standardherbizidapplikation. Zudem werden die Entwicklung der Zuckerrübe und die Entwicklung und Wuchshöhe von *A. theophrasti* dokumentiert.

▪ Biomasse von *A. theophrasti*

Der Faktor Behandlung wurde gemittelt über beide *A. theophrasti*-Dichtestufen ausgewertet. Wechselwirkungen zwischen den Faktoren Behandlung und *A. theophrasti*-Dichte in Přelouč weisen darauf hin, dass die Dichte von *A. theophrasti* einen Einfluss auf die Wirksamkeit der Behandlungen hat (vgl. Abb. 4.13 und Anhangstab. 20).

In den tschechischen Versuchen wurde in allen Varianten inklusive der unbehandelten Kontrolle von *A. theophrasti* weniger Biomasse je Flächeneinheit gebildet als in der Standardvariante (vgl. Tab. 4.6 und Tab. 4.7). In Svinčany (2004) war der Unterschied so groß, dass die Kontrolle nicht in den Mittelwertvergleich einbezogen wurde. Signifikant war die Reduktion in den drei Varianten, in denen gehackt worden war. Die Applikation von Safari bzw. Debut und die Kombination Safari / Debut + Lontrel führte teilweise zu Wuchsanomalien und -depression bei *A. theophrasti* (vgl. Abb. 4.1). In den Roundup-Parzellen in Přelouč (2003) starben alle behandelten Pflanzen ab. Die zum Zeitpunkt der Applikation bereits entwickelte Biomasse blieb bis zur Rübenernte durch den Aufwuchs der unbehandelten Pflanzen (die zum Behandlungszeitpunkt nicht 10 cm über die Rüben ragten) im Mittel unverändert. Bei Schnitt bzw. Mahd oberhalb des Rübenbestandes zeigten sich deutliche Wirkungsunterschiede in Abhängigkeit von der Häufigkeit der Maßnahme (1x in Přelouč, 2x in Svinčany, 1x in Wesseling). Die einmal beschnittenen Pflanzen hatten die Wachstumsdepression innerhalb von sechs Wochen vollständig ausgeglichen, indem sie kräftige Seitentriebe bildeten. Zu zwei Terminen traten in Přelouč signifikante Wechselwirkungen zwischen den Prüffaktoren Behandlung und *A. theophrasti*-Dichte auf (Werte in Tab. 4.6 kursiv). Die Hauptwirkung wird dennoch beschrieben, da sie höher ist als die Interaktionsvarianz.



Abb. 4.1 Wuchsanomalie bei *A. theophrasti* nach Applikation von Debut + Lontrel. Wesseling, 16.06. 2004

In Wesseling wurden die angestrebten Dichten von 1 - 2 bzw. 5 - 10 *A. theophrasti*-Pflanzen je m² zwar weitgehend erreicht (vgl. Tab. 4.2), die Pflanzen entwickelten sich jedoch – unabhängig von Behandlung und Dichte – nur langsam. *A. theophrasti* bildete insgesamt so wenig Blattmasse, dass diese häufig unterhalb des Wägebereichs von 0,1 g lag. Wegen des daraus resultierenden systematischen Fehlers wurden die Daten nicht ausgewertet. Das Längenwachstum setzte selbst in der unbehandelten Kontrolle

erst Mitte Juli ein. In den sonstigen Prüfgliedern kamen die Pflanzen häufig nicht über das 4-Blattstadium hinaus.

Bei geringer Dichte von *A. theophrasti* wurde immer signifikant weniger Biomasse je Flächeneinheit gebildet (vgl. Anhangstab. 20 und Anhangstab. 22), jedoch mehr Biomasse je Einzelpflanzen, wie Abb. 4.2 für Přelouč zeigt. Der Unterschied ist immer signifikant, weshalb auf eine entsprechende Markierung in der Abbildung verzichtet wurde.

Tab. 4.6 Durchschnittliche Trockenmasse [g/0,5 m²] von *A. theophrasti* in Abhängigkeit von der Behandlung, Přelouč (2003)

Datum	22.05.	10.06.	01.07.	22.07.	14.08.	04.09.	30.09.
	[g/0,5 m ²]						
Kontrolle	4,6 ^a	14,6 ^{ab}	30,1 ^{bc}	53,8 ^a	61,1 ^a	34,5 ^a	57,6 ^{ab}
Standard	3,7 ^a	16,2 ^{ab}	46,5 ^{abc}	110,0 ^a	121,9 ^a	92,0 ^a	120,3 ^a
Safari	0,5 ^a	5,7 ^b	11,7 ^c	60,3 ^a	80,1 ^a	88,0 ^a	64,6 ^{ab}
Hacke	0,7 ^a	5,3 ^b	26,1 ^{bc}	54,8 ^a	79,8 ^a	44,0 ^a	45,7 ^b
Roundup	2,2 ^a	20,7 ^a	62,5 ^a	46,0 ^a	49,3 ^a	39,8 ^a	40,8 ^b
Schnitt	2,5 ^a	22,0 ^b	61,6 ^{ab}	53,5 ^a	112,7 ^a	117,9 ^a	100,6 ^{ab}

Werte, die in einer Spalte mit demselben Buchstaben gekennzeichnet sind, sind nicht signifikant voneinander verschieden bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$.

Tab. 4.7 Durchschnittliche Trockenmasse [g/0,5 m²] von *A. theophrasti* in Abhängigkeit von der Behandlung, Svinčany (2004)

Datum	28.05.	21.06.	12.07.	04.08.	23.08.	13.09.	04.10.
	[g/0,5 m ²]						
Kontrolle	0,6	1,9	4,2	4,3	3,3	3,6	3,5
Standard	0,5 ^a	4,3 ^a	20,7 ^a	97,1 ^a	96,6 ^a	99,4 ^a	117,7 ^a
S+L gering	0,4 ^a	2,0 ^a	7,6 ^b	28,3 ^b	57,1 ^a	59,8 ^a	91,2 ^{ab}
S+L hoch	0,6 ^a	2,3 ^a	7,1 ^b	34,2 ^b	40,1 ^a	77,5 ^a	88,7 ^{ab}
Hacken + S+L gering	0,5 ^a	0,8 ^a	1,6 ^b	16,0 ^b	26,7 ^a	49,7 ^a	47,2 ^b
Hacken + Schnitt	1,3 ^a	4,3 ^a	10,8 ^b	61,1 ^{ab}	32,2 ^a	49,9 ^a	48,3 ^b

Werte, die in einer Spalte mit demselben Buchstaben gekennzeichnet sind, sind nicht signifikant voneinander verschieden bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$.

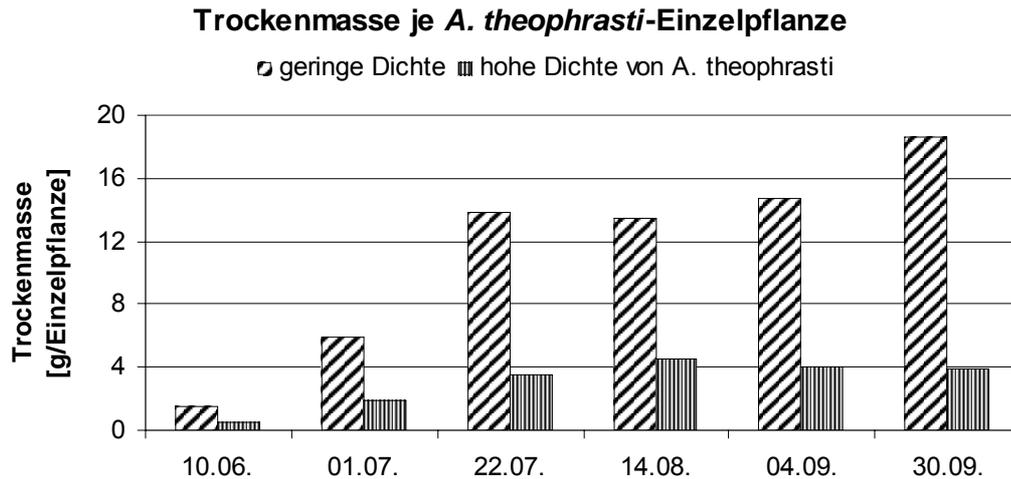


Abb. 4.2 Durchschnittliche Trockenmasse [g] je *A. theophrasti*-Einzelpflanze bei geringer und hoher Dichte von *A. theophrasti*, Přelouč (2003)

▪ Biomasse der sonstigen Unkräuter

In allen behandelten Varianten in Tschechien produzierten die sonstigen Unkräuter erheblich weniger Biomassen als in der unbehandelten Kontrolle. Beim paarweisen Mittelwertvergleich ohne Kontrolle (für Přelouč nicht abgebildet, vgl. Tab. 4.8 und 4.9), zeigen die Biomassewerte der behandelten Varianten bei Rübenernte keine signifikanten Unterschiede. In Wesseling produzierten die sonstigen Unkräuter nur in den Kontrollparzellen messbare Biomasse. Auf eine statistische Analyse wurde auch bei Ausschluss der Kontrolle verzichtet, da die Werte zu gering waren, um aussagekräftig zu sein (vgl. Anhangstab. 26). Die *A. theophrasti*-Dichte hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Biomasse der sonstigen Unkräuter (vgl. Abb. 4.3).

Tab. 4.8 Durchschnittliche Trockenmasse [g/0,5 m²] der sonstigen Unkräuter in Abhängigkeit von der Behandlung, Přelouč (2003)

Datum	22.05.	10.06.	01.07.	22.07.	14.08.	04.09.	30.09.
	[g/0,5 m ²]						
Kontrolle	7,4 ^a	72,7	143,4 ^a	165,9 ^a	160,3 ^a	145,9 ^a	142,3 ^a
Standard	0,3 ^b	k.A.	12,5 ^b	32,4 ^b	27,3 ^b	35,6 ^b	37,1 ^b
Safari	0,1 ^b	k.A.	1,2 ^b	7,7 ^b	5,5 ^b	18,3 ^b	25,7 ^b
Hacke	0,1 ^b	k.A.	8,0 ^b	8,3 ^b	21,1 ^b	24,1 ^b	25,2 ^b
Roundup	0,5 ^b	k.A.	10,7 ^b	9,5 ^b	20,7 ^b	34,4 ^b	46,7 ^b
Schnitt	0,4 ^b	k.A.	9,0 ^b	17,2 ^b	21,8 ^b	17,0 ^b	17,4 ^b

Werte, die in einer Spalte mit demselben Buchstaben gekennzeichnet sind, sind nicht signifikant voneinander verschieden bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$.

Tab. 4.9 Durchschnittliche Trockenmasse [g/0,5 m²] der sonstigen Unkräuter in Abhängigkeit von der Behandlung, Svinčany (2004)

Datum	28.05.	21.06.	12.07.	04.08.	23.08.	13.09.	04.10.
	[g/0,5 m ²]						
Kontrolle	16,4	80,9	161,0	226,7	261,8	227,7	319,0
Standard	0,4 ^{ab}	3,7 ^{ab}	12,4 ^{ab}	36,2 ^a	34,7 ^a	30,0 ^a	18,8 ^a
S+L gering	0,1 ^b	2,6 ^{ab}	7,1 ^b	34,7 ^a	14,5 ^a	27,8 ^a	24,9 ^a
S+L hoch	0,2 ^{ab}	5,4 ^a	19,2 ^a	38,8 ^a	35,1 ^a	25,3 ^a	21,5 ^a
Hacken + S+L gering	0,4 ^{ab}	0,8 ^b	2,7 ^b	13,3 ^a	16,7 ^a	10,7 ^a	11,8 ^a
Hacken + Schnitt	0,7 ^a	3,1 ^{ab}	4,8 ^b	14,5 ^a	17,6 ^a	13,1 ^a	15,3 ^a

Werte, die in einer Spalte mit demselben Buchstaben gekennzeichnet sind, sind nicht signifikant voneinander verschieden bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$.

Trockenmasse der sonstigen Unkräuter in 0,5 m₂

▨ geringe Dichte ▩ hohe Dichte von *A. theophrasti*

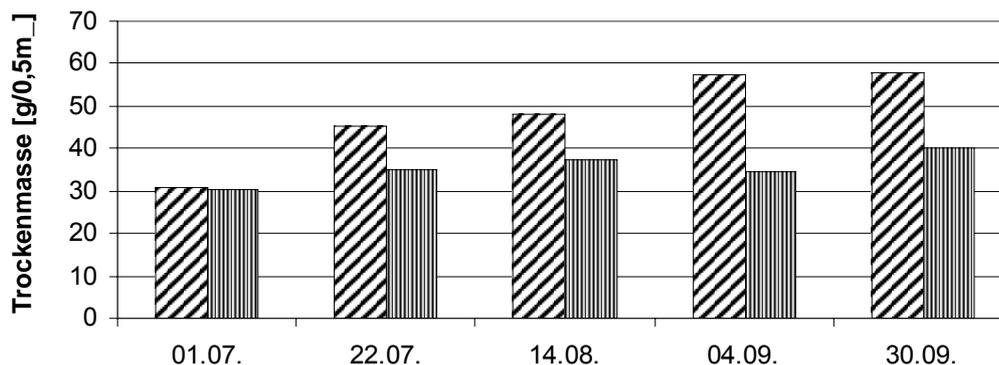


Abb. 4.3 Vergleich der Trockenmasse der sonstigen Unkräuter [g/0,5 m²] in Abhängigkeit von der *A. theophrasti*-Dichte, Přelouč (2003)

▪ Entwicklung der Zuckerrübe

Bei ausschließlicher Applikation der Standardherbizidmischung erreichten in Přelouč (2003) die Hälfte der Rüben das technologische Reifestadium (BBCH 49). In Svinčany (2004) wurden in dieser Variante keine erntefähigen Rübenkörper gebildet. Am weitesten entwickelten sich die Rüben in der Safari- und der Hackevariante (2003) bzw. der Kombination beider Varianten plus Lontrel (Hacke + SL gering 2004, vgl. Abb. 4.4). In Wesseling erreichten die Rübenpflanzen in der unbehandelten Kontrolle zumeist nur das 4- bis 8-Blattstadium. Nahezu 100 % aller anderen Rübenpflanzen bildeten erntefähige Rübenkörper.

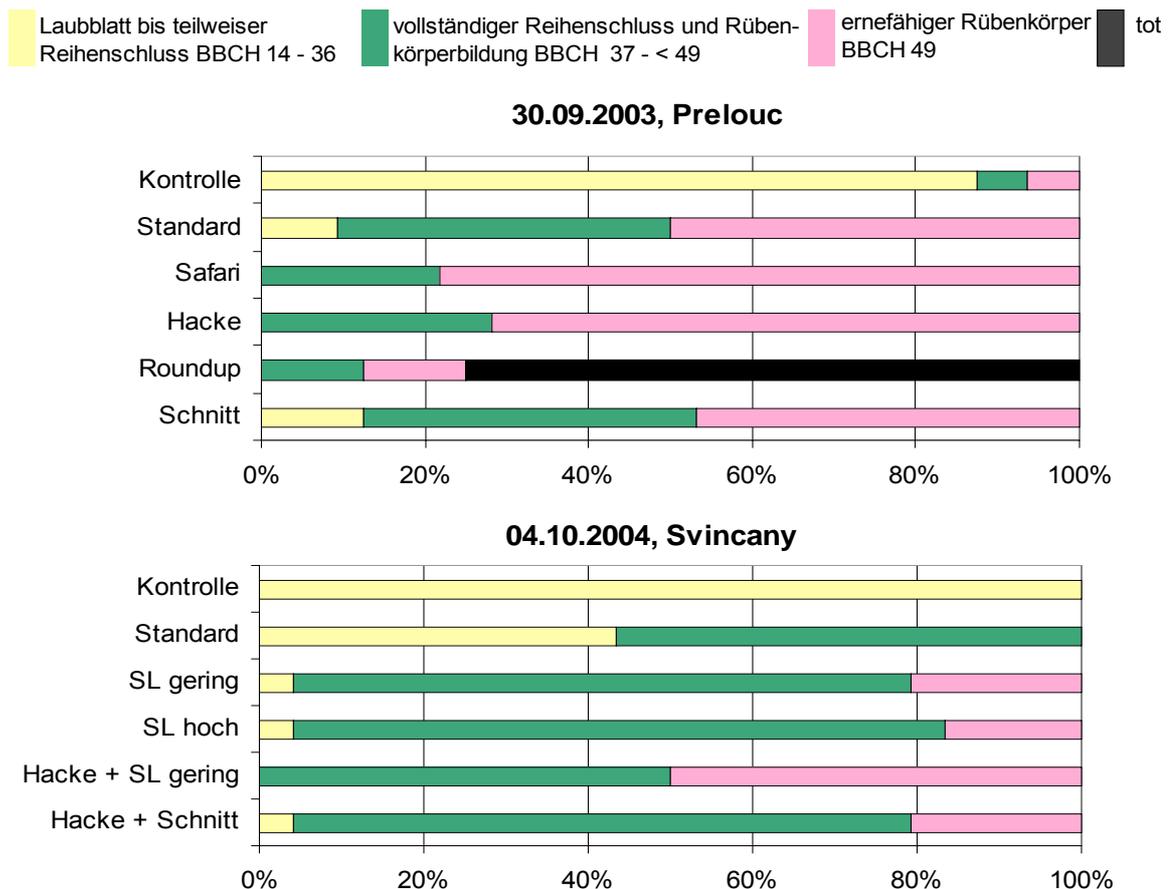


Abb. 4.4 Anteil [%] der beobachteten Zuckerrübenpflanzen im jeweiligen Entwicklungsstadium bei unterschiedlicher Behandlung zur Ernte in Praelouč (2003, oben) und Svinčany (2004, unten)

Bei geringer *A. theophrasti*-Dichte erreichten 69 % aller Rübenpflanzen die Erntereife, aber nur 20 % aller Pflanzen bei hoher *A. theophrasti*-Dichte (Praelouč 2003, vgl. Anhangstab. 27). In Wesseling hatten weder die Behandlungen noch die unterschiedliche Dichte von *A. theophrasti* oder dessen Abwesenheit (Prüfglied Ohne ABUTH) Einfluss auf die Entwicklung der Rübenpflanzen (vgl. Anhangstab. 28).

▪ Entwicklung von *A. theophrasti*

Die folgenden Balkendiagramme (Abb. 4.5, Abb. 4.6) zeigen die fortschreitende Entwicklung von *A. theophrasti* in Abhängigkeit von der Behandlung in Tschechien. Hervorzuheben ist für die etablierten Populationen der tschechischen Versuchsflächen:

- zunächst parallel, später schneller verlaufende Entwicklung in der Standardvariante im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle;
- Entwicklungsverzögerungen bei allen Safari-Varianten;

- Die nicht mit Roundup behandelten „Nachzügler“ (die zum Applikationszeitpunkt nicht über die Rüben ragten) wurden bis zur Rübenernte reif;
- hohe Regenerationsfähigkeit bei einmaligem Schnitt (Abb. 4.5);
- schnellere Entwicklung bei der höheren der beiden Varianten Safari + Lontrel;
- deutlich reduzierter Anteil reifer Pflanzen in der Variante Hacke + Schnitt im Vergleich zur Standardvariante (Abb. 4.6).

In Wesseling entwickelten sich die unbehandelten Pflanzen dagegen schneller als die Pflanzen der Standard- und der Hackvariante. In allen anderen Varianten wurde bis zur Zuckerrübenernte keine Pflanze reif (vgl. Abb. 4.7).



Abb. 4.5 Anteil [%] der beobachteten *A. theophrasti*-Einzelpflanzen im jeweiligen Entwicklungsstadium bei unterschiedlicher Behandlung an sechs Terminen, Přelouč (2003)

Bei Prüfling Roundup am 04.09. und 30.09. nur überlebende Pflanzen.

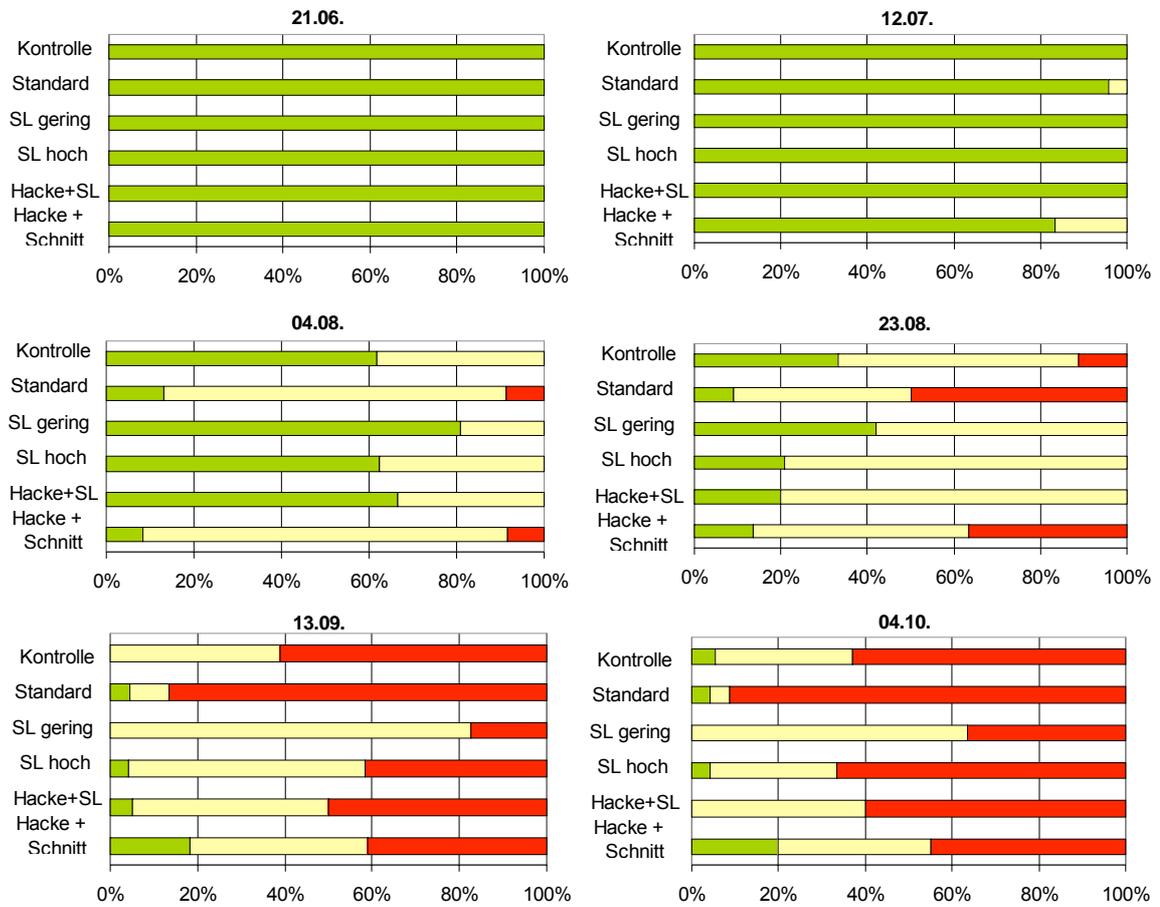
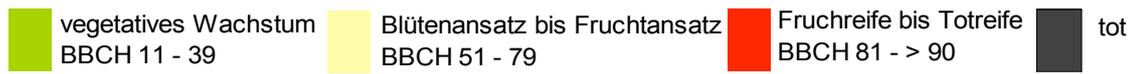


Abb. 4.6 Anteil [%] der beobachteten *A. theophrasti*-Einzelpflanzen im jeweiligen Entwicklungsstadium bei unterschiedlicher Behandlung an sechs Terminen, Svinčany (2004)

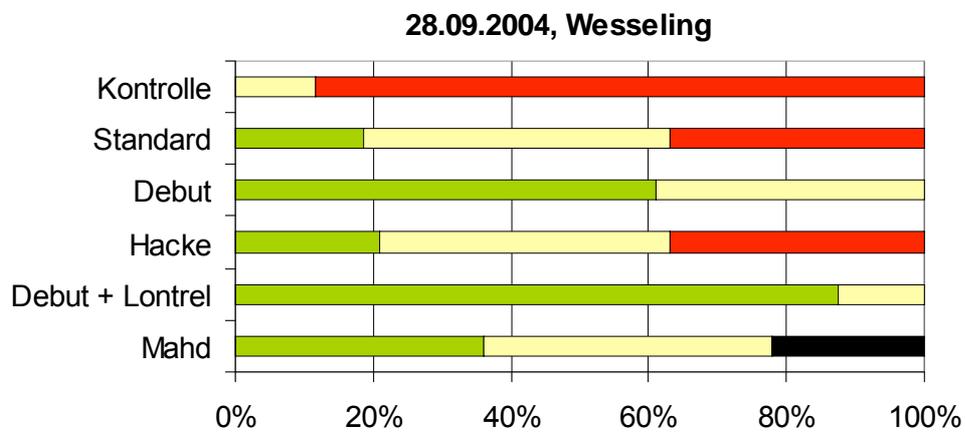


Abb. 4.7 Anteil [%] der beobachteten *A. theophrasti*-Einzelpflanzen im jeweiligen Entwicklungsstadium bei unterschiedlicher Behandlung am 28.09., Wesseling (2004)

Wie Abb. 4.8 für Přelouč 2003 zeigt, hatte die *A. theophrasti*-Dichte keinen Einfluss auf die Entwicklung der Pflanzen. Gleiches wurde in Wesseling 2004 beobachtet (Daten nicht gezeigt).

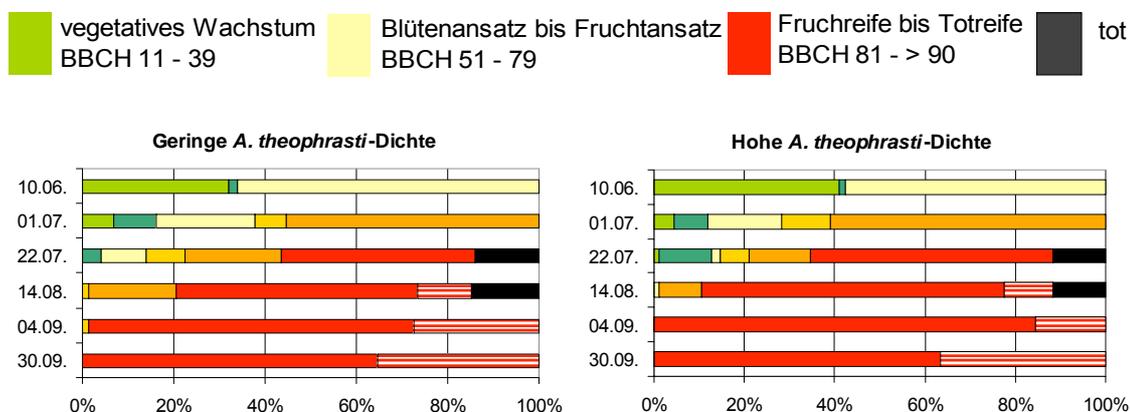


Abb. 4.8 Anteil [%] der beobachteten *A. theophrasti*-Einzelpflanzen im jeweiligen Entwicklungsstadium bei unterschiedlicher *A. theophrasti*-Dichte, Přelouč (2003)
Am 04.09. und 30.09. nur überlebende Pflanzen der Roundup-Behandlung gezählt.

▪ Wuchshöhe von *A. theophrasti*

Die Pflanzen der unbehandelten Kontrolle und der Schnittvarianten waren in Tschechien signifikant kleiner als die Pflanzen der Standardvariante. Im ersten Jahr blieben auch die Pflanzen der Safari-Variante kleiner (vgl. Tab. 4.10 und Tab. 4.11). In Wesseling dagegen erreichten die unbehandelten Pflanzen die größte Wuchshöhe. Die mit Debut und Debut + Lontrel behandelten Pflanzen blieben wiederum deutlich kleiner als die Pflanzen der anderen Behandlungen (vgl. Anhangstab. 30).

Tab. 4.10 Durchschnittliche Wuchshöhe [cm] von *A. theophrasti* in Abhängigkeit von der Behandlung, Přelouč (2003)

Datum	22.05.	10.06.	01.07.	22.07.	14.08.	04.09.	30.09.
	[cm]						
Kontrolle	3,9 ^a	34,7 ^a	56,5 ^a	78,7 ^b	85,4 ^b	90,7 ^b	91,1 ^b
Standard	3,4 ^a	27,8 ^a	61,7 ^a	99,7 ^a	109,3 ^a	118,8 ^a	119,8 ^a
Safari	2,2 ^b	10,0 ^b	23,4 ^b	52,6 ^c	66,8 ^c	79,8 ^b	84,5 ^b
Hacke	k.A.	29,3 ^a	57,6 ^a	93,9 ^a	109,0 ^a	127,0 ^a	129,0 ^a
Roundup	k.A.	k.A.	55,7	54,7	60,5	66,4	89,0
Schnitt	k.A.	k.A.	53,8 ^a	52,7 ^c	70,8 ^{bc}	89,9 ^b	90,8 ^b

Werte, die in einer Spalte mit demselben Buchstaben gekennzeichnet sind, sind nicht signifikant voneinander verschieden bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$. Gilt nicht für Prüfglied Roundup.

Tab. 4.11 Durchschnittliche Wuchshöhe [cm] von *A. theophrasti* in Abhängigkeit von der Behandlung, Svinčany (2004)

Datum	02.06.	21.06.	12.07.	04.08.	23.08.	13.09.	04.10.
	[cm]						
Kontrolle	4,0 ^a	17,7 ^a	26,1 ^a	38,7 ^b	34,9 ^b	39,0 ^b	42,6 ^b
Standard	4,0 ^a	11,7 ^b	26,6 ^a	60,9 ^a	70,9 ^a	79,2 ^a	81,6 ^a
S+L gering	2,5 ^b	4,7 ^b	11,0 ^b	33,5 ^b	45,9 ^{ab}	56,2 ^{ab}	57,6 ^{ab}
S+L hoch	3,3 ^{ab}	6,3 ^b	14,5 ^b	36,9 ^b	53,1 ^{ab}	63,8 ^{ab}	65,6 ^{ab}
Hacken + S+L gering	3,1 ^{ab}	4,2 ^b	10,1 ^b	36,7 ^b	57,3 ^{ab}	75,7 ^a	78,4 ^{ab}
Hacken + Schnitt	3,7 ^a	10,8 ^b	26,7 ^a	67,3 ^a	50,9 ^{ab}	44,0 ^b	44,2 ^b

Werte, die in einer Spalte mit demselben Buchstaben gekennzeichnet sind, sind nicht signifikant voneinander verschieden bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$.

Abb. 4.9 und Abb. 4.10 zeigen, dass die bei Rübenernte durchschnittlich erreichte Wuchshöhe in den unterschiedlichen *A. theophrasti*-Dichtegruppen, im Gegensatz zur Biomasse (vgl. Abb. 4.2), keinem eindeutigen Trend folgt.

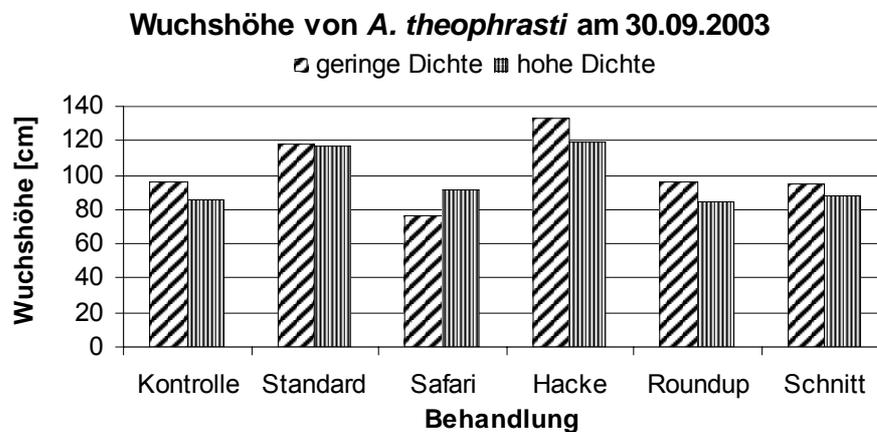


Abb. 4.9 Durchschnittliche Wuchshöhe [cm] von *A. theophrasti* am 30.09. bei geringer bzw. hoher Dichte in Abhängigkeit von der Behandlung, Přelouč (2003)

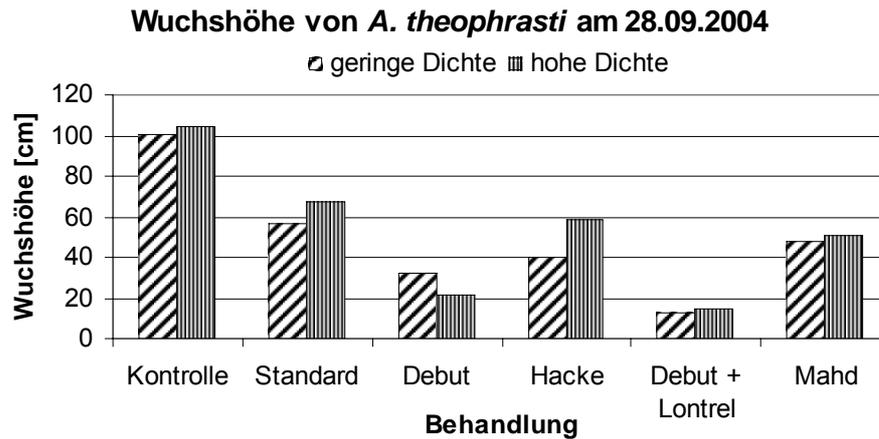


Abb. 4.10 Durchschnittliche Wuchshöhe [cm] von *A. theophrasti* am 28.09. bei geringer bzw. hoher Dichte in Abhängigkeit von der Behandlung, Wesseling (2004)

4.3 Konkurrenz von *A. theophrasti* und sonstigen Unkräutern in Zuckerrüben

Um die Konkurrenz von *A. theophrasti* und den sonstigen Unkräutern auf die Zuckerrüben in Abhängigkeit von der Bekämpfungsvariante und der unterschiedlichen *A. theophrasti* Dichte zu quantifizieren, wurden die Rübenblattmasse, die Rübenkörperfrischmasse und die Rübeninhaltsstoffe untersucht.

Bei der Behandlung von *A. theophrasti* mit einer 30%igen Lösung von Roundup Ultra mit einem Dochtstreichgerät (vgl. 3.1.2) tropfte trotz sachgemäßer Durchführung Roundup Ultra auf die Rübenblätter. Die Rübenpflanzen zeigten nach etwa einer Woche massive, irreversible Schädigungen. Das Prüfglied wurde daher nur im Bezug auf seine Wirkung auf *A. theophrasti* und die sonstigen Unkräuter ausgewertet, nicht jedoch für die Wirkung auf die Zuckerrüben. Der Vollständigkeit halber sind die Ergebnisse auch für die Rüben – kursiv – dargestellt.

▪ Rübenblattmasse

In der unbehandelten Kontrolle wurde erwartungsgemäß deutlich weniger Rübenblattmasse gebildet als in den behandelten Varianten. Innerhalb der behandelten Varianten bildete die Zuckerrübe in der Standardvariante am wenigsten Blattmasse. Signifikant ist der Unterschied nur in Svinčany; ein dahingehender Trend zeigt sich jedoch auch in Přelouč und in Wesseling (vgl. Tab. 4.12, Tab. 4.13 und Tab. 4.14).

Tab. 4.12 Durchschnittliche Rübenblatttrockenmasse [g/0,5 m²] in Abhängigkeit von der Behandlung, Přelouč (2003)

Datum	22.05.	10.06.	01.07.	22.07.	14.08.	04.09.	30.09.
	[g/0,5 m ²]						
Kontrolle	7,4 ^a	18,9 ^a	34,4 ^a	40,8 ^a	26,3 ^a	41,9 ^a	34,9 ^a
Standard	6,8 ^a	53,3 ^b	75,8 ^b	90,9 ^b	97,6 ^b	108,6 ^b	70,8 ^{ab}
Safari	5,0 ^a	43,4 ^{ab}	85,4 ^b	94,2 ^b	81,6 ^b	117,1 ^b	89,7 ^b
Hacke	5,7 ^a	42,8 ^{ab}	76,9 ^b	124,0 ^b	126,6 ^b	137,0 ^b	90,6 ^b
Roundup	5,7	37,0	76,3	93,6	46,8	52,0	53,9
Schnitt	5,9 ^a	31,0 ^{ab}	65,5 ^{ab}	86,9 ^b	89,9 ^b	119,5 ^b	92,7 ^b

Werte, die in einer Spalte mit demselben Buchstaben gekennzeichnet sind, sind nicht signifikant voneinander verschieden bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$.

Tab. 4.13 Durchschnittliche Rübenblatttrockenmasse [g/0,5 m²] in Abhängigkeit von der Behandlung, Svinčany (2004)

Datum	28.05.	21.06.	12.07.	04.08.	23.08.	13.09.	04.10.
	[g/0,5 m ²]						
Kontrolle	0,5 ^a	5,1 ^a	2,6 ^c	1,0 ^b	0,6 ^c	1,1 ^c	0,6 ^d
Standard	0,9 ^a	16,8 ^a	32,4 ^b	31,8 ^a	47,0 ^{ab}	54,1 ^b	29,9 ^c
S+L gering	0,8 ^a	16,5 ^a	66,3 ^a	62,5 ^a	83,7 ^{ab}	79,1 ^{ab}	66,2 ^{ab}
S+L hoch	1,1 ^a	14,7 ^a	39,5 ^b	59,0 ^a	54,7 ^{ab}	95,3 ^a	60,9 ^b
Hacken + S+L gering	0,7 ^a	8,8 ^a	45,7 ^{ab}	73,2 ^a	100,8 ^a	98,7 ^a	90,3 ^a
Hacken + Schnitt	0,7 ^a	9,5 ^a	32,9 ^b	38,7 ^a	56,3 ^{ab}	55,0 ^b	54,2 ^b

Werte, die in einer Spalte mit demselben Buchstaben gekennzeichnet sind, sind nicht signifikant voneinander verschieden bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$.

Tab. 4.14 Durchschnittliche Rübenblatttrockenmasse [g/0,5 m²] in Abhängigkeit von der Behandlung, Wesseling (2004)

Datum	13.05.	14.06.	13.07.	09.08.	07.09.	08.10.
	[g/0,5 m ²]					
Kontrolle	2,3 ^b	88,7 ^a	88,8 ^a	63,4 ^a	57,3 ^a	101,8 ^a
Standard	1,2 ^a	99,0 ^a	219,0 ^b	186,7 ^b	200,0 ^b	199,0 ^b
Debut	1,4 ^a	91,6 ^a	203,6 ^b	197,0 ^b	168,6 ^b	233,2 ^b
Hacke	1,2 ^a	103,2 ^a	228,3 ^b	184,0 ^b	216,7 ^b	208,3 ^b
Debut + Lontrel	1,4 ^a	91,8 ^a	231,6 ^b	200,5 ^b	178,4 ^b	217,5 ^b
Mahd	1,1	116,9	219,3	220,2	209,0	188,0
Ohne ABUTH	1,1	110,46	216,6	200,6	196,2	213,3

Werte, die in einer Spalte mit demselben Buchstaben gekennzeichnet sind, sind nicht signifikant voneinander verschieden bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$. Gilt nicht für Prüfglieder Mahd und Ohne ABUTH.

Bei geringer *A. theophrasti*-Dichte bildeten die Rüben in Přelouč meist signifikant mehr Blattmasse (Abb. 4.11). In Wesseling hatte die (insgesamt sehr niedrige) *A. theophrasti*-Dichte keinen Einfluss auf die Rübenblattmasse (Anhangstab. 19).

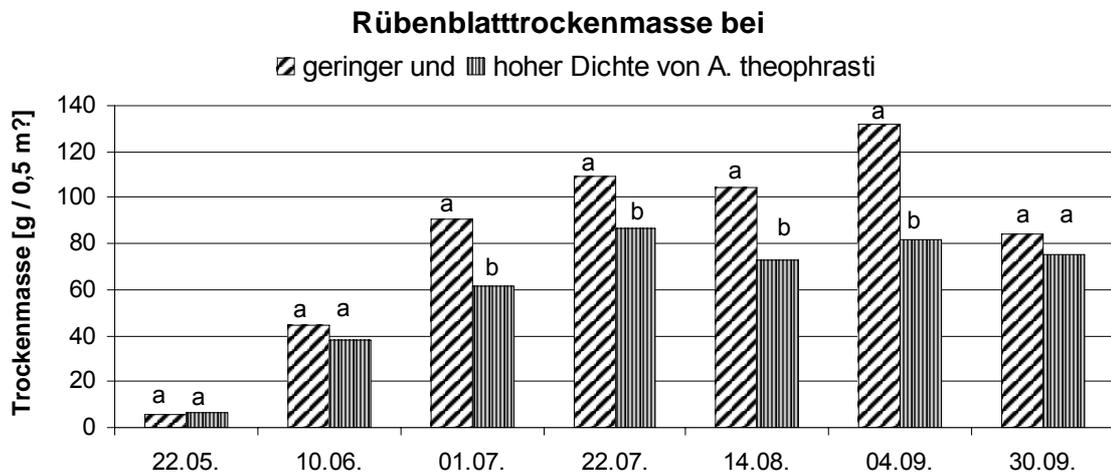


Abb. 4.11 Vergleich der Rübentrockenmasse [g/0,5 m²] in Abhängigkeit von der *A. theophrasti*-Dichte, ohne Prüfglied Roundup, Přelouč (2003).

Säulen, die für ein Datum mit demselben Buchstaben gekennzeichnet sind, zeigen nicht signifikant voneinander verschiedene Werte bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$.

▪ Rübenkörperfrischmasse

Die Rübenkörper entwickelten sich in der unbehandelten Kontrolle wesentlich schlechter als in den behandelten Prüfgliedern. Dokumentiert wird für Svinčany in daher der paarweise Mittelwertvergleich nur für die behandelten Varianten.

Bis auf die Variante mit einmaligem Schnitt aller über die Rüben ragenden Pflanzenteile war der Rübenertrag in allen tschechischen Varianten signifikant höher als in der Standardvariante (vgl. Tab. 4.15 und Tab. 4.16). In Wesseling zeigten sich zwischen den behandelten Varianten keine Unterschiede in der Rübenkörperfrischmasse (vgl. Anhangstab. 28).

Bei hoher Dichte von *A. theophrasti* muss mit einem deutlichen Ertragsrückgang gerechnet werden. Das zeigte der Versuch in Přelouč. Der Unterschied zwischen den Dichtestufen war zu jedem Probenstermin signifikant, weshalb auf einen diesbezüglichen Vermerk an den Säulen in Abb. 4.12 verzichtet wurde. Der Mehrertrag bei geringer Dichte schwankte zwischen dem 1,4 fachen und 1,8 fachen. In Wesseling dagegen hatte weder die unterschiedliche Dichte noch die Konkurrenz durch *A. theophrasti* überhaupt (Variante Ohne ABUTH) Einfluss auf die Entwicklung der Rübenkörper.

Tab. 4.15 Rübenkörperfrischmasse [kg/1 m Rübenreihe] im Verlauf der Rübenkörperbildung bzw. [kg/8 m Rübenreihe] und [t/ha] bei Ernte in Abhängigkeit von der Behandlung, Přelouč (2003)

Datum	22.07.	14.08.	04.09.	30.09.	30.09.	
	kg/1 m Reihe				kg/8 m Reihe	t/ha
Kontrolle	0,3 ^a	0,2 ^a	0,5 ^a	0,8 ^a	4,7 ^a	11,7 ^a
Standard	0,7 ^{ab}	1,2 ^b	1,6 ^b	2,0 ^b	14,0 ^b	34,9 ^b
Safari	0,8 ^{ab}	1,1 ^b	1,3 ^{ab}	2,5 ^b	18,9 ^c	47,2 ^c
Hacke	1,2 ^b	1,5 ^b	2,1 ^b	2,9 ^b	19,6 ^c	48,9 ^c
Roundup	0,8	0,6	0,9	1,3	7,4	18,5
Schnitt	0,8 ^b	1,0 ^b	1,7 ^b	2,0 ^b	14,5 ^b	36,1 ^b

Werte, die in einer Spalte mit demselben Buchstaben gekennzeichnet sind, sind nicht signifikant voneinander verschieden bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$. Gilt nicht für Prüfglied Roundup.

Tab. 4.16 Rübenkörperfrischmasse [kg/1 m Rübenreihe] im Verlauf der Rübenkörperbildung bzw. [kg/8 m Rübenreihe] und [t/ha] bei Ernte in Abhängigkeit von der Behandlung, Svinčany (2004)

Datum	12.07.	04.08.	23.08.	13.09.	04.10.	04.10.	
	kg/1 m Reihe					kg/8 m Reihe	t/ha
Kontrolle	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,1
Standard	0,2 ^{ab}	0,2 ^a	0,5 ^a	0,6 ^a	0,5 ^a	4,2 ^a	11,8 ^a
S+L gering	0,5 ^b	0,6 ^a	0,9 ^a	1,1 ^{ab}	1,2 ^b	11,1 ^b	30,7 ^b
S+L hoch	0,3 ^{ab}	0,4 ^a	0,6 ^a	1,3 ^b	1,4 ^b	11,2 ^b	31,2 ^b
Hacken S+L gering	+ 0,3 ^{ab}	0,7 ^a	1,2 ^a	1,4 ^b	1,7 ^b	13,8 ^b	38,3 ^b
Hacken Schnitt	+ 0,2 ^a	0,2 ^a	0,7 ^a	0,9 ^{ab}	1,3 ^b	9,9 ^b	27,5 ^b

Werte, die in einer Spalte mit demselben Buchstaben gekennzeichnet sind, sind nicht signifikant voneinander verschieden bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$.

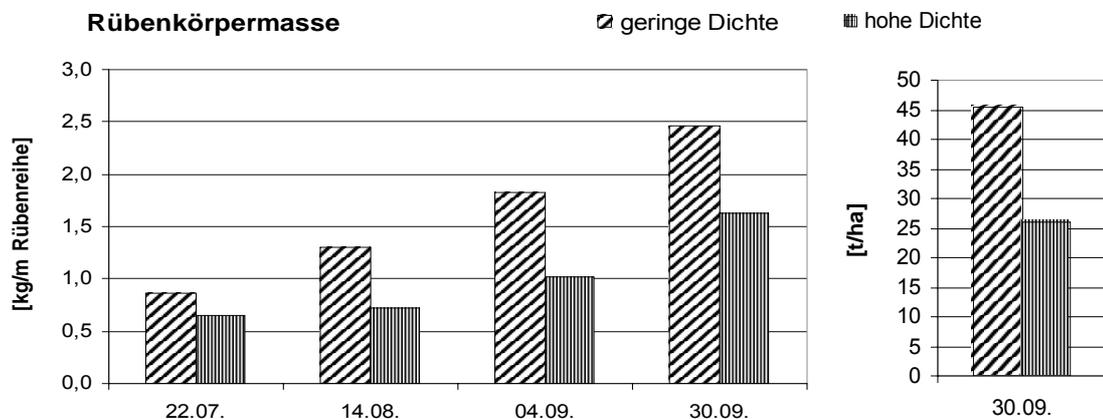


Abb. 4.12 Rübenkörpermasse aus 1 m Rübenreihe [kg/m] (links) und [t/ha] (rechts) in Abhängigkeit von der *A. theophrasti*-Dichte, Přelouč (2003)

▪ Rübeninhaltsstoffe

In Wesseling wurden zur Ernte der Zucker-, Kalium-, Natrium- und Stickstoffgehalt der Rübenkörper bestimmt. Weder die unterschiedlichen Behandlungen noch die unterschiedliche Dichte von *A. theophrasti* hatten einen signifikanten Einfluss auf einen der erhobenen Parameter (vgl. Tab. 4.17 und Tab. 4.18). Die insgesamt geringe Dichte von *A. theophrasti* nach der künstlichen Etablierung auf der Versuchsfläche in Wesseling (vgl. Anhangstab. 24) führte weder zu Verlusten beim Rüben- noch beim Zuckerertrag. Von einem kräftigen Rübenbestand können 0 - 6 *A. theophrasti*-Pflanzen je m² offensichtlich ohne Ertragsverluste toleriert werden.

Tab. 4.17 Zucker-, Kalium-, Natrium- und Stickstoffgehalt [% von Trockenmasse] in den Rüben bei Ernte am 08.10. in Abhängigkeit von der Behandlung, Wesseling (2004)

	Zucker [%]	K [%]	Na [%]	N [%]
Kontrolle	17,6	2,9	0,5	0,6
Standard	17,8	3,2	0,5	0,8
Debut	18,1	3,1	0,5	0,8
Hacke	17,8	3,1	0,5	0,8
Debut + Lontrel	17,9	3,1	0,5	0,8
Mahd	17,9	3,0	0,5	0,7
Ohne ABUTH	15,1	3,1	0,5	0,8

Tab. 4.18 Zucker-, Kalium-, Natrium- und Stickstoffgehalt [% von Trockenmasse] in den Rüben bei Ernte am 08.10. in Abhängigkeit von der *A. theophrasti*-Dichte, Wesseling (2004)

	Zucker [%]	K [%]	Na [%]	N [%]
Geringe <i>A. theophrasti</i> -Dichte	17,9	3,1	0,5	0,8
Hohe <i>A. theophrasti</i> -Dichte	17,8	3,1	0,5	0,8

4.4 Konkurrenz zwischen den drei Pflanzengruppen Zuckerrübe, *A. theophrasti* und sonstigen Unkräutern

Die Wachstumsfaktoren Wasser, Nährstoffe und Licht werden unter den Pflanzen entsprechend ihrer Konkurrenzkraft aufgeteilt. Ein anschaulicher Parameter für die Konkurrenzkraft einer Art ist daher die gebildete Biomasse. Jede Beeinflussung des Kon-

kurrenzverhältnisses zwischen verschiedenen Pflanzengruppen, wie hier durch Behandlungsmaßnahmen und veränderte Individuendichte, spiegelt sich im Verhältnis der gebildeten Biomasse wieder. Das heißt, wenn eine Pflanzengruppe zurückgedrängt wird, erhöht sich der Anteil einer oder der beiden anderen Gruppe(n) an der insgesamt gebildeten Biomasse.

Wurde in die Beziehung der drei Pflanzengruppen nicht eingegriffen (**unbehandelte Kontrolle**), waren die sonstigen Unkräuter die klar konkurrenzstärkste Gruppe. Höhere *A. theophrasti*-Dichte hatte keinen Einfluss auf die Zuckerrübe. Bei Applikation der **Standard**herbizidmischung wurden die sonstigen Unkräuter gut bekämpft. Ihr Anteil an der insgesamt gebildeten Biomasse war im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle stark vermindert. Die beiden anderen Pflanzengruppen profitierten vom Rückgang der Konkurrenten. Bei hoher *A. theophrasti*-Dichte konnte sich *A. theophrasti* gegen die Zuckerrüben durchsetzen. **Safari** bzw. **Safari + Lontrel** reduzierten die Konkurrenz von *A. theophrasti* auf die Zuckerrüben über mehrere Wochen. Wurde nur Safari zusätzlich zur Standardherbizidmischung appliziert (Přelouč, vgl. Abb. 4.13), konnte *A. theophrasti* den Entwicklungsrückstand innerhalb kurzer Zeit fast vollständig aufholen. Erfolgte außerdem die Applikation von Lontrel, konnte *A. theophrasti* den Entwicklungsrückstand nur teilweise aufholen (Svinčany, vgl. Abb. 4.14). **Hacken**, besonders in Kombination mit Safari + Lontrel, führte zu einer nachhaltigen Konkurrenzentlastung der Zuckerrübe.

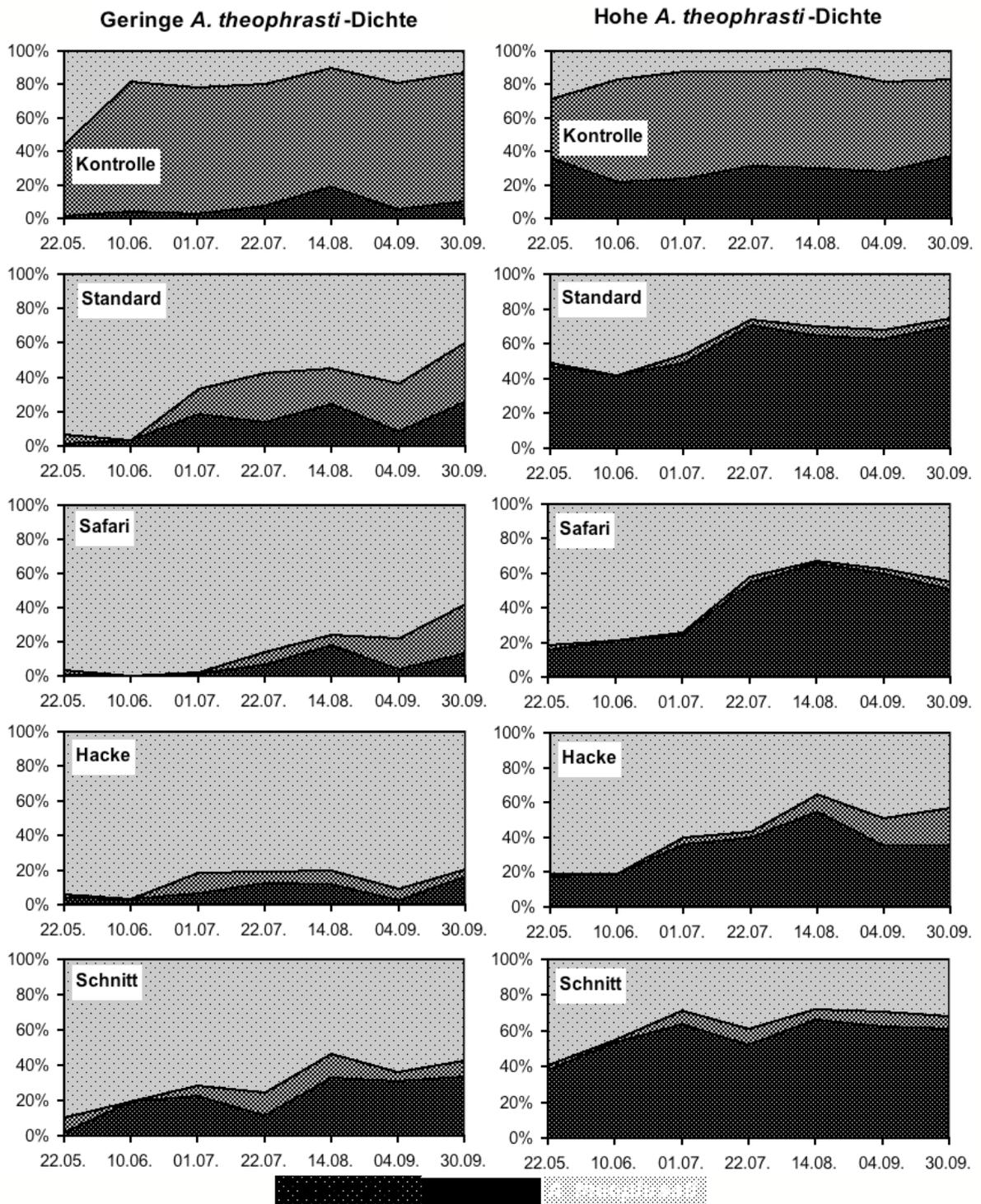


Abb. 4.13 Anteilig produzierte Trockenmasse von Zuckerrübe, *A. theophrasti* und sonstigen Unkräutern [g/0,5 m²] bei geringer bzw. hoher Dichte von *A. theophrasti*, Přelouč (2003)

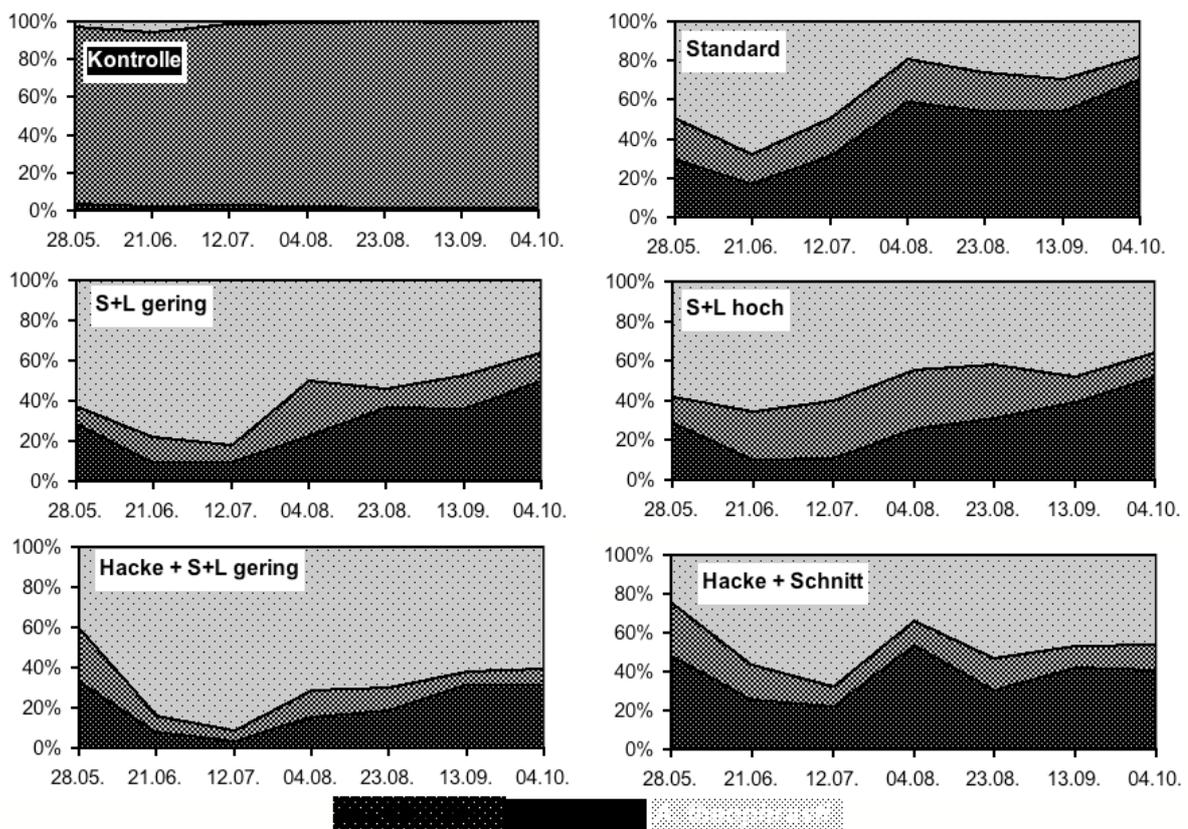


Abb. 4.14 Anteilig produzierte Trockenmasse von Zuckerrübe, *A. theophrasti* und sonstigen Unkräutern [g/0,5 m²], Svinčany (2004)

4.5 Populationsdynamik von *A. theophrasti* in Zuckerrüben

Als Parameter für die Populationsdynamik von *A. theophrasti* im Hinblick auf die langfristige Verseuchung einer Ackerfläche wurde die Anzahl der gebildeten Kapseln bis zur Rübenernte festgestellt. Dabei wurde jeweils der Einfluss der Behandlungsvarianten sowie der Einfluss der unterschiedlichen *A. theophrasti*-Dichten untersucht. Neben den absoluten Werten sind die ermittelten Daten für „Kapseln je Pflanze“ in den Tabellen unten auch in relativen Werten angegeben, wobei die Anzahl Kapseln je Pflanze aus den Parzellen der Standardvariante gleich 100 % gesetzt wurde. Diese Umrechnung ermöglicht einen direkten Vergleich der Behandlungswirkungen auf die Kapselproduktion.

In Wesseling wurden in der unbehandelten Variante signifikant am meisten Kapseln gebildet, gefolgt von der Standardvariante und der Hackevariante. Bei Applikation von Debut und Debut + Lontrel erfolgte keine Kapselbildung (vgl. Tab. 4.21).

Für die etablierten Populationen in Tschechien wurde das Folgende beobachtet (vgl. Tab. 4.19 und Tab. 4.20):

- In beiden Versuchsjahren wurden in den Parzellen am meisten Kapseln je m² gebildet, die nur mit der Standardherbizidmischung behandelt worden waren.
- Hacken als einzige zusätzliche Maßnahmen zur Standardherbizidmaßnahme förderte die Kapselbildung der Einzelpflanzen.
- Von allen zusätzlich zur Standardherbizidapplikation durchgeführten Maßnahmen wurde die Kapselzahl nur von der geringeren Dosierung von Safari + Lontrel sowie der Kombination von Hacke + Schnitt signifikant reduziert.
- Alle mit Roundup Ultra behandelten Pflanzen starben ab. Die Pflanzen, die von der Behandlung nicht getroffen worden waren („Nachzügler“), bildeten etwa halb so viele Kapseln wie die Pflanzen der Standardparzellen.

Für eine Abschätzung der Folgeverunkrautung interessiert die Anzahl der ***A. theophrasti*-Samen je m²**. Die Anzahl Samen je m² ist hoch korreliert mit der Anzahl der Kapseln je m² (vgl. Kapitel 2.6.3) und wurde daher nicht gesondert erfasst. Die Lebensfähigkeit der Samen liegt nach KREMER und SPENCER (1989) bei 87,5 - 95,5 %, nach BALOCH et al. (2001) bei 99 % und wurde in der vorliegenden Arbeit ebenfalls nicht untersucht.

Die Anzahl reifer Kapseln je Pflanze war bei geringer Dichte von *A. theophrasti* in Přelouč signifikant höher als bei hoher *A. theophrasti*-Dichte (vgl. Anhangstab. 31). Je m² wurden jedoch in den Parzellen mit hoher *A. theophrasti*-Dichte mehr Kapseln gebildet (vgl. Anhangstab. 32.) In Wesseling zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Dichtestufen von *A. theophrasti* (vgl. Anhangstab. 33).

Tab. 4.19 Kapseln je Pflanze und je m², Přelouč (2003)

	Durchschnittliche Anzahl Kapseln je Pflanze	Kapseln je Pflanze prozentual	Durchschnittliche Anzahl reifer Pflanzen je m ² am 30.09.	Durchschnittliche Anzahl Kapseln je m ² (errechnet)
Kontrolle	15,3 ^a	40 %	55,5	851
Standard	37,9 ^{ab}	100 %	44,8	1699
Safari	16,2 ^a	43 %	16,3	264
Hacke	52,7 ^b	139 %	19,5	1028
Roundup	18,2 ^a	48 %	37,0	672
Schnitt	16,9 ^a	45 %	57,6	974

Werte, die in einer Spalte mit demselben Buchstaben gekennzeichnet sind, sind nicht signifikant voneinander verschieden bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$.

Tab. 4.20 Kapseln, je Pflanze und je m², Svinčany (2004)

	Durchschnittliche Anzahl Kapseln je Pflanze	Kapseln je Pflanze prozentual	Durchschnittliche Anzahl reifer Pflanzen je m ² am 04.10.	Durchschnittliche Anzahl Kapseln je m ² (errechnet)
Kontrolle	0,5 ^a	4 %	6,3	3
Standard	12,8 ^c	100 %	36,8	472
SL gering	2,6 ^{ab}	20 %	9,2	24
SL hoch	6,2 ^{bc}	48 %	25,8	160
Hacke + SL gering	9,7 ^c	75 %	6,0	58
Hacke + Schnitt	2,1 ^{ab}	16 %	5,9	12

Werte, die in einer Spalte mit demselben Buchstaben gekennzeichnet sind, sind nicht signifikant voneinander verschieden bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$.

Tab. 4.21 Kapseln je Pflanze und je m², Wesseling (2004)

	Durchschnittliche Anzahl Kapseln je Pflanze	Kapseln je Pflanze prozentual	Durchschnittliche Anzahl reifer Pflanzen je m ² am 28.09.	Durchschnittliche Anzahl Kapseln je m ² (errechnet)
Kontrolle	6,1 ^a	170 %	4,4	26,9
Standard	3,6 ^b	100 %	0,6	2,6
Debut	0,0 ^c	0 %	0,0	0,0
Hacke	1,9 ^c	53 %	0,4	0,8
Debut + Lontrel	0,0 ^c	0 %	0,0	0,0
Mahd	0,0	0 %	0,0	0,0

Werte, die in einer Spalte mit demselben Buchstaben gekennzeichnet sind, sind nicht signifikant voneinander verschieden bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$. Gilt nicht für Prüfglied Mahd.

4.6 Diversität von *A. theophrasti*

Der zweite Teil der vorliegenden Arbeit befasst sich mit der phänotypischen und genetischen Diversität zwischen und innerhalb Populationen von *A. theophrasti*. Die Quantifizierung der Diversität lässt Rückschlüsse auf das Invasionspotenzial und die Abstammung einer Art zu (vgl. Kapitel 2.7).

Im den folgenden Grafiken sind die Proben aus einer Herkunftsregion jeweils in derselben Farbe beschriftet. Einen Überblick über die Farbcodes gibt Tab. 4.22.

Tab. 4.22 Farbcode für Herkunftsregionen

Herkunftsregion	Farbe	Herkunftsregion	Farbe
China und Korea	Rot	Westtschechien (Böhmen)	Hellgrün
Ungarn	Orange	Osttschechien (Mähren)	Dunkelgrün
USA	Gelb	Westdeutschland	Hellblau
		Ostdeutschland	Dunkelblau

4.6.1 Diversität zwischen Populationen

Im Jahr 2003 gingen nach Ausschluss der hoch korrelierenden Variablen die folgenden Parameter in die Analyse der phänotypische Ähnlichkeit der Populationen ein: Mittelwert der Wuchshöhe über alle Termine (7), Mittelwert der TNS über alle Termine, Anzahl der Kapseln je Pflanze, Anzahl der Samen je Kapsel und Tausendkornmasse. Es wurde ein Ähnlichkeitskorrelationskoeffizient von $\geq 0,96$ gefunden. Das heißt, der Mittelwert aller Einzelpflanzen einer Population wich in der Summe der berücksichtigten Parameter nur um höchstens 4 % vom Mittelwert der Proben einer anderen Population ab (vgl. Abb. 4.15). Es zeigte sich keine größere phänotypische Ähnlichkeit innerhalb einer Herkunftsregion als zwischen den Regionen. In der Hauptkoordinatenanalyse (Abb. 4.16) werden von den ersten beiden Faktoren bereits annähernd 100 % der Variation der Ähnlichkeitswerte erklärt. Die Populationen aus einer Herkunftsregion sind nur über wenige Quadranten verteilt. Das heißt, es ist eine Häufung der Populationen aus einer Herkunftsregion zu erkennen. Vor allem die Populationen aus China und Korea ließen sich relativ eindeutig separieren. Es kann angenommen werden, dass diese Herkünfte züchterisch behandelt worden sind. Zuchtziele werden, da *A. theophrasti* als Faserpflanze verwendet wird, wahrscheinlich große Wuchshöhe und später Eintritt in die generative Phase gewesen sein. Die Pflanzen aus China und Korea erreichten eine durchschnittliche Endhöhe, die etwa 20 % über dem Gesamtmittel lag. Die ersten Kapseln reiften im Schnitt zwei Wochen später als das Gesamtmittel.

Weder die ostdeutschen noch die westdeutschen Populationen ließen sich einer ausländischen Herkunftsregion zuordnen. Es deutet sich jedoch eine höhere Verwandtschaftswahrscheinlichkeit einiger ost- und westdeutschen Proben mit den tschechischen als mit den sonstigen Proben an. Auch die Ähnlichkeit der ost- **mit** den westdeutschen Proben ist nur andeutungsweise zu erkennen.

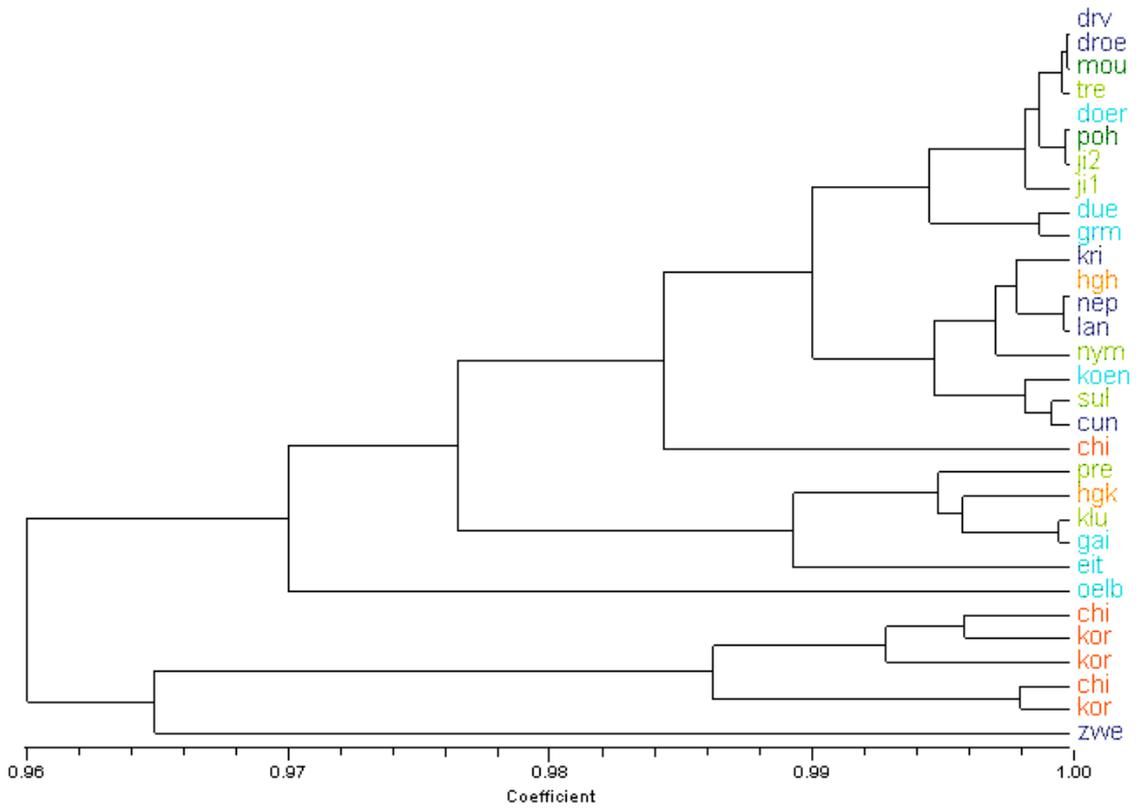


Abb. 4.15 Dendrogramm der Ähnlichkeitsbeziehungen zwischen den Populationen des Anzuchtjahres 2003. Berechnet aus den phänotypischen Parametern.

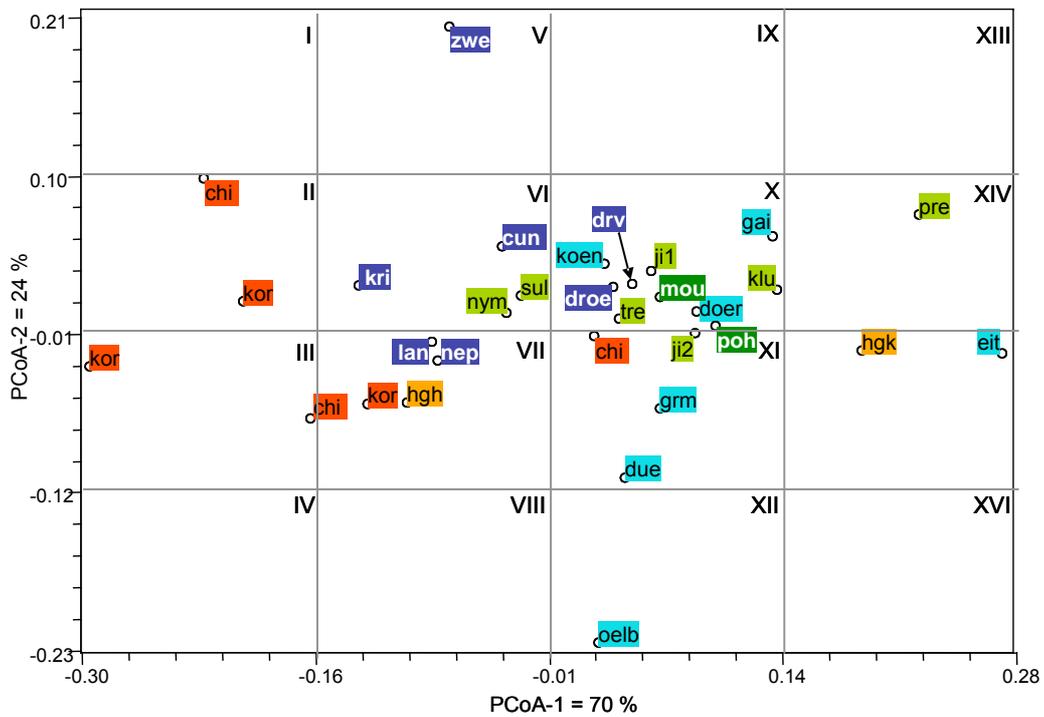


Abb. 4.16 Verwandtschaftsbeziehungen der Proben des Jahres 2003. Basierend auf den Hauptkoordinatenanalysen, die aus der Ähnlichkeitsmatrix der phänotypischen Parameter berechnet wurden.

Für die Berechnung der phänotypische Ähnlichkeit der Populationen im Anzuchtjahr 2004 gingen nach Ausschluss der hoch korrelierenden Variablen folgende Parameter in die Analyse ein: Mittelwert der Wuchshöhe über alle Termine (7) im Juni und Juli, Mittelwert der Wuchshöhe über alle Termine (7) im August und September, Mittelwert des Stängeldurchmessers über alle Termine, Mittelwert der TNS bis zum Erreichen der Entwicklungsstufen 0, 1 und 2, Mittelwert der TNS bis zum Erreichen der Entwicklungsstufen 5, 6 und 8, Anzahl der Kapseln je Pflanze, Anzahl der Samen je Kapsel und die Tausendkornmasse. Die phänotypische Ähnlichkeit war, unabhängig vom Herkunftsgebiet, mit einem Korrelationskoeffizienten von $\geq 0,97$ sehr hoch. Die Proben aus (west-) deutschen Populationen zeigen eine phänotypische Ähnlichkeit von etwa 98 bis 100 %. Populationen aus unterschiedlichen Herkunftsregionen sind sich teilweise ähnlicher als Populationen aus derselben Herkunftsregion. Die Probe aus China unterschied sich schon visuell von den übrigen (vgl. Abb. 4.17).

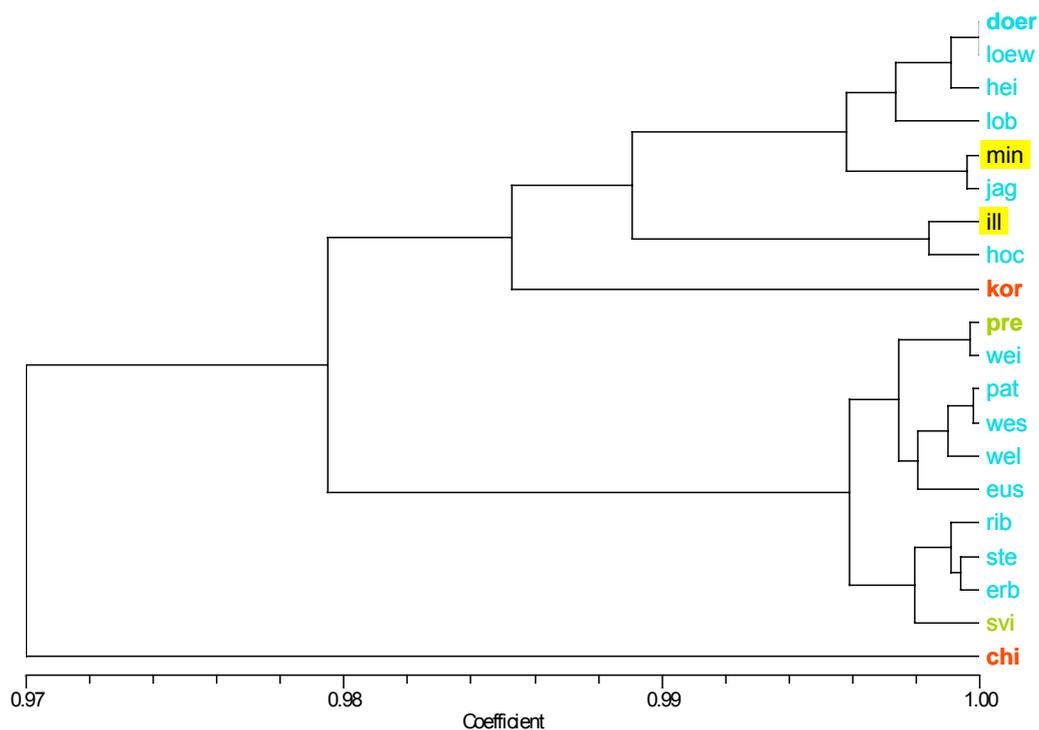


Abb. 4.17 Dendrogramm der Ähnlichkeitsbeziehungen zwischen den Populationen des Anzuchtjahres 2004 (Wiederholungen aus 2003 fett). Berechnet aus den phänotypischen Parametern.

Abb. 4.18 zeigt die Verteilung der Populationen in einer zweidimensionalen Hauptkoordinatenanalyse. Durch die ersten beiden Faktoren werden 89 % der Variation der Ähn-

lichkeitswerte erklärt. Auffallend ist die Konzentration aller Populationen aus Nordrhein-Westfalen (Euskirchen [eus], Wesseling [wes], Weilerswist 1 und 2 [wei und wel]) in den Quadranten II, VI und VII. Die chinesische Probe liegt weit entfernt von allen anderen, insbesondere von der koreanischen Probe. Eine Abstammungsbestimmung der deutschen Populationen aufgrund der phänotypischen Ähnlichkeit zu ausländischen Populationen ist nicht möglich.

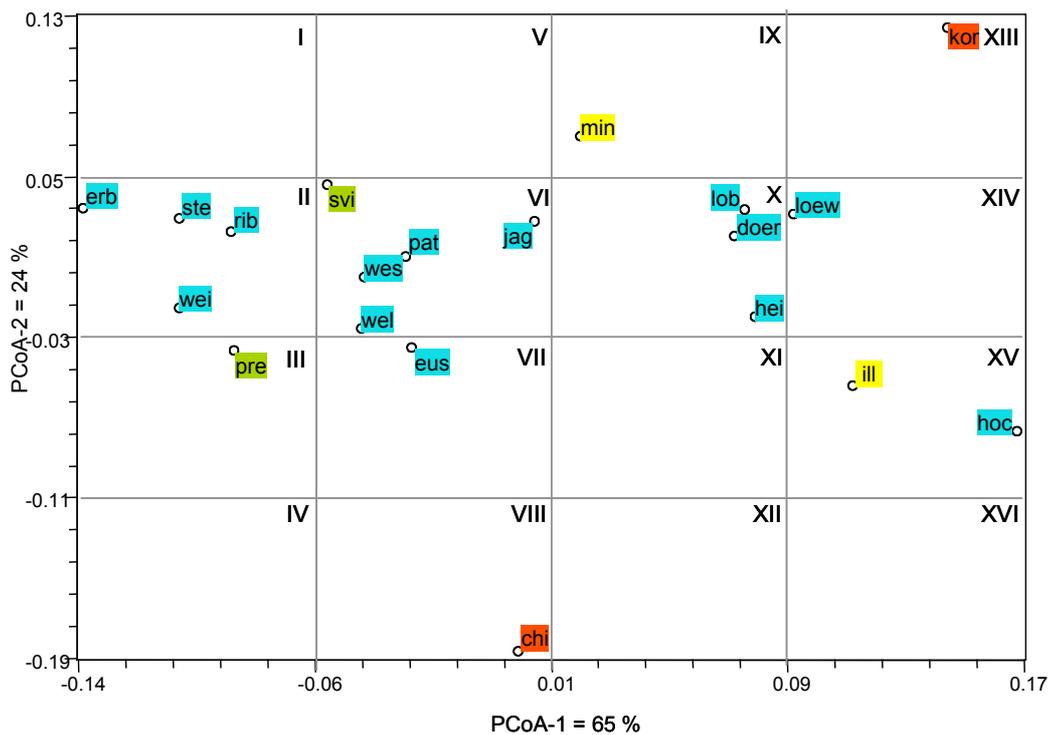


Abb. 4.18 Verwandtschaftsbeziehungen der Proben des Jahres 2004. Basierend auf den Hauptkoordinatenanalysen, die aus der Ähnlichkeitsmatrix der phänotypischen Parameter berechnet wurden.

Für die Bestimmung der genetischen Diversität zwischen Populationen mit Hilfe von AFLP-Markern wurde aus 18 Populationen jeweils eine Probe und je Probe wurden zwei Einzelpflanzennachkommen verwendet. Abb. 4.19 zeigt zum einen, dass die genetische Ähnlichkeit zwischen den Populationen mit einem Dice-Koeffizienten von 0,74 erheblich geringer ist als die phänotypische Ähnlichkeit. Zum anderen wird deutlich, dass sich die (Halb- / Geschwister-) Pflanzen aus einer Population in den meisten Fällen genetisch ähnlicher sind als Nachkommen von Eltern aus verschiedenen Populationen. Das bestätigt auch die Hauptkoordinatenanalyse (vgl. Abb. 4.20). Erkennbar ist zudem, dass weder die ost- noch die westdeutschen Populationen besonders hohe genetische Ähnlichkeit miteinander oder mit Populationen aus einer bestimmten ausländischen Herkunftsregion haben. Die Variation der Ähnlichkeitswerte wird durch die

ersten beiden Faktoren zu 46 % erklärt. Durch Hinzunahme des dritten Faktors werden 56 % erklärt.

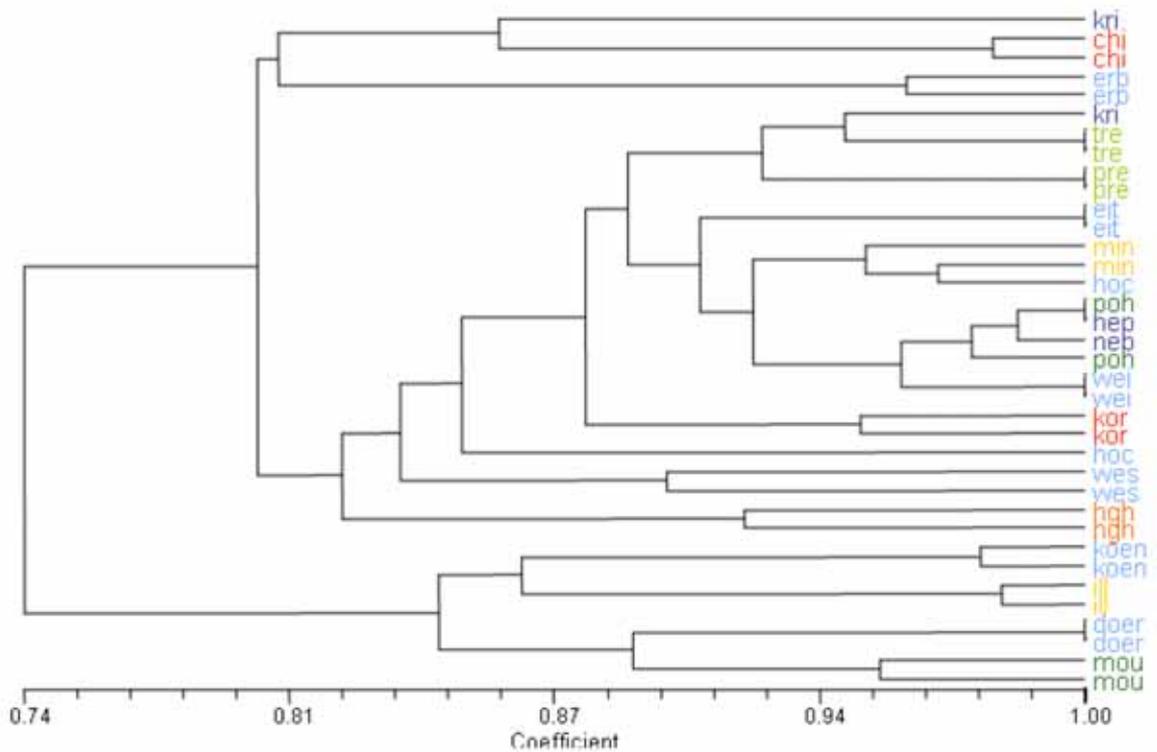


Abb. 4.19 Dendrogramm der Ähnlichkeitsbeziehungen zwischen 18 Proben, jeweils stellvertretend für eine Population. Berechnet aus den AFLP-Banden.

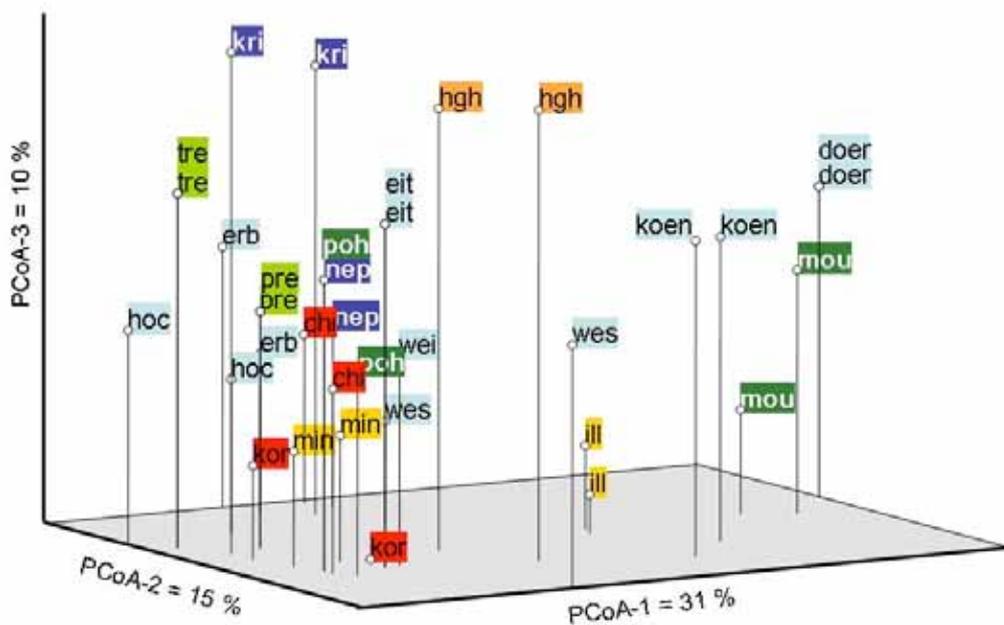


Abb. 4.20 Verwandtschaftsbeziehungen von 36 Proben. Basierend auf den ersten drei Hauptkoordinaten, die aus der Ähnlichkeitsmatrix der AFLP-Banden berechnet wurden.

4.6.2 Diversität innerhalb von Populationen

Die Dendrogramme Abb. 4.21 und Abb. 4.22 zeigen die phänotypische Ähnlichkeit innerhalb von jeweils zwei Populationen aus beiden Anzuchtjahren. Der Korrelationskoeffizient ist für die Ähnlichkeit der Proben aus Přelouč [pre] $r = 0,97$, für die aus Moutniče [mou] $r = 0,95$. Der Korrelationskoeffizient für die Ähnlichkeit der Proben aus Heilbronn [hei] liegt bei $r = 0,98$ für die aus Löwenstein [loew] bei $r = 0,99$. Abb. 4.23 zeigt die genetische Ähnlichkeit innerhalb der Populationen aus Dörverden ($GS_{Dice} = 0,74$), Přelouč ($GS_{Dice} = 0,75$) und Moutniče ($GS_{Dice} = 0,71$).

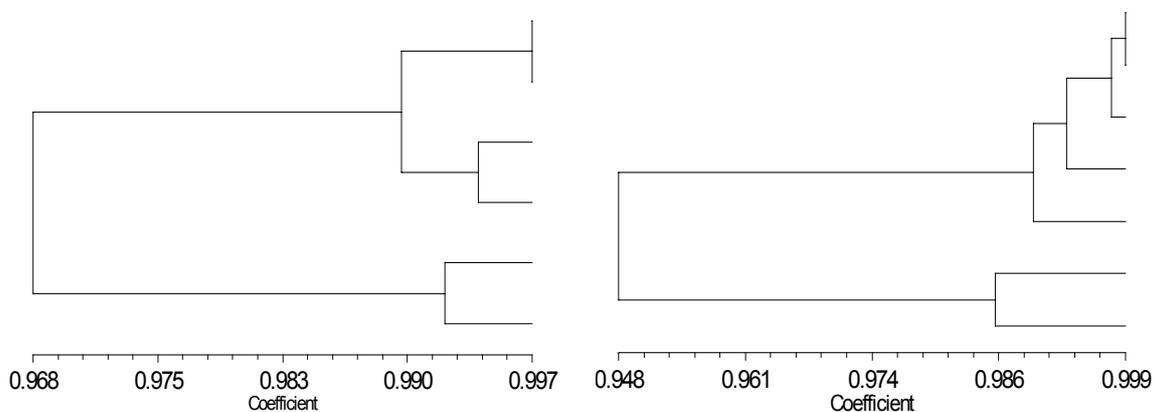


Abb. 4.21 Dendrogramm der Ähnlichkeitsbeziehungen zwischen Proben aus Přelouč (links) und Moutniče (rechts). Berechnet aus den phänotypischen Merkmalen.

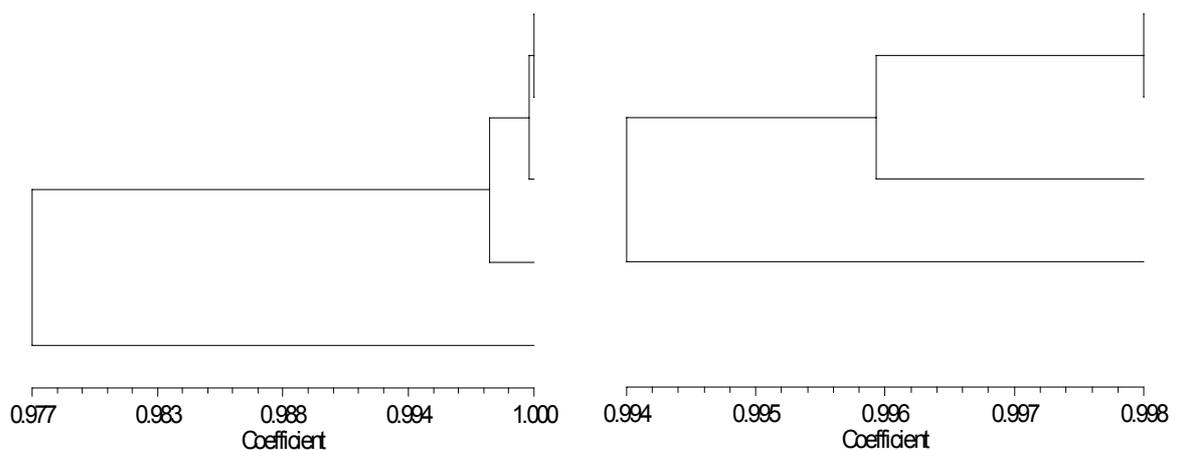


Abb. 4.22 Dendrogramm der Ähnlichkeitsbeziehungen zwischen Proben aus Heilbronn (links) und Löwenstein (rechts). Berechnet aus den phänotypischen Merkmalen.

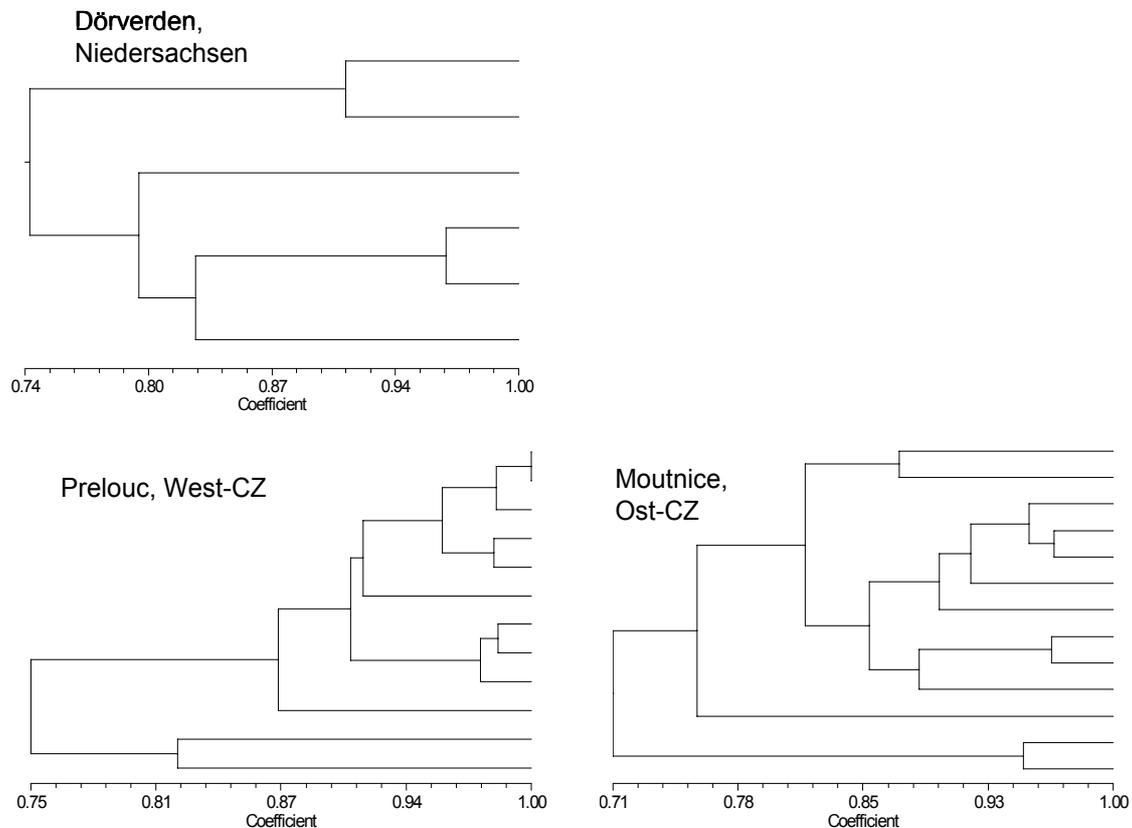


Abb. 4.23 Dendrogramm der Ähnlichkeitsbeziehungen zwischen Proben aus Dörverden (oben), Přelouč (links) und Moutniče (rechts). Berechnet aus den AFLP-Banden.

Die erste Zahl ist die Probennummer, die zweite ist die Wiederholung.

4.6.3 Vergleich der Diversität

Die Schätzung der phänotypischen Varianz zwischen den Populationen ($\text{Var}(\text{Population})$), zwischen den Proben innerhalb einer Population ($\text{Var}(\text{Probe})$) und der Fehlervarianz ($\text{Var}(\text{Fehler})$) ist den Tab. 4.23 und Tab. 4.24 zu entnehmen. Exemplarisch sind in Tab. 4.25 die Varianzen für drei AFLP-Marker wiedergegeben. Die 0-1-Matrix erfüllt zwar nicht die Annahmen der Varianzanalyse. Um die Variabilität zwischen und innerhalb der Populationen vergleichen zu können, wird dieser Versuch dennoch unternommen.

Ein Vergleich der Variabilität zwischen Populationen und innerhalb von Populationen zeigte für manche Merkmale und Marker eine höhere Populationsvarianz, für manche eine höhere Probenvarianz, für manche ausschließlich eine Fehlervarianz. Wird für die

Varianz der Wert 0,00 ausgegeben, könnte die Schätzung redundant sein. Es zeigt sich kein eindeutiger Trend zu höherer Varianz zwischen oder innerhalb von Populationen. Insgesamt ist die hohe Fehlervarianz beachtenswert, d.h. der Teil der Varianz, der nicht mit der Zuordnung eines Einzelpflanzennachkommen (einer Wiederholung) zu einer Probe oder einer Population erklärt werden kann.

Tab. 4.23 Varianzkomponentenschätzung der phänotypischen Parameter für die Populationen und Proben des Jahres 2003 mit der eingeschränkten Maximum Likelihood-Methode

2003	Höhe	TNS	Kapseln/Pfl.	Samen/Kap.	TKM
Var (Population)	0,00	0,14	0,00	1,15	0,43
Var (Probe)	11,42	0,14	5,64	9,56	0,00
Var (Fehler)	494,99	0,56	76,47	18,18	0,43

Tab. 4.24 Varianzkomponentenschätzung der phänotypischen Parameter für die Populationen und Proben des Jahres 2004 mit der eingeschränkten Maximum Likelihood-Methode

2004	Höhe Juni + Juli	Höhe Aug. + Sep.	Stängel- durchm.	TNS 0 / 1 / 2	TNS 5 / 6 / 7	Kap- seln/Pfl.
Var (Population)	9,71	0,00	0,00	0,26	20,22	3,62
Var (Probe)	3,81	24,23	0,00	0,10	3,58	2,00
Var (Fehler)	38,54	84,57	0,00	7,53	14,86	16,05

Tab. 4.25 Varianzkomponentenschätzung der AFLP-Marker (exemplarisch) mit der eingeschränkten Maximum Likelihood-Methode

AFLP	Bande 3	Bande 7	Bande 34
Var (Population)	0,086	0,000	0,000
Var (Probe)	0,000	0,197	0,000
Var (Fehler)	0,154	0,008	0,038

4.6.4 Güte der Cluster

Die Güte der gezeigten Dendrogramme zur phänotypischen und genetischen Ähnlichkeit zwischen und innerhalb von Populationen wurde mit Hilfe eines Korrelationskoeffizienten quantifiziert. Für zwei Clusteranalysen wurde „sehr hohe“ Güte ermittelt, für zwei weitere „hohe“ Güte. Insbesondere die Clusteranalysen zur Bestimmung der phänotypischen Ähnlichkeit zwischen Populationen haben nur eine „sehr geringe“ Güte.

Tab. 4.26 Die Güte der Cluster auf Basis einer kophenetischen Korrelation

Cluster	Dendrogramm	Kophenetische Korrelation (r)	Güte der Cluster
Phänotypische Ähnlichkeit			
zwischen Populationen 2003	Abb. 4.15	0,62	sehr gering
Zwischen Populationen 2004	Abb. 4.17	0,68	sehr gering
Innerhalb der Population aus Přelouč	Abb. 4.21	0,74	gering
Innerhalb der Population aus Moutniče	Abb. 4.21	0,79	gering
Innerhalb der Population aus Heilbronn	Abb. 4.22	0,97	sehr hoch
Innerhalb der Population aus Löwenstein	Abb. 4.22	0,61	sehr gering
Genetische Diversität			
zwischen Populationen	Abb. 4.19	0,77	gering
Innerhalb der Population aus Dörverden	Abb. 4.23	0,80	hoch
Innerhalb der Population aus Přelouč	Abb. 4.23	0,92	sehr hoch
Innerhalb der Population aus Moutniče	Abb. 4.23	0,87	hoch

4.6.5 Einfluss des Versuchsjahres

Die Nachkommen von vier Proben (Dörverden (D), Přelouč (CZ), China und Korea) wurden in beiden Jahren geprüft, um jahresbedingte Wachstums- und Entwicklungsunterschiede schätzen zu können. Tab. 4.27 zeigt, dass alle vier Proben im Jahr 2004 später und teilweise deutlich weniger Kapseln bildeten. Die zu diesem Zeitpunkt erreichte Wuchshöhe war bei allen um 33 bis 39 % geringer als im Vorjahr. Die Tausendkornmasse blieb konstant.

Tab. 4.27 Vergleich einiger phänotypischer Parameter der vier in beiden Versuchsjahren beobachteten Populationen sowie relative und absolute Veränderung

	Datum 1. reife Kapsel		Höhe bei 1. reifer Kapsel [cm]		Kapseln je Pflanze		TKM [g]	
	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004
Dörv.	05.08.	10.08.	200	123	19,5	15,3	9,7	9,5
Přelouč	16.07.	06.08.	152	102	22,0	20,0	9,1	9,0
China	03.08.	10.08.	196	120	14,5	12,0	11,7	11,2
Korea	16.08.	19.08.	218	134	24,0	12,8	10,2	9,5
Änderung	[Tage]		[%]	[cm]	[%]	[Kapseln]	[%]	[g]
Dörv.	5		-39	-77	-22	-4	-2	-0,2
Přelouč	21		-33	-50	-9	-2	-1	-0,1
China	7		-39	-76	-17	-3	-4	-0,5
Korea	3		-39	-84	-47	-11	-7	-0,7

5 Diskussion

5.1 Bekämpfung, Konkurrenz und Populationsdynamik von *A. theophrasti* in Zuckerrüben

Grundsätzlich muss für die Beurteilung des Bekämpfungserfolges in den durchgeführten Feldversuchen von zwei unterschiedlichen Ausgangssituationen ausgegangen werden. Auf den beiden tschechischen Versuchsflächen ist *A. theophrasti* seit Jahren etabliert. Die Art konnte sich hier an Klima und Bearbeitungsregime anpassen. Ziel der Bekämpfungsmaßnahmen muss hier sein, Zuckerrübenenertragsverluste zu minimieren, um die Wirtschaftlichkeit des Anbaus aufrecht zu erhalten. In Wesseling dagegen wurde der Fall des Neueintrages von *A. theophrasti* simuliert. Nach dem Ersteintrag eines Neophyten mit einem so hohen Potenzial an persistenten Samen, wie *A. theophrasti* es aufweist (vgl. 2.2.2), kann es nicht nur um Bekämpfung im Sinne der ökonomischen oder zeitbezogenen Schadenschwelle gehen, sondern darum zu verhindern, dass sich der Neuling auf diesem Schlag etablieren kann .

Die Ergebnisse dieser Arbeit belegen, dass *A. theophrasti* zum massives Konkurrenten für die Zuckerrüben werden kann, wenn folgende Umstände eintreten:

(1) suboptimale Anbaubedingungen für die Zuckerrübe, (2) gute Witterungsbedingungen für *A. theophrasti*, (3) geringe Konkurrenz für *A. theophrasti* in dessen früher Entwicklung und (4) unzureichende gezielte Bekämpfung von *A. theophrasti*. Im Folgenden werden die genannten Umstände erläutert und anschließend im Kontext der Ergebnisse dieser Arbeit beleuchtet.

Suboptimale Anbaubedingungen für die Zuckerrübe

Die tschechischen Versuchsflächen boten aufgrund der unten beschriebenen Anbaubedingungen suboptimale, die Flächen in Wesseling dagegen sehr günstige Voraussetzungen für die Zuckerrüben. Dementsprechend unterschiedlich entwickelte sich die Konkurrenzkraft der Zuckerrüben. Hohe Konkurrenzkraft der Kulturpflanze bewirkt zum einen eine höhere Fähigkeit der Kulturpflanze zur Unkrautunterdrückung, zum andern hat die Konkurrenzkraft der Kulturpflanze einen wesentlichen Einfluss auf die Bekämpfungswirkung der Nachauflaufherbizide (MURPHY und LINDQUIST, 2002).

Die suboptimalen Bedingungen für die Zuckerrübe lassen sich unter anderem dadurch erklären, dass auf beiden tschechischen Versuchsflächen für die Versuche zum zweiten Mal in Folge Zuckerrüben angebaut worden waren. Daraus kann eine „Rübenmüdigkeit“ des Bodens resultieren. In Přelouč traten zum Beispiel vereinzelt Fälle von Später Rübenfäule (*Rhizoctonia solani*) auf. Zudem war das Frühjahr vor dem extrem

heißen Sommer 2003 um den Aussattermin herum in Přelouč mit Durchschnittstemperaturen von 6,5°C und stetigem Nachtfrost zu kühl für eine gute Keimlingsentwicklung der Rüben. Im Juli und August blieb die Niederschlagsmenge weit hinter dem langjährigen Mittel und dem Bedarf der Rüben zurück, so dass der Blattmassezuwachs verzögert war und die Rübenreihen erst spät schlossen. In Svinčany war im Frühjahr 2004 wegen der anhaltenden Niederschläge nicht gepflügt worden. Der daraus resultierende Unkrautbesatz war sehr hoch. Das Saatbett war grobkörnig und steinig. Der Rübenaufgang und die Jugendentwicklung der Rüben verliefen daher ungleichmäßig und schleppend. Auf dem Versuchsgut Dikopshof in Wesseling bieten sehr gute Böden und moderne Anbautechnik dagegen optimale Grundvoraussetzungen für den Rübenanbau. Nach kräftigen Niederschlägen im Januar und Februar 2004 war der Aussaatmonat März eher trocken, was die Bodenerwärmung förderte. Außerdem konnte so ein ideales Saatbett vorbereitet werden. Nach DIEPENBROCK et al. (1999) sind das Bedingungen für einen schnellen und gleichmäßigen Feldaufgang.

Die Pflanzenschutzmittelindustrie und die züchterischen Fortschritte machen es möglich, auch auf weniger geeigneten Standorten und mit weniger ackerbaulichen Aufwand Zuckerrüben erfolgreich anzubauen. Aus wirtschaftlichen Gründen werden außerdem die Fruchtfolgen immer enger. Ein Vergleich der Ergebnisse von den Versuchsstandorten Svinčany, wo nicht gepflügt worden war, und Wesseling im gleichen Versuchsjahr zeigt deutlich, dass die „hohe Kunst des Ackerbauers“ (DIEPENBROCK et al., 1999) beim Zuckerrübenanbau zur Unterdrückung von Konkurrenten nach wie vor gefordert ist.

Gute Witterungsbedingungen für *A. theophrasti*

In Přelouč und Svinčany herrschten deutlich bessere Witterungsbedingungen für die frühe Entwicklung von *A. theophrasti* als in Wesseling. Auf niedrige Temperaturen, wie sie in Wesseling auftraten, reagieren kompetitive Arten wie *A. theophrasti* (in seiner Jugendphase, SATTIN et al., 1992; vgl. 2.2.2) empfindlich (GRIME, 1977).

In den 14 Tagen nach dem Auflaufen waren die Temperaturen auf den tschechischen Versuchsflächen deutlich höher als in Wesseling 2004 (14,5°C bzw. 7°C, vgl. Tab. 4.1). Dies führte in Wesseling zu einer sehr langsamen Entwicklung von *A. theophrasti* und einer erhöhten Herbizidsensitivität bei gleichzeitig optimaler Entwicklung der Zuckerrübe (s. o.). Die schwache Keimbereitschaft und Jugendentwicklung von *A. theophrasti* bei kühlem Wetter wurde auch von PATTERSON (1992) nachgewiesen. Er untersuchte das Wachstumsverhalten von *A. theophrasti* bei unterschiedlichen Tag-/Nacht-Temperaturen. Dabei bildeten die Pflanzen, die bei 12/4°C (Tag/Nacht) gekeimt waren, keine Laubblätter. Die Pflanzen bei 19/11°C dagegen bildeten Laubblätter. Weiterhin

setzte PATTERSON (1992) Keimlinge aus Tag-/Nachttemperaturen von 26/20°C verschiedenen Temperaturen aus. Die Keimlinge, die in 12/4°C umgesetzt worden waren bildeten zwar Laubblätter, benötigten dafür aber etwa fünfmal so viel Zeit wie die Pflanzen, die bei den höheren Temperaturen weiter wuchsen. Dieser Versuch ist vergleichbar mit dem Aussaatverfahren in Wesseling 2004. Auch dort waren die Samen zunächst bei 30°C zum Keimen gebracht und anschließend auf dem Feld niedrigeren Temperaturen ausgesetzt worden. Allerdings lagen die Temperaturen in der ersten Woche nach der Aussaat in Wesseling noch tiefer als im Versuch von PATTERSON (2/9°C). PATTERSON (1992) geht sogar soweit, für *A. theophrasti* eine Schadenschwelle in Abhängigkeit von der Temperatur zu definieren. Demnach bilden Pflanzen, die bei $10 \pm 1^\circ\text{C}$ keimen und Keimlinge, die in eine $6 \pm 1^\circ\text{C}$ -kalte Umgebung umgesetzt werden keine Laubblätter. Diese Temperaturschadenschwelle kann durch die vorliegende Arbeit nicht gestützt werden, da sich auch in Wesseling Pflanzen bis zur Samenreife entwickelten.

Einige Untersuchungen zeigen, dass *A. theophrasti* grundsätzlich in warmen Jahren höhere Konkurrenzkraft entwickelt und toleranter auf Herbizide reagiert als in kühlen Jahren. CARDINA et al. (1995) zum Beispiel stellten in mehreren Versuchsjahren fest, dass die Konkurrenzkraft von *A. theophrasti* (in Mais) in dem Jahr am höchsten war, in dem bereits bis Mai eine außergewöhnlich hohe Temperatursumme gemessen worden war. BAILEY et al. (2003) ermittelten eine signifikant höhere Konkurrenzkraft von *A. theophrasti* in Baumwolle in dem wärmeren von zwei Versuchsjahren (bei etwa gleichen Niederschlagsmengen). In eigenen Untersuchungen wurde festgestellt, dass sich Nachkommen derselben Mutterpflanze in Abhängigkeit vom Versuchsjahr sehr unterschiedlich entwickelten. Im kühleren Versuchsjahr blieben die Pflanzen kleiner und bildeten weniger Samen (vgl. 4.6.5). Außerdem reagierte *A. theophrasti* in kühleren Jahren sensitiver auf Herbizide (HURLE, 2004; MEINLSCHMIDT et al., 2004). Die Konkurrenzkraft einzelner Unkrautarten ist nach KROPFF und SPITTERS (1992) jahres- und standortabhängig. Die Standortabhängigkeit ergibt sich aus der großen morphologischen und physiologischen Variabilität innerhalb einer Art als Reaktion auf unterschiedliche abiotische Wachstumsbedingungen (= phänotypische Plastizität). Bei besseren abiotischen Wachstumsbedingungen ist demnach eine höhere Konkurrenz durch *A. theophrasti* in Zuckerrüben auch in Wesseling unter den beschriebenen Pflanzenbau- und Herbizidmaßnahmen möglich.

Geringe Konkurrenz für *A. theophrasti* in dessen früher Entwicklung

Aus der Standardherbizidmaßnahme resultierte in Tschechien eine zwei bis dreißig Mal so hohe *A. theophrasti*-Biomasse wie in der unbehandelten Kontrolle. Diese Beobachtung lässt zwei Schlüsse zu. Zum einen reagierte *A. theophrasti* tolerant auf die üblicherweise applizierten Wirkstoffe Phenmedipham, Desmedipham, Ethofumesat und Metamitron. Zum anderen kommt die relative Dominanz der kompetitiv-ruderalen Art erst zum Tragen, wenn die frühe Entwicklung möglichst konkurrenzfrei verläuft (GRIME, 1977). In Tschechien stellte die Gruppe der sonstigen Unkräuter den Hauptkonkurrenten für *A. theophrasti* dar. Dieser Hauptkonkurrent wurde durch die Standardherbizidapplikationen weitgehend ausgeschaltet und damit die Voraussetzung für eine gute Entwicklung von *A. theophrasti* geschaffen.

An dieser Stelle sind zwei Beobachtungen anzumerken:

(1) Bei insgesamt geringer Verunkrautung in Wesseling entwickelten sich die unbehandelten *A. theophrasti*-Pflanzen besser und bildeten mehr Samen als die Pflanzen, die mit der Standardherbizidmischung behandelt worden waren. Diese Beobachtung deutet darauf hin, dass *A. theophrasti* gegen die hier verwendeten herbiziden Wirkstoffe nicht resistent ist¹³, sondern, wie die Zuckerrübe, Mechanismen zur verminderten Aufnahme und / oder sehr zügigen Metabolisierung und damit Entgiftung der phytotoxischen Wirkstoffe hat. Mit geeigneten Formulierungshilfsstoffen könnte die Wirkung der geprüften herbiziden Wirkstoffe möglicherweise verbessert werden.

(2) Selbst das gut entwickelte *A. theophrasti* produzierte in den Parzellen mit Standardherbizidmischung weniger Biomasse als alle Unkräuter zusammen (inklusive *A. theophrasti*) in den unbehandelten Parzellen (21 % bis 58 % weniger Gesamtbiomasse in Přelouč bzw. Svinčany). Entsprechend höher war der Rübenertrag in den Standardparzellen. Daraus kann abgeleitet werden, dass eine spätere Applikation der Standardherbizidmischung zwar die von *A. theophrasti* ausgehende Konkurrenz auf die Zuckerrüben vermindern würde, die Zuckerrübe dann aber größerer Gesamtkonkurrenz ausgesetzt und ein geringerer Ertrag zu erwarten wäre. *A. theophrasti* ist in Zuckerrüben nicht konkurrenzstark in dem Sinne, dass es besondere Fähigkeiten zur Aneignung von Wachstumsfaktoren hätte und diese der Zuckerrübe entziehen würde. Das trifft nur auf den Wachstumsfaktor Licht zu. Der herausragende Vorteil von *A. theophrasti* gegenüber den sonstigen Rübenumkräutern ist vielmehr die Fähigkeit, mehr als die anderen von den üblichen Maßnahmen zu profitieren, die zur Unterstützung der Kulturpflanze durchgeführt werden. Zum einen wegen einer unspezifischen Toleranz

¹³ Zwischen sensitiven Biotypen und resistenten Biotypen, die sich nach der Herbizidapplikation nicht von unbehandelten unterscheiden, liegen in graduellen Abstufungen die toleranten Biotypen (nach COUSENS und MORTIMER, 1995).

gegen Rübenerbizide. Zum anderen, weil die üblichen Herbizidmaßnahmen in Zuckerrüben und damit die Konkurrenzlastungen zu einem Zeitpunkt stattfinden, der für die Entwicklung von *A. theophrasti* günstiger nicht sein könnte, nämlich in der frühen, konkurrenzschwachen Jugendphase. Erst die Herbizidmaßnahmen machen es - gemäß des Schlüssel-Schloss-Modells (CORNELIUS et al., 1990) – *A. theophrasti* überhaupt möglich, sich zu etablieren. Da auf den Einsatz dieser Herbizide im Zuckerrübenanbau nicht verzichtet werden kann, muss *A. theophrasti* als Problemunkraut in Zuckerrüben eingestuft werden.

Unzureichende gezielte Bekämpfung von *A. theophrasti*

Zusätzlich zur Standardherbizidapplikation wurden in der vorliegenden Arbeit Maßnahmen zur gezielten *A. theophrasti*-Bekämpfung durchgeführt, die die Biomasseproduktion und vor allem die Samenproduktion hemmen sollten. Dabei erwiesen sich alle Maßnahmen als unzureichend, die nicht in Kombination und mehrfach durchgeführt wurden. Zwei Kombinationsvarianten zeigten zufrieden stellende, wenn auch nicht gute Bekämpfungswirkung. **Hacke und Safari + Lontrel** zusätzlich zur Standardherbizidapplikation führte zu etwa dreimal höheren Rübenerträgen und deutlich vermindertem reproduktivem Wachstum von *A. theophrasti* als ohne diese zusätzliche Maßnahmen. Insgesamt die beste Wirkung (höherer Rübenertrag und verminderte Kapselproduktion) erzielte die Kombination aus **Hacke und Schnitt**, also die mechanischen Zusatzmaßnahmen.

Hacken reduzierte die Anzahl an *A. theophrasti*-Pflanzen. Die überlebenden Pflanzen konnten die Zuckerrüben jedoch überwachsen. Eine Begründung dafür ist, dass die Zuckerrübenreihen noch nicht geschlossen waren und so noch ausreichend Licht durchdrang. Ähnliches wurde in Sojabohnen- und Maisbeständen beobachtet (ROETH, 1987; AKEY et al., 1990). ROETH (1987) schreibt dazu, dass *A. theophrasti* auch bei verminderter Einstrahlung durch teilweise Beschattung sehr effektiv Photosynthese betreiben kann. Eine weitere Begründung ist, dass dem Hacken zeitlich die Phase der höchsten Wachstumsrate und Konkurrenzkraft von *A. theophrasti* folgte (ROETH, 1987; SATTIN et al., 1992). DEKKER und MEGGITT (1983) bescheinigen *A. theophrasti* außerdem die Fähigkeit, in Mischbeständen mit der Sojabohne die eigene Populationsdichte über unterschiedliche Mortalitätsraten an die Populationsdichte der Sojabohne anzupassen. Diese Fähigkeit macht Sinn, wenn *A. theophrasti* gleichzeitig die freigewordenen Wachstumsfaktoren zur besseren Entwicklung der überlebenden Pflanzen nutzen kann. Dies würde auch die um 39 % gesteigerte reproduktive Leistung der überlebenden Pflanzen erklären. Die zusätzliche Applikation von **Safari und Lontrel** verzögerte

die Entwicklung und das Wachstum der *A. theophrasti*-Pflanzen, die in der Rübenreihe überlebt hatten. Die Zuckerrüben bekamen einen Entwicklungsvorsprung. Die Rübenreihen waren nahezu geschlossen, bevor *A. theophrasti* die Wuchsdepression überwunden hatte. Diese Kombinationsvariante macht sich also die Konkurrenzkraft der Zuckerrübe nach Reihenschluss zunutze. Bei der zweiten zufrieden stellenden Variante Hacke und Schnitt konnten die *A. theophrasti*-Pflanzen die Rübenreihen zwar überwachsen. Durch die **zweimalige Schnitt**-Maßnahme wurde aber anschließend ein Großteil der Blütenanlagen beseitigt. Die Schnittmaßnahmen erfolgten lange nach der kritischen Periode, also nach der Zeit, in der die Zuckerrübe unkrautfrei bleiben muss, um Ertragseinbußen zu vermeiden. Der hohe Rübenertrag war in den Hackvarianten daher vor allem auf die insgesamt positive Wirkung der Hacke zurückzuführen. In den tschechischen Versuchen wurde der Schnitt mit Sichel durchgeführt. Der Wirkungsgrad der praxisrelevanten Methode aus Wesseling (Frontmesserbalken) kann auf Grund der insgesamt geringen Dichte von *A. theophrasti* nicht beurteilt werden. Fest steht aber, dass die Rüben keinen Schaden nahmen. Es kann daher angenommen werden, dass diese Variante auch bei Einsatz eines Frontmesserbalkens oder ähnlichem erfolgversprechend ist.

Zu den unzureichenden Maßnahmen zählt die dreimalige Applikation von **Safari** im ersten Versuchsjahr, von der sich *A. theophrasti* nach einer temporären Wuchsdepression schnell genug erholen konnte, um bis zur Rübenernte durchschnittlich 264 Kapseln je m², also etwa 8.000 Samen je m² zu bilden. Das hohe Regenerationsvermögen von *A. theophrasti* nach der Applikation des Wirkstoffs Triflursulfuron in Kombination mit Phenmedipham, Desmedipham, Ethofumesat und Metamitron beobachteten auch MEINLSCHMIDT et al. (2004). Die Autoren stellten außerdem hohe Schwankungen der Wirksamkeit dieser Behandlung in Abhängigkeit vom Versuchsjahr fest. So sanken in den Jahren 2001 und 2003 die Wirkungsgrade von zunächst meist über 90 % auf nur noch 20 % im August. Im Jahr 2002 dagegen wurden auch zu Versuchsende Wirkungsgrade von 95 - 97 % bonitiert. Ebenfalls unzureichende Wirkung von Triflursulfuron in Zuckerrüben wurde auf drei Standorten in Baden-Württemberg in den Jahren 2003 und 2004 ermittelt (HURLE, 2004). In den Bonituren Ende Juni und Anfang Juli wurden Wirkungsgrade von 88 bis zu 100 % bestimmt. Mitte August sank die Wirkung auf 55 bis 92 %. Die erreichten Wirkungsgrade schwankten außerdem am Standort Hohenheim zwischen den Versuchsjahren um bis zu 27 %. Eine Erklärung für die unterschiedliche Wirksamkeit kann in dem Wirkstoff selbst liegen. Triflursulfuron ist ein Wirkstoff aus der Gruppe der Sulfonylharnstoffe. Die Selektivität beruht auf der unterschiedlichen Fähigkeit von Pflanzen, die Wirkstoffe zu metabolisieren. Die so entstehenden Metabolite haben eine deutlich reduzierte Phytotoxizität (ZWERGER und AMMON, 2002).

Die Reaktion von *A. theophrasti* auf Triflursulfuron – erst hohe, dann stark nachlassende Wirkung – lässt für diesen Wirkstoff auf eine zügige Metabolisierung als Toleranzmechanismus schließen. Möglicherweise funktioniert die Metabolisierung bei warmen Temperaturen besser als bei kühlem Wetter, was die Wirkungsschwankungen zwischen den Jahren in oben genannten Versuchen erklären würde.

MURPHY und LINDQUIST (2002) belegten für drei weitere Wirkstoffe, darunter auch ein ALS-Hemmer wie Triflursulfuron (vgl. 2.5), eine ähnliche Reaktion, wie sie in Přelouč auftrat. Das heißt, *A. theophrasti* zeigt eine unspezifische Wirkstofftoleranz. Für eine zuverlässige Bekämpfung von *A. theophrasti* mit Herbiziden wird es nötig sein, die Toleranzmechanismen aufzudecken und mit geeigneten Wirk- oder Zusatzstoffen zu umgehen.

Die Applikation von **Roundup** Ultra mit einem Dochtstreichgerät wird als unzureichende Maßnahme eingestuft, weil die Rüben massiv und irreversibel geschädigt wurden (vgl. VIEHWEGER und DITTRICH, 2002; sowie MEINLSCHMIDT, 2004) und die nicht mit Glyphosat behandelten *A. theophrasti*-Nachzügler bis zur Rübenernte zur Samenreife kamen. Im Gegensatz zu den Beobachtungen von VIEHWEGER und DITTRICH (2002) starben aber alle mit Glyphosat behandelten *A. theophrasti*-Pflanzen ab und bildeten keine Kapseln mehr. Unter Berücksichtigung des hohen Wirkungsgrades von Roundup Ultra auf *A. theophrasti* in der vorliegenden Arbeit wäre die Genehmigung von glyphosatresistenten Zuckerrübensorten für den deutschen Anbau wünschenswert. Die Applikation von Roundup Ultra ist mit vertretbarem Aufwand flächendeckend und mehrfach möglich. Außerdem könnten so bundesweit die Herbizidkosten für Zuckerrüben von 240 €/ha auf 87 €/ha jährlich reduziert werden bei gleichzeitiger Einsparung von etwa 921 t Herbiziden jährlich (GIANESSI et al., 2003). Das wäre nicht nur eine Kostenreduzierung für die Zuckerrübenbauer, sondern auch ein großer Schritt hin zu der von Politik und Gesellschaft geforderten Reduktion von Pflanzenschutzmitteln.

5.2 Diversität von *A. theophrasti*

5.2.1 Methoden

Über das Genom von *A. theophrasti* ist bisher fast nichts bekannt. Vor allem sind bisher keine molekularen Marker bekannt, die für die vorliegende Arbeit hätten verwendet werden können. Einer der Vorteile von AFLP-Markern ist, dass in einem unbekanntem Genom mit relativ geringem Aufwand Polymorphismen aufgedeckt werden können. Nachteil ist, dass die Ergebnisse nicht immer eindeutig sind. Aufgrund des enormen finanziellen und zeitlichen Aufwandes, den die Suche nach geeigneten Primern verur-

sacht, wurden außerdem in Vorversuchen „nur“ fünf Primerkombinationen getestet und die beste letztlich verwendet. D.h. diejenige Primerkombination, die möglichst viele und möglichst eindeutige Banden in der AFLP-Analyse brachte. Die Ergebnisse zur genetischen Diversität sind daher unter dem Aspekt eines eingeschränkten Blicks in das Genom von *A. theophrasti* zu bewerten.

5.2.2 Diversität zwischen und innerhalb von Populationen

In der vorliegenden Arbeit wuchsen die Proben aus verschiedenen Populationen und Herkunftsregionen alle am selben Standort und unter gleichen Bedingungen auf. Die **phänotypische Ähnlichkeit** war sowohl zwischen als auch innerhalb von Populationen von *A. theophrasti* sehr hoch. Diese Beobachtung lässt zwei Hypothesen zu. Entweder, die Proben sind sich auch genetisch sehr ähnlich oder die Parameter, die der Ähnlichkeitsberechnung zu Grunde liegen, sind genetisch eher schwach untermauert und in hohem Maße umweltabhängig. Da die ermittelte genetische Ähnlichkeit weit geringer war als die phänotypische Ähnlichkeit, ist die erste Hypothese zu verwerfen (vgl. 5.2.3). Der zweiten Hypothese folgend reagierte *A. theophrasti* also in seiner Morphologie und Phänologie sehr plastisch auf Umweltbedingungen. Diese Ansicht wird von diversen Autoren unterstützt (DEKKER und MEGGITT, 1983; WARWICK und BLACK, 1986; PATTERSON, 1992; SATTIN et al., 1992; CARDINA et al., 1995; BAILEY et al., 2003). Auch die herkunftsunabhängige Reaktion aller Pflanzen auf Wasserstress im Jahr 2003 und die gleichgerichteten Entwicklungsunterschiede zwischen den beiden Versuchsjahren zeugen von einer breiten Plastizitätsamplitude (vgl. 3.3.2 und Tab. 4.27). Hohe phänotypische Plastizität ist nach SCHLICHTING (1986) eine wesentliche Voraussetzung für die Besiedlung neuer Habitate. HEGER und TREPL (2003) nennen eine breite ökologische Amplitude bezüglich der Licht und Wasserverhältnisse als ein Charakteristikum einer erfolgreichen invasiven Art. BAKERS „ideales“ Unkraut ist fähig, in einer weiten Variationsbreite von Umweltbedingungen Samen zu bilden (BAKER, 1965; 1974).

Die **genetische Diversität** zwischen den Populationen ist mit Ähnlichkeitskoeffizienten nach Dice von 0,75 eher gering, dagegen innerhalb der Populationen mit GS_{Dice} 0,71 bis 0,75 für einen Selbstbefruchter relativ hoch. Für das Invasionspotenzial von *A. theophrasti* ist dieser Sachverhalt von großer Bedeutung. Denn hohe genetische Variabilität innerhalb einer Population verbessert die Chancen eines Neophyten, neue Habitate zu besiedeln und sich an veränderte Umweltbedingungen oder Bearbeitungsmaßnahmen anzupassen (MARTINS und JAIN, 1979; MAXWELL et al., 1990; JASIENIUK, 1996; JORDAN und JANNINK, 1997; JASIENIUK und MAXWELL, 2001; SEXTON et al., 2002). Au-

ßerdem steigt mit der genetischen Diversität die Wahrscheinlichkeit, dass resistente Biotypen in den Populationen vorhanden sind. Atrazinresistenz von *A. theophrasti* wurde von RITTER (1986) beschrieben. SEXTON et al. (2002) sowie SOLÉ et al. (2004) machen die unerwartet hohe genetische Diversität einiger Neophyten innerhalb von Lokalpopulationen für deren Erfolg verantwortlich.

Theoretisch stellt die Verminderung der genetischen Diversität eine Möglichkeit dar, das Invasionspotenzial zu mindern. Daher sollen die möglichen Gründe für hohe genetische Diversität innerhalb der Populationen erläutert werden, auch wenn die Frage nach deren Zustandekommen nicht Bestandteil der vorliegenden Arbeit war und sich kaum praktische Maßnahmen daraus ableiten lassen.

Sehr lange Lebensfähigkeit der Samen im Boden

Die Samen von *A. theophrasti* bleiben im Boden mehrere Jahrzehnte lang keimfähig (TOOLE und BROWN, 1946; SPENCER, 1984). Die Dormanz führt dazu, dass pro Jahr nur etwa 6,8 % aller Samen keimen (LINDQUIST et al., 1995). Folglich kann es sein, dass sich die Diversität zwischen den Samen, die ursprünglich auf die Fläche eingebracht wurden, über eine sehr lange Zeit hält. Voraussetzung wäre, dass bereits innerhalb der „Quellenpopulation“, aus der der Eintrag erfolgte, eine hohe genetische Diversität zu finden war. Eine Aussage über die genetische Diversität in der Quellenpopulation kann hier nicht getroffen werden, da die Eintragungswege und die Quellenpopulationen nicht bekannt sind. Aufschluss darüber kann eine Abstammungsanalyse geben, wie sie ebenfalls Bestandteil der vorliegenden Arbeit war.

Mutation

Durch verschiedene Arten von Mutationen treten spontan Veränderungen des Erbgutes ein. Die veränderten Organismen sind in den seltensten Fällen lebensfähig. Manchmal führt eine Mutation aber auch zu einem Selektionsvorteil oder hat keine Auswirkungen (stille Mutation). In solchen Fällen wird das veränderte Erbgut an die kommenden Generationen weitergegeben. Auf diese Weise kann die Diversität auch in streng selbstbefruchtenden Spezies erhöht werden. Für die meisten Genorte und Organismen ist die Mutationsrate mit etwa 10^{-5} oder 10^{-6} allerdings zu gering, um messbaren Einfluss auf die Diversität einer Population zu nehmen. In Anbetracht der Zeit, die seit Etablierung der untersuchten *A. theophrasti*-Populationen vergangen ist – etwa fünf bis 15 Jahre – kann die Mutation vernachlässigt werden.

Migration

Durch den Eintrag von Samen aus anderen Populationen kann die genetische Diversität einer Population erhöht werden. Für die meisten der Herkunftsregionen, aus denen die hier untersuchten Proben stammen, liegen keine Verteilungskarten von *A. theophrasti* vor. Es ist daher durchaus möglich, dass *A. theophrasti*-Samen aus Nachbarpopulationen eingeschleppt wurden, zum Beispiel durch Vögel oder durch Erdanhang an landwirtschaftlichen Maschinen. Migrationsereignisse können auch für die relative geringe genetische Diversität zwischen Populationen verantwortlich sein.

Partielle Selbstung

Zwischen den Fortpflanzungsarten der (strengen) Selbst- und Fremdbefruchtung gibt es einen fließenden Übergang, die partielle Selbstung oder fakultative Autogamie. Sie ist bei Polyploiden¹⁴ besonders häufig (v. SENGBUSCH, 2003). Der Selbstbefruchtungsmechanismus von *A. theophrasti* beruht darauf, dass die Pollen klebrig und dadurch nicht windbürtig sind. Diese Charakteristik begünstigt die Übertragung durch Insekten. ANDERSEN (1988) konnte eine Fremdbestäubungsrate von 3 % durch Insekten im Freiland nachweisen. Nach FALCONER (1984) führt bei „Selbstbefruchtern“ schon eine geringe Auskreuzungsrate zu einem beträchtlichen Heterozygotiegrad. Partielle Selbstung kann auch erklären, warum sich die Nachkommen einer Pflanze genetisch nicht ähnlicher sind als die Nachkommen verschiedener Pflanzen einer Population. Wie die Fähigkeit zur Samenbildung in einer weiten Variationsbreite von Umweltbedingungen zählt auch die partielle Selbstung zu den Merkmalen eines „idealen“ Unkrauts (BAKER, 1965; 1974).

5.2.3 Vergleich der Diversität

Der **Vergleich von Diversität zwischen und innerhalb Populationen** von *A. theophrasti* basierte auf der Annahme, dass bei Selbstbefruchtern die genetische Variation innerhalb einer Population geringer sein müsse als zwischen zwei (an unterschiedliche Habitate angepassten) Populationen (FALCONER, 1984; HAMRICK, 1991). Diese Annahme konnte durch die hier durchgeführten Untersuchungen weder bestätigt noch widerlegt werden. Für manche Parameter war die Schätzung der Populationsvarianz redundant. Daraus kann geschlossen werden, dass die Varianz innerhalb der Population (Probenvarianz) schon so hoch ist, dass die Varianz zwischen den Populationen

¹⁴ Mehr als zwei komplette Chromosomensätze. *A. theophrasti* ist hexaploid (sechs Chromosomensätze).

nicht mehr geschätzt werden kann. Ist auch die Probenvarianz redundant, bedeutet das, dass bereits innerhalb einer Probe, also zwischen den Einzelpflanzennachkommen, zu hohe Schwankungen festgestellt wurden, um die Probenvarianz schätzen zu können. Ist gleichzeitig die Populationsvarianz nicht gleich 0,00 kann das darauf hindeuten, dass die Ausprägung dieses Merkmals in den Allelen einer Population festgelegt ist. So würde sich erklären, dass eine Merkmalsausprägung zwar innerhalb einer Population konstant ist, zwischen Populationen jedoch variiert. Diese Verteilung der Varianzkomponenten wurde nur für ein Merkmal (Tausendkornmasse im Jahr 2003) beobachtet. Zudem waren hier Populationsvarianz und Fehlervarianz etwa gleich hoch. Eine genetische Festlegung innerhalb der Population bleibt auf dieser Datenbasis daher hypothetisch. Die hohe Fehlervarianz macht deutlich, dass die Anzahl der Wiederholungen zu gering war, um eine ausreichend gute Schätzung der Proben- bzw. Populationsmittelwerte vornehmen zu können. Zwischen den Einzelpflanzennachkommen traten teilweise erhebliche Unterschiede in verschiedenen Parametern auf, vor allem bei der Wuchshöhe. Daher werden wesentlich höhere Wiederholungsraten empfohlen und unbedingte Einhaltung der *ceteris paribus*-Regel¹⁵, da *A. theophrasti* schon auf geringfügige Umweltveränderungen reagiert.

Der **Vergleich zwischen genetischer und phänotypischer Diversität** zeigt eine deutlich höhere genetische Diversität. Diese Divergenz deutet wieder darauf hin, dass *A. theophrasti* eine sehr hohe Fähigkeit zur Anpassung des Phänotyps an die Umwelt hat. Denn die hohe phänotypische Ähnlichkeit ist nicht auf ein ebenso ähnliches Genom aller Proben zurückzuführen. Diese Beobachtungen widersprechen der These von MARSHALL und JAIN (1968) sowie JAIN (1979), dass genetische Variabilität und phänotypische Plastizität in einer inversen Beziehung zueinander stehen und alternative Methoden darstellen, mit Umweltheterogenitäten umzugehen. *A. theophrasti* verfolgt offensichtlich beide Anpassungsstrategien (siehe auch SEXTON et al., 2002).

5.3 Abstammungsanalyse

Bei einer selbstbefruchtenden Art ist von zwei genetischen Eigenschaften auszugehen, die eine Abstammungsanalyse ermöglichen: zum einen die Einschränkung des Genoms auf Grund von lokal unterschiedlichen Selektionskriterien bei der Anpassung an ein neues Habitat (Flaschenhalseffekt) und zum zweiten die positive Korrelation der genetischen Ähnlichkeit mit dem Verwandtschaftsgrad. Auf der Basis dieser beiden

¹⁵ *Ceteris paribus*: (lateinisch) alles andere gleich

Eigenschaften ermittelten SENDA et al. (2004) das Ursprungsgebiet von *L. temulentum* dort, wo die Proben die höchste Diversität aufwiesen. Anhand des Diversitätsgrades gelang den Autoren eine geographische Zuordnung von 48 Proben. Auch für das Si-amkraut (*Chromolaena odorata* L.), einem weltweit verbreiteten invasiven Neophyten, ist eine solche Herkunftsanalyse erfolgreich durchgeführt worden (SCOTT et al., 1998; vgl. 2.7 und 2.8).

Teilweise war eine Ähnlichkeit der *A. theophrasti*-Proben aus einer Herkunftsregion klar erkennbar (nordrhein-westfälische Proben in Abb. 4.18). Im Trend zeigte sich, dass sowohl die ostdeutschen als auch die westdeutschen Populationen nicht eng verwandt sind. Das heißt, der Eintrag von *A. theophrasti* auf die beprobten Flächen ist wahrscheinlich auf verschiedene Eintragswege zurückzuführen. Anhand der beiden oben genannten Eigenschaften einer selbstbefruchtenden Art ist eine Abstammungsanalyse bei *A. theophrasti* nicht möglich, denn keine der Eigenschaften trifft auf diese Art zu. Weder ist ein Falschenhalseffekt nachweisbar, wie der Vergleich der Diversität zwischen und innerhalb der Populationen zeigt. Noch konnten die Verwandtschaftsverhältnisse der deutschen Populationen mit einer oder mehreren ausländischen Populationen anhand der Ähnlichkeit ermittelt werden, da die Ähnlichkeit zwischen Populationen konstant war.

5.4 Fazit und Ausblick

Abutilon theophrasti zeigte in der vorliegenden Arbeit viele Merkmale eines „idealen“ Unkrauts und eines erfolgreichen Invasors: lange und ungleichmäßige Keimung, kontinuierliche und hohe Samenproduktion, hohe Konkurrenz um den Wachstumsfaktor Licht, hohe phänotypische Plastizität und genetische Diversität sowie Allelopathie (in der vorliegenden Arbeit nicht untersucht). Die „Schwächen“ dieser Art liegen in der empfindlichen Keimungs- und der konkurrenzschwachen Jugendphase (SCHLICHTING, 1986; WARWICK und BLACK, 1986; ZANIN und SATTIN, 1988; AKEY, 1990; SATTIN et al., 1992; DEKKER, 1997; BENVENUTI et al., 2001; und weitere).

Für die Bekämpfung von *A. theophrasti* in Zuckerrüben müssen neben der (für viele Unkräuter typischen) unregelmäßigen Keimung besonders die hohe phänotypische Plastizität, die hohe Regenerationsfähigkeit nach einer Pflanzenschutzmaßnahme sowie die hohe genetische Diversität und damit das Risiko, dass schnell resistente Biotypen auftreten, bedacht werden. Für die Entwicklung eines Herbizides gegen *A. theophrasti* in Zuckerrüben heißt das, dass zunächst die Toleranzmechanismen aufgedeckt werden müssen. Dann muss das Herbizid in unterschiedlichen Entwicklungs- und

Wachstumsstufen einsetzbar sein. Es darf in der Pflanzen nicht zu schnell metabolisiert oder abgebaut werden. Im Hinblick auf Resistenzentwicklung wäre ein Wirkstoffwechsel am günstigsten. Die Möglichkeit der mechanischen Bekämpfungsmaßnahmen sollte nicht nur für den ökologischen Landbau optimiert werden, sondern auch für den Fall, dass *A. theophrasti* erst im Laubblattstadium erkannt wird (wenn die meisten Herbizide nicht mehr ihre volle Wirkung erreichen können). Die Maßnahmen müssen mehrfach durchgeführt werden. Die Feldversuche, die dieser Arbeit zu Grunde liegen, haben gezeigt, dass die Konkurrenzkraft der Zuckerrüben wesentlich zur Unterdrückung von *A. theophrasti* beiträgt. Grundvoraussetzung für eine hohe Konkurrenzkraft der Zuckerrüben ist die Berücksichtigung ihrer hohen ackerbaulichen Ansprüche.

Da keine der durchgeführten Maßnahmen ausreichend gute Wirkung gegen *A. theophrasti* zeigte, kann die Ausbreitung dieser Art in Zuckerrübenanbaugebieten im Moment nur unterbunden werden, wenn der Eintrag von *A. theophrasti* auf eine Ackerfläche verhindert wird. Neben der Reinigung der landwirtschaftlichen Geräte kommt der Saatgutkontrolle hier die größte Bedeutung zu. Saatgutreinigungsverfahren wie Sieben und Farb- und Texturbestimmung können nicht zuverlässig z.B. zwischen Samen von Öletich und *A. theophrasti* unterscheiden. Hier könnten Techniken wie die bildanalytische Samenerkennung auf Basis von Konturmerkmalen zum Einsatz kommen (GERHARDS et al, 1997; SÖKEFELD et al, 1999). Wenn es gelingt, die Herkunft der deutschen *A. theophrasti*-Populationen zu ermitteln, würde das die Kontrolle von möglicherweise verseuchtem Saatgut oder Futtermittel erleichtern. Für weiterführende Untersuchungen zur Herkunft und Abstammung von *A. theophrasti* können phänotypische Merkmale mit Blick auf die hohe phänotypische Plastizität vernachlässigt werden. Stattdessen sollten weitere molekulare Marker auf ihre dementsprechende Eignung bzw. die AFLP-Methode umfangreicher geprüft werden.

Bisher wird in Deutschland so gut wie gar nicht auf *A. theophrasti* aufmerksam gemacht. Den Redaktionen der Fachzeitschriften ist *A. theophrasti* bisher höchstens eine Randnotiz wert. Zu begrüßen ist dagegen die offensive Aufklärungskampagne zum Beispiel der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, die regelmäßig über *A. theophrasti* informiert. Aber weder die Hersteller von Herbiziden für den Zuckerrübenanbau noch das für die Zulassung von Pflanzenschutzmitteln zuständige Bundesministerium für Lebensmittelsicherheit und Verbraucherschutz nennen *A. theophrasti* als Schadorganismus in Zuckerrüben. Entsprechend sind keine Behandlungsempfehlungen gegen *A. theophrasti* zu finden oder wenigstens ein Hinweis darauf, dass die zugelassenen Rübenherbizide keine ausreichende Wirkung haben.

In Wesseling wurde *A. theophrasti* neu auf die Versuchsfläche eingetragen. Die Konkurrenz von *A. theophrasti* wirkte sich weder auf die Rüben noch auf die sonstigen Un-

kräuter aus. Dieses Ergebnis verleitet dazu, die potentielle langfristige Gefahr zu unterschätzen. Dass auch ein Besatz mit *A. theophrasti*, der unterhalb der ökonomischen Schadenschwelle liegt (vgl. dazu SCHWEIZER und BRIDGE, 1982 für Zuckerrübe; ZANIN und SATTIN, 1988 für Mais; BAUER und MORTENSEN, 1992 für Sojabohne;) bereits nach einmaligem Aussamen in folgenden Jahren zu einer Keimlingspopulation führen kann, die deutlich über der Schadenschwelle liegt, haben CARDINA und NORQUAY (1997) nachgewiesen. Der Feldversuch in Wesseling zeigte, dass *A. theophrasti* trotz ungünstiger Bedingungen für sich und optimaler Bedingungen des Hauptkonkurrenten Zuckerrübe fähig ist, zur Samenreife zu gelangen und sich vielleicht zu etablieren.

Im Vorfeld dieser Arbeit wurde die geplante Ausbringung eines in Deutschland fast unbekanntes, „invasiven“, schwer zu bekämpfenden Unkrauts auf dem Versuchsgut der Landwirtschaftlichen Fakultät der Universität Bonn sehr kritisch diskutiert. Es ist unter anderem der genauen Beobachtung des Versuchs und den dadurch optimalen Behandlungszeitpunkten und -maßnahmen zu verdanken, dass sich *A. theophrasti* kaum entwickeln konnte. Wenigen Rübenschlägen wird wohl unter landwirtschaftlicher Praxis so viel Aufmerksamkeit und Arbeitskraft gewidmet werden können. Nicht nur die Flächen in Tschechien und vielen süd- und südosteuropäischen Ländern, sondern mittlerweile auch einige Ackerflächen in Deutschland zeigen, wohin eine weniger genaue Beobachtung der Unkrautflora und vor allem der Mangel an Informationen über potentiell gefährliche neue Unkräuter führen kann.

6 Zusammenfassung

Abutilon theophrasti MEDICUS (Lindenblättrige Schönmalve, Samtpappel) wurde als Faserpflanze bis ins 19. Jahrhundert in Südosteuropa, dem Mittelmeergebiet sowie den USA und Kanada angebaut, dann aber von Hanf und Baumwolle abgelöst. Heute verursacht es in Reihenkulturen wie Sojabohne und Mais hohe Ertragseinbußen und Bekämpfungskosten. *A. theophrasti* konkurriert mit der Kulturpflanze vor allem um Licht und bildet bis zu 8.000 persistente Samen. Seit wenigen Jahren taucht *A. theophrasti* vereinzelt auf Zuckerrübenflächen in Deutschland auf. Für die vorliegende Arbeit ergaben sich daraus folgende Fragestellungen:

- Welche Konkurrenz stellt der invasive Neophyt *A. theophrasti* in Zuckerrüben bei verschiedenen Unkrautkontrollmaßnahmen für die Kulturpflanze und die einheimische Unkrautflora dar?
- Wie entwickeln sich Populationen von *A. theophrasti* in Zuckerrüben infolge verschiedener Unkrautkontrollmaßnahmen?
- Welches Maß an Diversität ist zwischen und innerhalb von Populationen von *A. theophrasti* zu finden?
- Ist es möglich, die Abstammung und Herkunft neuer Populationen von *A. theophrasti* in Deutschland anhand von molekularen Markern sowie morphologischen und phänologischen Merkmalen zu bestimmen?

In zweijährigen Feldversuchen wurden Bekämpfungsmöglichkeiten, Konkurrenzkraft und Populationsdynamik von *A. theophrasti* in Zuckerrüben in Abhängigkeit von verschiedenen praxisnahen Bekämpfungsmethoden und der *A. theophrasti*-Dichte untersucht. Parameter waren die Auflauftrate und die Biomasse der drei Pflanzengruppen (1) Zuckerrübe, (2) *A. theophrasti* und alle (3) sonstigen Unkräuter, Wuchshöhe, Entwicklungsstadium und Kapselzahl von *A. theophrasti* sowie Entwicklung des Rübenkörpers im Verlauf der Vegetationsperiode und Rübenertrag. Da *A. theophrasti* auf deutschen Zuckerrübenflächen bisher nur sporadisch auftritt, die Untersuchungen aber auch für den Fall eines flächendeckenden Besatzes durchgeführt werden sollten, wurden die Versuche auch in Tschechien angelegt.

Um das Invasionspotenzial abschätzen und eine Abstammungsanalyse vornehmen zu können, wurden die phänotypische und genetische Diversität zwischen 28 deutschen und 16 ausländischen Populationen (Tschechien, Ungarn, China, Korea und USA) des Neophyten quantifiziert. In einer Vegetationshalle wurden dafür während der gesamten Vegetationsperiode morphologische und phänologische Parameter erfasst. Die genetische Ähnlichkeit wurde mit AFLP-Markern ermittelt.

A. theophrasti reagierte tolerant auf die in Zuckerrüben üblichen Wirkstoffmischungen aus Phenmedipham, Desmedipham, Ethofumesat, Metamitron und Chloridazon (z.B. Betanal Expert + Goltix 700 SC). Bei ausschließlicher Applikation dieser Wirkstoffe wurde *A. theophrasti* in seiner konkurrenzempfindlichsten Phase von der Konkurrenz durch sonstige Unkräuter befreit und seine Entwicklung noch befördert. Ohne diese Konkurrenzentlastung konnte sich *A. theophrasti* nur bedingt gegen sonstige Unkräuter durchsetzen (unbehandelte Kontrolle). Triflursulfuron (Safari, Debut) führte bei *A. theophrasti* zu einer Wuchsdepression, die die Konkurrenz auf die Zuckerrüben verminderte. Die Wuchsdepression konnte teilweise aufgeholt werden, wenn der Zuckerrübenbestand schwach war oder in der frühen Entwicklung von *A. theophrasti* relativ hohe Temperaturen herrschten. Eine zusätzliche Applikation von Clopyralid (Lontrel) verzögerte die Regeneration. Glyphosat bekämpfte behandelte *A. theophrasti*-Pflanzen vollständig. Nicht mit Glyphosat behandelte „Nachzügler“ konnten allerdings ihre Entwicklung bis zur Rübenernte abschließen. Die Applikationsmethode Dochtstreichgerät erwies sich für die glyphosatsensitiven Zuckerrüben als ungeeignet. Hacken dezimierte *A. theophrasti* beträchtlich. Die überlebenden Pflanzen reagierten mit erhöhter vegetativer und generativer Produktion. Der Zuckerrübenertrag wurde dennoch gesteigert. Höchste Reduktionen von vegetativen und generativen Organen von *A. theophrasti* und höchste Rübenerträge folgten aus der Kombination aus Hacke, Triflursulfuron und Clopyralid sowie dem jeweils zweimaligen Einsatz von Hacke und Schnitt der Pflanzenteile von *A. theophrasti*, die über den Rübenbestand ragten (ein Großteil der Blütenanlagen). Damit wurde die Zuckerrübe unmittelbar, d.h. im aktuellen Anbaujahr von der Konkurrenz durch *A. theophrasti* befreit und die potentielle langfristige Konkurrenz durch Erhöhung des Bodensamenvorrats wurde vermindert.

Die Dichte von *A. theophrasti* hatte signifikanten Einfluss auf den Rübenertrag und zeigte teilweise Wechselwirkungen mit den chemischen Behandlungen. Die insgesamt geringe Dichte von *A. theophrasti* nach der künstlichen Etablierung auf der Versuchsfäche in Wesseling (vgl. Anhangstab. 24) führte weder zu Verlusten beim Rüben- noch beim Zuckerertrag. Von einem kräftigen Rübenbestand konnten 0 - 6 *A. theophrasti*-Pflanzen je m² ohne Ertragsverluste toleriert werden.

A. theophrasti zeigte eine geringe phänotypische Diversität zwischen und innerhalb von Populationen (Korrelationskoeffizienten für die Diversität von 0,96 - 0,97 bzw. 0,95 - 0,99), die nicht genetisch basiert ist. Das lässt auf ein hohes phänotypisches Anpassungsvermögen schließen. Die genetische Ähnlichkeit innerhalb von Populationen war für einen Selbstbefruchter gering ($GS_{Dice} = 0,71 - 0,75$). Eine Abstammungsanalyse auf Basis der abnehmenden genetischen Diversität („Flaschenhalseffekt“) oder

der Korrelation von phänotypischen oder genetischen Ähnlichkeit zum Verwandtschaftsgrad war auf Grund der hohen genetischen Diversität nicht möglich.

Als Fazit aus der vorliegenden Arbeit können folgende Aussagen getroffen werden:

- Die ungleichmäßige Entwicklung, das hohe Regenerationspotenzial und die hohe morphologische wie phänologische Plastizität von *A. theophrasti* zwingen zu mehrmaliger, gezielter Bekämpfung zusätzlich zur üblichen Herbizidmischung.
- Solange keine wirksamen Herbizide in Zuckerrüben zugelassen sind, ist mechanische Bekämpfung von *A. theophrasti* unerlässlich, um die Konkurrenz von *A. theophrasti* in Zuckerrüben kurz- und langfristig zu vermindern.
- Da *A. theophrasti* in der Keimlings- und Jugendphase konkurrenzschwach ist, trägt ein zügig entwickelter Zuckerrübenbestand wesentlich zur Unterdrückung von *A. theophrasti* bei. Dafür müssen die hohen Ansprüche der Zuckerrübe an Klima, Boden, Bearbeitung und Pflege berücksichtigt werden.
- Die hohe genetische Diversität innerhalb von *A. theophrasti*-Populationen verbessert die Chancen, neue Habitats zu besiedeln und sich an veränderte Umweltbedingungen oder Bearbeitungsmaßnahmen anzupassen.
- Wegen der hohen genetischen Diversität und der hohen phänotypischen Plastizität konnten Herkunft und Abstammung der deutschen Populationen nicht bestimmt werden.
- Zurzeit kann die Expertenforderung nach einer Schadenschwelle von Null für *A. theophrasti* in Zuckerrüben nur mit präventiven Maßnahmen wie Saatgutkontrolle und Gerätereinigung erfüllt werden.
- Um die Etablierung des invasiven Neophyten auf deutschen Zuckerrübenflächen zu verhindern, müssen Landwirte und Berater über Wirkungslücken sowie die Möglichkeiten zur Bekämpfung bzw. Vermeidung des Eintrags von *A. theophrasti* in Zuckerrübenflächen informiert werden.

7 Literaturverzeichnis

- AKEY, W.C., T.W. JURIK und J. DEKKER (1990): Competition for light between velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) and soybean (*Glycine max*). *Weed Research* 30: 403 - 411.
- ANDERSEN, R.N., R.M. MENGES und J.S. CONN (1985): Variability in velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) and reproduction beyond its current range in North America. *Weed Science* 33: 507 - 512.
- ANDERSEN, R.N. (1988): Outcrossing in Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). *Weed Science* 36: 599 - 602.
- AYRES, D.R. und D.R. STRONG (2001): Origin and genetic diversity of *Spartina anglica* (Poaceae) using nuclear DNA markers. *American Journal of Botany* 88: 1863 - 1867.
- BAILEY, L.H. und E.Z. BAILEY (1976): *Hortas* third. MacMillian Publishing Co., Inc.; New York.
- BAILEY, W.A., S.D. ASKEW, S. DORAI-RAJ und J.W. WILCUT (2003): Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) interference and seed production dynamics in cotton. *Weed Science* 51: 94 - 101.
- BAKER, H.G. (1965): The characteristics and modes of origin of weeds. In: Baker, H.G. und Stebbins, G.L. (eds): *The Genetics of Colonizing Species*. Academic Press. New York. 147 - 172.
- BAKER, H.G. (1974): The evolution of weeds. *Annual Review of Ecology and Systematics* 5: 1 - 24.
- BALOCH, H.A., A. DITOMMASO und A.K. WATSON (2001): Intrapopulation variation in *Abutilon theophrasti* seed mass and its relationship to seed germinability. *Seed Science Research* 11: 335 - 343.
- BAUER, T.A. und D.A. MORTENSEN (1992): A comparison of economic and economic optimum threshold for two annual weeds in soybeans. *Weed Technology* 6: 228 - 235.
- BAYER CROPSCIENCE (15.08. 2005):
<http://www.bayercropscience.de/de/pf/produkte/anwendung/index.asp?ID=113>
- BELLO, I.A., M.D.K. OWEN und H.M. HATTERMAN-VALENTI (1995): Effect of Shade on Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) Growth, Seed Production, and Dormancy. *Weed Technology* 9: 452 - 455.
- BENNER, B.L. und F.A. BAZZAZ (1985): Response of the annual *Abutilon theophrasti* Medic. (Malvaceae) to timing of nutrient availability. *Am. J. Bot.* 72: 320 - 323.
- BENVENUTI, S., M. MACCHIA und A. STEFANI (1994): Effects of shade on reproduction and some morphological characteristics of *Abutilon theophrasti* Medicus, *Datura stramonium* L. and *Sorghum halepense* L. Pers.. *Weed Research* 34: 283 - 288.

- BENVENUTI, S., M. MACCHIA und S. MIELE (2001): Quantitative analysis of emergence of seedlings from buried weed seeds with increasing soil depth. *Weed Science* 49: 528 - 535.
- BIOLOGISCHE BUNDESANSTALT FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT BBA (2001a) bzw. MEIER et al. (1993): Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen
- BIOLOGISCHE BUNDESANSTALT FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT BBA (2001b) bzw. HESS et al. (1997): Entwicklungsstadien mono- und dikotyler Pflanzen
- BÖHMER, H.J., T. HEGER und L. TREPL (2001): Fallstudien zu gebietsfremden Arten. *Texte des UBA* 13 / 01: 126 S.
- BRADSHAW, A.D. (1965): Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants. *Adv. Genet.* 13: 115-155.
- BRÄUTIGAM, H. (1998): Untersuchungen zur Konkurrenz zwischen Unkraut und Zuckerrüben – Auftreten, Ursachen und Konsequenzen für die Unkrautregulierung. Dissertation Universität Göttingen.
- BRITTON, N.L., und A. BROWN (1913): *Illustrated flora of the northern states and Canada* 2: 521.
- BROWN, R.H. (1985): Velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medic.) Factsheet Advisory Information. Ontario Ministry of Agriculture and Food. Agdex No. 642V.
- BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ: <http://www.floraweb.de/neoflora/neophyten.html>. 03.01. 2005.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ UND LEBENSMITTELSICHERHEIT BVL (22.07. 2005): <http://psm.zadi.de/8080/psm/jsp/index.jsp?modul=form>
- CANTELE, A., G. ZANIN und M.C. ZUIN (1987): *Abutilon theophrasti* Medicus: II. Scalarità d'emergenza dei semi nel terreno. *Riv. Agron.* 1: 224 - 228.
- CARDINA, J., E. REGNIER und D.H. SPARROW: (1995): Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) Competition and Economic Thresholds in Conventional- and No-Tillage Corn (*Zea mays*). *Weed Science* 43: 81 - 87.
- CARDINA, J. und D.H. SPARROW, (1997): Temporal changes in velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) seed dormancy. *Weed Science* 45: 61 - 66.
- CBD CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAM UNEP): <http://www.biodiv.org/decisions/default.asp?lg=0unddec=VI/23>. 29.12. 2004.
- CORNELIUS, R., W. SCHULTKA und G. MEYER (1990): Zum Invasionspotential floren-fremder Arten. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie*. Band XIX / II: 20 - 29.
- COUSENS, R.D. und M. MORTIMER (1995): *Dynamics of weed populations*. Cambridge University Press, Cambridge.
- DEKKER, J. und W.F. MEGGITT (1983): Interference between velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medic.) and soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) II. Population Dynamics. *Weed Research* 23: 103 - 107.

- DEKKER, J. (1997): Weed diversity and weed management. *Weed Science* 37: 237 - 246.
- DICE, L.R. (1945): Measures of the amount of ecologic association between species. *Ecology* 26: 297 - 302.
- DIEPENBROCK, W., G. FISCHBECK, K.U. HEYLAND und N. KNAUER (1999): Spezieller Pflanzenbau Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. ISBN 3-8001-2669-9.
- DOWAGRO (1998-2004) © Dow AgroSciences LLC
http://www.dowagro.com/de/produkte/PRODUKTSEITEN/12_lontrel.htm
02.12. 2004
- DOYLE, J.J. und J.L. DOYLE (1987): A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochem Bull* 19: 11 - 15.
- DRESLER-NURMI, A., Z. TEREFEWORK, S. KAIJALAINEN, K. LINDSTRÖM und A. HATAKKA (2000): Silver stained polyacrylamide gels and fluorescence-based automated capillary electrophoresis for detection of amplified fragment length polymorphism pattern obtained from white-rot fungi in the genus *Trametes*. *Journal of Microbiological Methods* 41: 161 - 172.
- ESSL, F. und W. RABITSCH (2004): Österreichischer Aktionsplan zu gebietsfremden Arten (Neobiota). Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. S. 9.
- FALCONER, D.S. (1984): Einführung in die quantitative Genetik. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. ISBN 3-8001-2532-3.
- FLINT, E.P., D.T. PATTERSON und J.L. BEYERS (1983): Interference and temperature effects on growth of cotton (*Gossypium hirsutum*), spurred anoda (*Anoda cristata*), and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). *Weed Science* 31: 892 - 898.
- FRYXELL, P.A. (1988): The Malvaceae of Mexico. *Systematic Botany Monographs* 25: 1 - 522.
- FUKAREK, F. und H. HENKER (1983): Neue kritische Flora von Mecklenburg (1. Teil). *Archiv Freunde Naturg. Mecklenburg* 23: 28 - 133.
- GERHARDS, R., M. SÖKEFELD, W. KÜHBAUCH und A. NABOUT (1997): Automatische bildanalytische Vermessung und Qualitätskontrolle von Saatgut. *VDLUFA-Schriftenr.* 46: 123 - 127.
- GIANESSI, L., S. SANKULA und N. REIGNER (2003): Plant Biotechnology: Potential Impact for Improving Pest Management in European Agriculture. Sugarbeet Case Study. The National Center for Food and Agricultural Policy, Washington D.C.
- GRESSEL, J.B. und L.G. HOLM (1964): Chemical inhibition of crop germination by weed seeds and the nature of inhibition by *Abutilon theophrasti*. *Weed Research* 4: 44 - 53.
- GRIME, J.P. (1977): Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *Amer. Natur.* 111, 1169 - 1194.

- HAAS, H.U., A. MICHEL und K. HURLE (1997): Genetic Diversity in *Amaranthus retroflexus*. Med. Fac. Landbouww. Univ. Gent 62: 759 - 765.
- HAMRICK, J.L. (1991): Correlation between species traits and allozyme diversity: Implications for conservation biology. Genetics and conservation of rare plants. Ed. Falk, D. A. und K. E. Holsinger. Oxford, Oxford University Press: 75 - 86.
- HANF, M. (1999): Ackerunkräuter Europas mit ihren Keimlingen und Samen. BLV Verlagsgesellschaft mbH. ISBN 3-405-14118-4.
- HANSEN, A. (1972): Nye floristiske fund og iagttagelser, mest fra 1969 og 1970. Bot. Tidsskr. 76: 166 - 173.
- HANSON, C.G. und J.L. MASON (1985): Bird seed aliens in Britain. Watsonia 15 : 237 - 252.
- HATZ, B. (1997): Untersuchungen der genetischen Diversität innerhalb der Gattung *Hordeum* mit molekularen Markertechniken. Herbert Utz Verlag, München. ISBN 3-89675-191-3.
- HEGER, T. und L. TREPL (2003): Predicting biological invasions. Biological Invasions 5: 313 - 321.
- HEINRICHS, C. (2005): Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben.
<http://www.landwirtschaftskammer.de/fachangebot/ackerbau/zuckerrueben/unkrautbekaempfung.htm> (01.05. 2005)
- HEYLAND, K.U. (1996): Spezieller Pflanzenbau. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. ISBN 3-8001-1080-6.
- HOLT, J.S. und A.B. BOOSE (2000): Potential for spread of *Abutilon theophrasti* in California. Weed Science 48: 43 - 52.
- HOROWITZ, M. und R.B. TAYLORSON (1984): Behaviour of hard and permable seeds of *Abutilon theophrasti* Medic. (velvetleaf). Weed Research 25: 363 - 372.
- HÜGIN, G. (1986): Die Verbreitung von *Amaranthus*-Arten in der südlichen und mittleren Oberrheinebene sowie einigen angrenzenden Gebieten. Phytocoenologia 14: 289 - 379.
- HULINA, N. (1995): Current weed problems in the continental part of Croatia. 9th EWRS Symposium, Budapest. 155 - 160.
- HULINA, N. (2000): Verbreitung und Biologie von *Abutilon theophrasti* Med. in Kroatien. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVII: 153 - 158.
- HURLE, K. (2004): Gemeinschaftsversuche Baden-Württemberg 2004. Heft 44: 104 - 106.
- HYLANDER, N. (1970): Prima loca plantarum vascularium Sueciae. Svensk Bot. Tidskr. 64: 3 - 332.
- IL'IN, M.M. (1949): *Abutilon*. B.K. Shishkin, ed, Flora of the USSR. Vol. XV, p. 108 - 111. Akademiya Nauk SSSR (English trans. 1974). Moskva, USSR.

- INTERNATIONAL SURVEY OF HERBICIDE RESISTANT WEEDS:
<http://www.weedscience.org/Summary/UspeciesMOA.asp?lstMOAID=4>.
02.02. 2005.
- INVASIVE SPECIES SPECIALIST GROUP: <http://www.issg.org/> 25.03. 2004
- ITO, M. (1993): [Zasso-Gaku-Souron]. Yoken-do, Tokyo (auf Japanisch). Zitiert in KUROKAWA et al. (2003b).
- JÄGER, E.J. (1991): Verbreitung, Biologie und Wuchsform von *Abutilon theophrasti* MEDIC. Wiss. Z. Univ. Halle XXXX '91 M, H.3, 37 - 48.
- JAIN, S.K. (1979): Adaptive strategies: Poymorphism, plasticity, and homeostasis. In *Topics in Plant Population Biology*, ed. O.T. Solbrig, S. Jain, G.B. Johnson, T.H. Raven. Columbia Univ. Press, New York. 160-187.
- JASIENIUK, M., A.L. BRÛLÉ-BABEL und I.N. MORRISON (1996): The evolution and genetics of herbicide resistance in weeds. *Weed Science* 44: 176 - 193.
- JASIENIUK, M. und B.D. MAXWELL (2001): Plant diversity: new insights from molecular biology and genomics technologies. *Weed Science* 49: 257-265.
- JASIEŃSKI, M., F.J. AYALA und F.A. BAZZAZ (1997): Phenotypic plasticity and similarity of DNA among genotypes of an annual plant. *Heredity* 78: 176 - 181.
- JEHLÍK, V., S. HEJNÝ, Z. KROPÁČ, M. LHOTSKA, K. KOPECKY und Z. SVOVODOVA (1988): Cizí expanzivní plevelé České republiky a Slovenské republiky, Academia Praha.
- JORDAN, D.L., A.C. YORK, J.L. GRIFFIN, P.A. CLAY, P.R. VIDRINE und D.B. REYNOLDS (1997): Influence of Applikation Variables on Efficacy of Glyphosate. *Weed Technology* 11: 354 - 362.
- JORDAN, N.R. und J.L. JANNINK (1997): Assessing the practical importance of weed evolution: a research agenda. *Weed Research* 37: 237 - 246.
- JURIK, T.W. und W.C. AKEY (1994): Solar-tracking leaf movements in velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). *Vegetation* 112: 93 - 99.
- KAZINCZI, G., I. BERES und S.S. NARWAL (2001): Allelopathic Plants. 3. Velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medic.). *Allelopathy Journal* 8: 179 - 188.
- KIRBY, R.H. (1963): Vegetable Fibres. P. 46. Interscience Publishers, New York.
- KOBUSCH, H. (2003): Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben – Ermittlung der Kritischen Periode. Dissertation Universität Hohenheim.
- KOWARIK, I. (2003): Biologische Invasionen: Neophyten und Neozoen in Mitteleuropa. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. ISBN 3-8001-3924-3.
- KRAUSZ, R.F., G. KAPUSTA und J.L. MATTHEWS (1996): Control of Annunal Weeds with Glyphosate. *Weed Technology* 10: 957 - 962.
- KREMER, R.J. (1986): Antimicrobial Activity of Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) Seeds. *Weed Science* 34: 617 - 622.

- 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., 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.
- KÜHN, I. und S. KLOTZ (2002) Hrsg: Bundesamt für Naturschutz, Bonn. Floristischer Status und gebietsfremde Arten. Schriftenreihe für Vegetationskunde 38: 47 - 56.
- KUROKAWA, S.; N. SHIMIZU; S. UOZUMI und Y. YOSHIMURA (2003a): Intra-specific variation in morphological characteristics and growth habitat of newly and accidentally introduced velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medic.) into Japan. *Weed Biology and Management* 3: 28 - 36.
- KUROKAWA, S.; N. SHIMIZU; S. UOZUMI und Y. YOSHIMURA (2003b): ISSR variation in a worldwide collection of velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) and the genetic background of weedy strains migled in grains imported into Japan. *Weed Biology and Management* 3: 179 - 183.
- LANDESUMWELTAMT NRW (1997): Gewässergütebericht (<http://www.lua.nrw.de/veroeffentlichungen/ggb97/a1.htm>). 18.10. 2004.
- LI, H.L. (1970): The origin of cultivated plants in Southeast Asia. *Econ. Bot.* 24: 3 - 19.
- LINDQUIST, J.L., B.D. MAXWELL, D.D. BUHLER und J.L. GUNSOLUS (1995): Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) Recruitment, Survival, Seed Production, and Interference in Soybean (*Glycine max*). *Weed Science* 43: 226 - 232.
- LUESCHEN, W.E. und R.N. ANDERSEN (1980): Longevity of velvetleaf (*A. theophrasti*) seeds in soil under agricultural practices. *Weed Science* 28: 341 - 346.
- MARSHALL, D.R. und S.K. JAIN (1968): Phenotypic plasticity of *Avena fatua* and *A. barbata*. *Am Nat.* 102: 457 - 467
- MARTINS, P. S. und S. K. JAIN (1979): Role of genetic variation in the colonizing ability of rose clover (*Trifolium hirtum* All.). *American Naturalist* 114: 591 - 595.
- MAXWELL, B.D., M.L. ROUSH und S.R. RADOSEVICH (1990): Predicting the evolution and dynamics of herbicide resistance in weed populations. *Weed Technology* 4: 2 - 13.
- MCCONNAUGHAY, K.D.M und J.S. COLEMAN (1998): Can plants track changes in nutrient availability via changes in biomass partitioning? *Plant and Soil* 202: 201 - 209.
- MEINLSCHMIDT, E., R. DITTRICH und G. VIEHWEGER (2004): Erfahrungen zur Bekämpfung der Samtpappel (*Abutilon theophrasti*). *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XIX*: 707 - 715.

- MEINLSCHMIDT, E. (2005). Monitoring of velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) on arable land in Saxony, Germany, in the years 2000 - 2003. BCPC Symposium Proceedings 81: Plant Protection and Plant Health in Europe: Introduction and Spread of Invasive Species: 257 - 258.
- MENDEL, G. (1866): Versuche über Pflanzenhybriden. Verh. Naturf. Verl. Brünn 4: 3 - 47.
- MENNEMA, J. (1982): Onderzoek naar plantengeografische aspecten van adventieve plantesoorten in Nederland. Gorteria 11: 51 - 58.
- MITCHELL-OLDS, T. (1995): The molecular basis of quantitative genetic variation in natural populations. Trends Ecol. Evol. 10: 324 - 328.
- MULLIS, K.B., F.A. FALOONA, S.J. SCHARF, R.K. SAIKI, G.T. HORN und H.A. ERLICH (1986): Specific enzymatic amplification of DNA in vitro: the polymerase chain reaction. Cold Spring Harb Symp Quant Biol 51 Pt 1, 263 - 273.
- MULLIS, K.B. und F.A. FALOONA (1987): Specific synthesis of DNA in vitro via a polymerase-catalyzed chain reaction. Methods Enzymol. 155: 335 - 350.
- NATIONAL INVASIVE SPECIES COUNCIL: <http://www.invasivespecies.gov>. 13.12. 2004.
- NEI, M. und W.H. LI (1979): Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleases. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA 76: 5269 - 5273.
- NIEMANN, P. (1988): Ein Ansatz zur Bewertung von Ackerunkräutern. Mitteilungen BBA 247: 115 - 128.
- O'HANLON, P.C., R. PEAKALL und D.T. BRIESE (2000): A review of new PCR-based genetic markers and their utility to weed ecology. Weed Research 40: 239 - 254.
- OLIVER, L.R. (1979): Influence of soybean planting date on velvetleaf competition. Weed Science 27: 183 - 188.
- ORR, H.A. und J.A. COYNE (1992): The genetics of adaptation: a reassessment. Am. Nat. 140: 725 - 742.
- PATTERSON, D.T. (1992): Temperature and Canopy Development of Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) and Soybean (*Glycine max*). Weed Technology 6: 68 - 76.
- PEDERSON, D.G. (1968): Environmental stress, heterozygote advantage and genotype-environment interaction in *Arabidopsis*. Heredity 23: 127 - 138.
- PIGLIUCCI, M., J. WHITTON und C.D. SCHLICHTING (1995): Reaction norms of *Arabidopsis*. I. Plasticity of characters and correlations across water, nutrient and light gradients. J. Evol. Biol. 8: 421 - 438.
- RAYNAL, D.J. und F.A. BAZZAZ (1973): Establishment of early successional plant populations on forest and prairie soil. Ecology 54: 1335 - 1341.
- RENNER, K.A. und G.E. POWELL (1991): Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) Control in Sugarbeet (*Beta vulgaris*). Weed Technology 5: 97 - 102.

- REINEKE, A. (1998): Differenzierung von verschiedenen Populationen des Schwammspinners, *Lymantria dispar* L. (Lepidoptera, Lymantriidae), mit Hilfe molekularer Marker. Verlag Ulrich E. Grauer, Stuttgart. ISBN 3-86186-222-0.
- REINHARDT, F., M. HERLE, F. BASTIANSEN und B. STREIT (2003): Ökonomische Folgen der Ausbreitung von Neobiota. Forschungsbericht 201 86 11 des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. UBA-FB 000441.
- RIES, S.K. (1976): Subtoxic effects on plants. Audus ed.: Herbicides: Physiology, Biochemistry, Ecology, 2nd ed., Academic Press, London: 313 - 344.
- RITTER, R.L. (1986): Triazine resistant velvetleaf and giant foxtail control in no-tillage corn. Proc Northeast Weed Sci. Soc. 40: 50 - 52.
- ROETH, F., R. MOOMAW, A. MARTIN und O. BURNSIDE (1983): Velvetleaf. Coop. Ext. Service. Institute of Agriculture and Natural Resources. University of Nebraska. NebGuide G83 - 681.
- ROETH, F. (1987): Velvetleaf – coming on strong. Crops and soil magazin 39: 10 - 11.
- ROTTEVEEL A.J.W. (1982): Annual report 1981, Netherlands: Plantenziektenkundige Dienst. S. 164.
- SAIKI, R.K., D.H. GELFAND, S. STOFFEL, S.J. SCHARF, R. HIGUCHI, G.T. HORN, K.B. MULLIS und H.A. ERLICH (1988): Primer-directed enzymatic amplification of DNA with a thermostable DNA polymerase. Science 239: 487 - 491.
- SATTIN, M., G. ZANIN und A. BERTI (1992): Case History for Weed Competition / Population Ecology: Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) in Corn (*Zea mays*). Weed Technology 6: 213 - 219.
- SAX, K. (1923): The association of size difference with seed-coat pattern and pigmentation in *Phaseolus vulgaris*. Genetics 8: 552 - 560.
- SCHÄUFELE, W.R. (1986): Einfluss hochwachsenden Unkrautes (*Chenopodium album*) auf Entwicklung und Ertrag der Zuckerrübe. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz 93: 125 - 135.
- SCHÄUFELE, W.R. (1991): Einfluss niedrigwachsender Unkräuter zwischen den Reihen auf den Ertrag der Zuckerrüben. Gesunde Pflanze 43: 175 - 179.
- SCHEINER, S.M. und C.J. GOODNIGHT (1984): The comparison of phenotypic plasticity and genetic variation in populations of the grass *Canthonia spicata*. Evolution 38: 845 - 855.
- SCHLICHTING, C.D. (1984): Studies on phenotypic plasticity in annual Phlox. PhD thesis. Univ. of Texas, Austin.
- SCHLICHTING, C.D. (1986): The evolution of phenotypic plasticity in plants. Ann. Rev. Ecol. syst. 17: 667 - 693.
- SCHLICHTING, C.D. und M. PIGLIUCCI (1995): Gene regulation, quantitative genetics, and the evolution of reaction norms. Evol. Ecol. 9: 154 - 168.

- SCHRADER, G., J.G. UNGER, J. GRÖGER und J. GORETZKI (2002): Invasive gebietsfremde Arten: Eine Gefahr für die biologische Vielfalt. Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Forschungsreport 2 / 2002.
- SCHWEIZER, E.E. und L.D. BRIDGE (1982): Sunflower (*Helianthus annuus*) and Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) Interference in Sugarbeets (*Beta vulgaris*). *Weed Science* 30: 514 - 519.
- SCHWENKFELD, C. (1600): *Stirpium et fossilium Silesiae Catalogus*. Lipsiae 1600. Seite 224.
- SCOTT, L.J., C.L. LANGE, G.C. GRAHAM und D.K. YEATES (1998): Genetic diversity and origin of siam weed (*Chromolaena odorata*) in Australia. *Weed Technology* 12: 27 - 31.
- SENDA, T., M. SAITO, T. OHSAKO und T. TOMINAGA (2005): Analysis of *Lolium temulentum* geographical differentiation by microsatellite and AFLP markers. *Weed Research* 45: 18 - 26.
- SENGBUSCH, P. v. (2003): Botanik Online. <http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/d38/38d.htm> 31.07. 2003
- SEXTON, J.P., J.K. MCKAY und A. SALA (2002): Plasticity and genetic diversity may allow saltcedar to invade cold climates in North America. *Ecological Applications* 12: 1652 - 1660.
- SHAW, J.E., R.E. PITBLADO und R.H. BROWN (1974): Velvetleaf. OMAF factsheet AGDEX 642 - 646.
- SHIMIZU, N., S. UOZUMI und T. NISHIDA (1994): Recent situation of emergence of alien weeds invading grasslands and forage crop fields. *Weed Research Japan* 39: 228 - 229 (auf Japanisch). Zitiert in KUROKAWA et al. (2003b).
- SILANDER, J.A. JR. (1985): The genetic basis of the ecological amplitude of *Spartina patens*. II. Variance and correlation analysis. *Evolution* 39: 1034 - 1052.
- S.K.E.W. SCHWEIZERISCHE KOMMISSION FÜR DIE ERHALTUNG VON WILDPFLANZEN http://www.cps-skew.ch/deutsch/schwarze_liste.htm. 24.05. 2004
- SMITH, J.S.C. und O.S. SMITH (1989): The description and assessment of distances between inbred lines of maize: II. The use of morphological traits as descriptors. *Maydica* 34: 141 - 150.
- SNEATH, P.H.A. und R.R. SOKAL (1973): *Numerical Taxonomy*. Freeman. San Francisco. 573 pp.
- SÖKEFELD, M., R. GERHRADS, W. KÜHBAUCH und A. NABOUT (1999): Automatische Vermessung und Klassifikation von Saatgut mit digitaler Bildverarbeitung. *Agribiol. Res.* 52: 183 - 191.
- SOLÉ, M., W. DURKA, S. EBER und R. BRANDL (2004): Genotypic and genetic diversity of the common weed *Cirsium arvense* (Asteraceae). *Int. J. Plant Sci.* 165: 437 - 444.

- SPENCER, N.R. (1984): Velvetleaf, *Abutilon theophrasti* (Malvaceae), History and Economic impact in the United States. *Economic Botany* 38: 407 - 416.
- STARKE, R.J., K.A. RENNER, D. PENNER und F.C. ROGGENBRUCK (1996): Influence of Adjuvants and Desmedipham plus Phenmedipham on Velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) and Sugarbeet Response to Triflusaluron. *Weed Science* 44: 489 - 495.
- STEGNIK, S.J. und N.R. SPENCER (1988): Using protein electrophoresis to investigate the phylogeny of velvetleaf (*Abutilon theophrasti*). *Weed Science* 36: 172 - 175.
- STEINBAUER, G.P. und B. GRIGSBY (1959): Methods of obtaining field and laboratory germination of seeds of Bindweeds, Lady's Thumb and Velvet Leaf. *Weeds* 7: 41 - 46.
- STEINMAUS, S.J. und R.F. NORRIS (2002): Growth analysis and canopy architecture of velvetleaf grown under light conditions representative of irrigated Mediterranean-type agroecosystems. *Weed Science* 50: 42 - 53.
- STERN, V.M., R.F. SMITH und R. VAN DEN BOSCH (1959): The integrated control concept. *J. agr. Science* 29: 81 - 101.
- SUKOPP, U. und H. SUKOPP (2004): Halb so wild – Neophyten in unserer Flora. Begleitheft zur Ausstellung im ÖBG. Herausgeber: Freundeskreis Ökologisch-Botanischer Garten e.V. Bayreuth, Juli 2004.
- SULTAN, S.E. (2000): Phenotypic plasticity for plant development, function and life history. *Trends in plant science* 5: 537 - 542.
- SUOMINEN, J. (1979): The grain immigrant flora of Finland. *Acta Bot. Fennica* 111: 1 - 108.
- TANJI, A. und A. TALEB (1997): New weed species recently introduced into Morocco. *Weed Research* 37: 27 - 31.
- TANKSLEY, S.D. (1993): Mapping polygenes. *Ann. Rev. Genet.* 27: 205 - 233.
- THARP, B.E., O. SCHABENBERGER und J.J. KELLS (1999): Response of Annual Weed Species to Glufosinate and Glyphosate. *Weed Technology* 13: 542 - 547.
- TOOLE, E.H. und E. BROWN (1946): Final results of the buried seed experiment. *J. Agric. Res.* 72: 201 - 210.
- TÓTH, A., T. TÖRÖK und J. MOLNÁR (1995): Results of a national survey of 12 noxious weed species. 9th EWRS Symposium, Budapest: 73-80.
- TUTIN, T.G., V.H. HEYWOOD, N.A. BURGESS, D.H. VALENTINE, S.M. WALTERS und D.A. WEBB (eds. 1964-1980): *Flora Europaea*, 1 - 5. Vols., Cambridge Univ. Press. ISBN 0-52123-205-8.
- VAVILOV, N.I. (1951): The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants (Transl., K.S. Chester). *Chron. Bot.* 13: 1 - 366.
- VEHOV, V.N., I.A. GUBANOV, und G.F. LEBEDEVA (1978): *Kulturnije rastenija SSSR*. Moskva.

- VIA, S., R. GOMULKIEWICZ, G. DE JONG, S.M. SCHEINER, C.D. SCHLICHTING und P. VAN TIENDEREN (1995): Adaptive phenotypic plasticity: consensus and controversy. *Trends Ecol. Evol.* 10: 212 - 217.
- VIHWEGER, G. und R. DITTRICH (2002): Die Samtpappel (*Abutilon theophrasti* MED.) – ein neues Unkraut in Sachsen. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVIII*: 99-106.
- VOS, P., R. HOGERS, M. BLEEKER, M. REIJANS, T. VAN DE LEE, M. HORNES, A. FRIJTERS, J. POT, J. PELEMAN, M. KUIPER und M. ZABEAU (1995) AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. *Nucleic Acids Research* 23: 4407 - 4414.
- VOS, P. und M. KUIPER (1997): AFLP analysis. In: *DNA markers: Protocols, Applications and Overviews. G. Caetano-Anollés and P.M. Gresshoff*, eds. J. Wiley und Sons, inc., NewYork. pp. 115 - 131.
- WAGNER, J.E. (2004). *Wirkortspezifische ALS-Inhibitor-Resistenz bei Amaranthus spp.* Verlag Grauer, Beuren Stuttgart. ISBN 3-86186-466-5
- WARWICK, S.I. und L.D. BLACK (1986): Genecological variation in recently established populations of *Abutilon theophrasti* (velvetleaf). *Can. J. Bot.* 64: 1632 - 1643.
- WARWICK, S.I. und L.D. BLACK (1988): The biology of canadian weeds. 90. *Abutilon theophrasti*. *Can. J. Plant Sci.* 68: 1069 - 1085.
- WILKEN, D.H. (1977): Local differentiation for phenotypic plasticity in the wild annual *Collomia linearis* (Polemoniaceae). *Syst. Bot.* 2: 99 - 108.
- WILLIAMSON, M. und A. FITTER (1996): The varying success of invaders. *Ecology* 77: 1661 - 1666.
- WSSA WEED SCIENCE SOCIETY OF AMERICA:
<http://www.wssa.net/photo&info/weedframe3.htm>. 12.12. 2004.
- YOSHIKAWA, Y. (1919): Bauma. In: *Kougei-Sakumotsu-Kakuron, Sen'i-Sakumotsu 1. Seibido-shoten, Tokyo*, 143 - 145 (auf Japanisch). Zitiert in KUROKAWA et al. (2003b).
- ZABEAU, M. und P. VOS (1993): Selective restriction fragment amplification: a general method for DNA fingerprinting. European Patent Application 92402629.7, Publication Number EP 0 534 858 A1.
- ZANIN, G. und M. SATTIN (1988): Threshold level and seed production of velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Medicus) in maize. *Weed Research* 28: 347 - 352.
- ZENG, L., W.V. BAIRD und J.A. DUSKY (1996): Identification of a molecular marker linked to dinitroaniline herbicide resistance in goosegrass. *Weed science meets the press: Proceedings Southern Weed Science Society 49th annual meeting, Charlotte, North Carolina, USA, January 15, 16, 17, 1996.*: 141 - 145.
- ZIMDAHL, R.L. (1989): *Weeds and Words*. Iowa State University Press, Ames.
- ZWERGER, P. und H.U. AMMON (2002): *Unkraut – Ökologie und Bekämpfung*. Eugen Ulmer GmbH und Co. Stuttgart. ISBN 3-8001-3846-8.

8 Anhang

8.1 Verzeichnis der Anhangsabbildungen

Anhangsabb. 1	Karte der Tschechischen Republik.	127
Anhangsabb. 2	Lage der Versuchsflächen und der Klimareferenzstation in der Tschechischen Republik	127
Anhangsabb. 3	Durchschnittliche Temperatur [°C] und durchschnittlicher Niederschlag [mm] der Jahre 2003 und 2004 sowie im langjährige Mittel, Wetterstation Pardubice.....	128
Anhangsabb. 4	Durchschnittliche Temperatur [C°] und durchschnittlicher Niederschlag [mm] der Jahre 2003 und 2004 sowie im langjährigen Mittel; Versuchsstation Dikopshof	128
Anhangsabb. 5	Parzellierung der Versuchsfläche (links) und Aufteilung einer Parzelle (rechts), Přelouč (2003).....	131
Anhangsabb. 6	Parzellierung der Versuchsfläche (links) und Aufteilung einer Parzelle (rechts), Svinčany (2004)	132
Anhangsabb. 7	Parzellierung der Versuchsfläche (links) und Aufteilung einer Parzelle (rechts), Wesseling (2004)	133

8.2 Verzeichnis der Anhangstabellen

Anhangstab. 1	Klimadaten vom 24.03. bis 20.04.2003, Wetterstation Pardubice.....	129
Anhangstab. 2	Klimadaten vom 23.04. bis 20.05.2004, Wetterstation Pardubice.....	129
Anhangstab. 3	Klimadaten vom 30.03. bis 20.04.2003, Wetterstation Dikopshof.....	130
Anhangstab. 4	Klimadaten vom 30.03. bis 20.04.2004, Wetterstation Dikopshof.....	130
Anhangstab. 5	Pflanzenbauliche Maßnahmen auf der Versuchsfläche Přelouč (2003) 131	
Anhangstab. 6	Pflanzenbauliche Maßnahmen auf der Versuchsfläche Svinčany (2004)	132
Anhangstab. 7	Pflanzenbauliche Maßnahmen auf der Versuchsfläche Wesseling (2004)	133
Anhangstab. 8	Handelsnamen und Wirkstoffzusammensetzung der eingesetzten Präparate	134
Anhangstab. 9	BBCH-Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien der Beta-Rüben (<i>Beta vulgaris</i> L. ssp. <i>vulgaris</i>) (nach Meier et al. 1993, Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft)	134
Anhangstab. 10	BBCH-Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien der dikotylen Unkräuter (nach Hess et al. 1997, Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft)	134
Anhangstab. 11	Aufwuchsjahr der Mutterpflanze (Ernte), Jahr der Anzucht für Untersuchungen und Anzahl Proben deutscher Herkunft.....	135

Anhangstab. 12	Aufwuchsjahr der Mutterpflanze (Ernte), Jahr der Anzucht für Untersuchungen und Anzahl Proben ausländischer Herkunft.....	136
Anhangstab. 13	Verzeichnis der Hersteller der verwendeten Chemikalien.....	136
Anhangstab. 14	Aufgelaufene <i>A. theophrasti</i> - und sonstige Unkräuter je m ² am 15.05. in Přelouč 2003	137
Anhangstab. 15	Aufgelaufene Zuckerrüben, <i>A. theophrasti</i> - und sonstige Unkräuter je m ² am 17.05.2004 in Svinčany 2004	137
Anhangstab. 16	Aufgelaufene Zuckerrüben-, <i>A. theophrasti</i> - und sonstige Pflanzen je m ² in den Parzellen der Blöcke A – D in Wesseling 2004.....	138
Anhangstab. 17	Aufgelaufene Zuckerrüben-, <i>A. theophrasti</i> - und sonstige Pflanzen je m ² in den Parzellen der Prüfglieder Mahd und Ohne ABUTH in Wesseling 2004	139
Anhangstab. 18	Durchschnittliche Blatttrockenmasse [g/0,5 m ²] der Zuckerrübe in Abhängigkeit von der Behandlung bei geringer und hoher Dichte von <i>A. theophrasti</i> , Přelouč (2003).....	140
Anhangstab. 19	Durchschnittliche Blatttrockenmasse [g/0,5 m ²] der Zuckerrübe in Abhängigkeit von der Behandlung bei geringer und hoher Dichte von <i>A. theophrasti</i> , Wesseling (2004)	140
Anhangstab. 20	Durchschnittliche Trockenmasse [g/0,5 m ²] von <i>A. theophrasti</i> in Abhängigkeit von der Behandlung bei geringer und hoher Dichte von <i>A. theophrasti</i> , Přelouč (2003).....	141
Anhangstab. 21	Durchschnittliche Trockenmasse [g/0,5 m ²] von <i>A. theophrasti</i> in Abhängigkeit von der Behandlung bei geringer und hoher Dichte von <i>A. theophrasti</i> , Wesseling (2004)	141
Anhangstab. 22	Durchschnittliche Anzahl [Anzahl / 0,5 m ²] von <i>A. theophrasti</i> in Abhängigkeit von der Behandlung bei geringer und hoher Dichte von <i>A. theophrasti</i> , Přelouč (2003)	142
Anhangstab. 23	Durchschnittliche Anzahl [Anzahl / 0,5 m ²] von <i>A. theophrasti</i> in Abhängigkeit von der Behandlung, Svinčany (2004)	142
Anhangstab. 24	Durchschnittliche Anzahl [Anzahl / 0,5 m ²] von <i>A. theophrasti</i> in Abhängigkeit von der Behandlung bei geringer und hoher Dichte von <i>A. theophrasti</i> , Wesseling (2004).....	142
Anhangstab. 25	Durchschnittliche Trockenmasse [g/0,5 m ²] der sonstigen Unkräuter in Abhängigkeit von der Behandlung bei geringer und hoher Dichte von <i>A. theophrasti</i> , Přelouč (2003)	143
Anhangstab. 26	Durchschnittliche Trockenmasse [g/0,5 m ²] von sonstigen Unkräutern in Abhängigkeit von der Behandlung bei geringer und hoher Dichte von <i>A. theophrasti</i> , Wesseling (2004).....	143
Anhangstab. 27	Rübenkörperfrischmasse [kg/1 m Rübenreihe] im Verlauf der Rübenkörperbildung bzw. [kg/8 m Rübenreihe] und [t / ha] bei Ernte in Abhängigkeit von der Behandlung bei geringer und hoher Dichte von <i>A. theophrasti</i> , Přelouč (2003)	144
Anhangstab. 28	Rübenkörperfrischmasse [kg/1 m Rübenreihe] im Verlauf der Rübenkörperbildung bzw. [kg/10 m Rübenreihe] und [t / ha] bei Ernte in Abhängigkeit von der Behandlung bei unterschiedlicher Dichte von <i>A. theophrasti</i> , Wesseling (2004).....	144

Anhangstab. 29	Durchschnittliche Wuchshöhe [cm] von <i>A. theophrasti</i> in Abhängigkeit von der Behandlung bei geringer und hoher Dichte von <i>A. theophrasti</i> , Přelouč (2003)	145
Anhangstab. 30	Durchschnittlich erreichte Wuchshöhe [cm] von <i>A. theophrasti</i> in Abhängigkeit von der Behandlung bei geringer und hoher Dichte von <i>A. theophrasti</i> , Wesseling (2004)	145
Anhangstab. 31	Durchschnittliche Anzahl Kapseln je Pflanze und relativ zur Standardvariante gebildete Kapseln je Pflanze in Abhängigkeit von der Behandlung nach Dichtestufen getrennt und zusammengefasst, Přelouč (2003)	145
Anhangstab. 32	Durchschnittliche Anzahl Pflanzen je m ² am 30.09. und daraus errechnete Anzahl Kapseln je m ² in Abhängigkeit von der Behandlung nach Dichtestufen getrennt und zusammengefasst, Přelouč (2003)	146
Anhangstab. 33	Durchschnittliche Anzahl Kapseln je Pflanze und relativ zur Standardvariante gebildete Kapseln je Pflanze in Abhängigkeit von der Behandlung nach Dichtestufen getrennt und zusammengefasst, Wesseling (2004)	146
Anhangstab. 34	Durchschnittliche Anzahl Pflanzen je m ² am 28.09. und daraus errechnete Anzahl Kapseln je m ² in Abhängigkeit von der Behandlung nach Dichtestufen getrennt und zusammengefasst, Wesseling (2004)...	146
Anhangstab. 35	Ähnlichkeit (Korrelationskoeffizient) zwischen den Populationen (2003). Berechnet aus den phänotypischen Parametern.....	147
Anhangstab. 36	Ähnlichkeit (Korrelationskoeffizient) zwischen den Populationen (2004). Berechnet aus den phänotypischen Parametern.....	148
Anhangstab. 37	Genetische Ähnlichkeit (Dice-Koeffizient) zwischen den Populationen. Berechnet aus den AFLP-Banden.	149
Anhangstab. 38	Ähnlichkeit (Korrelationskoeffizient) innerhalb der Populationen aus Přelouč (oben), Moutniče (Mitte oben), Heilbronn (Mitte unten) und Löwenstein (unten). Berechnet aus den phänotypischen Parametern.	151
Anhangstab. 39	Genetische Ähnlichkeit (Dice-Koeffizient) innerhalb der Populationen aus Dörverden (oben), Moutniče (Mitte) und Přelouč (unten). Berechnet aus den AFLP-Banden.....	152



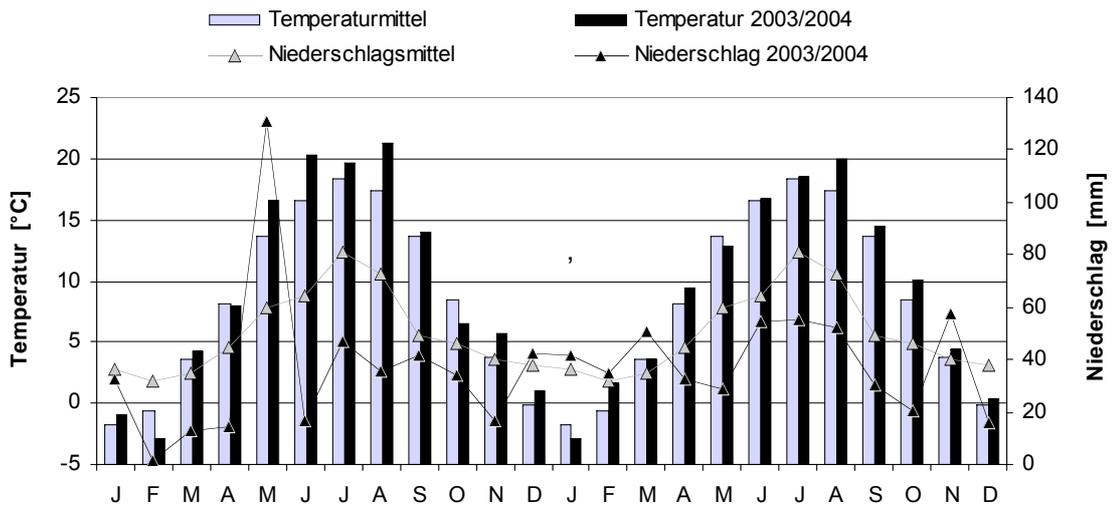
Anhangsabb. 1 Karte der Tschechischen Republik.

Der markierte Ausschnitt ist in Anhangsabb. 2 vergrößert dargestellt.



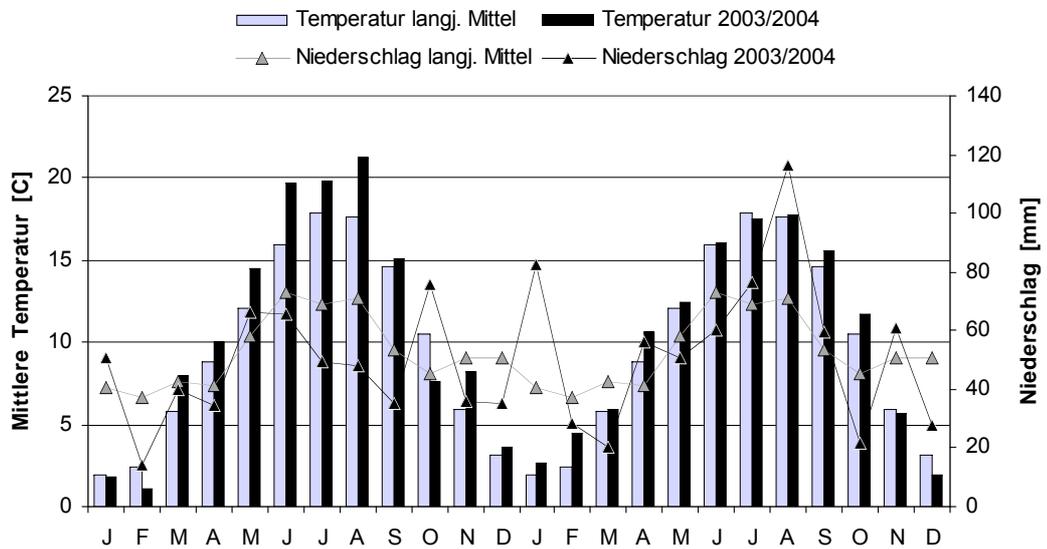
Anhangsabb. 2 Lage der Versuchsflächen und der Klimareferenzstation in der Tschechischen Republik

Klima Pardubice 2003/2004 und langjähriges Mittel



Anhangsabb. 3 Durchschnittliche Temperatur [°C] und durchschnittlicher Niederschlag [mm] der Jahre 2003 und 2004 sowie im langjährige Mittel, Wetterstation Pardubice

Klima Dikopshof 2003/2004 und langjähriges Mittel



Anhangsabb. 4 Durchschnittliche Temperatur [C°] und durchschnittlicher Niederschlag [mm] der Jahre 2003 und 2004 sowie im langjährigen Mittel; Versuchsstation Dikopshof

Anhangstab. 1 Klimadaten vom 24.03. bis 20.04.2003, Wetterstation Pardubice

Datum	Temp. min [°C]	Temp. max [°C]	Temp. Ø [°C]	Nieder- schlag [mm]	Datum	Temp. min [°C]	Temp. max [°C]	Temp. Ø [°C]	Nieder- schlag [mm]
24.03.	-4,0	10,5	1,2	0,0	11.04.	0,8	9,2	4,7	3,0
25.03.	-3,0	16,6	5,4	0,0	12.04.	-4,7	3,8	0,7	0,6
26.03.	-1,7	16,0	5,4	0,0	13.04.	-1,5	12,6	5,0	0,0
27.03.	-1,1	16,0	7,0	0,0	14.04.	-2,2	14,4	7,7	0,0
28.03.	2,4	19,3	12,1	0,0	15.04.	1,7	17,6	10,3	0,0
29.03.	-0,5	17,3	8,5	0,0	16.04.	-0,7	21,0	11,2	0,0
30.03.	2,0	18,0	6,9	0,0	17.04.	-1,5	19,5	11,8	0,0
31.03.	4,0	19,0	12,0	0,0	18.04.	2,8	18,1	10,9	0,0
01.04.	-3,1	10,3	7,2	0,0	19.04.	3,9	11,8	5,3	4,0
02.04.	6,6	14,1	8,0	0,0	20.04.	6,6	13,6	8,8	0,2
03.04.	2,4	11,6	6,8	2,0	21.04.	8,3	19,0	12,3	0,0
04.04.	2,2	8,2	5,0	0,0	22.04.	1,3	19,1	12,1	0,0
05.04.	2,0	9,0	4,0	Fehlt	23.04.	4,4	21,0	11,5	0,0
06.04.	-3,0	9,5	3,6	3,0	24.04.	3,3	16,8	12,7	0,0
07.04.	-4,2	2,8	-1,0	0,1	25.04.	1,1	17,7	10,6	0,0
08.04.	-2,4	2,0	-0,7	Fehlt	26.04.	6,4	19,8	11,7	0,0
09.04.	-5,6	3,0	-1,9	Fehlt	27.04.	11,7	23,3	18,0	1,0
10.04.	-5,2	3,3	-1,6	0,0					

Anhangstab. 2 Klimadaten vom 23.04. bis 20.05.2004, Wetterstation Pardubice

Datum	Temp. min [°C]	Temp. max [°C]	Temp. Ø [°C]	Nieder- schlag [mm]	Datum	Temp. min [°C]	Temp. max [°C]	Temp. Ø [°C]	Nieder- schlag [mm]
18.04.	2,9	15,2	9,3	0	05.05.	10,4	22,0	17,2	0,0
19.04.	10,9	16,8	11,6	0	06.05.	11,9	21,7	17,2	0,0
20.04.	7,5	16,1	11,7	10	07.05.	7,5	20,3	15,2	6,0
21.04.	4,2	13,3	9,1	0,4	08.05.	4,7	13,6	9,3	0,0
22.04.	3,2	19,7	11,9	0	09.05.	5,3	17,0	11,2	3,0
23.04.	7,0	23,0	13,4	0,0	10.05.	8,0	14,9	10,9	3,0
24.04.	8,0	21,6	16,0	1,0	11.05.	9,5	14,9	11,1	0,8
25.04.	5,6	12,6	9,2	5,0	12.05.	4,8	19,1	13,0	0,4
26.04.	2,7	8,8	5,6	5,0	13.05.	9,5	19,4	13,4	2,0
27.04.	3,2	14,7	9,3	0,0	14.05.	4,5	15,1	11,2	2,0
28.04.	4,1	18,5	11,4	0,0	15.05.	4,8	14,6	9,9	0,0
29.04.	9,4	20,6	14,3	0,0	16.05.	6,7	15,2	11,4	3,0
30.04.	10,2	22,5	16,0	0,0	17.05.	8,2	16,4	12,6	Fehlt
01.05.	9,5	24,2	17,6	0,0	18.05.	3,9	14,6	10,5	0,3
02.05.	11,4	22,4	17,1	0,9	19.05.	10,0	18,1	12,0	0,0
03.05.	7,0	18,1	13,3	0,0	20.05.	10,9	22,0	16,3	0,0
04.05.	11,4	19,1	14,2	0,0					

Anhangstab. 3 Klimadaten vom 30.03. bis 20.04.2003, Wetterstation Dikopshof

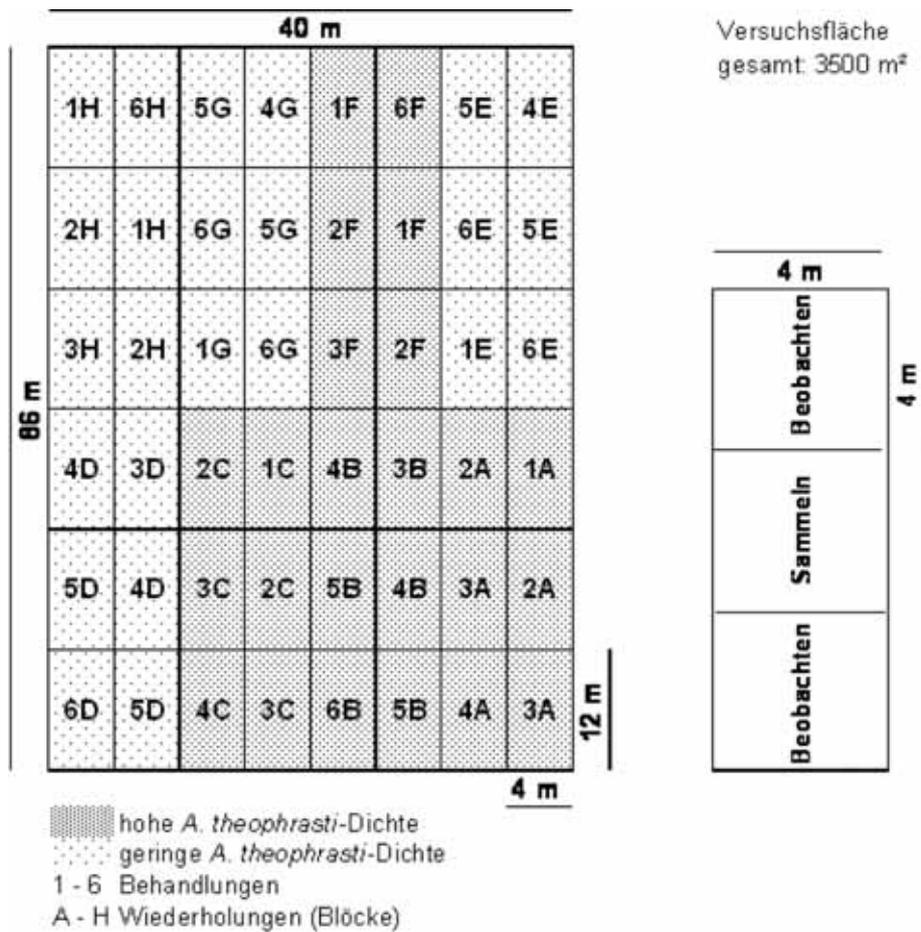
Datum	Temp. min [°C]	Temp. max [°C]	Temp. Ø [°C]	Nieder- schlag [mm]	Datum	Temp. min [°C]	Temp. max [°C]	Temp. Ø [°C]	Nieder- schlag [mm]
30.03.	8,0	16,5	12,3	0,8	10.04.	0,0	4,1	2,1	0,1
31.03.	3,5	13,1	8,3	0,0	11.04.	-1,0	9,5	4,3	0,0
01.04.	0,0	18,1	9,1	3,0	12.04.	-1,4	15,0	6,8	0,0
02.04.	3,7	8,3	6,0	3,3	13.04.	0,6	18,8	9,7	0,0
03.04.	2,3	8,1	5,2	0,1	14.04.	7,5	21,2	14,4	0,0
04.04.	0,0	10,6	5,3	0,0	15.04.	5,4	24,7	15,1	0,0
05.04.	5,5	11,2	8,4	0,0	16.04.	7,2	24,4	15,8	0,0
06.04.	1,6	8,6	5,1	0,0	17.04.	7,1	22,9	15,0	0,0
07.04.	-1,4	6,2	2,4	0,0	18.04.	4,3	18,2	11,3	0,0
08.04.	-5,2	6,9	0,9	0,0	19.04.	3,3	8,8	6,1	0,0
09.04.	-4,2	6,7	1,3	0,0	20.04.	-0,9	17,3	8,2	0,0

Anhangstab. 4 Klimadaten vom 30.03. bis 20.04.2004, Wetterstation Dikopshof

Datum	Temp. min [°C]	Temp. max [°C]	Temp. Ø [°C]	Nieder- schlag [mm]	Datum	Temp. min [°C]	Temp. max [°C]	Temp. Ø [°C]	Nieder- schlag [mm]
30.03.	2,5	17,9	10,0	0,0	10.04.	2,0	8,0	5,7	0,3
31.03.	2,0	19,6	10,7	0,0	11.04.	1,1	8,9	5,0	0,0
01.04.	5,1	20,6	13,3	0,0	12.04.	-1,2	13,5	6,4	0,0
02.04.	6,2	19,9	13,5	0,0	13.04.	7,4	11,9	9,2	0,0
03.04.	10,2	14,7	12,3	2,4	14.04.	3,8	14,4	9,3	0,0
04.04.	8,5	14,5	11,7	1,0	15.04.	1,6	17,8	10,4	0,0
05.04.	5,9	11,0	8,1	4,0	16.04.	2,9	20,6	12,5	0,0
06.04.	3,4	7,8	5,4	5,9	17.04.	4,5	21,7	13,6	0,0
07.04.	3,3	7,5	5,3	4,0	18.04.	8,3	13,1	11,0	1,4
08.04.	3,9	8,2	5,6	8,9	19.04.	6,0	12,6	9,1	0,0
09.04.	3,0	7,6	5,4	0,0	20.04.	5,4	15,3	10,3	0,8

Anhangstab. 5 Pflanzenbauliche Maßnahmen auf der Versuchsfläche Přelouč (2003)

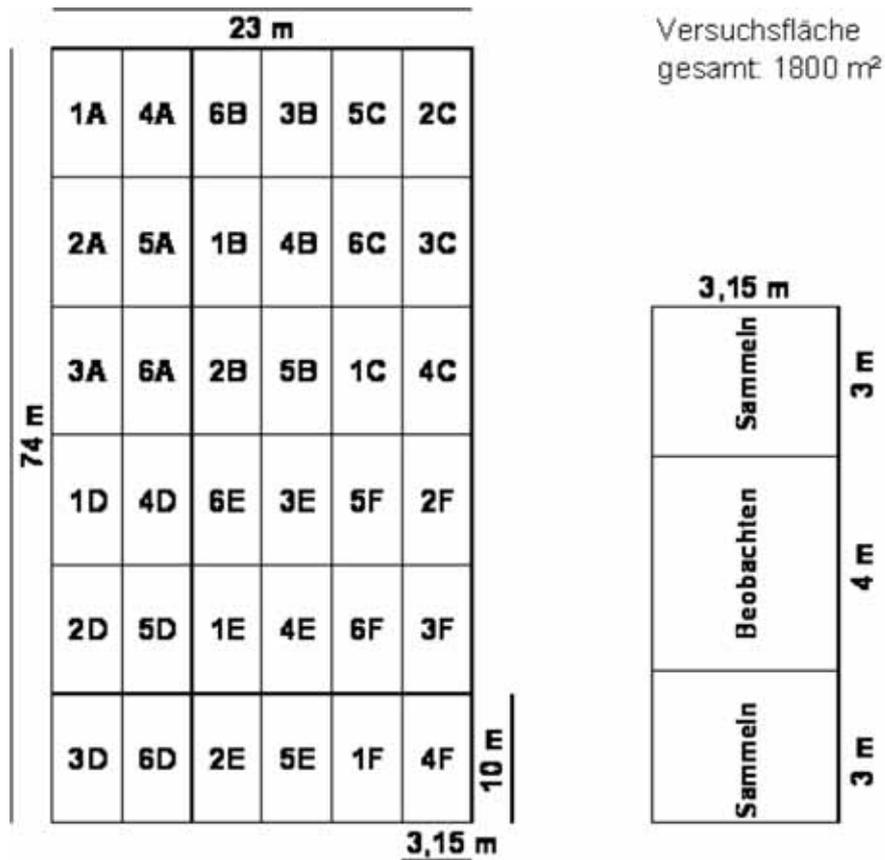
Datum	Behandlung	Eingesetztes Mittel und Dosierung
15.10.2002	Pflug	Sorte Loreta, 18 x 50 cm KAS (27 % N) 150 kg
20.03.2003	Kompaktor Umbrechen Winterweizen und Saatbettbereitung	
24.03.2003	Rübensaat N-Düngung	



Anhangsabb. 5 Parzellierung der Versuchsfläche (links) und Aufteilung einer Parzelle (rechts), Přelouč (2003)

Anhangstab. 6 Pflanzenbauliche Maßnahmen auf der Versuchsfläche Svinčany (2004)

Datum	Behandlung	Eingesetztes Mittel und Dosierung
k.A.	N-Düngung	k.A.
k.A.	Saatbettbereitung	
23.04.2004	Rübensaat	18 x 45 cm
k.A.	N-Düngung	k.A.



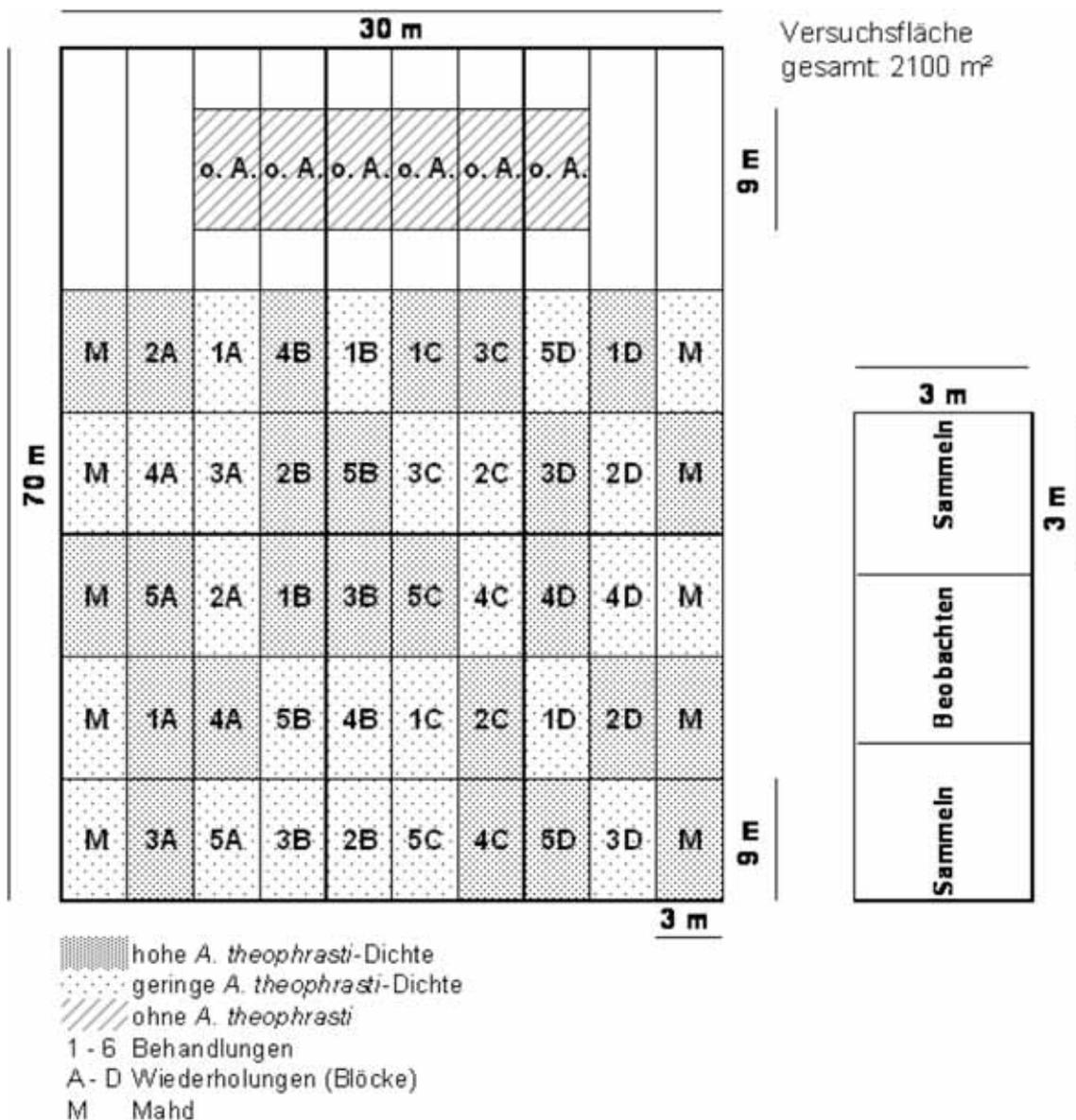
1 - 6 Behandlungen
A - F Wiederholungen (Blöcke)

Anhangsabb. 6 Parzellierung der Versuchsfläche (links) und Aufteilung einer Parzelle (rechts), Svinčany (2004)

Anhangstab. 7 Pflanzenbauliche Maßnahmen auf der Versuchsfläche Wesseling (2004)

Datum	Behandlung	Eingesetztes Mittel und Dosierung
06.11.2003	Pflug	100 kg/ha AHL
02.03.2004	N-Düngung	
21.03.2004	Saatbettbereitung	
30.03.2004	Kreiselegge, Packerwalze und Egge	Sorte Penta, 18 x 50 cm
	Rübensaat	
02.04.2004	Herbizidbehandlung	Rebell 3,0 l/ha
05.05.2004	N-Düngung	53 kg/ha KAS
27.07.2003	Fungizidbehandlung gegen Mehltau (<i>Erysiphe betae</i>)	Spyrale* 1,0 l/ha

* (375 g/l Fenpropidin + 100 g/l Difenconazol)



Anhangsabb. 7 Parzellierung der Versuchsfläche (links) und Aufteilung einer Parzelle (rechts), Wesseling (2004)

Anhangstab. 8 Handelsnamen und Wirkstoffzusammensetzung der eingesetzten Präparate

Handelsname	Wirkstoffe
Betanal Expert	75 g/l Phenmedipham + 25 g/l Desmedipham + 151 g/l Ethofumesat
Betanal Progress	62,4 g/l Phenmedipham + 15,6 g/l Desmedipham + 128 g/l Ethofumesat
Betosip SC	160 g/l Phenmedipham
Debut und Safari	486 g/kg Triflusulfuron + 500 g/kg Methylester
DMP Stefes	157 g/l Desmedipham
Flirt	418 g/l Chloridazon + 42 g/l Quinmerac
Gallant Super	104 g/l Haloxyfop-R
Goltix	700 g/l Metamitron
Kompakt Stefes	40 g/l Desmedipham + 129 g/l Phenmedipham
Kontakttwin	97 g/l Phenmedipham + 94 g/l Ethofumesat
Lontrel	100 g/l Clopyralid + 131.6 g/l Monoethanolamin-Salz
Mix Stefes	79 g/l Desmedipham + 79 g/l Phenmedipham
Powertwin	200 g/l Phenmedipham + 200 g/l Ethofumesat
Pyradex	430 g/l Chloridazon
Rebell	400 g/l Chloridazon + 50 g/l Quinmerac
Roundup Ultra	360 g/l Glyphosat
Stemat	500 g/l Ethofumesat
Synbetan Duo	125 g/l Phenmedipham + 34 g/l Desmedipham
Tandem	200 g/l Phenmedipham + 190 g/l Ethofumesat
Tornado	700 g/l Metamitron

Anhangstab. 9 BBCH-Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien der Beta-Rüben (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris*) (nach Meier et al. 1993, Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft)

Code	Beschreibung
00	Trockener Samen
01	Quellung: Beginn der Wasseraufnahme des Samens
03	Ende der Samenquellung: Samenschale geöffnet; ggf. Pille geplatzt
05	Keimwurzel aus dem Samen bzw. der Pille ausgetreten
07	Keimspross aus dem Samen bzw. der Pille ausgetreten
09	Auflaufen: Keimspross durchbricht Bodenoberfläche
10	Keimblattstadium: Keimblätter waagrecht entfaltet; 1. Laubblatt stecknadelkopf groß
11	1. Laubblatt deutlich sichtbar, erbsengroß
12	2 Laubblätter (1. Blattpaar) entfaltet
14	4 Laubblätter (2. Blattpaar) entfaltet
15...	5 Laubblätter entfaltet usw.
19	9 Laubblätter und mehr entfaltet
31	Beginn Bestandesschluss: 10 % der Pflanzen benachbarter Reihen berühren sich
32...	20 % der Pflanzen benachbarter Reihen berühren sich usw.
39	Bestandesschluss: über 90 % der Pflanzen benachbarter Reihen berühren sich
49	Rübenkörper hat erntefähige Größe erreicht

Anhangstab. 10 BBCH-Codierung der phänologischen Entwicklungsstadien der dikotylen Unkräuter (nach Hess et al. 1997, Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft)

Code	Beschreibung
00	Trockener Samen; Überdauerungs- bzw. Vermehrungsorgan im Ruhestadium
01	Beginn der Samenquellung
03	Ende der Samenquellung
05	Keimwurzel aus dem Samen ausgetreten
06	Keimwurzeln verlängert

Anhangstab. 10 Fortsetzung

Code	Beschreibung
07	Hypokotyl mit Keimblättern bzw. Spross hat Samenschale durchbrochen
08	Hypokotyl mit Keimblättern bzw. Spross wächst zur Bodenoberfläche
09	Auflaufen: Keimblätter durchbrechen Bodenoberfläche
10	Keimblätter voll entfaltet
11	1. Laubblatt entfaltet
12...	2. Laubblatt usw. entfaltet
19	9 oder mehr Laubblätter entfaltet
30	Beginn des Längenwachstums
31	1. sichtbar gestrecktes Internodium
32...	2. sichtbar gestrecktes Internodium usw.
39	9 oder mehr sichtbar gestreckte Internodien
51	Blütenanlagen bzw. -knospen sichtbar
55	Erste Einzelblüten sichtbar (geschlossen)
59	Erste Blütenblätter sichtbar, Blüten noch geschlossen
60	Vereinzelt erste Blüten offen
61	Beginn der Blüte: 10 % der Blüten offen
63	30 % der Blüten offen
65	Vollblüte: 50 % der Blüten offen, erste Blütenblätter können fallen oder vertrocknen
67	Abgehende Blüte: Mehrzahl der Blütenblätter abgefallen oder vertrocknet
69	Ende der Blüte: Fruchansatz sichtbar
71	Beginn der Fruchtentwicklung
79	Nahezu alle Früchte erreichen artspezifische Fruchtgröße
81	Beginn der Reife bzw. Fruchtausfärbung
89	Vollreife
97	Ende des Blattfalls; Pflanzen bzw. oberirdische Teile abgestorben

Anhangstab. 11 Aufwuchsjahr der Mutterpflanze (Ernte), Jahr der Anzucht für Untersuchungen und Anzahl Proben deutscher Herkunft

Nr.	Ernte	Herkunft	Abkürzung	Zur Verfügung gestellt von	Anzuchtjahr	Proben
1	2002	01589 Oelsitz	droe	LfL Sachsen	2003	2
2	2002	01920 Kriepitz	kri	LfL Sachsen	2003	1
3	2002	09111 Chemnitz	drv	LfL Sachsen	2003	1
4	2002	75248 Dürrn	due	AFLLBPF	2003	1
5	2002	75248 Ölbronn	oelb	AFLLBPF	2003	1
6	2002	75203 Königsbach	koen	AFLLBPF	2003	1
7	2002	27313 Dörverden	doer	E.H.	2003 / 04	4 / 1
8	2002	85098 Großmehring	grm	LWA Ingolstadt	2003	1
9	2002	85177 Eitensheim	eit	LWA Ingolstadt	2003	2
10	2002	85080 Gaimersheim	gai	LWA Ingolstadt	2003	2
11	2002	04824 Nepperwitz	nep	AfL Wurzen	2003	1
12	2002	01768 Cunnersdorf	cun	AfL Wurzen	2003	1
13	2002	08428 Langenbernsdorf	lan	AfL Zwickau	2003	1
14	2002	04442 Zwenkau	zwe	AfL Rötha	2003	1
15	2002	70599 Stuttgart	hoh	Uni Hohenheim	2003	1
16	2003	30982 Pattensen	pat	Privat	2004	1
17	2003	74078 Heilbronn	hei	ALLBHN	2004	5
18	2003	74245 Löwenstein	loew	Privat	2004	4
19	2003	38551 Ribbesbüttel	rib	Privat	2004	1
20	2003	31185 Steinbrück	ste	Privat	2004	1
21	2003	68766 Hockenheim	hoc	ALLBBCH	2004	1
22	2003	74931 Lobbach	lob	ALLBBCH	2004	1
23	2003	74249 Jagsthausen	jag	Privat	2004	2

Anhangstab. 11 Fortsetzung

Nr.	Ernte	Herkunft	Abkürzung	Zur Verfügung gestellt von	Anzuchtjahr	Proben
24	2003	50389 Wesseling	wes	E.H.	2004	3
25	2003	89155 Erbach	erb	Privat	2004	1
26	2003	53919 Weilerswist 1	wei	Privat	2004	2
27	2003	53919 Weilerswist 2	wel	Privat	2004	2
28	2003	53881 Euskirchen	eus	Privat	2004	2

AfL: Amt für Landwirtschaft

ALLBBCH: Amt für Landwirtschaft, Landschafts- und Bodenkultur Buchen und Sinsheim

ALLBHN: Amt für Landwirtschaft, Landschafts- und Bodenkultur Heilbronn

ALLBPF: Amt für Landwirtschaft, Landschafts- und Bodenkultur Pforzheim

LfL Sachsen: Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Privat: Privatperson, zumeist Landwirt oder Berater

E.H.: Eva Haensel

Uni Hohenheim: Institut für Phytomedizin der Universität Hohenheim, Lehrstuhl für Herbologie (Karlsruhof)

LWA: Landwirtschaftsamt

Anhangstab. 12 Aufwuchsjahr der Mutterpflanze (Ernte), Jahr der Anzucht für Untersuchungen und Anzahl Proben ausländischer Herkunft

Nr.	Ernte	Herkunft	Abkürzung	Zur Verfügung gestellt von	Anzuchtjahr	Proben
1	2002	CZ*, Třebešiče	tre	E.H.	2003	9
2	2002	CZ, Přelouč	pre	E.H.	2003 / 04	7 / 1
3	2002	CZ, Suchdol Land	sul	LU Prag	2003	1
4	2002	CZ, Kreis Nymburk	nym	E.H.	2003	1
5	k.A.	H*, Kaba	hgk	Privat	2003	1
6	k.A.	H, Hajdúsámson	hgh	Privat	2003	1
7	k.A.	China (3 Populationen)	chi	IPK	2003 / 04	3 / 1
8	k.A.	Koreanische DVR (3 Pop.)	kor	IPK	2003 / 04	3 / 1
9	2002	CZ, Klucov (Böhmen)	klu	E.H.	2003	2
10	2002	CZ, Jiriče	ji1	LU Prag	2003	6
11	2002	CZ, Jiriče Feld 2	ji2	LU Prag	2003	5
12	2002	CZ, Moutniče	mou	LU Prag	2003	8
13	2002	CZ, Pohoreliče	poh	LU Prag	2003	4
14	k.A.	USA, Champaign County, Illinois	ill	Privat	2004	1
15	k.A.	USA, Blue Earth County, Minnesota	min	Privat	2004	1
16	2003	CZ, Svinčany	svi	E.H.	2004	4

IPK: Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung, Gatersleben

LU Prag: Landwirtschaftliche Universität Suchdol, Prag (Tschechien); Institut für Allgemeine Pflanzenproduktion

*CZ: Tschechien, H: Ungarn

Anhangstab. 13 Verzeichnis der Hersteller der verwendeten Chemikalien

Hersteller

¹ Amersham Biosciences Europe GmbH, Freiburg

² AppliChem GmbH, Darmstadt

³ Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe

⁴ Fermentas GmbH, St. Leon-Roth

⁵ Invitrogen GmbH, Karlsruhe

⁶ Merck Eurolab GmbH, Darmstadt

Anhangstab. 13 Fortsetzung

Hersteller

⁷ MWG-Biotech AG, München	¹⁰ SERVA Electrophoresis GmbH, Heidelberg
⁸ PEQLAB - Biotechnologie GmbH, Erlangen	¹¹ Sigma-Aldrich Chemie GmbH, München
⁹ Roche Diagnostics GmbH, Mannheim	¹² USB Corporation, Cleveland (USA)

Anhangstab. 14 Aufgelaufene *A. theophrasti*- und sonstige Unkräuter je m² am 15.05. in Přelouč 2003

Pflanzen je m ²		<i>A. theophrasti</i>				Sonstige Unkräuter			
Dichte gering	Block	D	E	G	H	D	E	G	H
	Kontrolle	1	11	7	4	63	83	65	95
	Standard	1	2	5	0	27	71	134	40
	Debut	2	1	1	1	26	175	14	30
Dichte hoch	Block	A	B	C	F	A	B	C	F
	Kontrolle	87	210	22	14	67	41	119	256
	Standard	211	153	22	18	36	43	66	27
	Debut	46	90	26	22	81	13	28	6

Anhangstab. 15 Aufgelaufene Zuckerrüben, *A. theophrasti*- und sonstige Unkräuter je m² am 17.05.2004 in Svinčany 2004

Pflanzen je m ²		Block A	Block B	Block C	Block D	Block E	Block F
Zuckerrübe	Kontrolle	8	6	10	7	6	8
	Standard	6	9	7	8	2	8
	S+L gering	9	11	9	8	9	10
	S+L hoch	7	11	8	9	9	8
	Hacken + S+L gering	9	8	7	6	10	10
	Hacken + Schnitt	8	7	7	8	8	9
<i>A. theophrasti</i>	Kontrolle	46	64	17	13	16	4
	Standard	32	34	128	9	23	8
	S+L gering	9	195	50	16	14	2
	S+L hoch	126	85	11	47	14	2
	Hacken + S+L gering	75	49	148	31	8	17
	Hacken + Schnitt	28	195	86	33	28	15
Sonstige Unkräuter	Kontrolle	458	412	667	236	916	621
	Standard	154	269	228	124	790	316
	S+L gering	87	122	174	152	463	305
	S+L hoch	121	145	197	158	277	191
	Hacken + S+L gering	156	184	145	350	346	225
	Hacken + Schnitt	252	203	290	542	339	376

Anhangstab. 16 Aufgelaufene Zuckerrüben-, *A. theophrasti*- und sonstige Pflanzen je m² in den Parzellen der Blöcke A – D in Wesseling 2004

Pflanzen je m ²		23.04.2004				27.04.2004				04.05.2004				
		Block A	Block B	Block C	Block D	Block A	Block B	Block C	Block D	Block A	Block B	Block C	Block D	
Zuckerrübe	Dichte gering	Kontrolle	15,0	15,0	2,5	10,0	15,0	15,0	2,5	10,0	15,0	15,0	2,5	10,0
		Standard	15,0	12,5	12,5	10,0	15,0	12,5	12,5	12,5	15,0	12,5	12,5	15,0
		Debut	7,5	10,0	17,5	20,0	7,5	10,0	17,5	10,0	7,5	12,5	17,5	15,0
		Hacke	12,5	5,0	17,5	15,0	15,0	10,0	20,0	15,0	10,0	12,5	20,0	15,0
		D+L	12,5	5,0	7,5	17,5	12,5	5,0	12,5	20,0	12,5	5,0	10,0	20,0
	Dichte hoch	Kontrolle	7,5	7,5	17,5	15,0	20,0	5,0	15,0	15,0	10,0	2,5	17,5	15,0
		Standard	7,5	5,0	10,0	10,0	5,0	5,0	10,0	10,0	7,5	5,0	10,0	15,0
		Debut	12,5	10,0	15,0	12,5	12,5	10,0	15,0	12,5	12,5	5,0	17,5	12,5
		Hacke	17,5	5,0	10,0	15,0	20,0	5,0	12,5	15,0	10,0	7,5	15,0	15,0
		D+L	7,5	15,0	12,5	17,5	10,0	15,0	12,5	17,5	10,0	15,0	15,0	17,5
<i>A. theophrasti</i>	Dichte gering	Kontrolle	2,5	2,5	2,5	10,0	2,5	2,5	0,0	5,0	2,5	2,5	7,5	5,0
		Standard	5,0	7,5	2,5	2,5	7,5	7,5	5,0	0,0	0,0	2,5	2,5	0,0
		Debut	0,0	2,5	10,0	0,0	2,5	2,5	5,0	0,0	0,0	0,0	12,5	0,0
		Hacke	0,0	7,5	5,0	2,5	0,0	7,5	5,0	2,5	0,0	7,5	2,5	0,0
		D+L	2,5	2,5	2,5	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0
	Dichte hoch	Kontrolle	20,0	7,5	5,0	7,5	12,5	10,0	2,5	10,0	27,5	10,0	5,0	17,5
		Standard	10,0	5,0	27,5	7,5	10,0	5,0	25,0	7,5	2,5	0,0	7,5	5,0
		Debut	17,5	10,0	5,0	15,0	15,0	12,5	5,0	15,0	25,0	15,0	5,0	5,0
		Hacke	10,0	10,0	2,5	7,5	10,0	12,5	2,5	7,5	0,0	2,5	2,5	2,5
		D+L	25,0	5,0	7,5	30,0	25,0	7,5	7,5	32,5	10,0	2,5	12,5	15,0
Sonstige Unkräuter	Dichte gering	Kontrolle	65,0	30,0	35,0	20,0	67,5	32,5	27,5	20,0	75,0	35,0	40,0	22,5
		Standard	30,0	17,5	25,0	17,5	20,0	10,0	20,0	17,5	0,0	0,0	0,0	5,0
		Debut	37,5	2,5	17,5	5,0	50,0	7,5	10,0	2,5	0,0	0,0	2,5	2,5
		Hacke	42,5	22,5	7,5	22,5	40,0	22,5	5,0	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		D+L	2,5	15,0	37,5	50,0	0,0	22,5	15,0	50,0	0,0	2,5	2,5	2,5
	Dichte hoch	Kontrolle	12,5	35,0	10,0	47,5	15,0	50,0	17,5	40,0	20,0	55,0	27,5	52,5
		Standard	77,5	90,0	17,5	17,5	65,0	90,0	17,5	27,5	7,5	0,0	0,0	0,0
		Debut	20,0	25,0	12,5	22,5	22,5	5,0	15,0	35,0	2,5	0,0	0,0	2,5
		Hacke	27,5	37,5	25,0	17,5	15,0	32,5	30,0	22,5	0,0	10,0	0,0	0,0
		D+L	22,5	37,5	22,5	15,0	15,0	22,5	7,5	7,5	2,5	0,0	0,0	0,0

Anhangstab. 17 Aufgelaufene Zuckerrüben-, *A. theophrasti*- und sonstige Pflanzen je m² in den Parzellen der Prüfglieder Mahd und Ohne ABUTH in Wesseling 2004

Pflanzen je m ²			Prüfglied			Pflanzen je m ²			Prüfglied		
			Mahd						Ohne ABUTH		
Wdh.			23.04.	27.04.	04.05.	Wdh.			23.04.	27.04.	04.05.
Zuckerrübe	Dichte gering	1	7,5	10,0	10,0	Zuckerrübe	1	15,0	15,0	15,0	
		2	20,0	20,0	20,0		2	5,0	5,0	5,0	
		3	12,5	17,5	17,5		3	17,5	17,5	17,5	
		4	15,0	15,0	10,0		4	7,5	7,5	10,0	
		5	10,0	10,0	10,0		5	12,5	12,5	10,0	
	Dichte hoch	1	12,5	12,5	12,5		6	12,5	12,5	17,5	
		2	7,5	7,5	10,0		<i>A. theophrasti</i>	1	-	-	-
		3	10,0	10,0	15,0			2	-	-	-
		4	10,0	10,0	7,5			3	-	-	-
		5	10,0	10,0	10,0			4	-	-	-
				5	-	-		-			
<i>A. theophrasti</i>	Dichte gering	1	2,5	2,5	0,0	6	-	-	-		
		2	0,0	2,5	2,5	Sonstige	1	5,0	10,0	0,0	
		3	2,5	2,5	2,5		2	2,5	7,5	0,0	
		4	10,0	10,0	2,5		3	17,5	12,5	0,0	
		5	0,0	0,0	2,5		4	35,0	45,0	5,0	
	Dichte hoch	1	15,0	17,5	7,5		5	42,5	40,0	5,0	
		2	5,0	7,5	10,0		6	42,5	50,0	15,0	
		3	22,5	12,5	7,5						
		4	2,5	2,5	0,0						
		5	7,5	7,5	7,5						
Sonstige	Dichte gering	1	35,0	20,0	0,0						
		2	20,0	25,0	0,0						
		3	47,5	47,5	0,0						
		4	15,0	5,0	0,0						
		5	17,5	10,0	0,0						
	Dichte hoch	1	35,0	30,0	2,5						
		2	90,0	95,0	7,5						
		3	27,5	5,0	0,0						
		4	10,0	7,5	0,0						
		5	10,0	7,5	0,0						

Anhangstab. 18 Durchschnittliche Blatttrockenmasse [g/0,5 m²] der Zuckerrübe in Abhängigkeit von der Behandlung bei geringer und hoher Dichte von *A. theophrasti*, Přelouč (2003)

		22.05.	10.06.	01.07.	22.07.	14.08.	04.09.	30.09.
Dichte ABUTH		[g/0,5 m ²]						
Kontrolle Standard Safari Hacke Roundup Schnitt	gering	7,71	17,63	41,51	46,01	24,26	48,37	28,90
		5,62	64,57	86,17	110,01	102,61	131,94	72,36
		5,19	43,82	102,44	100,97	95,00	129,58	81,83
		6,12	45,78	78,12	118,00	165,87	159,15	93,32
		5,53	38,25	97,49	109,39	42,73	72,90	57,42
		4,24	30,78	88,17	107,16	114,98	166,79	115,99
Kontrolle Standard Safari Hacke Roundup Schnitt	hoch	7,04	20,16	27,26	35,53	28,31	35,46	40,81
		7,88	41,98	65,52	71,80	92,62	85,19	69,22
		4,79	43,01	68,41	87,37	68,25	104,65	97,57
		5,26	39,76	75,58	129,96	87,31	114,79	87,95
		5,80	35,64	55,06	77,75	50,81	31,18	50,37
		7,50	31,10	42,77	66,66	64,79	72,17	69,47

Anhangstab. 19 Durchschnittliche Blatttrockenmasse [g/0,5 m²] der Zuckerrübe in Abhängigkeit von der Behandlung bei geringer und hoher Dichte von *A. theophrasti*, Wesseling (2004)

		13.05.	14.06.	13.07.	09.08.	07.09.	08.10.
Dichte ABUTH		[g/0,5 m ²]					
Kontrolle Standard Debut Hacke D+L	gering	2,27	83,19	59,50	58,40	34,40	129,25
		1,06	92,44	228,95	180,95	191,70	223,10
		1,44	98,21	226,60	202,95	185,08	221,85
		1,43	93,67	263,35	200,70	238,23	210,38
		1,41	76,85	247,48	192,70	162,80	199,38
Kontrolle Standard Debut Hacke D+L	hoch	2,33	94,33	118,00	68,38	80,13	74,35
		1,34	105,58	209,05	192,53	208,28	174,83
		1,28	85,07	180,53	191,13	152,15	244,45
		1,04	112,67	193,28	167,38	195,08	206,18
		1,46	106,71	215,63	208,25	194,05	235,58
Mahd	gering	1,08	115,96	237,22	207,38	196,80	185,44
Mahd	hoch	2,33	94,33	118,00	68,38	80,13	74,35
Ohne ABUTH		1,14	110,46	216,60	200,60	196,15	213,30

Anhangstab. 20 Durchschnittliche Trockenmasse [g/0,5 m²] von *A. theophrasti* in Abhängigkeit von der Behandlung bei geringer und hoher Dichte von *A. theophrasti*, Přelouč (2003)

		22.05.	10.06.	01.07.	22.07.	14.08.	04.09.	30.09.
Dichte ABUTH		[g/0,5 m ²]						
Kontrolle	gering	0,15	4,06	11,06	33,53	62,07	28,88	47,41
Standard		0,08	2,02	48,16	36,06	90,69	74,57	63,34
Safari		0,05	0,09	4,70	15,31	30,03	13,75	18,97
Hacke		0,27	1,43	8,71	24,45	47,93	18,72	25,39
Roundup		0,49	6,90	45,01	28,64	38,92	28,83	12,40
Schnitt		0,11	7,30	37,42	33,68	94,90	107,50	90,38
Kontrolle	hoch	9,02	25,11	54,54	121,09	75,72	72,73	91,53
Standard		7,22	30,36	68,89	192,93	198,47	165,37	193,00
Safari		0,94	11,39	22,28	112,94	137,75	169,20	110,20
Hacke		1,15	9,21	45,64	91,18	135,69	83,32	72,36
Roundup		3,82	34,57	91,25	70,55	79,16	65,14	100,46
Schnitt		4,81	36,79	95,13	90,10	154,27	155,19	133,43

Anhangstab. 21 Durchschnittliche Trockenmasse [g/0,5 m²] von *A. theophrasti* in Abhängigkeit von der Behandlung bei geringer und hoher Dichte von *A. theophrasti*, Wesseling (2004)

		13.05.	14.06.	13.07.	09.08.	07.09.	08.10.
Dichte ABUTH		[g/0,5 m ²]					
Kontrolle	gering	0,45	1,76	1,43	4,25	6,13	25,63
Standard		0	0,63	0	0,48	1,08	0,38
Debut		0	0	0	0	0	0,85
Hacke		0	0,20	0	0	0	0
D+L		0,12	0	0	0	0,25	0
Kontrolle	hoch	0,64	4,86	16,50	12,70	14,50	10,95
Standard		0,13	0,54	1,43	1,38	0	8,20
Debut		0,06	0	0	0	0,30	0
Hacke		0	0,37	0	0	2,35	3,85
D+L		0	0	0	0	0	0
Mahd	gering	0	0,09	0,46	0	1,30	0
Mahd	hoch	0,08	0,33	2,76	0	6,28	3,42

Anhangstab. 25 Durchschnittliche Trockenmasse [g/0,5 m²] der sonstigen Unkräuter in Abhängigkeit von der Behandlung bei geringer und hoher Dichte von *A. theophrasti*, Přelouč (2003)

		22.05.	10.06.	01.07.	22.07.	14.08.	04.09.	30.09.
Dichte ABUTH		[g/0,5 m ²]						
gering	Kontrolle	5,9	73,5	140,9	167,1	169,7	188,1	173,5
	Standard	0,3	k.A.	18,5	55,0	39,3	58,0	63,7
	Safari	0,1	k.A.	0,7	8,7	7,5	29,0	40,4
	Hacke	0,1	k.A.	11,1	9,0	16,8	11,3	5,2
	Roundup	0,6	k.A.	8,3	12,8	26,0	44,5	55,8
	Schnitt	0,4	k.A.	6,7	18,5	29,5	13,9	19,4
hoch	Kontrolle	8,8	71,8	146,0	164,7	151,0	103,7	111,1
	Standard	0,3	k.A.	6,5	9,9	15,3	13,2	10,5
	Safari	0,1	k.A.	1,7	6,7	3,5	7,7	11,0
	Hacke	0,1	k.A.	4,9	7,5	25,5	37,0	45,1
	Roundup	0,4	k.A.	13,0	6,2	15,3	24,2	48,7
	Schnitt	0,3	k.A.	11,2	15,8	14,0	20,1	15,4

Anhangstab. 26 Durchschnittliche Trockenmasse [g/0,5 m²] von sonstigen Unkräutern in Abhängigkeit von der Behandlung bei geringer und hoher Dichte von *A. theophrasti*, Wesseling (2004)

		13.05.	14.06.	13.07.	09.08.	07.09.	08.10.
Dichte ABUTH		[g/0,5 m ²]					
gering	Kontrolle	1,4	75,3	396,0	138,2	212,3	173,5
	Standard	0*	0*	0*	0*	0*	0*
	Debut	0*	0*	0*	0*	0*	0*
	Hacke	0*	0*	0*	0*	0*	0,1
	D+L	0*	0*	0*	0*	0,3	0*
	Mahd	0*	0,1	0*	0,1	0,3	0,6
hoch	Kontrolle	1,0	71,9	282,4	222,4	130,2	241,3
	Standard	0*	0,08	0*	0*	0,4	0,2
	Debut	0*	0*	0*	0,1	0*	0*
	Hacke	0*	0*	0*	0*	0*	0*
	D+L)	0*	0,2	0*	0*	0*	0,3
	Mahd	0*	0,2	0*	0*	0*	0,1
Ohne ABUTH		0*	0*	0*	0*	0*	0,2

* Der Wert Null kann bedeuten, dass keine Pflanze gefunden wurde oder dass die Trockenmasse gefundener Pflanzen unterhalb des Wägebereichs der Waage lagen.

Anhangstab. 27 Rübenkörperfrischmasse [kg/1 m Rübenreihe] im Verlauf der Rübenkörperbildung bzw. [kg/8 m Rübenreihe] und [t / ha] bei Ernte in Abhängigkeit von der Behandlung bei geringer und hoher Dichte von *A. theophrasti*, Přelouč (2003)

		22.07.	14.08.	04.09.	30.09.	30.09.	30.09.
Dichte ABUTH		kg/1 m Reihe				kg/8 m Reihe	t / ha
Kontrolle	gering	0,4	0,2	0,5	0,9	5,7	14,2
Standard		1,0	1,7	2,2	2,8	19,3	48,2
Safari		0,8	1,4	1,5	2,7	23,5	58,7
Hacke		1,1	1,9	2,5	3,3	23,1	57,8
Roundup		0,9	0,7	1,4	1,3	10,2	25,4
Schnitt		1,0	1,4	2,5	2,6	19,3	48,3
Kontrolle	hoch	0,3	0,2	0,4	0,7	3,7	9,2
Standard		0,5	0,8	1,0	1,3	8,7	21,7
Safari		0,7	0,8	1,1	2,3	14,3	35,7
Hacke		1,2	1,2	1,7	2,4	16,0	40,0
Roundup		0,6	0,6	0,4	1,3	4,6	11,6
Schnitt		0,6	0,6	0,9	1,5	9,6	24,0

Anhangstab. 28 Rübenkörperfrischmasse [kg/1 m Rübenreihe] im Verlauf der Rübenkörperbildung bzw. [kg/10 m Rübenreihe] und [t / ha] bei Ernte in Abhängigkeit von der Behandlung bei unterschiedlicher Dichte von *A. theophrasti*, Wesseling (2004)

		13.07.	09.08.	07.09.	08.10.	08.10.	08.10.
Dichte ABUTH		kg/1 m Reihe				kg/10 m Reihe	t / ha
Kontrolle	gering	0,3	0,6	0,69	2,0	10,2	20,4
Standard		1,4	2,4	3,22	4,7	40,2	80,4
Debut		1,0	2,5	3,33	4,4	38,4	76,7
Hacke		1,8	2,6	3,63	4,8	38,1	76,1
D+L		1,5	2,4	2,74	3,9	40,2	80,3
Mahd		1,9	2,9	3,53	4,5	42,6	85,3
Kontrolle	hoch	0,6	0,6	1,08	1,3	8,9	17,8
Standard		1,5	2,4	4,03	4,4	40,5	81,1
Debut		1,6	2,4	3,03	4,2	38,7	77,3
Hacke		1,6	2,4	3,68	4,7	41,7	83,4
D+L		1,6	2,7	3,38	4,3	39,6	79,1
Mahd		1,6	2,9	3,97	4,4	41,4	82,8
Ohne ABUTH		1,5	2,8	3,64	4,9	41,4	82,8

Anhangstab. 29 Durchschnittliche Wuchshöhe [cm] von *A. theophrasti* in Abhängigkeit von der Behandlung bei geringer und hoher Dichte von *A. theophrasti*, Přelouč (2003)

		22.05.	10.06.	01.07.	22.07.	14.08.	04.09.	30.09.
Dichte ABUTH		[cm]						
gering	Kontrolle	3,9	36,8	63,0	88,4	93,7	96,2	96,3
	Standard	3,8	27,5	60,8	102,1	111,1	120,1	122,3
	Safari	2,4	8,2	18,4	45,0	58,5	69,9	77,8
	Hacke	k.A.	31,5	58,8	88,2	109,3	136,4	138,7
	Roundup	k.A.	k.A.	55,0	52,3	56,6	60,8	89,4
	Schnitt	k.A.	k.A.	50,5	51,7	71,7	93,6	93,3
hoch	Kontrolle	3,9	32,7	50,1	68,9	77,1	85,3	85,9
	Standard	3,0	28,2	62,6	97,3	107,4	117,6	117,4
	Safari	1,9	11,7	28,5	60,2	75,1	89,6	91,3
	Hacke	k.A.	27,0	56,4	99,6	108,6	117,7	119,3
	Roundup	k.A.	k.A.	56,3	57,1	64,5	71,9	88,6
	Schnitt	k.A.	k.A.	57,1	53,8	69,9	86,1	88,4

Anhangstab. 30 Durchschnittlich erreichte Wuchshöhe [cm] von *A. theophrasti* in Abhängigkeit von der Behandlung bei geringer und hoher Dichte von *A. theophrasti*, Wesseling (2004)

		16.06.	30.06.	16.07.	02.08.	16.08.	30.08.	16.09.	28.09.
Dichte ABUTH		[cm]							
gering	Kontrolle	39,8	53,0	63,7	82,9	93,6	97,2	99,8	100,4
	Standard	9,6	20,3	28,4	36,4	39,9	46,4	52,3	56,1
	Debut	5,2	8,8	13,3	18,2	18,2	25,6	29,3	32,6
	Hacke	10,0	18,2	20,3	25,5	29,2	41,4	48,8	40,3
	D+L	3,7	6,5	5,8	6,7	8,3	9,0	11,9	12,5
	Mahd	14,4	30,9	40,7	54,0	61,3	48,6	49,6	48,1
hoch	Kontrolle	41,4	56,7	63,9	85,1	98,1	102,3	98,9	104,8
	Standard	11,3	22,8	32,5	43,0	52,3	57,5	66,6	67,1
	Debut	4,7	7,1	10,5	14,3	16,4	19,2	23,3	21,1
	Hacke	10,1	17,9	26,0	31,8	45,1	49,5	54,4	58,3
	D+L	4,4	6,8	8,3	7,8	8,7	16,5	19,5	14,3
	Mahd	14,9	31,3	41,4	54,5	63,1	49,0	49,1	51,0

Anhangstab. 31 Durchschnittliche Anzahl Kapseln je Pflanze und relativ zur Standardvariante gebildete Kapseln je Pflanze in Abhängigkeit von der Behandlung nach Dichtestufen getrennt und zusammengefasst, Přelouč (2003)

	Durchschnittliche Anzahl Kapsel je Pflanze bei			Kapsel je Pflanze prozentual bei		
	geringer Dichte	hoher Dichte	gesamt	geringer Dichte	hoher Dichte	gesamt
Kontrolle	20,35	10,31	15,33 ^a	42 %	38 %	40 %
Standard	48,98	26,88	37,93 ^{ab}	100 %	100 %	100 %
Safari	14,06	18,31	16,19 ^a	29 %	68 %	43 %
Hacke	62,65	42,81	52,73 ^b	128 %	159 %	139 %
Roundup	15,19	21,13	18,16 ^a	31 %	79 %	48 %
Schnitt	24,19	9,63	16,91 ^a	49 %	36 %	45 %

Werte, die in einer Spalte mit demselben Buchstaben gekennzeichnet sind, sind nicht signifikant voneinander verschieden bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$.

Anhangstab. 32 Durchschnittliche Anzahl Pflanzen je m² am 30.09. und daraus errechnete Anzahl Kapseln je m² in Abhängigkeit von der Behandlung nach Dichtestufen getrennt und zusammengefasst, Přelouč (2003)

	Durchschnittliche Anzahl reifer Pflanzen je m ² am 30.09. bei			Durchschnittliche Anzahl Kapseln je m ² (errechnet) bei		
	geringer Dichte	hoher Dichte	gesamt	geringer Dichte	hoher Dichte	gesamt
Kontrolle	26,0	85,0	55,5	529	876	851
Standard	2,0	88,0	44,8	98	2365	1699
Safari	5,0	27,5	16,3	70	504	264
Hacke	4,0	35,0	19,5	251	1498	1028
Roundup	2,0	72,0	37,0	30	1521	672
Schnitt	14,6	100,5	57,6	353	968	974

Anhangstab. 33 Durchschnittliche Anzahl Kapseln je Pflanze und relativ zur Standardvariante gebildete Kapseln je Pflanze in Abhängigkeit von der Behandlung nach Dichtestufen getrennt und zusammengefasst, Wesseling (2004)

	Durchschnittliche Anzahl Kapsel je Pflanze bei			Kapsel je Pflanze prozentual bei		
	geringer Dichte	hoher Dichte	gesamt	geringer Dichte	hoher Dichte	gesamt
Kontrolle	6,0	6,2	6,1 ^a	232 %	142 %	170 %
Standard	2,6	4,4	3,6 ^b	100 %	100 %	100 %
Debut	0,0	0,0	0,0 ^c	0 %	0 %	0 %
Hacke	1,6	2,1	1,9 ^c	63 %	47 %	53 %
Debut + Lontrel	0,0	0,0	0,0 ^c	0 %	0 %	0 %
Mahd	0,0	0,0	0,0	0 %	0 %	0 %

Werte, die in einer Spalte mit demselben Buchstaben gekennzeichnet sind, sind nicht signifikant voneinander verschieden bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 5\%$. Gilt nicht für Prüfglied Mahd.

Anhangstab. 34 Durchschnittliche Anzahl Pflanzen je m² am 28.09. und daraus errechnete Anzahl Kapseln je m² in Abhängigkeit von der Behandlung nach Dichtestufen getrennt und zusammengefasst, Wesseling (2004)

	Durchschnittliche Anzahl reifer Pflanzen je m ² am 28.09.			Durchschnittliche Anzahl Kapseln je m ² (errechnet)		
	geringer Dichte	hoher Dichte	gesamt	geringer Dichte	hoher Dichte	gesamt
Kontrolle	3,5	5,3	4,4	20,8	33,1	26,9
Standard	0,2	1,0	0,6	0,5	4,6	2,6
Debut	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hacke	0,1	0,7	0,4	0,1	1,5	0,8
Debut + Lontrel	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Mahd	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Anhangstab. 35 Fortsetzung

	grm	eit	gai	ji1	ji2	mou	poh	nep	cun	lan
gai	0,9893	0,9820	1,0000							
ji1	0,9952	0,9710	0,9964	1,0000						
ji2	0,9982	0,9797	0,9948	0,9981	1,0000					
mou	0,9962	0,9747	0,9935	0,9984	0,9992	1,0000				
poh	0,9967	0,9826	0,9938	0,9966	0,9995	0,9991	1,0000			
nep	0,9872	0,9353	0,9680	0,9854	0,9854	0,9887	0,9841	1,0000		
cun	0,9860	0,9461	0,9797	0,9919	0,9895	0,9940	0,9891	0,9958	1,0000	
lan	0,9876	0,9340	0,9706	0,9874	0,9859	0,9891	0,9838	0,9995	0,9961	1,0000
zwe	0,9537	0,9135	0,9680	0,9763	0,9643	0,9723	0,9630	0,9680	0,9846	0,9719

Anhangstab. 35 Fortsetzung

	zwe
zwe	1,0000

Anhangstab. 36 Ähnlichkeit (Korrelationskoeffizient) zwischen den Populationen (2004). Berechnet aus den phänotypischen Parametern.

	doer	pre	chi	kor	pat	hei	hei	hei	hei	hei
doer	1,0000									
pre	0,9850	1,0000								
chi	0,9742	0,9836	1,0000							
kor	0,9908	0,9602	0,9412	1,0000						
pat	0,9941	0,9972	0,9788	0,9775	1,0000					
hei	0,9963	0,9747	0,9767	0,9866	0,9845	1,0000				
hei	0,9844	0,9993	0,9854	0,9582	0,9963	0,9756	1,0000			
hei	0,9976	0,9780	0,9772	0,9883	0,9873	0,9995	0,9779	1,0000		
hei	0,9960	0,9714	0,9733	0,9887	0,9826	0,9997	0,9718	0,9995	1,0000	
hei	0,9985	0,9825	0,9749	0,9917	0,9916	0,9975	0,9825	0,9984	0,9972	1,0000
loew	0,9979	0,9798	0,9745	0,9916	0,9894	0,9979	0,9795	0,9991	0,9980	0,9996
loew	0,9986	0,9901	0,9755	0,9874	0,9969	0,9923	0,9885	0,9949	0,9918	0,9966
loew	0,9987	0,9785	0,9714	0,9925	0,9893	0,9982	0,9787	0,9983	0,9981	0,9990
loew	0,9946	0,9698	0,9570	0,9960	0,9838	0,9927	0,9700	0,9925	0,9931	0,9958
ill	0,9940	0,9786	0,9837	0,9822	0,9858	0,9980	0,9802	0,9978	0,9972	0,9971
min	0,9957	0,9871	0,9663	0,9900	0,9954	0,9881	0,9869	0,9897	0,9871	0,9957
rib	0,9855	0,9978	0,9726	0,9677	0,9977	0,9726	0,9968	0,9764	0,9699	0,9837
ste	0,9820	0,9966	0,9699	0,9631	0,9957	0,9690	0,9963	0,9721	0,9656	0,9805
hoc	0,9899	0,9668	0,9803	0,9788	0,9761	0,9974	0,9686	0,9963	0,9973	0,9927
lob	0,9971	0,9817	0,9720	0,9901	0,9913	0,9942	0,9821	0,9942	0,9935	0,9971
jag	0,9922	0,9955	0,9823	0,9748	0,9976	0,9860	0,9965	0,9871	0,9832	0,9922
jag	0,9971	0,9863	0,9681	0,9917	0,9952	0,9905	0,9859	0,9920	0,9898	0,9970
wes	0,9934	0,9969	0,9845	0,9760	0,9988	0,9868	0,9972	0,9889	0,9845	0,9932
wes	0,9886	0,9971	0,9731	0,9727	0,9983	0,9774	0,9964	0,9807	0,9749	0,9876
wes	0,9905	0,9981	0,9804	0,9715	0,9986	0,9817	0,9976	0,9849	0,9793	0,9894
svi	0,9910	0,9975	0,9759	0,9753	0,9994	0,9801	0,9965	0,9834	0,9780	0,9894
svi	0,9797	0,9907	0,9568	0,9668	0,9930	0,9626	0,9894	0,9661	0,9600	0,9763
svi	0,9911	0,9958	0,9759	0,9761	0,9986	0,9802	0,9951	0,9828	0,9781	0,9890
svi	0,9923	0,9932	0,9701	0,9812	0,9979	0,9821	0,9931	0,9844	0,9802	0,9915
erb	0,9760	0,9956	0,9653	0,9565	0,9934	0,9600	0,9947	0,9642	0,9566	0,9738
wei	0,9828	0,9987	0,9758	0,9597	0,9965	0,9707	0,9985	0,9736	0,9670	0,9803
wei	0,9818	0,9992	0,9806	0,9561	0,9958	0,9712	0,9995	0,9739	0,9672	0,9798
wel	0,9859	0,9986	0,9835	0,9624	0,9969	0,9771	0,9993	0,9790	0,9735	0,9844
wel	0,9945	0,9966	0,9841	0,9737	0,9987	0,9869	0,9962	0,9889	0,9847	0,9909
eus	0,9896	0,9926	0,9820	0,9691	0,9934	0,9850	0,9920	0,9881	0,9830	0,9892
eus	0,9916	0,9990	0,9835	0,9699	0,9992	0,9828	0,9982	0,9855	0,9802	0,9888

Anhangstab. 36 Fortsetzung

	loew	loew	loew	loew	ill	min	rib	ste	hoc	lob
loew	1,0000									
loew	0,9962	1,0000								
loew	0,9983	0,9951	1,0000							
loew	0,9942	0,9895	0,9975	1,0000						

Anhangstab. 36 Fortsetzung

	loew	loew	loew	loew	ill	min	rib	ste	hoc	lob
ill	0,9976	0,9914	0,9955	0,9892	1,0000					
min	0,9931	0,9951	0,9946	0,9948	0,9879	1,0000				
rib	0,9806	0,9909	0,9791	0,9740	0,9764	0,9915	1,0000			
ste	0,9761	0,9864	0,9766	0,9728	0,9723	0,9906	0,9986	1,0000		
hoc	0,9942	0,9851	0,9928	0,9857	0,9979	0,9791	0,9626	0,9575	1,0000	
lob	0,9950	0,9933	0,9983	0,9978	0,9924	0,9969	0,9828	0,9823	0,9881	1,0000
jag	0,9891	0,9928	0,9900	0,9857	0,9887	0,9957	0,9952	0,9956	0,9792	0,9935
jag	0,9948	0,9961	0,9963	0,9962	0,9898	0,9997	0,9900	0,9885	0,9823	0,9981
wes	0,9910	0,9955	0,9900	0,9843	0,9902	0,9951	0,9966	0,9949	0,9809	0,9921
wes	0,9847	0,9928	0,9834	0,9790	0,9806	0,9943	0,9996	0,9984	0,9675	0,9865
wes	0,9875	0,9949	0,9851	0,9777	0,9851	0,9922	0,9984	0,9958	0,9739	0,9860
svi	0,9869	0,9950	0,9857	0,9809	0,9829	0,9949	0,9993	0,9972	0,9713	0,9884
svi	0,9712	0,9835	0,9739	0,9740	0,9642	0,9907	0,9955	0,9969	0,9494	0,9817
svi	0,9857	0,9931	0,9870	0,9842	0,9821	0,9959	0,9972	0,9969	0,9716	0,9919
svi	0,9881	0,9938	0,9893	0,9879	0,9837	0,9984	0,9968	0,9964	0,9726	0,9931
erb	0,9694	0,9825	0,9687	0,9646	0,9649	0,9862	0,9985	0,9988	0,9485	0,9751
wei	0,9764	0,9875	0,9766	0,9703	0,9740	0,9886	0,9986	0,9992	0,9602	0,9814
wei	0,9761	0,9866	0,9757	0,9679	0,9755	0,9865	0,9976	0,9980	0,9623	0,9801
wel	0,9808	0,9888	0,9814	0,9749	0,9808	0,9901	0,9968	0,9976	0,9694	0,9861
wel	0,9889	0,9961	0,9899	0,9824	0,9872	0,9923	0,9942	0,9923	0,9797	0,9913
eus	0,9893	0,9942	0,9843	0,9732	0,9881	0,9854	0,9909	0,9858	0,9792	0,9807
eus	0,9867	0,9951	0,9861	0,9781	0,9846	0,9914	0,9972	0,9954	0,9749	0,9877

Anhangstab. 36 Fortsetzung

	jag	jag	wes	wes	wes	svi	svi	svi	svi	erb
jag	1,0000									
jag	0,9952	1,0000								
wes	0,9991	0,9948	1,0000							
wes	0,9968	0,9928	0,9977	1,0000						
wes	0,9965	0,9914	0,9986	0,9988	1,0000					
svi	0,9970	0,9940	0,9985	0,9996	0,9991	1,0000				
svi	0,9911	0,9887	0,9899	0,9950	0,9898	0,9945	1,0000			
svi	0,9979	0,9953	0,9977	0,9976	0,9959	0,9984	0,9964	1,0000		
svi	0,9979	0,9975	0,9974	0,9982	0,9958	0,9982	0,9958	0,9987	1,0000	
erb	0,9915	0,9837	0,9919	0,9972	0,9941	0,9960	0,9968	0,9947	0,9937	1,0000
wei	0,9958	0,9869	0,9958	0,9981	0,9970	0,9974	0,9946	0,9964	0,9950	0,9981
wei	0,9957	0,9849	0,9960	0,9971	0,9970	0,9965	0,9918	0,9952	0,9933	0,9968
wel	0,9982	0,9890	0,9977	0,9970	0,9968	0,9969	0,9922	0,9972	0,9953	0,9952
wel	0,9967	0,9928	0,9977	0,9949	0,9967	0,9966	0,9884	0,9966	0,9947	0,9888
eus	0,9900	0,9854	0,9941	0,9921	0,9967	0,9929	0,9756	0,9867	0,9874	0,9830
eus	0,9969	0,9912	0,9984	0,9974	0,9989	0,9983	0,9902	0,9969	0,9952	0,9930

Anhangstab. 36 Fortsetzung

	wei	wei	wel	wel	eus	eus
wei	1,0000					
wei	0,9996	1,0000				
wel	0,9988	0,9992	1,0000			
wel	0,9947	0,9948	0,9964	1,0000		
eus	0,9888	0,9899	0,9893	0,9928	1,0000	
eus	0,9974	0,9975	0,9979	0,9991	0,9949	1,0000

Anhangstab. 37 Genetische Ähnlichkeit (Dice-Koeffizient) zwischen den Populationen. Berechnet aus den AFLP-Banden.

	kri	kri	koen	koen	doer	doer	tre	tre	pre	pre
kri	1,0000									
kri	0,9362	1,0000								
koen	0,7805	0,7907	1,0000							
koen	0,7692	0,7805	0,9744	1,0000						
doer	0,7179	0,6500	0,8235	0,7879	1,0000					
doer	0,7179	0,6500	0,8235	0,7879	1,0000	1,0000				
tre	0,8800	0,9412	0,7391	0,7727	0,6047	0,6047	1,0000			
tre	0,8800	0,9412	0,7391	0,7727	0,6047	0,6047	1,0000	1,0000		

Anhangstab. 37 Fortsetzung

	kri	kri	koen	koen	doer	doer	tre	tre	pre	pre
pre	0,8462	0,9057	0,8085	0,8261	0,6222	0,6222	0,9286	0,9286	1,0000	
pre	0,8462	0,9057	0,8085	0,8261	0,6222	0,6222	0,9286	0,9286	1,0000	1,0000
hgh	0,7917	0,8163	0,8571	0,8780	0,6829	0,6829	0,8077	0,8077	0,8519	0,8519
hgh	0,8261	0,8511	0,7805	0,8205	0,6667	0,6667	0,8400	0,8400	0,8462	0,8462
chi	0,8444	0,8261	0,7500	0,7368	0,6842	0,6842	0,8163	0,8163	0,8235	0,8235
chi	0,8696	0,8511	0,7805	0,7692	0,6667	0,6667	0,8400	0,8400	0,8462	0,8462
kor	0,7692	0,8302	0,7660	0,7826	0,5778	0,5778	0,8929	0,8929	0,9310	0,9310
kor	0,7347	0,7600	0,7727	0,7907	0,6190	0,6190	0,8302	0,8302	0,8727	0,8727
eit	0,8163	0,8800	0,8000	0,8372	0,6667	0,6667	0,9057	0,9057	0,8727	0,8727
eit	0,8163	0,8800	0,8000	0,8372	0,6667	0,6667	0,9057	0,9057	0,8727	0,8727
mou	0,7273	0,6667	0,8947	0,8421	0,8649	0,8649	0,6667	0,6667	0,7600	0,7600
mou	0,7619	0,6977	0,9189	0,8889	0,9143	0,9143	0,6522	0,6522	0,7083	0,7083
poh	0,8302	0,8889	0,8163	0,8511	0,6522	0,6522	0,9123	0,9123	0,9153	0,9153
poh	0,7925	0,8519	0,7917	0,8085	0,6522	0,6522	0,8772	0,8772	0,9153	0,9153
nep	0,8148	0,8727	0,8163	0,8333	0,6383	0,6383	0,8966	0,8966	0,9333	0,9333
nep	0,8302	0,8889	0,8163	0,8511	0,6522	0,6522	0,9123	0,9123	0,9153	0,9153
ill	0,7500	0,7347	0,8571	0,8571	0,7805	0,7805	0,7692	0,7692	0,8519	0,8519
ill	0,7660	0,7500	0,8571	0,8780	0,8000	0,8000	0,7843	0,7843	0,8302	0,8302
min	0,7843	0,8077	0,7391	0,7556	0,5909	0,5909	0,8727	0,8727	0,8772	0,8772
min	0,8077	0,8302	0,7917	0,8261	0,6667	0,6667	0,8929	0,8929	0,8966	0,8966
hoc	0,7500	0,8163	0,6364	0,6667	0,5366	0,5366	0,8846	0,8846	0,8519	0,8519
hoc	0,8400	0,8627	0,7391	0,7727	0,6047	0,6047	0,9259	0,9259	0,8929	0,8929
wei	0,8519	0,8364	0,8333	0,8511	0,6809	0,6809	0,8621	0,8621	0,9000	0,9000
wei	0,8519	0,8364	0,8333	0,8511	0,6809	0,6809	0,8621	0,8621	0,9000	0,9000
wes	0,7347	0,8000	0,7826	0,8444	0,6190	0,6190	0,8679	0,8679	0,8727	0,8727
wes	0,6522	0,7234	0,8095	0,8571	0,6154	0,6154	0,7600	0,7600	0,8077	0,8077
erb	0,8261	0,8511	0,7143	0,7000	0,6667	0,6667	0,8400	0,8400	0,8846	0,8846
erb	0,7826	0,8085	0,6829	0,6500	0,6667	0,6667	0,8000	0,8000	0,8846	0,8846

Anhangstab. 37 Fortsetzung

	hgh	hgh	chi	chi	kor	kor	eit	eit	mou	mou
hgh	1,0000									
hgh	0,9167	1,0000								
chi	0,7234	0,8000	1,0000							
chi	0,7500	0,7826	0,9778	1,0000						
kor	0,7778	0,7692	0,8235	0,8462	1,0000					
kor	0,7451	0,7755	0,8333	0,8163	0,9455	1,0000				
eit	0,8627	0,8980	0,7917	0,7755	0,8364	0,8462	1,0000			
eit	0,8627	0,8980	0,7917	0,7755	0,8364	0,8462	1,0000	1,0000		
mou	0,7826	0,7273	0,7907	0,7727	0,7200	0,7660	0,7234	0,7234	1,0000	
mou	0,7727	0,7619	0,7805	0,7619	0,6667	0,7111	0,7556	0,7556	0,9500	1,0000
poh	0,8364	0,8302	0,7692	0,7925	0,9153	0,8571	0,9286	0,9286	0,7059	0,7347
poh	0,8364	0,8302	0,7692	0,7547	0,9153	0,8929	0,9286	0,9286	0,7451	0,7347
nep	0,8571	0,8148	0,7547	0,7778	0,9333	0,8772	0,9123	0,9123	0,7308	0,7200
nep	0,8364	0,8302	0,7692	0,7925	0,9153	0,8571	0,9286	0,9286	0,7059	0,7347
ill	0,8000	0,7917	0,8511	0,8333	0,8148	0,8627	0,8235	0,8235	0,9130	0,8636
ill	0,7755	0,8085	0,8696	0,8511	0,7925	0,8400	0,8400	0,8400	0,8889	0,8837
min	0,7925	0,7843	0,8000	0,7843	0,8772	0,8889	0,8889	0,8889	0,7347	0,6809
min	0,7778	0,8077	0,8235	0,8077	0,8966	0,9091	0,9091	0,9091	0,7600	0,7500
hoc	0,7200	0,7500	0,7660	0,7917	0,8519	0,7843	0,8235	0,8235	0,6087	0,5909
hoc	0,7692	0,8400	0,8571	0,8400	0,8929	0,9057	0,9057	0,9057	0,7083	0,6957
wei	0,8571	0,8148	0,7925	0,8148	0,9000	0,8772	0,8772	0,8772	0,7692	0,7600
wei	0,8571	0,8148	0,7925	0,8148	0,9000	0,8772	0,8772	0,8772	0,7692	0,7600
wes	0,7451	0,7755	0,7917	0,7755	0,8727	0,8462	0,8846	0,8846	0,7234	0,7111
wes	0,8333	0,8261	0,6667	0,6522	0,8077	0,8163	0,8571	0,8571	0,7273	0,7143
erb	0,7083	0,7391	0,8000	0,8261	0,8077	0,7347	0,7755	0,7755	0,7273	0,7143
erb	0,7083	0,7391	0,8000	0,7826	0,8077	0,7755	0,7755	0,7755	0,7727	0,7143

Anhangstab. 37 Fortsetzung

	poh	poh	nep	nep	ill	ill	min	min	hoc	hoc
poh	1,0000									
poh	0,9667	1,0000								
nep	0,9836	0,9836	1,0000							
nep	1,0000	0,9667	0,9836	1,0000						
ill	0,8000	0,8364	0,8214	0,8000	1,0000					

Anhangstab. 37 Fortsetzung

	poh	poh	nep	nep	ill	ill	min	min	hoc	hoc
ill	0,8148	0,8148	0,8000	0,8148	0,9796	1,0000				
min	0,8966	0,9310	0,9153	0,8966	0,8302	0,8077	1,0000			
min	0,9492	0,9492	0,9333	0,9492	0,8519	0,8679	0,9474	1,0000		
hoc	0,8727	0,8364	0,8571	0,8727	0,7200	0,7347	0,8679	0,8519	1,0000	
hoc	0,9123	0,9123	0,8966	0,9123	0,8077	0,8235	0,9455	0,9643	0,8846	1,0000
wei	0,9508	0,9508	0,9677	0,9508	0,8571	0,8364	0,9153	0,9333	0,8214	0,8966
wei	0,9508	0,9508	0,9677	0,9508	0,8571	0,8364	0,9153	0,9333	0,8214	0,8966
wes	0,8929	0,8929	0,8772	0,8929	0,8235	0,8400	0,8519	0,9091	0,7843	0,8679
wes	0,8302	0,8679	0,8519	0,8302	0,7917	0,7660	0,7843	0,8077	0,6667	0,7600
erb	0,8302	0,7925	0,8148	0,8302	0,7500	0,7660	0,7451	0,8077	0,8333	0,8000
erb	0,7925	0,8302	0,8148	0,7925	0,7917	0,7660	0,7843	0,8077	0,7917	0,8000

Anhangstab. 37 Fortsetzung

	wei	wei	wes	wes	erb	erb
wei	1,0000					
wei	1,0000	1,0000				
wes	0,8421	0,8421	1,0000			
wes	0,8148	0,8148	0,8980	1,0000		
erb	0,7778	0,7778	0,7755	0,6522	1,0000	
erb	0,7778	0,7778	0,7755	0,6957	0,9565	1,0000

Anhangstab. 38 Ähnlichkeit (Korrelationskoeffizient) innerhalb der Populationen aus Přelouč (oben), Moutniče (Mitte oben), Heilbronn (Mitte unten) und Löwenstein (unten). Berechnet aus den phänotypischen Parametern.

Přelouč	pre1	pre2	pre3	pre4	pre5	pre6
pre1	1,0000					
pre2	0,9971	1,0000				
pre3	0,9776	0,9761	1,0000			
pre4	0,9801	0,9915	0,9632	1,0000		
pre5	0,9744	0,9636	0,9920	0,9353	1,0000	
pre6	0,9908	0,9956	0,9856	0,9940	0,9678	1,0000

Moutniče	mou1	mou2	mou3	mou4	mou5	mou6	mou7
mou1	1,0000						
mou2	0,9971	1,0000					
mou3	0,9922	0,9834	1,0000				
mou4	0,9986	0,9927	0,9942	1,0000			
mou5	0,9287	0,9059	0,9234	0,9311	1,0000		
mou6	0,9960	0,9887	0,9882	0,9985	0,9405	1,0000	
mou7	0,9734	0,9566	0,9741	0,9745	0,9857	0,9765	1,0000

Heilbronn	hei1	hei2	hei3	hei4	hei5
hei1	1,0000				
hei2	0,9756	1,0000			
hei3	0,9995	0,9779	1,0000		
hei4	0,9997	0,9718	0,9995	1,0000	
hei5	0,9975	0,9825	0,9984	0,9972	1,0000

Löwenstein	loew1	loew2	loew3	loew4
loew1	1,0000			
loew2	0,9962	1,0000		
loew3	0,9983	0,9951	1,0000	
loew4	0,9942	0,9895	0,9975	1,0000

Anhangstab. 39 Genetische Ähnlichkeit (Dice-Koeffizient) innerhalb der Populationen aus Dörverden (oben), Moutniče (Mitte) und Přelouč (unten). Berechnet aus den AFLP-Banden.

doer	11_1	11_2	12_2	13_1	13_2	14_1
11_1	1,0000					
11_2	0,9091	1,0000				
12_2	0,6250	0,6452	1,0000			
13_1	0,7692	0,7368	0,8000	1,0000		
13_2	0,7647	0,7879	0,8000	0,8085	1,0000	
14_1	0,8205	0,7895	0,8000	0,9615	0,8511	1,0000

mout	61_1	61_2	62_1	63_1	63_2	64_1	64_2	65_1	65_2	66_1
61_1	1,0000									
61_2	0,7083	1,0000								
62_1	0,8621	0,8148	1,0000							
63_1	0,8000	0,8235	0,9508	1,0000						
63_2	0,7925	0,8571	0,9153	0,9643	1,0000					
64_1	0,8727	0,7451	0,9508	0,8966	0,8571	1,0000				
64_2	0,8462	0,6667	0,8966	0,8364	0,7925	0,9455	1,0000			
65_1	0,7556	0,7805	0,7059	0,7083	0,7391	0,7083	0,6667	1,0000		
65_2	0,8000	0,7317	0,7059	0,7083	0,6957	0,7083	0,6667	0,9474	1,0000	
66_1	0,7451	0,8085	0,8772	0,8889	0,8846	0,8519	0,7843	0,6364	0,6364	1,0000
66_2	0,8750	0,6818	0,8148	0,7843	0,7755	0,8627	0,8333	0,6341	0,6341	0,7660
67_1	0,8235	0,6809	0,8772	0,8889	0,8462	0,9259	0,9020	0,7273	0,7273	0,8000
68_2	0,8727	0,7843	0,9508	0,8966	0,8571	0,9655	0,9091	0,7500	0,7500	0,8148

mout	66_2	67_1	68_2
66_2	1,0000		
67_1	0,8511	1,0000	
68_2	0,8235	0,8889	1,0000

pre	24_1	24_2	25_1	25_2	26_1	26_2	27_1	27_2	28_1	28_2
24_1	1,0000									
24_2	1,0000	1,0000								
25_1	0,9091	0,9091	1,0000							
25_2	0,7600	0,7600	0,8511	1,0000						
26_1	0,9310	0,9310	0,8727	0,8400	1,0000					
26_2	0,6809	0,6809	0,7273	0,8205	0,7234	1,0000				
27_1	0,9492	0,9492	0,8929	0,8235	0,9831	0,7083	1,0000			
27_2	0,9310	0,9310	0,8727	0,8000	0,9655	0,6809	0,9831	1,0000		
28_1	0,9825	0,9825	0,8889	0,7347	0,9123	0,6522	0,9310	0,9123	1,0000	
28_2	0,9455	0,9455	0,9231	0,7660	0,8727	0,6818	0,8929	0,8727	0,9630	1,0000
29_1	0,9643	0,9643	0,9434	0,7917	0,8929	0,7111	0,9123	0,8929	0,9455	0,9811
29_2	0,8929	0,8929	0,8679	0,7917	0,8214	0,7556	0,8421	0,8214	0,8727	0,9057

pre	29_1	29_2
29_1	1,0000	
29_2	0,9259	1,0000