



**Wissenschaftszentrum Weihenstephan  
für Ernährung, Landnutzung und Umwelt**

**Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik**

**Bachelorarbeit**

**PFLANZENSCHUTZTECHNISCHE MÖGLICHKEITEN ZUR  
BEKÄMPFUNG DER RESTVERUNKRAUTUNG IN ZUCKERRÜBEN**

-

**ZIELFLÄCHENVERTEILUNG VERSCHIEDENER APPLIKATIONSVERFAHREN**

**Bearbeiter:** Johannes Roeb, Agrar- und Gartenbauwissenschaften

**Betreuer:** Prof. Dr. agr. habil. Heinz Bernhardt, Lehrstuhl für Agrarsystemtechnik

**Prüfer:** Prof. Dr. agr. habil. Heinz Bernhardt

**Ausgabe:** 12.12.2012

**Abgabe:** 25.02.2013

**Inhaltsverzeichnis**

<i>Abbildungsverzeichnis</i> .....	V
<i>Tabellenverzeichnis</i> .....	VI
<i>Abkürzungsverzeichnis</i> .....	VII
<i>Verzeichnis der wissenschaftlichen Bezeichnungen</i> .....	VIII
1 Einleitung.....	1
2 Problemstellung.....	2
3 Stand des Wissens und der Technik.....	4
3.1 Pflanzenbauliche Aspekte.....	4
3.1.1 Grundlagen der Restverunkrautung.....	4
3.1.2 Bedeutung der Restverunkrautung.....	10
3.1.3 Bekämpfung der Restverunkrautung.....	14
3.2.4 Zusammenfassung.....	21
3.2 Applikationstechnische Aspekte.....	22
3.2.1 Applikationsqualität.....	22
3.2.2 Gerätetechnik.....	24
3.2.4 Düsenteknik.....	32
3.2.5 Applikationsparameter.....	37
3.2.6 Sonstige Effekte.....	38
3.2.7 Zusammenfassung.....	39
3.3 Versuchsmethodische Aspekte.....	40
3.3.1 Bestimmung der Zielflächenverteilung.....	40
3.3.3 Bestimmung des Blattdeckungsgrades.....	48
3.3.4 Zusammenfassung.....	48
4 Zielsetzung.....	49
5 Material und Methoden.....	50
5.1 Versuchsgeräte.....	50
5.2 Versuchsflächen.....	51
5.3 Applikationsverfahren.....	52
5.3.1 Flächenapplikation mit Flachstrahldüsen (SF).....	52
5.3.2 Flächenapplikation mit Doppelflachstrahldüsen (DF).....	53
5.3.3 Unterblattapplikation mit „Lechler Droplegs“ (DL).....	54

5.3.4 Unterblattapplikation mit „Schmotzer Unterblattspritze“ (UB) .....	55
5.4 Erfassung des Blattdeckungsgrades .....	56
5.5 Erfassung des Belagsdeckungsgrades .....	56
5.6 Auswertung der Zielflächenverteilung .....	58
5.7 Bestimmung der Witterung .....	62
5.8 Zusätzliche Versuchsansätze.....	62
6 Ergebnisse.....	65
6.1 Verhältnis von feld- und bereichsbezogenem Blattdeckungsgrad .....	65
6.2 Standardisierung .....	65
6.2.1 Flächenapplikation mit Flachstrahldüsen (SF).....	65
6.2.2 Flächenapplikation mit Doppelflachstrahldüsen (DF) .....	65
6.2.3 Unterblattapplikation mit „Lechler Droplegs“ (DL) .....	66
6.2.4 Unterblattapplikation mit „Schmotzer Unterblattspritze“ (UB) .....	67
6.3 Zielflächenverteilung zwischen den Reihen.....	68
6.3.1 Flächenapplikation mit Flachstrahldüsen (SF).....	69
6.3.2 Flächenapplikation mit Doppelflachstrahldüsen (DF) .....	70
6.3.3 Unterblattapplikation mit „Lechler Droplegs“ (DL) .....	71
6.3.4 Unterblattapplikation mit „Schmotzer Unterblattspritze“ (UB) .....	73
6.3.5 Effekt der Blattstellung .....	74
6.4 Zielflächenverteilung in den Reihen.....	75
6.5 Tropfenspektrum von Flächenapplikationen.....	76
6.6 Farbstoffbelag auf der Zuckerrübe.....	77
6.7 Abdrift.....	78
6.8 Anbringung von Schleifkufen an die „Lechler Droplegs“ .....	78
6.9 Einstellung der Düsen an der „Schmotzer Unterblattspritze“ .....	78
7 Diskussion.....	79
7.1 Versuchsmethode .....	79
7.1.1 Allgemeine Eignung .....	79
7.1.2 Spezielle Eignung .....	83
7.2 Flächenapplikation mit Flachstrahldüsen (SF) .....	85
7.2.1 Applikationsqualität per se .....	85
7.2.2 Bekämpfung der Restverunkrautung in Zuckerrüben .....	85
7.3 Flächenapplikation mit Doppelflachstrahldüsen (DF) .....	87

---

7.3.1 Applikationsqualität per se .....	87
7.3.2 Bekämpfung der Restverunkrautung in Zuckerrüben .....	87
7.4 Flächenapplikation mit „Lechler Droplegs“ (DL).....	89
7.4.1 Applikationsqualität per se .....	89
7.4.2 Bekämpfung der Restverunkrautung.....	90
7.4.3 Anbringung von Schleifkufen an die „Lechler Droplegs“ .....	91
7.5 Unterblattapplikation mit „Schmotzer Unterblattspritze“ (UB) .....	92
7.5.1 Applikationsqualität per se .....	92
7.5.2 Bekämpfung der Restverunkrautung.....	93
8 Weiterführende Arbeiten.....	94
9 Zusammenfassung .....	95
10 Summary.....	98
<i>Literaturverzeichnis</i> .....	101
<i>Anhang</i> .....	110

**Abbildungsverzeichnis**

Abb. 1:	Restverunkrautung in Zuckerrüben.....	3
Abb. 2:	Einfluss der Belagsdichte auf die Belagsstruktur.....	24
Abb. 3:	Einfluss vertikaler und horizontaler Schwingungen auf die Belagsverteilung.....	25
Abb. 4:	Einfluss des Entwicklungsstadiums auf die Bodendeposition in Kartoffeln.....	27
Abb. 5:	Versuchsfahrzeug .....	51
Abb. 6:	Versuchsgerät für Flächenapplikationen.....	53
Abb. 7:	Versuchsgerät für Unterblattapplikation mit „Lechler Dropleg“ .....	54
Abb. 8:	Versuchsgerät für Unterblattapplikation mit „Schmotzer Unterblattspritze“ .....	55
Abb. 9:	Bildbearbeitung zur Auswertung der Zielflächenverteilung.....	60
Abb. 10:	Extinktionskurve bei 30 µg/ml Nigrosin .....	63
Abb. 11:	Ergebnisse zur Belagsbildung der Standardisierung.....	67
Abb. 12:	Ergebnisse zur Zielflächenverteilung zwischen den Reihen.....	68
Abb. 13:	Ergebnisse zur Zielflächenverteilung in den Reihen.....	75
Abb. 14:	Durchschnittlicher MVD und Tropfenspektrum (Probe 10) der IDKN-120-03 .....	76
Abb. 15:	Durchschnittlicher MVD und Tropfenspektrum (Probe 24) der IDKT-120-03 .....	76
Abb. 16:	Ergebnisse zum Farbstoffbelag auf der Zuckerrübe .....	77
Abb. 17:	Vergleich der Flächenapplikationen mit der Schätzung von BECKER et al. ....	88
Abb. A1:	Standardisierung der Flächenapplikation mit Flachstrahldüsen .....	111
Abb. A2:	Standardisierung der Flächenapplikation mit Doppelflachstrahldüsen.....	112
Abb. A3:	Standardisierung der Unterblattapplikation mit „Lechler Droplegs“ in 12 cm.....	113
Abb. A4:	Standardisierung der Unterblattapplikation mit „Lechler Droplegs“ in 16 cm.....	114
Abb. A5:	Standardisierung der Unterblattapplikation mit „Schmotzer Unterblattspritze“.....	115
Abb. A6:	Ergebnisse der Flächenapplikation mit Flachstrahldüsen (SF) .....	116
Abb. A7:	Beispiele der Flächenapplikation mit Flachstrahldüsen (SF) .....	117
Abb. A8:	Ergebnisse der Flächenapplikation mit Doppelflachstrahldüsen (DF) .....	118
Abb. A9:	Beispiele der Flächenapplikation mit Doppelflachstrahldüsen (DF) .....	119
Abb. A10:	Ergebnisse der Unterblattapplikation mit „Lechler Droplegs“ in 12 cm (DL1) .....	120
Abb. A11:	Beispiele der Unterblattapplikation mit „Lechler Droplegs“ in 12 cm (DL1) .....	121
Abb. A12:	Ergebnisse der Unterblattapplikation mit „Lechler Droplegs“ in 16 cm (DL2) .....	122
Abb. A13:	Beispiele der Unterblattapplikation mit „Lechler Droplegs“ in 16 cm (DL2) .....	123
Abb. A14:	Ergebnisse der Unterblattapplikation mit „Schmotzer Unterblattspritze“ (UB).....	124
Abb. A15:	Beispiele der Unterblattapplikation mit „Schmotzer Unterblattspritze“ (UB).....	125
Abb. A16:	Anbringung von einfachen Schleifkufen an „Lechler Droplegs“ .....	126
Abb. A17:	Anbringung von doppelten Schleifkufen an „Lechler Droplegs“ .....	126
Abb. A18:	Einstellung der Düsen an „Schmotzer Unterblattspritze“ .....	126
Abb. A19:	Wetterdaten zu den Versuchen .....	127

**Tabellenverzeichnis**

Tab. 1:	Artenspektrum der Restverunkrautung.....	9
Tab. 2:	Einfluss des Entwicklungsstadiums auf die Bodendeposition in Zuckerrüben .....	26
Tab. 3:	Einfluss des Tropfenspektrums auf die Applikationsqualität.....	35
Tab. 4:	Einfluss des Tropfenspektrums auf die Belagsfläche.....	44
Tab. A1:	Flächenapplikation mit Flachstrahldüsen (Bereich 40 x 60 cm) .....	129
Tab. A2:	Flächenapplikation mit Flachstrahldüsen (Bereich 45 x 60 cm) .....	129
Tab. A3:	Flächenapplikation mit Doppelflachstrahldüsen (Bereich 40 x 60 cm) .....	130
Tab. A4:	Flächenapplikation mit Doppelflachstrahldüsen (Bereich 45 x 60 cm) .....	130
Tab. A5:	Unterblattapplikation mit „Lechler Dropleg“ in 12 cm (Bereich 40 x 60 cm) .....	131
Tab. A6:	Unterblattapplikation mit „Lechler Dropleg“ in 12 cm (Bereich 45 x 60 cm) .....	131
Tab. A7:	Unterblattapplikation mit „Lechler Dropleg“ in 16 cm (Bereich 40 x 60 cm) .....	132
Tab. A8:	Unterblattapplikation mit „Lechler Dropleg“ in 16 cm (Bereich 45 x 60 cm) .....	132
Tab. A9:	Unterblattapplikation mit „Schmotzer Unterblattspritze“ (Bereich 40 x 60 cm).....	133
Tab. A10:	Unterblattapplikation mit „Schmotzer Unterblattspritze“ (Bereich 45 x 60 cm).....	134
Tab. A11:	Tropfenspektrum von Flächenapplikationen.....	135
Tab. A12:	Farbstoffbelag auf den Zuckerrüben.....	136

**Abkürzungsverzeichnis**

BCPC	Brighton Crop Protection Conference
BDG	Blattdeckungsgrad
BMYV	Milde Rübenvergilbung
BYV	Nekrotische Rübenvergilbung
BZE	Bereinigter Zuckerertrag
BZG	Bereinigter Zuckergehalt
DADS	Dropleg Application Distribution System
DF	Flächenapplikation mit Doppelflachstrahldüsen
DL	Unterblattapplikation mit „Lechler Droplegs“
DL1	Unterblattapplikation mit „Lechler Droplegs“ in einer Spritzhöhe von 12 cm
DL2	Unterblattapplikation mit „Lechler Droplegs“ in einer Spritzhöhe von 16 cm
$d_s$	Durchmesser eines Spritzfleckens
$d_T$	Durchmesser eines Spritztropfens
$DV_{0,1}$	10%iger Volumendurchmesser
$DV_{0,5}$	50%iger Volumendurchmesser
$DV_{0,9}$	90%iger Volumendurchmesser
gB	gesamter Messbereich
GVK	Variationskoeffizient des Spritzbelags über gesamten Messbereich
LVK	Variationskoeffizient des Spritzbelags längs zur Fahrtrichtung
MFA	Messflächenanteil
MVD	Mittlerer Volumendurchmesser
NAK	Applikation nach Auflauf der Zuckerrüben im Keimblattstadium der Unkräuter
NR	Nummer der Probe
PDPA	Laser-Doppler-Tropfengrößen-Messung
QVK	Variationskoeffizient des Spritzbelags quer zur Fahrtrichtung
SDG	Belagsdeckungsgrad
SF	Flächenapplikation mit Flachstrahldüsen
TH	Berechnung über den Blattdeckungsgrad
UB	Unterblattapplikation mit „Schmotzer Unterblattspritze“
uB	Messbereich unter Blättern
VA	Applikation vor Auflauf der Zuckerrüben
VK	Variationskoeffizient
zB	Messbereich zwischen Blättern
$a( )$	absoluter Messwert
$r( )$	relativer Messwert (Vergleich zum Durchschnitt über gesamten Messbereich)
$o( )$	optimierter Messwert (Vergleich zum Durchschnitt getrennter Messbereiche)
$( )_{50}$	Messung in einem Messbereich mit einer Messbreite von 50 cm
$( )_{45}$	Messung in einem Messbereich mit einer Messbreite von 45 cm
$( )_{40}$	Messung in einem Messbereich mit einer Messbreite von 40 cm

**Verzeichnis der wissenschaftlichen Bezeichnungen**

<http://gd3.eppo.int/>

ABUTH	<i>Abutilon theophrasti</i>	Schönmalve, Lindenblättrige
AETCY	<i>Aethusa cynapium</i>	Hundspetersilie, Gemeine
AMARE	<i>Amaranthus retroflexus</i>	Amarant, Zurückgekrümmter
ATXPA	<i>Atriplex patula</i>	Melde, Gemeine
BRSNN	<i>Brassica napus</i>	Raps
CAPBP	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	Hirtentäschelkraut, Gemeines
CHEAL	<i>Chenopodium album</i>	Gänsefuß, Weißer
CIRAR	<i>Cirsium arvense</i>	Kratzdistel, Acker-
CONAR	<i>Convolvulus arvensis</i>	Ackerwinde
CYPES	<i>Cyperus esculentus</i>	Erdmandelgras
ECHCG	<i>Echinochloa crus-galli</i>	Hühnerhirse
ELYME	<i>Elymus repens</i>	Quecke, Gemeine
EQUAR	<i>Equisetum arvense</i>	Schachtelhalm, Acker-
GASCI	<i>Galinsoga ciliata</i>	Franzosenkraut, Behaartes
GASPA	<i>Galinsoga parviflora</i>	Franzosenkraut, Kleinblütiges
GALAP	<i>Galium aparine</i>	Klettenlabkraut
HELAN	<i>Helianthus annuus</i>	Sonnenblume, Gemeine
LAMAM	<i>Lamium amplexicaule</i>	Taubnessel, Stengelumfassende
LAMPU	<i>Lamium purpureum</i>	Taubnessel, Rote
MALSY	<i>Malva sylvestris</i>	Malve, Wilde
MATCH	<i>Matricaria chamomilla</i>	Kamille, Echte
MATIN	<i>Matricaria inodora</i>	Kamille, Geruchlose
MERAN	<i>Mercurialis annua</i>	Bingelkraut, Einjähriges
MYOAR	<i>Myosotis arvensis</i>	Vergissmeinnicht, Acker-
POLAM	<i>Polygonum amphibium</i>	Knöterich, Landwasser-
POLAV	<i>Polygonum aviculare</i>	Knöterich, Vogel-
POLCO	<i>Polygonum convovulus</i>	Knöterich, Winden-
POLLA	<i>Polygonum lapathifolium</i>	Knöterich, Ampferblättriger-
SOLNI	<i>Solanum nigrum</i>	Nachtschatten, Schwarzer
SOLTU	<i>Solanum tuberosum</i>	Kartoffel
STEME	<i>Stellaria media</i>	Vogelmiere
THLAR	<i>Thlapsi arvense</i>	Hellerkraut, Acker-
URTUR	<i>Urtica urens</i>	Brennnessel, Kleine
VERHE	<i>Veronica hederifolia</i>	Ehrenpreis, Efeublättriger
VERPE	<i>Veronica persica</i>	Ehrenpreis, Persischer
VIOAR	<i>Viola arvensis</i>	Stiefmütterchen, Acker-

**Verzeichnis der wissenschaftlichen Bezeichnungen (Fortsetzung)**

<http://gd3.eppo.int/>

APHACO	<i>Aphanomyces cochlioides</i>	Wurzelbrand und Schwarzfäule
FUSABE	<i>Fusarium oxysporum</i>	Umfallkrankheit
PLEOBJ	<i>Pleospora betae</i>	Wurzelbrand
PYTHUL	<i>Phythium ultimum</i>	Wurzelbrand
POLMBE	<i>Polymyxa betae</i>	Überträger: Rizomania
RHIZSO	<i>Rhizoctonia solani</i>	Wurzelbrand und Späte Rübenfäule
HLCBBR	<i>Helicobasidium brebissonii</i>	Rotfäule
DITYDI	<i>Ditylenchius dispaci</i>	Stock- und Stängelälchen
HETDPA	<i>Globodera pallida</i>	Weißer Kartoffelnematode
HETDRO	<i>Globodera rostochiensis</i>	Gelber Kartoffelnematode
HETDSC	<i>Heterodera schachtii</i>	Weißes Rübenzystenälchen
APHIFA	<i>Aphis fabae</i>	Schwarze Bohnenlaus
CASSNE	<i>Cassida nebulosa</i>	Nebliger Schildkäfer
MYZUPE	<i>Myzus persicae</i>	Grüne Pfirsischlaus

## **1 Einleitung**

Mit einer Anbaufläche von 394 276 ha zählt die Zuckerrübe zu den wichtigsten in Deutschland angebauten Kulturen (WVZ, 2011). Aufgrund der hohen Ansprüche an Boden, Klima und Pflege und der besonderen wirtschaftliche Bedeutung wird sie auch als „Königin der Feldfrüchte“ bezeichnet. Die etwa 32 000 Rübenbauern bewirtschaften die fruchtbarsten Regionen der Bundesrepublik: Die Braunschweig-Hildesheimer Börde im südlichen Niedersachsen und die Magdeburger Börde in Sachsen-Anhalt, die Jülich-Zülpicher Börde in Nordrhein-Westfalen sowie Gebieten am nördlichen Oberrhein, Main und Donau, einschließlich der Gäuboden in Niederbayern. In diesen Regionen beträgt der Anteil der Zuckerrüben an der gesamten Ackerfläche oft über 20%. In intensiven Fruchtfolgen nimmt die Kultur bis zu einem Drittel der Anbaufläche ein (IMA, 2005; WVZ, 2011).

Zuckerrüben zeichnen sich durch eine langsame Jugendentwicklung aus. Die Aussaat erfolgt meist Ende März oder Anfang April, der Reihenschluss ist, abhängig vom Witterungsverlauf, nicht vor Mitte Juni zu erwarten. Innerhalb dieses Zeitraums ist die Rübe gegenüber Konkurrenz sehr empfindlich. Erst mit BBCH 39 kann ein gut entwickelter Bestand neu auflaufende Unkräuter wirksam unterdrücken (BRÄUTIGAM, 1998; KOBUSCH, 2003). Der Erfolg des Zuckerrübenanbaus steht daher im engen Zusammenhang zur Qualität der Unkrautbekämpfung: Um Ertrags- und Qualitätsverlusten zu vermeiden, werden auf etwa 99,8% der Zuckerrübenflächen chemische Unkrautbekämpfungsmittel eingesetzt. Üblich sind drei oder vier Herbizidmaßnahmen im Nachauflauf, die zum Keimblattstadium der Unkräuter und im Abstand von 8-16 Tagen durchgeführt werden. Verschiedene blatt- und bodenaktive Herbizide werden kombiniert, um die Maßnahmen an die Verunkrautungs- und Witterungssituation anzupassen (ROßBERG et al., 2010; VASEL und LADEWIG, 2010).

Bei falscher Terminierung oder zu geringer Dosierung kann die Leistung von chemischen Bekämpfungsmaßnahmen deutlich geringer ausfallen, als dies zur Unkrautregulierung erforderlich wäre. Auch ein schwach entwickelter Zuckerrübenbestand und der Besatz mit schwer bekämpfbaren Unkräutern können das Auftreten einer Restverunkrautung fördern. Diese setzt sich aus Unkräutern, die frühere Bekämpfungsmaßnahmen überlebt haben und spät auflaufenden Unkräutern zusammen. Der Witterungsverlauf beeinflusst sowohl die Wirksamkeit der Herbizide, als auch die Konkurrenzkraft der Zuckerrübe (HABERLAND, 1994; BROCKERHOFF und EBER, 2008).

Zuletzt im Jahr 2011 führte andauernde Trockenheit von Aussaat bis Reihenschluss zu einem Unkrautdruck, dem mit den gängigen Applikationsverfahren und Herbizidstrategien kaum begegnet werden konnte. Vermehrt wurden Maschinenhacke und spezielle Unterblattspritzgeräte eingesetzt, um die Restverunkrautung zu reduzieren. Verspätete „Feuerwehrmaßnahmen“ mit Sichelmäher, Rotowiper oder Dochtstreichgeräten verringerten den Unkrautbesatz nicht ausreichend. Häufig ermöglichte nur die aufwendige Handhacke einen dauerhaften Erfolg (BROCKERHOFF, 2011).

Verbleibt eine hohe Restverunkrautung im Bestand, sind nicht nur Ertragsverluste zu erwarten. Auch die Pflege, Ernte und Verarbeitung der Zuckerrüben kann deutlich beeinträchtigt werden. Ausreifende Unkräuter erhöhen den Bodensamenvorrat, verschiedene pilzliche Krankheiten und Schädlinge werden durch die Restverunkrautung gefördert (HABERLAND, 1994).

## **2 Problemstellung**

Die Entwicklung einer Restverunkrautung lässt sich nur bedingt vorhersehen, da der Witterungsverlauf entscheidenden Einfluss auf das Konkurrenzverhältnis zwischen Zuckerrüben und Unkräutern und die Wirksamkeit von Herbiziden nimmt. Besonders andauernde Trockenheit während der Jugendentwicklung kann dazu führen, dass chemische Bekämpfungsmaßnahmen nicht die erforderliche Bekämpfungsleistung erreichen. Durch nach Reihenschluss auftretende Sommerhitze können sich die Bestände erneut öffnen und den Auflauf von spät keimenden Unkräutern fördern (BROCKERHOFF, 2011). Die hohen Kosten für Pflanzenschutzmittel und die gesetzlichen Höchstmengenverordnungen haben zu einem verringerten Einsatz von Herbiziden geführt. Besonders die zunehmende Einsparung von Bodenherbiziden erhöht aber das Risiko einer späten Verunkrautung (WETZLER, 2005; BROCKERHOFF, 2011). Auf Standorten mit hohem Besatz an Problemunkräutern sind auch in Normaljahren spezielle Bekämpfungsmaßnahmen erforderlich (ROßBERG et al., 2010).

Pflanzenbauliche Maßnahmen zur Vermeidung einer Restverunkrautung können zwar dazu beitragen, den Unkrautdruck zu verringern, sind aber nicht geeignet, flexibel auf eine Verunkrautung zu reagieren. Auch der BZE wird durch die Wahl von blattreichen Sorten und hohe Stickstoffgaben teilweise verringert (LOTZ et al., 1991; BRÄUTIGAM und SCHÄUFELE, 1994). Die mechanische Unkrautbekämpfung liefert zwar befriedigende Ergebnisse, erfasst aber nur Unkräuter zwischen den Reihen. Der wichtige Herbizidfilm wird durch den Einsatz von Hackgeräten zerstört (WINNER, 1981).

Zur wirksamen Bekämpfung der Restverunkrautung sind auch die sonst üblichen Flächenspritzungen nur bedingt geeignet. Mit steigender Bestandsentwicklung verringert der Spritzschatten der Zuckerrüben die Wirkung von chemischen Maßnahmen. Die letzte NAK wird daher meist für das 4- bis 6-Blatt-Stadium angesetzt. Später durchgeführte Behandlungen mit Feldspritzgeräten bringen nicht den gewünschten Erfolg (KEES et al., 1993; KOBUSCH, 2003; BROCKERHOFF und EBER, 2008; WAGNER, 2009). In den letzten Jahren werden daher vermehrt Doppelflachstrahldüsen eingesetzt. Diese verbessern die Bestandsdurchdringung und vermeiden Spritzschatten. Auch für späte Herbizidmaßnahmen in Zuckerrüben wird der Düsentyp empfohlen (KNEWITZ, 2011; MAIDL, 2012).

Eine Alternative zur flächenmäßigen Applikation von Herbiziden sind Unterblattbehandlungen. Diese werden seit den 1960er Jahren zur Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben eingesetzt. Da sie den Spritzschatten der Zuckerrüben umgehen, sind sie auch für späte Behandlungstermine geeignet. Damit kann die Bekämpfungsstrategie an die Entwicklung des Bestandes und der Verunkrautung angepasst werden. Auch kann die Abschirmung des Spritzstrahls die Belastung der Kulturpflanze mit Pflanzenschutzmitteln reduzieren, sodass auf günstige und aggressive Herbizide zurückgegriffen werden kann. Selbst die Anwendung von nicht-selektiven Präparaten scheint möglich. Damit ließen sich auch Problemunkräuter ausschalten (HABERLAND, 1983; FIEDLER, 2011).

Bisher werden Unterblattapplikationen in Zuckerrüben meist mit Spritzvorrichtungen am Hackrahmen durchgeführt. Dieses Verfahren hat sich zwar bewährt, ist aber mit einem höheren Arbeitsaufwand verbunden. Die Geräte verfügen meist über eine geringe Arbeitsbreite oder hohe Anschaffungskosten. Der Einsatz ist meist auf Zuckerrüben beschränkt (HABERLAND, 1983).

Bereits in den 90er Jahren wurde von Benest ein Verfahren entwickelt, Unterblattspritzungen mit Feldspritzgeräten durchzuführen: Das Dropleg Application Distribution System (DADS). Dieses nutzt spezielle Spritzbeine, die am Feldspritzgestänge durch den Bestand geführt werden. Die Düsen sind am unteren Ende der Rohre befestigt (KIFFERLE und STAHLI, 2001). Das Verfahren wird meistens zur Applikation von Fungiziden oder Insektiziden in Gemüse eingesetzt (RÜEGG et al., 2006). Erfahrungen bestehen zur Unkrautbekämpfung in Mais: Dabei wurden mit Spritzbeinen gute Ergebnisse erzielt (SCHULZE-ISING, 2012). Da sich die Bestandesgeometrie verschiedener Pflanzen unterscheidet, können diese Erkenntnisse aber nicht auf Zuckerrüben übertragen werden.

Bisher wurden keine wissenschaftlichen Untersuchungen über die Zielflächenverteilung von Applikationsverfahren zur Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben durchgeführt (KOBUSCH, 2003). Es steht aber fest, dass die Applikationsqualität durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst wird: Dazu zählen neben der Gerätetechnik, die zwischen Flächen- und Unterblattverfahren unterscheidet, auch die Düsenteknik, die Fahrgeschwindigkeit und die Aufwandmenge sowie externe Einflüsse. Eine gute Belagsverteilung ist Bedingung für eine hohe biologische Wirksamkeit (GÖHLICH, 1985).

Bei den meisten Pflanzenschutzmaßnahmen ist die Kulturpflanze das Zielobjekt (OSTERHILD, 1985). Verfahren zur Messung der Belagsbildung am Boden, der bei der Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben die Zielfläche darstellt, haben oft den Charakter von Stichproben (LAST und PARKIN, 1987; SCHENKE et al., 2004; KNEWITZ, 2011). Soll mit diesen Methoden die Verteilungsqualität in einem größeren Messbereich beurteilt werden, erhöht sich der Aufwand für die Untersuchung enorm. Bildanalytische Verfahren scheinen für die Bewertung der Zielflächenverteilung zwar geeignet, wurden im hier untersuchten Zusammenhang aber noch nicht eingesetzt (ENFÄLT et al., 1997a).

Abb. 1: Restverunkrautung in Zuckerrüben



### **3 Stand des Wissens und der Technik**

Die Auseinandersetzung mit den technischen Möglichkeiten zur Bekämpfung der Restverunkrautung in Zuckerrüben setzt eine ausreichende Kenntnis der pflanzenbaulichen Aspekte voraus. Daher werden zunächst Grundlagen der Verunkrautung, deren Bedeutung und Bekämpfung erörtert. Die Applikationstechnik umfasst nicht nur die verschiedenen Flächen- und Unterblattspritzgeräte, sondern auch die Düsenteknik. Verschiedene weitere Faktoren beeinflussen die Qualität der Applikation. Zur Bestimmung der Zielflächenverteilung sind nur einige Messverfahren geeignet.

#### **3.1 Pflanzenbauliche Aspekte**

##### **3.1.1 Grundlagen der Restverunkrautung**

In den letzten Jahrzehnten kann ein ständiger Rückgang der Restverunkrautung in Zuckerrüben erfasst werden (HABERLAND, 1994). Doch immer wieder treten Situationen auf, in denen ein hoher Besatz zu Problemen führt (BROCKERHOFF und EßER, 2008; WAGNER, 2009; EßER und HEINRICHS, 2012).

##### **Definition**

Die Restverunkrautung in Zuckerrüben beschreibt die Verunkrautung, die zwischen Bestandesschluss und Ernte verbleibt. Diese besteht aus zwei Unkrautgruppen (HABERLAND, 1994):

1. Unkräuter, die früh auflaufen, aber alle bisherigen Bekämpfungsmaßnahmen überlebt haben
2. Unkräuter, die erst nach der letzten Bekämpfungsmaßnahme auflaufen, dazu zählen:
  - Unkräuter mit ständiger Keimbereitschaft, z.B. *Chenopodium spp.*, *Polygonum spp.*
  - eigentliche Spätunkräuter, z.B. *Amaranthus retroflexus*, *Solanum nigrum*

Der Begriff "Spätverunkrautung" wird häufig synonym zur "Restverunkrautung" verwendet. Da die späte Verunkrautung in Zuckerrübenbeständen aber aus "Früh-" und "Spätunkräutern" besteht, sollte der Begriff der "Restverunkrautung" bevorzugt werden (WIESNER und HABERLAND, 1980).

##### **Gründe für die Entstehung und Entwicklung der Restverunkrautung**

Restverunkrautung ist das Resultat eines Konkurrenzverhältnisses zwischen Zuckerrübe und Unkraut, das letzterem einen ausreichenden Standraum bietet. Gründe für die Entstehung und Entwicklung liegen entweder in einer geringen Konkurrenzkraft der Zuckerrübe oder in einer hohen Konkurrenzkraft der Unkräuter, etwa durch eine nicht ausreichende Wirkung der Herbizide.

Ein gut entwickelter Zuckerrübenbestand besitzt ab Bestandesschluss eine ausreichende Konkurrenzkraft, um neu auflaufende Unkräuter zu unterdrücken (DAWSON, 1977). Bis zu diesem Entwicklungsstadium muss eine Verunkrautung vollständig bekämpft werden. Eine falsche Bekämpfung ist die häufigste Ursache für eine Restverunkrautung (BRÄUTIGAM, 1998). In schlecht entwickelten Beständen können auch später auflaufende Unkräuter den Besatz erhöhen (BROCKERHOFF, 2011).

## 1. Chemische Unkrautbekämpfung

Die meisten Herbizidstrategien setzen für die Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben zwei bis fünf Applikationen im Nachauflauf an. Mischungen aus blatt- und bodenaktiven Wirkstoffen werden verwendet (BUHRE et al., 2011). Vorauflaufbehandlungen mit Metamitron (Goltix®) oder Chlordiazon (Pyramin®, Rebell®) sind im heutigen Rübenbau kaum mehr verbreitet. Dies erschwert die Bekämpfung von Problemunkräutern, die bereits zur ersten NAK nur noch schwer bekämpfbar sind, etwa *Aethusa cynapium* und *Polygonum aviculare*. Weiterhin ist zu beobachten, dass der Anteil an Bodenwirkstoffen in den letzten Jahrzehnten ständig verringert wurde. Blattaktive Pflanzenschutzmittel werden hingegen verstärkt eingesetzt. Die Bekämpfung richtet sich somit vor allem gegen aufgelaufene Unkräuter. Die herbizide Wirkung gegen Unkräuter, die erst nach der Applikation keimen und auflaufen, fällt vergleichsweise gering aus, auch die Versiegelung gegen spät auflaufende Unkräuter ist oft schwach ausgeprägt. Dies betrifft Dauerkeimer wie *Chenopodium spp.* und *Mercurialis annua* sowie typische Spätkeimer wie *Amaranthus spp.*, *Solanum nigrum* und verschiedene Hirsearten (SCHÄUFELE und BAUER, 1996; BROCKERHOFF und EBER, 2008). Dieses Defizit kann durch die Witterung maßgeblich verstärkt werden: Anhaltende Trockenheit führt zu einer geringeren Wirkung und starke Sonneneinstrahlung zum Abbau von Bodenwirkstoffen. Besonders bei einer frühen Abschlussbehandlung oder verspätetem Reihenschluss reicht die Wirkung nicht aus, um spät auflaufende Unkräuter zu unterdrücken (SCHÄUFELE und BAUER, 1996; FIEDLER, 2011). Ebenso können starke Niederschläge zu einer Auswaschung der Herbizide führen (BLUMENBERG und HEITFUß, 1988). Bei ungünstiger Witterung oder hohem Besatz mit Problemunkräutern ist mit den gängigen Wirkstoffmengen und keine ausreichende Bekämpfung der Verunkrautung mehr möglich (RÖDELSPRENGER, 2002; EBER und HEINRICHS, 2012). Die häufigsten Gründe für das Auftreten einer Restverunkrautung liegen nach wie vor im Einsatz einer falschen Herbizidstrategie.

## 2. Qualität der Applikation

Im modernen Pflanzenschutz wird meist abdriftarme, grobtropfige Düsenteknik eingesetzt. Bei Applikationen mit sehr geringem Druck ergibt sich ein Tropfenspektrum, das stark zu groben Tropfen verschoben ist, während kleine Tropfen nur noch zu einem geringen Anteil vertreten sind. Damit sinkt die Trefferwahrscheinlichkeit besonders für Unkräuter, die sich erst im Keimblattstadium befinden. Dies ist aber das optimale Stadium der Bekämpfung (BROCKERHOFF und EBER, 2008). Die Applikation mit Wasseraufwandmengen unter 200 l/ha wirkt sich ähnlich aus (DUCH, 2012). Das Ergebnis einer fehlerhaft durchgeführten Applikation zeigt sich in einem Mischbestand aus vollständig bekämpften Unkräutern und solchen, die keine oder nur sehr geringe Schäden erlitten haben. Bei späteren Herbizidapplikationen beeinträchtigt der Spritzschatten, der durch die Blätter der Zuckerrüben entsteht, die Bekämpfung von geschützt stehenden Unkräutern zusätzlich. Die letzte NAK wird daher meist für das 4- bis 6-Blatt-Stadium angesetzt. Auch die Applikationsqualität wird durch die Witterung beeinflusst: Hohe Temperaturen und geringe Luftfeuchtigkeit verringern die biologische Wirksamkeit der Herbizide. Dafür sind insbesondere die thermische Abdrift (SCHWEIZER et al., 2000) und die verringerte Resorption der Wirkstoffe verantwortlich (BAUR, 2000). Darüber hinaus kann ein trockener Boden auch die technische Applikationsqualität verringern: Staubaufwirbelungen binden die Pflanzenschutzmittel schon bei der Ausbringung (DUCH, 2012).

### 3. Sensitivität der Unkräuter

Selbst bei optimaler Applikation kann die chemische Bekämpfung nur dann erfolgreich sein, wenn die Unkräuter gegenüber den verwendeten Wirkstoffen empfindlich sind. Bei den in Zuckerrüben zugelassenen Herbiziden ist dieser Zeitraum häufig auf das Keimblatt- oder das 1. Laubblattstadium begrenzt. Erfolgt die Bekämpfung zu spät, werden die Unkräuter nur unzureichend erfasst (SCHÄUFELE und BAUER, 1996). Darüber hinaus können verschiedene Problemunkräuter in Zuckerrüben nur begrenzt oder überhaupt nicht bekämpft werden. Dazu zählen beispielsweise *Aethusa cynapium*, *Convolvulus arvensis* und *Polygonum amphibium*. Auch *Mercurialis annua* zählt zu den Problemunkräutern, da es durch Bodenwirkstoffe nur unzureichend erfasst werden kann. Widerstandsfähig gegen Rübenherbizide sind auch verschiedene invasive Arten, Kartoffeldurchwuchs und Unkrautrüben (EßER und HEINRICH, 2012). Ausfallraps erschwert die Bekämpfung. Bei Einsatz der Clearfield-Technologie verliert zudem Triflursulfuron (Debut®), der wichtigste Wirkstoff gegen Ausfallraps, seine Wirkung (GEHRING, 2012). Herbizidresistenzen treten auch bei verschiedenen normalen Unkräutern auf: So zeigen Individuen von *Chenopodium album* oft Minderresistenzen gegen Metamitron, Chlordiazon und Lenacil (MECHANT und BULCKE, 2006). Bei Pflanzen von *Matricaria chamomilla* und *Matricaria inodora* aus intensiven Rübenfruchtfolgen lässt sich eine deutlich geringere Sensitivität gegenüber Metamitron feststellen (PETERSEN, 2003).

### 4. Bestandesdichte und -entwicklung

Bereits bei einer Bestandesdichte von unter 70 000 Pflanzen/ha können Lücken im Bestand nicht mehr durch benachbarte Zuckerrüben ausgeglichen werden. Daraus folgt eine geringere Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern mit einer langen Vegetationsperiode, etwa *Chenopodium album* und *Polygonum lapathifolium*, die sich in den Fehlstellen zu sehr großen Einzelpflanzen entwickeln können. Auch bieten die Lücken spät auflaufenden Unkräutern optimale Wachstumsbedingungen (MÄRLANDER und BRÄUTIGAM, 1994). An Fehlstellen kann ein 8-mal höherer Unkrautdeckungsgrad und eine bis zu 4-mal größere Unkrautdichte ermittelt werden (WIESNER und HABERLAND, 1980). Gründe für eine geringe Bestandesdichte liegen meist in einem zu geringem Feldaufgang. Dieser kann durch geringe Saatgutqualität, eine nicht optimale Saatbettbereitung oder eine zu frühe Saat verursacht werden. Auch hier ist der Einfluss der Witterung entscheidend: Trockenheit und Kälte, sowie Verkrustungen und Verschlämmungen des Bodens, etwa nach starken Niederschlägen, sind für den Feldaufgang von größerer Bedeutung als Krankheiten und Schädlinge (WINNER, 1981).

Die Jugendentwicklung der Zuckerrübe steht in direkter Verbindung zur Temperatur. Neben kalter Witterung können auch Bodenschadverdichtungen das frühe Wachstum beeinträchtigen. Trockenstress tritt erst ab dem 10- bis 12-Blatt-Stadium auf, kann aber den Reihenschluss verzögern. Auch die eingesetzten Herbizide beeinflussen die Jugendentwicklung: Bereits nach einmaliger Applikation im 4-Blatt-Stadium kann, auch bei üblichen Herbizidmischungen, eine bis zu 54% verminderte Leistung der Photosynthese festgestellt werden. Bei höherer Dosierung kann es bis zwei Wochen dauern, bis sich das normale Wachstum wiederinstellt (BEIßNER und BÜTTNER, 2000). Auch in der Praxis können nach intensiven Herbizidmaßnahmen deutliche Schäden an den Zuckerrüben, bis hin zu Ausfällen von einzelnen Pflanzen, erfasst werden (BROCKERHOFF, 2010).

## 5. Sortenwahl

Selbst bei hoher Bestandesdichte ist die Konkurrenzkraft der Zuckerrübe nicht immer ausreichend, um Unkräuter dauerhaft zu unterdrücken. Moderne Sorten besitzen, besonders bei geringer Stickstoffversorgung, eine schwache Blattentwicklung, die viel Raum für die Ausbreitung und Vermehrung von Unkräutern lässt (BROCKERHOFF und EßER, 2008). Beginnet der Blattapparat durch Trockenheit, Hitze oder Nematodenbefall zu welken, öffnen sich die Reihen. Dann können nicht nur neue Unkräuter auflaufen, sondern auch die Unkräuter, die bisher unter den Rübenblättern vor sich hin kümmernten, durch den Bestand wachsen (BAUER, 2007; EßER und HEINRICHS, 2012).

## 6. Fruchtfolge und Feldhygiene

Sind die Fruchtfolgen geprägt von Sommerkulturen wie Mais, Kartoffeln oder Gemüse kann dies die Vermehrung von Sommerunkräutern fördern (BROCKERHOFF und EßER, 2008). Ein hoher Rübenanteil verstärkt das Auftreten von Unkräutern wie *Chenopodium spp.*, *Polygonum spp.* und *Mercurialis annua*. Die oft hohe Restverunkrautung in Mais zeigt sich im verstärkten Auflauf von Hirsearten, *Polygonum spp.*, *Amaranthus spp.* und *Solanum nigrum*. Stehen Kartoffeln, Sonnenblumen oder Raps als Vorfrucht, bildet der Durchwuchs ein Problemunkraut (ZWERGER und AMMON, 2002).

Die Feldhygiene, sowohl in Zuckerrüben, als auch in anderen Kulturen wird oft vernachlässigt (BROCKERHOFF und EßER, 2008). Letztlich kann aber nur das Unkraut auflaufen und schaden, das aus einem Samen oder einem vegetativen Fortpflanzungsorgan hervorgegangen ist. Besonders die fehlende Bekämpfung der Restverunkrautung in Zuckerrüben selbst führt in Folgejahren zu einem verstärkten Unkrautdruck (SCHMITZ, 1984; BUSCHE, 2008). Eine hohe Unkrautdichte reduziert die Wirksamkeit von chemischen Bekämpfungsmaßnahmen (DIELEMAN et al., 1999). Invasive Arten, etwa *Cyperus esculentus* und *Abutilon theophrasti*, lassen sich in Zuckerrüben oft am einfachsten erkennen (ZWERGER und AMMON, 2002). Werden diese nicht bekämpft, kann sich aus einzelnen Unkräutern schnell ein flächendeckender Besatz entwickeln (BROCKERHOFF und EßER, 2008).

## 7. Witterung

Die Witterung nimmt häufig den stärksten Einfluss auf die Entwicklung der Restverunkrautung. Zusammenfassend ist festzustellen, dass neben Wetterereignissen, die Feldaufgang und Jugendentwicklung betreffen, gerade andauernde Trockenheit eine Restverunkrautung begünstigt.

Die Bedeutung der Niederschläge zeigte das Problemjahr 2011, in dem über einen Zeitraum von fast drei Monaten weniger als 40 mm Regen fielen. Sowohl die Wirkung der Bodenherbizide, als auch die Empfindlichkeit der Unkräuter gegenüber Blattherbiziden wurden auf ein Maß verringert, das eine ausreichende Bekämpfung mit üblichen Herbizidstrategien nicht mehr ermöglichte. Erst nach Reihenschluss wurden die Bedingungen günstiger. Flächenspritzungen zu diesem Zeitpunkt wurden durch den Spritzschatten aber so stark beeinträchtigt, dass viele Unkräuter nicht mehr erfasst werden konnten. Der Einsatz von Unterblattspritze und Maschinenhacke sowie die aufwendige Handhacke mussten zur Bekämpfung hinzugezogen werden (BROCKERHOFF, 2011).

### Zusammensetzung der Restverunkrautung

Die Zahl der Unkrautarten, die an der Restverunkrautung in Zuckerrüben wesentlich beteiligt sind, hat über die Jahrzehnte abgenommen. Das belegen Untersuchungen aus der Magdeburger Börde: Während 1935 noch 40 Unkrautarten zu finden waren (HANF, 1938), waren es zur Ernte 1963/66 nur noch 27 (WIESNER, 1967) und im Jahr 1994 nur noch 16 Arten (WIESNER und HABERLAND, 1980).

Zwischen Bestandesschluss und Ernte verringert sich die Artenzahl auf einer Fläche um etwa 25%. Besonders niedrigwachsende Unkräuter sterben ab. Dieser "Selbstreinigungseffekt" beeinflusst auch die Unkrautdichte: Diese sinkt im betrachteten Zeitraum um 50-60%. Gleichzeitig erhöht sich die Gesamtfrischmasse um 20-30%. Daraus ergibt sich für das einzelne Unkraut eine Gewichtsverdopplung (HABERLAND, 1994). Unkräuter die über den Rübenbestand hinausragen tragen besonders dazu bei. Sie besitzen zur Ernte einen Anteil von 30-50% (WIESNER und HABERLAND, 1980).

Die Anzahl der verschiedenen Unkrautarten zu Bestandesschluss liegt auf Versuchsschlägen bei etwa 5 bis 8. Bis zur Ernte verringert sich die Artenzahl auf weniger als 5 Spezies (WIESNER und HABERLAND, 1980). Auch in der landwirtschaftlichen Praxis stellen meist nur 3 bis 4 verschiedene Unkrautarten deutlich über 2/3 der Gesamtverunkrautung (HABERLAND, 1994).

### Artenspektrum

Die Zusammensetzung der Verunkrautung in Zuckerrüben verändert sich ständig. Gründe dafür sind an erster Stelle der Einsatz von neuen Herbiziden (ZWERGER und AMMON, 2002), der Wechsel zur reinen Nachauflaufbehandlung, eine verringerte Intensität der Bodenbearbeitung und eine frühere Saat (SCHÄUFELE und BAUER, 1996). Es ist zu erwarten, dass auch der Klimawandel das Artenspektrum der Verunkrautung verändern wird: Beispiele für Unkrautarten, die unter wärmeren Bedingungen eine höhere Konkurrenzkraft entwickeln sind *Mercurialis annua* und *Galinsoga parviflora* (ENGELKE et al., 2010). Untersuchungen zur Bedeutung einzelner Unkräuter wurden in der Magdeburger (HABERLAND, 1994) und der Hildesheimer Börde (BLUMENBERG und HEITFUß, 1988) zur Ernte durchgeführt. Erhebungen des Instituts für Zuckerrübenforschung zur Häufigkeit von Leit- und Problemunkräutern in Zuckerrüben liegen aus dem Jahr 2002 vor (MERKES et al., 2003). Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Die Permanenz beschreibt den Anteil der Schläge auf denen eine Unkrautart vorkommt, die Abundanz den Anteil der Art am Gesamtbesatz.

Untersuchungen zur Zusammensetzung der Restverunkrautung in ganz Deutschland liegen nicht vor. Berichte aus mehreren Anbauregionen (BAUER, 2007; BROCKERHOFF und EßER, 2008; WAGNER, 2009; EßER und HEINRICHS, 2012) lassen aber eine hinreichende Vergleichbarkeit erwarten: *Chenopodium album* ist auf fast allen Zuckerrübenflächen vertreten und stellt auch in der Restverunkrautung das wichtigste Leitunkraut dar. An zweiter Stelle folgen *Amaranthus spp.*, *Mercurialis annua* oder *Solanum nigrum*, allerdings mit weit geringerer Stetigkeit. *Galium aparine* hat in den letzten Jahrzehnten an Bedeutung verloren, ist aber weiterhin von Bedeutung (HABERLAND, 1994). Bei *Aethusa cynapium* (DOLLINGER und KEMMER, 1992), verschiedenen Kamille-, Knöterich- (LADEWIG et al., 2006) und Hirsearten (BAUER und FIEST, 2007) wird von einer deutlichen Zunahme berichtet.



### 3.1.2 Bedeutung der Restverunkrautung

Durch die Restverunkrautung in Zuckerrüben können hohe pflanzenbauliche Kosten entstehen. Diese umfassen nicht nur den Ertrag und den Aufwand zur Ernte und Verarbeitung, sondern auch die langfristige Kosten durch einen höheren Unkraut-, Krankheits- und Schädlingsdruck.

#### Ertrag

Dauerhafte Verunkrautung kann in Zuckerrüben zu einer Verringerung des Rübenenertrags von bis zu 90% und Ernteaussfällen führen (SCOTT und MOISEY, 1972; MEYER et al., 1986; BRANDES, 2000). Auch eine ausschließlich spät auftretende Restverunkrautung kann deutliche Ertragsverluste hervorrufen (SCHÄUFELE, 1986; SCHÄUFELE, 1991; HABERLAND, 1994; BRÄUTIGAM, 1998; KOBUSCH, 2003).

Ursache für diese Verluste ist der Wettbewerb von Kultur- und Unkrautpflanzen um Licht, Wasser und Nährstoffe (BAEUMER, 1992). Konkurrenz um Licht hat für den Zuckerertrag die größte Bedeutung (SCHÄUFELE, 1986; SCHÄUFELE, 1991; KROPFF et al., 1995; BRÄUTIGAM, 1998), während Wasser- (KROPFF et al., 1995) und Nährstoffkonkurrenz meist zu vernachlässigen sind (BRÄUTIGAM, 1998).

Die Konkurrenz durch Unkräuter ist abhängig vom Zeitpunkt des Auflaufens, dem Standort, der Witterung und der Konkurrenzkraft der Kultur, in der sie auftreten (NIEMANN, 1988). Besonders in der Jugendphase sind Zuckerrüben sehr konkurrenzschwach (BRÄUTIGAM, 1998; WELLMANN, 1999). Wuchshöhe und Blattfläche der Unkräuter beeinflussen das Konkurrenzverhältnis (KROPFF et al., 1995). Bestandsüberragende Arten mit starker Beschattung bewirken weit höhere Verluste als niedrigwachsende Unkräuter (SCHÄUFELE, 1986; SCHÄUFELE, 1991; HABERLAND, 1994; BRÄUTIGAM, 1998; WELLMANN, 1999). Es lassen sich mit sinkender Bedeutung für den Ertrag anführen:

- bestandesüberragende, umfangreiche Arten,  
z.B. *Chenopodium album*, *Amaranthus retroflexus*, *Solanum nigrum*, *Polygonum lapathifolium*
- aufrechtstehende, nicht bestandesüberragende Arten,  
z.B. *Mercurialis annua*, *Echinochloa crus-galli*, *Matricaria chamomilla*
- niederliegende, stängel- und polsterbildende Arten,  
z.B. *Galium aparine*, *Polygonum aviculare*, *Polygonum convovulus*, *Polygonum amphibium*

Bei einer Mischverunkrautung ist mit Ertragsverlusten von 4% je 1000g Frischmasse/10 m<sup>2</sup> zu rechnen. Dieser Effekt wird von der Zusammensetzung der Unkrautgesellschaft stark beeinflusst: Während *Mercurialis annua* auch bei 31 Pflanzen/10 m<sup>2</sup> kaum Einfluss auf den Ertrag hat, können bei hochwachsenden Arten wie *Chenopodium album*, *Amaranthus retroflexus* und *Solanum nigrum* bereits 1-2 Pflanzen/10 m<sup>2</sup> zu hohen Verlusten führen (SCHÄUFELE, 1986; HABERLAND, 1994). Einzelpflanzen von *Chenopodium album* verringern den Ertrag noch in 1 m Entfernung (SCHÄUFELE, 1986). Ähnliche Ergebnisse ergeben sich für *Abutilon theophrasti* (SCHWEIZER und BRIDGE, 1982) und *Amaranthus spp.* (SCHWEIZER und LAURIDSON, 1985). *Echinochloa crus-galli* (NORRIS, 1992) und *Aethusa cynapium* (DOLLINGER und KEMMER, 1992). Ertragsverluste müssen stets im Zusammenhang zum Standort und zur Witterung bewertet werden (SCHÄUFELE, 1986; HABERLAND, 1994).

Unterschiede in der Zusammensetzung und Entwicklung einer Verunkrautung erschweren die Etablierung von Schadschwellen zur Unkrautbekämpfung. Eine vollständige Erfassung der Situation ist erst zu einem Zeitpunkt möglich, in dem übliche Herbizidmaßnahmen keine ausreichende Wirkung mehr zeigen. Integrierte Konzepte sind in der Praxis kaum anzuwenden (BRANDES, 2000).

Zeitliche Schadschwellen beschreiben die Periode, in der eine einsetzende Verunkrautung bekämpft werden muss, um die Ertragsleistung zu erhalten: Bei Zuckerrüben beginnt dieser Zeitraum etwa 4 Wochen nach dem Auflaufen und endet in der 8. bis 12. Woche (SCOTT und MOISEY, 1972; MEYER et al., 1986; DAWSON, 1986). Die kritische Periode erstreckt sich mindestens vom 4- bis 12-Blatt-Stadium (MEYER et al., 1986; BRANDES, 2000; KOBUSCH, 2003). Andere Untersuchungen geben als Zeitraum BBCH 17 bis BBCH 39 an. Nach dem Reihenschluss auflaufende Verunkrautung hat meist keine Wirkung auf den Ertrag. Die Restverunkrautung entwickelt sich zum größten Teil aus Unkräutern, die bereits während der kritischen Periode auflaufen, die Bekämpfungsmaßnahmen überleben und nach BBCH 39 den Bestand durchdringen (BRÄUTIGAM, 1998).

Mit jedem Prozent an Unkrautdeckungsgrad zum Reihenschluss verringert sich der Rübenertrag um etwa 7,0 dt/ha gegenüber nicht verunkrauteten Flächen (MÄRLANDER und BRÄUTIGAM, 1994; BRÄUTIGAM, 1998). Besteht die Verunkrautung nur aus niedrigwachsenden Arten, führt eine Bodenbedeckung von 15% auch 7 Wochen nach dem Auflaufen der Zuckerrüben nicht zu Verlusten (SCHÄUFELE, 1991). Schadensschwellen für ein Prozent an Ertragsverlust wurden für hochwachsende Arten wie *Chenopodium album* (1,0/10 m<sup>2</sup>), *Solanum nigrum* (1,5/10 m<sup>2</sup>), *Echinochloa crus-galli* (7,7/10 m<sup>2</sup>) und *Galium aparine* (4,1/10 m<sup>2</sup>) bei aufgeführter Dichte ermittelt (HABERLAND, 1994).

Ein Zusammenhang zwischen einer ausschließlich späten Verunkrautung und dem Blattertrag wurde bisher nicht ermittelt. Untersuchungen belegen aber eine Verringerung des Blattertrags bei Auftreten von *Chenopodium album* und *Echinochloa crus-galli* (WIESNER und HABERLAND, 1979).

### Qualität

Der Einfluss einer Restverunkrautung auf die Qualität der Rübe wird in der Literatur unterschiedlich bewertet, lässt sich aber insgesamt als gering beschreiben. Verluste im Bereinigten Zuckerertrag sind meist durch den verminderten Rübenertrag bedingt (BRANDES, 2000).

Der Zuckergehalt wird durch die Verunkrautung nicht (SCHMITZ, 1984; BRANDES, 2000) oder nur gering beeinflusst (WIESNER und HABERLAND, 1979; SCHÄUFELE und WINNER, 1986; BRÄUTIGAM, 1998; KOBUSCH, 2003). Ein verringerter Gehalt an Amino-N wird in mehreren Versuchen erfasst und auf Konkurrenz um Stickstoff zurückgeführt (SCHÄUFELE und WINNER, 1986; SCHÄUFELE, 1991; KOBUSCH, 2003). Durch einen verringerten Standardmelasseverlust kann der bereinigte Zuckergehalt leicht erhöht sein (SCHÄUFELE, 1991) oder durch einen ebenfalls geringeren Zuckergehalt gleich bleiben. Bei einer Verunkrautung über Reihenschluss hinaus wird der BZG meist reduziert (KOBUSCH, 2003).

Bei der Verfütterung des Zuckerrübenblattes ist ein geringerer Futterwert bei starker Verunkrautung mit *Solanum nigrum*, *Mercurialis annua* und *Euphorbia spp.* zu erwarten (HABERLAND, 1994).

### **Pflege**

Durch die Restverunkrautung können Störungen beim Einsatz von Pflegegeräten auftreten. Die Beseitigung des Unkrautbesatzes erfordert einen hohen Aufwand an Handarbeit und in bestimmten Situationen auch teure „Feuerwehrmaßnahmen“ (HABERLAND, 1994; EßER und HEINRICHS, 2012).

### **Ernte, Lagerung und Verarbeitung**

Auch die Ernte wird durch die Restverunkrautung beeinträchtigt. Abgestorbene und verholzte Unkrautbestandteile führen zu Verstopfungen der Rodeschare und Reinigungswalzen oder wickeln sich an drehenden Teilen auf. Dies kann zu hohen Stillstandszeiten führen. Neben der Arbeitsleistung wird auch die Köpf- und Rodequalität verringert. Gründe dafür sind die erschwerte Reihen- und Höhenführung der Maschine und die Abstumpfung der Köpfmesser. Bei einer hohen Restverunkrautung treten somit auch indirekt deutliche Ertragsverluste auf. Der Einfluss einzelner Unkrautarten muss unterschiedlich bewertet werden: Schwellenwerte für die Beerntbarkeit liegen häufig unter den Ertragsschwellenwerten. *Chenopodium album*, *Solanum nigrum* und *Echinochloa crus-galli* sind besonders problematisch (NEURURER, 1976; WIESNER und HABERLAND, 1979). Auch die verholzten Stängel von *Aethusa cynapium* können die Ernte stören (DOLLINGER und KEMMER, 1992).

Bei der Lagerung von verunkrauteten Zuckerrüben führt der Besatz zu höheren Atmungs- und Fäulnisverluste in der Miete und somit zu Verlusten an Ertrag und Qualität (HABERLAND, 1994).

Die Verarbeitungsleistung kann bei großen Mengen an verholzten Unkrautresten durch Verstopfungen des Schwemmkanales, der Wäsche und der Schnitzmesser beeinträchtigt werden (HABERLAND, 1994). Bei der konzentrierten Anfuhr stark verunkrauteter Rüben können Ausfälle der Schneidmaschine auftreten, die mit hohem Aufwand behoben werden müssen (WETZLER, 2005).

### **Anreicherung des Bodensamenvorrats**

Der Anreicherung des Bodensamenvorrats durch eine bestehende Verunkrautung wird oft nicht genug Beachtung geschenkt (BLUMENBERG und HEITEFUß, 1988). Verschiedene Untersuchungen belegen aber, dass eine hohe Restverunkrautung in Zuckerrüben nicht nur den Samenvorrat im Boden erhöht (AHLERS, 1986), sondern auch zu einer stärkeren Verunkrautung und geringeren Erträgen in den Folgekulturen führen kann (SCHMITZ, 1984; BUSCHE, 2008). Bereits wenige Unkräuter, die zur Samenreife gelangen, können den Unkrautdruck langfristig steigern (NORRIS, 1999).

Unkräuter, die sich ohne Konkurrenz entwickeln können, besitzen eine erhöhte Samenproduktion. Dies tritt besonders an Fehlstellen im Zuckerrübenbestand auf (BLUMENBERG und HEITEFUß, 1988). Auch die späte Ernte der Zuckerrüben trägt zur Entwicklung der Unkräuter bei (BLUMENBERG und HEITEFUß, 1988; KROHMANN, 2003). Das potentielle Samenbildungsvermögen von verschiedenen Unkrautarten wurde mehrfach untersucht: *Chenopodium album* bildet bis zu 20 000 Samen mit einer Lebensfähigkeit von über drei Jahrzehnten (HANF, 1999). Langfristige Schwellenwerte müssen daher bei unter 1 Pflanze/10 m<sup>2</sup> angesetzt werden (SCHÄUFELE, 1986). Auch andere Unkrautar-

ten, etwa *Aethusa cynapium*, *Solanum nigrum*, *Mercurialis annua* und *Amaranthus retroflexus* bilden deutlich über 500 und teils bis zu 10 000 Samen/Pflanze (HANF, 1999). *Abutilon theophrasti* verdient als recht junger Neophyt eine besondere Beachtung: Eine einzelne Pflanze kann bis zu 8000 Samen bilden, die im Boden über 50 Jahre lang lebensfähig bleiben können (SPENCER, 1984). Die langfristige Anreicherung des Bodensamenvorrats kann nur durch eine 99,78%ige Bekämpfung verhindert werden (BAUER und MORTENSEN, 1992). Noch höhere Wirkungsgrade sind bei der Bekämpfung von *Echinochloa crus-galli* erforderlich. Bereits die Samenproduktion von einer Pflanze/ha erhöht den Bodensamenvorrats auf ein Maß, das den Ertrag einer folgenden Zuckerrübenkultur um 5% vermindern kann, wenn keine ausreichende Bekämpfung erfolgt (NORRIS, 1992).

### **Vermehrung von Krankheiten und Schädlingen**

Die Gesundheit der Zuckerrüben, aber auch der phytopathologische Status anderer Kulturen in der Fruchtfolge, kann durch Unkräuter beeinträchtigt werden. Neben der Vermehrung von Nematoden ist auch ein Anstieg von pilzlichen Krankheiten zu erwarten. Bei sehr hohem Unkrautbesatz wird ein erhöhter Befall mit Schädlingen und Virose beobachtet (HABERLAND, 1994).

*Heterodera schachtii* befällt neben Zuckerrüben auch Unkräuter. Feldversuche zeigen, dass durch Unkrautbekämpfung die Verseuchungsdichte um bis zu 22% verringert werden kann, während starke Restverunkrautung den Gehalt an Zysten um bis zu 8% erhöht. Den höchsten Beitrag zur Vermehrung leisten *Thlaspi arvense*, *Capsella bursa-pastoris*, *Stellaria media*, *Chenopodium spp.* und *Atriplex spp.*. Einige dieser Arten besitzen einen hohen Anteil an der Gesamtverunkrautung (GEISSL und BACHTHALER, 1986). Auch *Amaranthus retroflexus* ist eine Wirtspflanze (VESELY, 1970).

*Ditylenchius dispaci* vermehrt sich ebenfalls an Unkräutern, hat aber ein so großes Wirtsspektrum, dass eine Beeinflussung durch Unkrautbekämpfung kaum möglich scheint (STURHAN et al., 2008).

Bei pilzlichen Krankheiten sind Unkräuter als Wirtspflanzen für *Aphanomyces cochlioides*, *Rhizoctonia solani*, *Pythium ultimum*, *Pleospora betae*, *Polymyxa betae* (WINDELS und LAMEY, 1998) sowie *Helicobasidium brebissonii* und *Fusarium oxysporum* bekannt (JACOBSEN, 2006). *Polymyxa betae*, der Überträger von Rizomania, und *Aphanomyces cochlioides* treten häufig an *Chenopodium spp.* und *Amaranthus spp.* auf (WINDELS und LAMEY, 1998). Bei starker Verunkrautung mit *Amaranthus retroflexus* kann ein höherer Befall mit Schwarzfäule erfasst werden (COONS et al., 1946).

Eine hohe Restverunkrautung in Rüben fördert auch das Auftreten von verschiedenen Schädlingen. Dazu zählen beispielsweise *Cassida nebulosa* (HABERLAND, 1994), *Aphis fabae* und *Myzus persicae*. Durch Blattläuse können Viren, etwa die Milde Rübenvergilbung (BMYV) und die Nekrotische Rübenvergilbung (BYV) im Bestand verbreitet werden (SMITH, 1989).

Bei der Bewertung der Restverunkrautung in Zuckerrüben muss auch der Effekt eines höheren Krankheits- und Schädlingsdrucks auf die Folgefrucht berücksichtigt werden. Belegt ist dieser zum Beispiel für *Globodera spp.* in Kartoffeln (DEWAR et al., 2000) und verschiedene, oft wenig spezifische, pilzliche Krankheiten (COONS et al., 1946).

### 3.1.3 Bekämpfung der Restverunkrautung

Die Unkrautbekämpfung zählt zu den bedeutendsten Maßnahmen des Zuckerrübenbaus. Neben direkten chemischen oder mechanischen Verfahren sind Methoden zur Vermeidung der Verunkrautung wichtiger Bestandteil einer ganzheitlichen Bekämpfungsstrategie. Die Bekämpfung der Restverunkrautung kann nicht unabhängig von den anderen Maßnahmen der Unkrautbekämpfung betrachtet werden. Selbst wenn keine vollständige Vernichtung der Unkräuter erreicht wird, können Schäden einer Restverunkrautung durch eine ausreichende Unterdrückung der Unkräuter deutlich verringert werden (BRÄUTIGAM, 1998; WELLMANN, 1999; KROHMANN, 2003).

#### Maßnahmen zur Vermeidung der Restverunkrautung

Indirekte Maßnahmen zur Bekämpfung verbessern die Konkurrenzkraft des Zuckerrübenbestandes, vermeiden das Auflaufen von Unkräutern oder verringern deren weitere Entwicklung.

Ab Bestandesschluss ist ein gut entwickelter Zuckerrübenbestand in der Lage die meisten Unkräuter zu unterdrücken (DAWSON, 1977; BRÄUTIGAM, 1998). Die wichtigsten Maßnahmen zur Bekämpfung der Restverunkrautung ist daher eine Bestandesdichte von mindestens 70 00 Pflanzen/ha (WIESNER und HABERLAND, 1980; MÄRLANDER und BRÄUTIGAM, 1994). Grundlage für einen hohen und gleichmäßigen Feldaufgang sind zertifiziertes Saatgut, optimale Saatbettbereitung und ein nicht zu früher Saattermin. Mäuse und Schnecken müssen bekämpft werden (WINNER, 1981; BAUER, 2007; GUMMERT et al., 2012). Pflegemaßnahmen, etwa zur Beseitigung von Verschlämmungen, können die Jugendentwicklung fördern. Herbizidstress ist bei der chemischen Unkrautbekämpfung nicht zu vermeiden, sollte aber auf das notwendige Maß begrenzt bleiben (WINNER, 1981).

Geschwindigkeit und Qualität des Reihenschlusses können durch Sorten mit einem kräftigen Blattapparat und horizontaler Blattstellung verbessert werden (LOTZ et al., 1991). Besonders gegen *Mercurialis annua* haben sich blattreiche, nematodentolerante Typen bewährt (BROCKERHOFF und EBER, 2008). Auch durch höhere Stickstoffgaben kann die Konkurrenzkraft der Zuckerrübe verbessert, und so ein geringerer Unkrautbesatz zur Ernte erreicht werden. Diese Maßnahme beeinträchtigt allerdings den bereinigten Zuckergehalt (BRÄUTIGAM und SCHÄUFELE, 1994).

Leit- und Problemunkräuter in Zuckerrüben können durch geringe Rübenanteile in der Fruchtfolge (ZWERGER und AMMON, 2002) und Maßnahmen in anderen Kulturen zurückgedrängt werden. Dies erfordert eine Bewirtschaftung nach langfristigen Schadensschwellen, die nicht nur die Kosten der bestehenden Verunkrautungssituation, sondern auch die Schäden durch den, aus dieser Situation hervorgehenden, Unkrautdruck berücksichtigen (NORRIS, 1999; KOBUSCH, 2003; BUSCHE, 2008).

Besonders auf Getreidestoppeln lassen sich viele Problemunkräuter, die in Zuckerrüben nur mit hohem Aufwand unterdrückt werden können, gut bekämpfen. Dazu zählen ausdauernde Unkrautarten wie *Cirsium arvense*, *Convolvulus arvensis*, *Equisetum arvense* und *Polygonum amphibium*. Einen erheblichen Anteil an der Restverunkrautung in Zuckerrüben haben auch spät keimende Arten wie *Amaranthus retroflexus*, *Mercurialis annua* und *Solanum nigrum* (RÖDELSPRENGER, 2002).

Problemunkräuter, die aus Kulturpflanzen hervorgehen, etwa Ausfallraps, -sonnenblumen und Durchwuchskartoffeln, müssen, besonders wenn diese als unmittelbare Vorfrucht stehen, bereits vor der Aussaat der Zuckerrüben zurückgedrängt werden (ZWERGER und AMMON, 2002). Dazu ist, neben der Vermeidung von Ernteverlusten, eine Abstimmung der Bodenbearbeitung erforderlich: Durch eine mehrfache, möglichst flache Stoppelbearbeitung wird der Auflauf der Unkräuter gefördert und so der Bodensamenvorrat reduziert (GRUBER et al., 2005; PEKRUN und CLAUPEIN, 2002). Auf dem Feld verbliebenen Kartoffelknollen werden beschädigt (STEINGRÖVER, 2012).

Die Bedeutung der Bodenbearbeitung für die Unkrautbekämpfung muss im Zusammenhang zum Artenspektrum bewertet werden. Wurzelunkräuter wie *Cirsium arvense* und *Elymus repens* können durch den Einsatz des Pfluges geschwächt und der Unkrautdruck durch kleinsamige Kamille- und Hirsearten verringert werden. Durch reduzierte Bodenbearbeitung kann eine "Aushungerung" des Bodensamenvorrats in den oberen Schichten erreicht werden. Dies betrifft Arten wie *Chenopodium album*, *Polygonum convovulus* und *Polygonum lapathifolium* (SOUKUP und HORAK, 1998). Andere Versuche weisen auf eine Anreicherung hin (BRÄUTIGAM, 1990). Die Intensität der Unkrautbekämpfung scheint daher von besonderer Bedeutung. Einen Beitrag zur Unterdrückung von perennierenden Unkräutern können auch Zwischenfrüchte leisten (SOUKUP und HORAK, 1998).

Ebenfalls wichtiger Bestandteil der Feldhygiene ist die Vermeidung der Verbreitung und Verschleppung von Unkräutern. Dazu zählt, neben dem sorgsamem Umgang mit organischen Düngern und nicht zertifiziertem Saatgut (BROCKERHOFF und EBER, 2008), auch die Reinigung von Maschinen, mit denen Unkrautsamen übertragen werden können (KEES et al., 1993). Bei Auftreten von invasiven Unkräutern bringt nur die Handhacke eine sichere Bekämpfung (BROCKERHOFF und EBER, 2008).

### **Chemische Bekämpfung**

Mit Wirkungsgraden von über 98% stellt die Applikation von Pflanzenschutzmitteln die effizienteste Methode zur Bekämpfung der Verunkrautung in Zuckerrüben dar. Im Jahr 2010 wurden auf 99,8% der Anbaufläche chemische Maßnahmen zur Unkrautbekämpfung durchgeführt. Die übliche Strategie besteht aus wiederholten Flächenapplikationen mit Herbizidmischungen im Nachauflauf der Zuckerrüben und zum Keimblattstadium der Unkräuter. In Mulchsystemen werden zunehmend nicht selektive Herbizide im Voraufbau oder vor der Saat eingesetzt (BUHRE et al., 2011). Durchschnittlich wurden 2009 etwa 3,76 Behandlungen zur Unkrautbekämpfung durchgeführt, der Behandlungsindex betrug 2,25 (ROßBERG et al., 2010). Voraussetzungen für eine hohe Bekämpfungsleistung sind die Anpassung der Herbizidstrategie an die bestehende Verunkrautungs- und die Witterungssituation und die Wahl des Applikationsverfahrens (GUMMERT et al., 2012).

Die Restverunkrautung setzt sich aus Unkräutern zusammen, die alle bisherigen Bekämpfungsmaßnahmen überlebt haben oder erst nach der letzten Anwendung auflaufen (HABERLAND, 1994). Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln muss auf die Bekämpfung von diesen beiden Gruppen ausgerichtet sein. Die chemische Bekämpfung der Restverunkrautung steht im engen Zusammenhang zur gesamten Herbizidstrategie. Diese umfasst neben Vorsaats-, Voraufbau-, und Nachaufbaubehandlungen auch spezielle Unterblattspritzungen zum späten Entwicklungsstadium der Kultur

### Vorsaat- und Voraufbaubehandlungen

Zur Bekämpfung der Altverunkrautung werden nicht selektive Herbizide eingesetzt, die meist vor der Saat, teilweise auch vor dem Auflaufen eingesetzt werden (BUHRE et al., 2011). Die wichtigsten Wirkstoffe sind Glyphosat (Roundup®), Glufosinat (Basta®) und Paraquat (ohne Zulassung).

Voraufbaubehandlungen sind im Zuckerrübenbau kaum noch verbreitet. Aus arbeitswirtschaftlichen Gründen oder bei bestimmten Witterungs- oder Verunkrautungssituationen kann die Applikation von selektiven Bodenherbiziden bei oder nach der Saat die spätere Unkrautbekämpfung aber erleichtern (KEES et al., 1993). Besonders gegen Problemunkräuter wie *Polygonum aviculare* und *Aethusa cynapium* hat sich der Einsatz von Chloridazon (Pyramin®, Rebell®) im Voraufbau bewährt (BROCKERHOFF und EBER, 2008). Auch die Kontrolle von *Galium aparine* und Kamillearten kann deutlich verbessert werden. Durch die Vorlage der Bodenherbizide wird die Sensitivität der Unkräuter und somit die Wirksamkeit von Nachaufbaubehandlungen erhöht (KEES et al., 1993).

### Nachaufbaubehandlungen

Die durchschnittliche Zahl der Nachaufbaubehandlungen liegt bei 3,82 und schwankt, abhängig von der Herbizidstrategie, zwischen einer und 8 Applikationen. Zur erfolgreichen Bekämpfung einer Standardverunkrautung sind 3 Anwendungen oft ausreichend. Bei Problemverunkrautungen, etwa mit Ausfallraps oder *Mercurialis annua*, sind bis zu 5 NAKs mit geringeren Wirkstoffkonzentrationen üblich. Die erste Anwendung erfolgt etwa 2 Wochen nach der Saat. Das anschließende Behandlungsintervall liegt zwischen 8 und 16 Tagen (VASEL und LADEWIG, 2010). Die Nachaufbaubehandlung ermöglicht eine Anpassung an die bestehende Verunkrautungs- und Witterungssituation. Verschiedene boden- und blattaktive Wirkstoffe sowie Additive werden dabei kombiniert.

Die 1. NAK ist für eine erfolgreiche Unkrautbekämpfung von größter Bedeutung. Häufig werden Kombinationen von Goltix® und Betanal® eingesetzt. Diese setzen auf die blattaktive Wirkung von Phenmediphan und die Bodenwirkung von Metamitron und Ethofumesat. Das breite Wirkungsspektrum dieser Mischung bietet bei einer Normalverunkrautung ausreichende Wirkungsgrade. Das Verhältnis der beiden Mischungspartner wird an die vorherrschende Witterung angepasst. Ebenfalls häufig ist die sogenannte GBR-Strategie, die zusätzlich Rebell® enthält und Wirkungslücken gegen die meisten Knötericharten und einige bedeutende Problemunkräuter schließen kann. Bei starkem Bingeldruck oder Ausfallraps sollte Triflursulfuron (Debut®) bereits in der 1. NAK eingesetzt werden (BAUER und FIEST, 2007; WAGNER, 2009; BROCKERHOFF, 2010).

Mit der 2. NAK muss sowohl die Restverunkrautung der ersten Behandlung vernichtet, als auch neu aufgelaufene Unkräuter bekämpft werden. Bei normalem Unkrautdruck unterscheidet sich die Behandlung oft nur gering von der ersten Maßnahme. Bei Problemunkräutern, die nur durch Zusatz von Triflursulfuron (Debut®) ausreichend bekämpft werden können, wird der Wirkstoff spätestens bei der 2. NAK zugesetzt. Abhängig von der bestehenden Verunkrautungssituation werden zusätzlich Dimethenamid-P (Spectrum®) gegen Hirsearten, *Amaranthus retroflexus* und *Solanum nigrum* sowie Clopyralid (Lontrel®) eingesetzt (BAUER und FIEST, 2007; BROCKERHOFF, 2010).

Befinden sich die Ungräser im 2- bis 3-Blatt-Stadium und sind die Zuckerrüben wenig empfindlich können schon bei der 2. NAK blattwirksame Graminizide in die Mischung aufgenommen werden. Ansonsten erfolgt die Bekämpfung gesondert im Abstand von etwa 4 Tagen (BROCKERHOFF, 2010).

Die 3. NAK stellt auf vielen Betrieben die letzte Herbizidmaßnahme dar. Neben der Bekämpfung verbliebener und neu aufgelaufener Unkräuter erfolgt mit der Abschlussbehandlung auch eine Versiegelung gegen spät keimende Unkräuter wie *Chenopodium album*, *Amaranthus retroflexus*, *Solanum nigrum* und *Galinsoga spp.* Dazu wird eine erhöhte Dosis an Metamitron (Goltix®) eingesetzt. Bei zu erwartender Spätverunkrautung beträgt die insgesamt erforderliche Aufwandmenge bis zu 3,5 kg/ha. Durch einen erhöhten Anteil an Dimethenamid-P kann eine ausreichende Versiegelung gegen Hirsearten und einige Problemunkräuter erreicht werden (BAUER und FIEST, 2007).

Bei Problemunkräutern die in Wellen auflaufen und von Bodenwirkstoffen kaum erfasst werden, etwa Ausfallraps und *Mercurialis annua*, sind drei Nachauflaufbehandlungen nicht ausreichend. Für eine erfolgreiche Bekämpfung müssen die Wirkstoffkombination angepasst und der Abstand zwischen den Behandlungen verringert werden (ROßBERG et al., 2010; VASEL und LADEWIG, 2010).

Die Wirkung der Herbizide wird durch die Witterung beeinflusst: Anhaltende Trockenheit begünstigt die Ausprägung einer dicken Wachsschicht auf der Blattoberfläche. Diese reduziert die Aufnahme von blattaktiven Wirkstoffen. Auch für Wirkstoffe, die über den Boden aufgenommen werden, ist eine ausreichende Feuchtigkeit erforderlich. Bei Blattherbiziden können Applikationen am frühen Morgen und die Beimischung von Zusatzstoffen die Bekämpfungsleistung verbessern. Bodenherbizide haben höhere Ansprüche an die Witterung: Ist eine ausreichende Bodenfeuchtigkeit nicht gegeben sollte die Ausbringung getrennt erfolgen (BROCKERHOFF, 2011; DUCH, 2012).

Die Wasseraufwandmenge für Herbizidmaßnahmen in Zuckerrüben beträgt meist 200-250 l/ha bei einem Tropfenspektrum von 250-400 µm (DUCH, 2012). Besonders bei späteren Applikationen zur Beseitigung der Restverunkrautung haben sich ein erhöhter Wasseraufwand und ein feineres Tropfenspektrum bewährt (BAUER, 2007; BROCKERHOFF, 2011).

Auch bei optimaler Applikation und empfindlichen Unkräutern, kann die Wirkung von Herbiziden durch den Spritzschatten der Zuckerrübenblätter beeinträchtigt werden. Dies betrifft sowohl die Bekämpfung aufgelaufener Unkräuter als auch die Bodenversiegelung. Die Abschlussbehandlung wird meist für das 4- bis 6-Blattstadium angesetzt (KOBUSCH, 2003; BROCKERHOFF und EßER, 2008; WAGNER, 2009). Flächenapplikationen zu einem späten Entwicklungsstand, etwa für eine 4. NAK, werden bevorzugt bei senkrechter Blattstellung der Zuckerrüben durchgeführt (BAUER, 2007).

Bei einigen Problemunkräutern ist eine chemische Bekämpfung in Zuckerrüben kaum möglich. Dazu zählen unter anderem *Convolvulus arvensis*, *Equisetum arvense*, *Polygonum amphibium*, *Abutilon theophrasti* und *Cyperus esculentus* sowie Unkrautrüben. Kommen diese vor, müssen sie mit anderen Maßnahmen zurückgedrängt werden. Ab einem bestimmten Entwicklungsstand sind auch normale Unkräuter als Problemunkräuter zu betrachten, da übliche Herbizidkombinationen keine ausreichende Wirkung mehr zeigen (WAGNER, 2009; EßER und HEINRICHS, 2012).

### Unterblattspritzung

Die Unterblattspritzung stellt ein spezielles Applikationsverfahren zur Unkrautbekämpfung dar. Durch die Applikation unterhalb des Blätterdachs wird der Spritzschatten verringert. Dies ermöglicht die späte Bekämpfung von Unkräutern und die vollständige Versiegelung der Bodenoberfläche. Der Einsatz von Unterblattspritzgeräten beschränkt sich auf die letzte NAK oder "Feuerwehrmaßnahmen" nach mangelhafter Wirkung der vorherigen Maßnahmen (FIEDLER, 2011).

Die Vorzüge einer Unterblattapplikation bestehen in:

#### 1. Verbesserung der Bekämpfung von aufgelaufenen Unkräutern

Durch die Vermeidung von Spritzschatten können auch die Unkräuter benetzt werden, die bei Flächenapplikationen durch die Rübenblätter verdeckt werden. Mit aggressiven Herbizidmischungen können auch Unkräuter vernichtet werden, die das 2-Blatt-Stadium bereits überschritten haben (EßER, 2012). Abhängig von den Herbiziden wird eine ausreichende Wirkung bis zur Höhe von 5-6 cm (HABERLAND, 1983), 10 cm (EßER und HEINRICH, 2012) oder, bei Bekämpfung von *Chenopodium album* und *Amaranthus retroflexus*, bis zum 8-Blatt-Stadium festgestellt (JOHNSON und LAW, 1967). Die Beschattung der Unkräuter durch die Blätter der Zuckerrüben erhöht auch die Sensitivität der Unkräuter gegenüber blattaktiven Wirkstoffen: Die geringe Belichtung und eine hohe Luftfeuchtigkeit verhindern die Ausprägung der schützenden Wachsschicht (EßER und HEINRICH, 2012).

#### 2. Verbesserung der Versiegelung der Bodenoberfläche

Bei Unterblattapplikationen wird die Bodenoberfläche fast vollständig bedeckt. Auch verbessert die höhere Bodenfeuchte die Bekämpfungsleistung der Herbizide. Der photochemische Abbau der Wirkstoffe wird durch die Abschirmung der Zuckerrüben verringert (EßER und HEINRICH, 2012).

#### 3. Verlängerung des Zeitraums für anstehende Applikationen

Die Möglichkeit, Applikationen bis zum Bestandesschluss durchzuführen, erlaubt es, bestimmte Herbizidmaßnahmen nach hinten zu verschieben. Die Terminierung kann somit bei optimalen Bedingungen erfolgen. Windgeschwindigkeit, Luftfeuchtigkeit und Temperatur beeinträchtigen die Qualität von Unterblattspritzungen geringer als bei flächenmäßigen Applikationen (FIEDLER, 2011).

#### 4. Verringerung der Herbizidbelastung von Zuckerrüben

Die Blattheber wirken bei vielen Unterblattspritzgeräten auch als Schutzschirme für die Kulturpflanzen (HABERLAND, 1983). Die Benetzung der Zuckerrüben wird vermieden und die Verträglichkeit von selektiven Wirkstoffen kann weitestgehend vernachlässigt werden. Kontaktmittel und starke Additive, einschließlich Öl, können der Herbizidmischung zugesetzt werden, ohne dass Wachstumsdepressionen zu erwarten sind. Bei entsprechender Anpassung der Spritzstrategie lässt sich der Herbizidaufwand in den vorhergehenden Behandlungen verringern (FIEDLER, 2011).

## 5. Applikation von nicht rübenverträglichen Herbiziden

Untersuchungen bestätigen, dass auch nicht rübenverträgliche Herbizide eingesetzt werden können, wenn die Zuckerrüben gegenüber den Düsen abgeschirmt werden. Damit können selbst weit entwickelte Unkräuter und Problemunkräuter, die gegenüber den Rübenherbiziden resistent sind, im Bestand bekämpft werden. Schädigungen der Zuckerrüben, besonders an den älteren Blättern, sind aber nicht auszuschließen. Entscheidend sind eine ausreichende Entwicklung der Zuckerrübe und die optimale Einstellung des Spritzgerätes (HABERLAND, 1980; HABERLAND, 1983; MAIDL, 2012).

Unterblattapplikationen zur Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben sind seit den 1960er Jahren bekannt. Der Aufwand für die Durchführung ist, verglichen mit Flächenspritzungen, deutlich erhöht. Die Anwendung der Unterblattspritzung in der 3. oder 4. NAK ist besonders auf Standorten mit Problemverunkrautung, etwa durch *Mercurialis annua*, von Bedeutung (FIEDLER, 2011). Auch eine normale Restverunkrautung kann mit diesem Verfahren stark verringert werden (MAIDL, 2012). Bei entsprechender Anpassung der Spritzstrategie und durch die Wahl von günstigen Präparaten können die Gesamtkosten der Unkrautbekämpfung geringer ausfallen, als bei der Ausbringung von 4 Flächenapplikationen (FIEDLER, 2011). Der Einsatz der Unterblattspritze stellt, abhängig von der Restverunkrautung, die effektivste "Feuerwehrmaßnahme" dar (EBER und HEINRICHS, 2012).

### Maschinenhacke

Auch der Einsatz der Maschinenhacke ist nicht auf späte "Feuerwehrmaßnahmen" beschränkt: Mit entsprechenden Schar- und Sternhackgeräten ist eine mechanische Unkrautbekämpfung bis zum Reihenschluss möglich (WINNER, 1981).

Der Erfolg von frühen Arbeitsgängen mit der Maschinenhacke ist nur bei Kombination mit einer Bandspritzung in der Reihe sichergestellt. Der Effekt einer zusätzlichen Maschinenhacke in einer üblichen Spritzfolge ist unter normalen Bedingungen als gering einzustufen (HABERLAND, 1998). Probleme können durch die Zerstörung des Herbizidfilms (WINNER, 1981), das Wiederauwachen von Unkräutern und die Förderung des Neuaufbaus entstehen (BLUMENBERG und HEITFUß, 1988).

Bei der Bekämpfung von Problemunkräutern, einschließlich Unkrautrüben, oder bei geringer Wirkung der Herbizide ist die Maschinenhacke der chemischen Bekämpfung überlegen. Dies gilt besonders für eine Restverunkrautung (HABERLAND, 1998). Die Bekämpfung von durchgewachsenen Unkräutern ist, mehr noch als bei kleinen Pflanzen, von trockener Witterung abhängig (EBER und HEINRICHS, 2012). Beim Einsatz der Maschinenhacke kann häufig ein leichter Ertragsanstieg beobachtet werden, der auf eine verbesserte Bodenstruktur zurückzuführen ist (HABERLAND, 1998).

Aus arbeitswirtschaftlichen Gründen hat der Einsatz der Maschinenhacke in den vergangenen Jahrzehnten an Bedeutung verloren (BUHRE et al., 2011). Bei der Bekämpfung der Restverunkrautung kann eine Anwendung vor Bestandesschluss den Aufwand der späteren Handhacke aber deutlich verringern (EBER und HEINRICHS, 2012). Moderne Spurführungssysteme und verschiedene Nachlaufwerkzeuge erhöhen den Wirkungsgrad der Hackgeräte (VAN DER WEIDE et al., 2008).

## "Feuerwehrmaßnahmen"

Sind die Unkräuter bereits so stark entwickelt, dass sie das Blätterdach der Zuckerrüben überragen, erzielen auch die Unterblattspritze und Maschinenhacke keine ausreichende Wirkung mehr. Selbst die Applikation von sehr hohen Mengen an Rübenherbiziden zeigt nur einen geringen Erfolg und ist im Rahmen der Höchstmengenverordnung auch rechtlich nicht zulässig (EßER, 2012). Durch „Feuerwehrmaßnahmen“ können Schäden der Restverunkrautung verringert werden.

### Rotowiper und Dochtstreichgerät

Der Ausbringung von glyphosathaltigen Pflanzenschutzmitteln mit Rotowiper und Dochtstreichgeräten ermöglicht die Bekämpfung von Unkräutern, die deutlich über den Bestand hinausragen. Pflanzen, die eine ausreichende Menge an Wirkstoff aufnehmen, sterben ab. Das Verfahren ist nur zur Bekämpfung von hochwachsenden Unkrautarten, etwa *Chenopodium album* oder *Atriplex patula* und zur Vermeidung der Samenbildung von Schosserrüben geeignet. Da auch Zuckerrüben gegenüber Glyphosat empfindlich sind, darf eine Applikationshöhe von 10 cm über dem Bestand nicht unterschritten werden. Unkräuter, die keine ausreichende Wuchshöhe besitzen werden nicht oder nur unzureichend erfasst. Die Maßnahme muss wiederholt werden. Selbst bei optimaler Applikation lassen sich Schäden an Zuckerrüben nicht vermeiden (EßER und HEINRICHS, 2012).

### Mäher, Mulcher und Häcksler

Die mechanische Vernichtung von bestandsüberragenden Unkrautbestandteilen lässt sich zum Beispiel mit Sichelmähern, Schlegelmulchern oder -häckslern durchführen. Der Erfolg beschränkt sich auf die Beschädigung der Haupttriebe. Schon nach kurzer Zeit wachsen die Seitentriebe erneut aus und machen eine zweite Überfahrt erforderlich. Beschädigungen an den Zuckerrüben sind bei korrekter Durchführung zu vernachlässigen (EßER und HEINRICHS, 2012; EßER, 2012).

## **Handhacke**

Bei unzureichender Wirkung aller vorangehenden Maßnahmen bleibt nur die Bekämpfung der Restverunkrautung durch die Handhacke. Diese ist meist mit einem hohen Aufwand verbunden. Besonders gegen schwer bekämpfbare oder invasive Unkräuter stellen "Holz und Eisen" häufig die einzig wirksame und sicherste Methode dar. Daher hat die manuelle Hacke auch im konventionellen Zuckerrübenbau weiterhin ihre Berechtigung (BAUER, 2007; EßER und HEINRICHS, 2012).

## **Bekämpfung in herbizidtoleranten Zuckerrüben**

Gentechnisch veränderte Sorten mit Resistenz gegen Glyphosat (RoundupReady®) oder Glufosinat (LibertyLink®) ermöglichen eine Bekämpfung der Verunkrautung mit nicht selektiven Herbiziden. Die Spritzstrategie kann dem Entwicklungsstand der Zuckerrüben angepasst und die insgesamt benötigte Wirkstoffmenge verringert werden (KOBUSCH, 2003). Eine Hemmung des Wachstums durch Herbizidstress ist nur beim Einsatz von Glufosinat zu erwarten (BEIßNER und BÜTTNER, 2000).

In herbizidtoleranten Rüben kann die 1. NAK bis BBCH 14 aufgeschoben werden (KOBUSCH, 2003). Für eine ausreichende Bekämpfung sind meist zwei Applikationen erforderlich (MADSEN und JENSEN, 1995; SCHÄUFELE et al., 1998; KOBUSCH, 2003). Resistente Unkräuter müssen mit höheren Aufwandmengen und Behandlungszahlen bekämpft werden. Bei Nutzung der RoundupReady®-Technologie zählen *Galium aparine* und *Stellaria media* zu den Problemunkräutern (MADSEN und JENSEN, 1995). In glufosinatresistenten Zuckerrüben sind es unter anderem *Chenopodium album* und *Polygonum convolvulus* (WEVERS, 1998; WILSON et al., 2004). Unkräuter, die im Spritzschatten der Zuckerrüben heranwachsen, werden oft nicht erfasst. Daher sinkt bei einer einmaligen Applikation im 8-Blatt-Stadium der Rüben die Bekämpfungsleistung auf unter 95% (KOBUSCH, 2003).

### 3.2.4 Zusammenfassung

Die Restverunkrautung in Zuckerrüben beschreibt die Verunkrautung zwischen Bestandesschluss und Ernte. Sie setzt sich aus früh auflaufenden Unkräutern, die alle Bekämpfungsmaßnahmen überlebt haben, und nach der letzten Behandlung auftretenden Unkräutern zusammen. Die Entwicklung der Restverunkrautung wird durch Mängel bei der Bekämpfung, eine geringe Bestandesdichte und einen schwachen Blattapparat der Zuckerrüben begünstigt. Auch anhaltende Trockenheit fördert die Verunkrautung. Während die Kulturführung, Herbizidstrategie und Applikationstechnik vom Landwirt bestimmt werden können, bleibt die Witterung ein zufälliger Faktor.

Durch eine hohe Restverunkrautung kann der bereinigte Zuckerertrag stark verringert werden. Darüber hinaus werden Pflege, Ernte, Lagerung und die Verarbeitung der Zuckerrüben erschwert. Die hohe Samenproduktion vieler Unkräuter kann den Bodensamenvorrat dauerhaft erhöhen. Auch die Pflanzengesundheit wird durch die Restverunkrautung beeinträchtigt.

Die Vermeidung der Restverunkrautung umfasst alle pflanzenbaulichen Maßnahmen, die zur Entwicklung eines dichten und gleichmäßigen Bestandes beitragen. Dazu zählen neben optimaler Saat und Pflege auch die Wahl von blattreichen Sorten und eine ausreichende Stickstoffdüngung.

Die Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben erfolgt zu 99% durch Herbizide. Die Bekämpfungsstrategie nimmt entscheidenden Einfluss auf die Restverunkrautung: Angepasste Nachauflaufbehandlungen tragen dazu bei, dass alle früh aufgelaufenen Unkräuter vernichtet werden und eine ausreichende Versiegelung gegen spät keimende Arten besteht. Die Wirksamkeit von Flächenapplikationen wird ab dem 6- bis 8-Blatt-Stadium durch den zunehmenden Spritzschatten eingeschränkt.

Bei Unterblattapplikationen wird der wirkungsmindernde Effekt des Spritzschattens verringert. Auch kann der Zeitraum für Behandlungsmaßnahmen deutlich nach hinten verlängert werden. Durch die geringere Belagsbildung auf den Zuckerrübenblättern wird der Herbizidstress reduziert. Bei Unterblattspritzungen ist der Einsatz von nicht rübenverträglichen Wirkstoffen möglich.

Die meisten „Feuerwehrmaßnahmen“ zur Bekämpfung einer bereits entwickelten Restverunkrautung sind mit hohen arbeitswirtschaftlichen Kosten verbunden oder haben nur geringe Wirkung. Beispiele dafür sind Rotowiper, Dochtstreichgerät und Häcksler und die aufwendige Handhacke.

### **3.2 Applikationstechnische Aspekte**

Die Applikation von Pflanzenschutzmitteln erfolgt in einem abgegrenzten Applikationsverfahren. Dieses definiert sich über die gewählte Geräte- und Düsenteknik sowie die eingestellten Applikationsparameter: Fahrgeschwindigkeit, Wasseraufwandmenge, Spritzhöhe und -druck. Die Qualität einer Applikation wird durch externe Faktoren, unter anderem die Witterung, beeinflusst.

#### **3.2.1 Applikationsqualität**

Letztlich kann die Qualität eines Applikationsverfahren nur über den Erfolg der Pflanzenschutzmaßnahmen ausreichend bewertet werden (FRIESSLEBEN et al., 2000). Da diese den witterungs- und indikationsspezifischen Schwankungen unterworfen ist, werden in vielen Untersuchungen andere Parameter zur Bewertung der Applikationsqualität herangezogen.

#### **Biologische Wirkung**

Der biologische Wirkungsgrad wird durch den Vergleich von bestimmten Merkmalen an einer behandelten Kultur und einer nicht behandelten Kontrolle ermittelt. Bei der Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben erfolgt die Bonitur oft anhand der Intensität der Restverunkrautung (KROHMANN, 2003; GEHRING et al., 2006). Schäden an den Kulturpflanzen, die durch Überdosierungen von Pflanzenschutzmitteln hervorgerufen werden können, fließen in die Bewertung mit ein (NORDEN, 1982).

#### **Verteilungsqualität auf einer ebenen Zielfläche**

Untersuchungen zur Verteilungsqualität von Feldspritzgeräten werden meist außerhalb des Bestandes durchgeführt. Dazu werden verschiedene Spritzstände oder Teststrecken verwendet.

Bei der Kontrolle von in Gebrauch befindlichen Feldspritzen wird die Querverteilung der Spritzflüssigkeit erfasst, um die Qualität der Applikation zu bestimmen. Der Variationskoeffizient und der Anteil von Abweichungen über 15% dienen als Parameter zur Bewertung. Bei Flächenspritzgeräten darf ein Variationskoeffizient von 9% nicht überschritten werden (KIFFERLE und STAHLI, 2001). Ein Zusammenhang zur biologischen Wirkung wird erst bei Variationskoeffizienten von über 15% festgestellt (BALSARI et al., 1994). Auch weicht die statische Querverteilung häufig deutlich von der dynamischen Verteilungsqualität und der Verteilung im Bestand ab (KOCH, 1992).

Bei der Messung der dynamischen Verteilungsqualität auf einer ebenen Zielfläche wird zwischen Gesamt-, Quer- und Längsverteilung unterschieden (WOLF, 2002; LARDOUX et al., 2007a; LARDOUX et al., 2007b). Auch bei diesen Untersuchungen wird die Bestandsverteilung nicht erfasst (KOCH, 1992) und ein Zusammenhang zur biologischen Wirkung nicht immer ermittelt (LARSOLLE et al., 2002). GÖHLICH stellt fest, dass eine gute Spritzverteilung vor dem Auftreffen auf die Zielfläche die Wahrscheinlichkeit für eine hohe biologische Wirkung der Applikation erhöht (GÖHLICH, 1985). Bei ungleichmäßiger Verteilung wird eine höhere Wirkstoffmenge benötigt, um den gleichen Wirkungsgrad zu erreichen (ENFÄLT et al., 1997b).

## **Verteilungsqualität im Bestand**

Die Verteilung im Bestand weicht von der Verteilung auf einer ebenen Zielfläche ab. Dabei ist die Definition der tatsächlichen Zielfläche einer Pflanzenschutzmaßnahme von großer Bedeutung. Die Bewertung der Applikationsqualität erfolgt meist über die Anlagerung der Spritzflüssigkeit, beziehungsweise der enthaltenen Wirk- oder Farbstoffe, an den Zielbereich. Neben der Belagsmasse können, abhängig vom verwendeten Messverfahren, auch die Belagsfläche und -struktur ermittelt werden. Die Bestandesdurchdringung ist für viele Applikationsverfahren von Bedeutung.

### Zielfläche

Die Indikation einer Pflanzenschutzmaßnahme und der Wirkmechanismus der eingesetzten Pflanzenschutzmittel beeinflussen die korrekte Definition der Zielfläche. Diese kann sehr unterschiedlich ausgeprägt sein. Daher schlägt KOCH alternativ den Begriff der Zielobjekte vor (KOCH, 1992). Bei der Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben können als Zielobjekt die Unkräuter oder, beim Einsatz von Bodenherbiziden, die Bodenoberfläche angesehen werden (OSTERHILD, 1985).

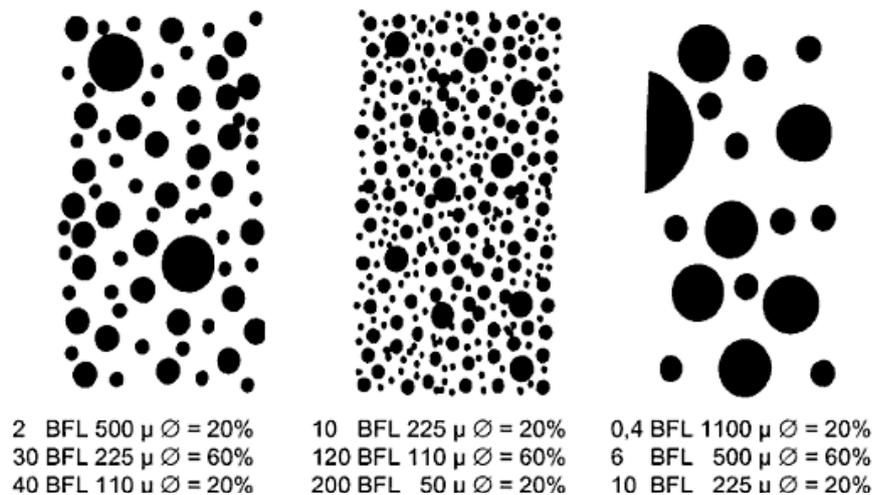
### Belagsmasse

Der Einfluss des Applikationsverfahrens auf die Anlagerung der Pflanzenschutzmittel an eine bestimmte Zielfläche wird in vielen Untersuchungen bestätigt. Dies gilt sowohl für die Bestandesdurchdringung, als auch für die Benetzung von schwer erreichbaren Zielobjekten (KOCH, 1992; RIPKE, 2000; RÜEGG, 2002). Auch der Spritzbelag am Boden lässt sich bestimmen (BECKER et al., 1999; SCHENKE et al., 2004). Es besteht ein Zusammenhang zwischen der Belagsmasse und der biologischen Wirkung (RÜEGG, 2002; WELCHES und LAUN, 2010). Dabei ist von Bedeutung, dass der beprobte Bereich mit der Zielfläche übereinstimmt. Das Anlagerungsverhalten der Spritzflüssigkeit an die Zielfläche muss berücksichtigt werden. Auch bei Belagsmessungen wird häufig der Variationskoeffizient ermittelt. Abhängig von der Zielfläche liegt dieser zwischen 40 und 80%, bei schwer zu benetzenden Bereichen auch bei 120%. Treten große Schwankungen auf, ist der Mittelwert der Belagsmasse nicht ausreichend: Stattdessen wird der Anteil an ausreichend belegten, beziehungsweise der Anteil unterdosierter Bereiche eines Zielobjekts erfasst (KOCH und KNEWITZ, 2010).

### Belagsfläche und -struktur

Die Messung des Belags über die Fläche ist mit der Untersuchung der Belagsmasse zu vergleichen: Auch hier kann die Verteilung im Bestand erfasst werden. Zusätzlich ermöglicht die Messung eine Differenzierung von verschiedenen Belagsstrukturen. Der Zusammenhang zwischen Bedeckungsgrad und biologischer Wirkung ist für kontaktive Herbizide belegt (TREIBER et al., 2000; STADLER et al., 2000). Eine Vielzahl von Faktoren, etwa die Eigenschaften der Spritzflüssigkeit, beeinflussen die Spreitung der Spritztropfen. Die Bewertung von verschiedenen Applikationsverfahren ist daher nur über die relative Belagsfläche möglich (GÖHLICH, 1977). Als Parameter der Belagsstruktur beeinflusst auch die Belagsdichte den Wirkungsgrad. Empfehlungen geben 30-60 Tröpfchen/cm<sup>2</sup> für systemische und 100-200 Tröpfchen/cm<sup>2</sup> für Kontaktmittel an (KIFFERLE und STAHLI, 2001).

Abb. 2: Einfluss der Belagsdichte auf die Belagsstruktur  
(GÖHLICH, 1977)



### 3.2.2 Gerätetechnik

Die Ausbringung von Herbiziden in Zuckerrüben erfolgt meist als Flächenapplikation mit Feldspritzgeräten. Dabei wird der Zuckerrübenbestand wie eine Flächenkultur behandelt. Zur Bekämpfung der Restverunkrautung werden auch spezielle Unterblattspritzverfahren angewandt.

#### Gerätetechnik für Flächenapplikationen

Feldspritzgeräte lassen sich in verschiedene Bautypen einteilen. Die Verteilungsqualität wird zusätzlich durch das Spritzgestänge, dessen Aufhängung, Ansteuerung und Konstruktion beeinflusst. Flächenspritzungen erfolgen meist bei Arbeitsgeschwindigkeiten von 6 bis 10 km/h.

#### Bautypen

Bei Feldspritzgeräten für Flächenapplikationen kann zwischen Anbau- und Aufbaugeräten, angehängten Pflanzenschutzspritzen und Selbstfahrern unterschieden werden. Die Arbeitsbreite beträgt, abhängig vom Bautyp, etwa 12- 48 m bei Behältervolumen von 400-8000 l. Die Geräte unterscheiden sich nicht nur in der Baugröße, sondern auch im Applikationsverhalten (WOLF, 2002).

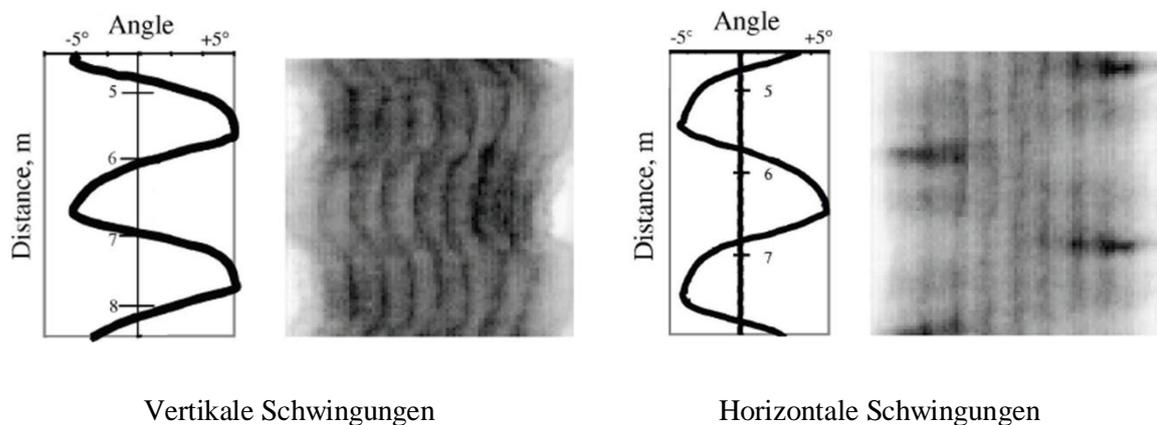
#### Spritzgestänge

Das Spritzgestänge ermöglicht die Anordnung der Düsen im Verband. Abhängig von Düsenart und Anwendung werden diese in Abständen von 25 bis 100 cm angebracht. Die Versorgung mit Spritzflüssigkeit erfolgt über Schlauch- und Rohrleitungen. Das Spritzgestänge ist mit der Feldspritze verbunden (KIFFERLE und STAHLI, 2001). Diese Verbindung kann verschieden gestaltet sein. Abhängig von der Qualität der Konstruktion treten bei der Applikation horizontale und vertikale Schwingungen am Spritzgestänge auf. Diese Bewegungen sind voneinander unabhängig (WOLF, 2002).

Durch vertikale Schwingungen an der Feldspritze, also Veränderungen der Spritzhöhe, wird sowohl die Quer-, als auch die Längsverteilung beeinflusst. Das sogenannte Wanken verändert das Spritzbild der einzelnen Düsen: Steigt die Entfernung zwischen Düse und Zielfläche, vergrößert sich auch der benetzte Bereich. Hingegen sinkt bei einer geringen Spritzhöhe auch die Ausdehnung des Spritzstrahls auf der Zielfläche (WOLF, 2002). Durch das veränderte Spritzverhalten der Düsen wird die Überlappung und Verteilung im Düsenverband gestört (LARDOUX et al., 2007a). Vertikale Schwingungen können durch den Pendelausgleich verringert werden (WOLF, 2002).

Horizontale Schwingungen, das sogenannte Gieren, beschreiben die Bewegung des Spritzgestänges längs zur Fahrtrichtung. Sie betreffen fast ausschließlich die Längsverteilung des Spritzbelags, haben aber eine größere Bedeutung als andere Effekte (OOMS et al., 2003). Bereiche, in denen die Geschwindigkeit des Spritzgestänges die Fahrgeschwindigkeit übersteigt, werden unterdosiert. Bewegt sich das Gestänge langsamer oder entgegen der Fahrtrichtung treten Überdosierungen auf (LARDOUX et al., 2007a). Auch hier können Feder- und Dämpferelemente dazu beitragen, die Schwingungen der Ausleger zu begrenzen, vorausgesetzt die Teilbreiten sind stabil (WOLF, 2002).

Abb. 3: Einfluss vertikaler und horizontaler Schwingungen auf die Belagsverteilung (LARDOUX et al., 2007b)



### Spritzhöhe

Die optimale Spritzhöhe von Flächenapplikationen wird durch die Zielfläche, den Düsenabstand im Verband, den Spritzwinkel der einzelnen Düsen und die angestrebte Überlappung bestimmt. Ausgehend von einem seitlichen Abstand von 50 cm wird bei 120°-Flachstrahldüsen ein Düsenabstand zur Zielfläche von 40-60 cm empfohlen, um eine doppelte Überlappung zu erreichen. Bei einem Spritzwinkel von 80° sollte die Spritzhöhe mindestens 60-90 cm betragen (LECHLER, 2011). Bei Arbeitsbreiten von über 18 m ist ein bis zu 30 cm größerer Zielflächenabstand erforderlich. Damit soll sichergestellt werden, dass die Qualität der Querverteilung auch bei starken vertikalen Schwingungen nicht unter ein bestimmtes Maß fällt. In einer Arbeitshöhe von 70-90 cm wird mit 120°-Flachstrahldüsen eine dreifache Überlappung erreicht (KIFFERLE und STAHLI, 2001).

Einfluss auf die Applikationsqualität

Auch moderne Geräte zur Flächenbehandlung sind nur begrenzt in der Lage den Spritzschatten, der durch den Pflanzenbestand entsteht, zu umgehen und bestimmte Zielbereiche zu benetzen. Der Spritzschatten nimmt mit der Entwicklung des Bestandes zu. Er ist weitestgehend unabhängig von der Ausführung und den Bewegungen des Spritzgestänges und der Einstellung der Spritzhöhe. Die allgemeine Verteilungsqualität kann durch die Gerätetechnik aber beeinflusst werden.

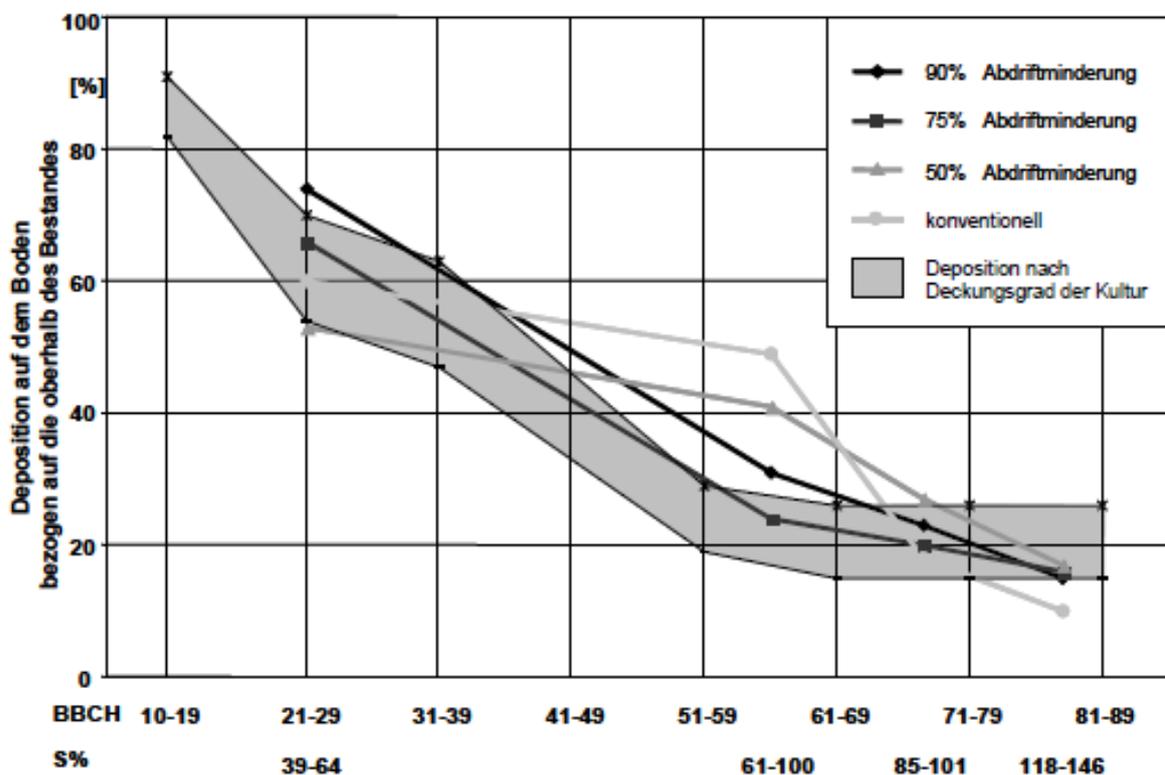
Untersuchungen zum Effekt des Spritzschattens auf die Zielflächenverteilung liegen bisher nicht vor (KOBUSCH, 2003). Allerdings kann bei allen Flächenspritzungen ein Zusammenhang zwischen der Entwicklung der Zuckerrüben und der Deposition von Pflanzenschutzmitteln auf dem Boden festgestellt werden. Ab dem vollständigen Reihenschluss, bei einem Blattdeckungsgrad von über 80%, erreicht weniger als 1/5 der Applikationsmenge die Bodenoberfläche. Abhängig vom der Geometrie des Blattapparats können zwischen den Messungen aber erhebliche Unterschiede auftreten. Dies gilt besonders für dichte Bestände mit mehreren Blattetagen (BECKER et al., 1999).

Tab. 2: *Einfluss des Entwicklungsstadiums auf die Bodendeposition in Zuckerrüben*  
(BECKER et al., 1999)

Entwicklungs- stadium	Blattdeckungsgrad			Standard- abweichung	Schätzung der Boden- deposition
	Durchschnitt	Minimum	Maximum		
BBCH	%	%	%	%	%
10	<b>1,6</b>	0,2	4,0	1,0	<b>97-98</b>
11	<b>2,3</b>	1,0	6,0	1,4	<b>96-98</b>
12	<b>4,7</b>	2,0	15,0	2,8	<b>93-95</b>
13	<b>13,1</b>	5,0	23,8	5,8	<b>81-87</b>
14	<b>11,3</b>	5,0	25,0	5,8	<b>83-89</b>
15	<b>12,9</b>	7,0	25,0	5,2	<b>82-87</b>
16	<b>19,1</b>	10,0	51,7	8,8	<b>72-81</b>
17	<b>14,5</b>	10,0	33,3	6,2	<b>79-85</b>
18	<b>23,0</b>	12,0	50,0	10,8	<b>66-77</b>
19	<b>39,0</b>	30,0	60,0	9,0	<b>51-60</b>
31	<b>45,6</b>	35,0	85,0	11,8	<b>43-54</b>
33	<b>58,9</b>	40,0	89,0	13,9	<b>27-41</b>
35	<b>64,0</b>	45,0	75,0	8,4	<b>28-36</b>
37	<b>75,0</b>	66,7	80,0	6,9	<b>18-25</b>
38	<b>90,0</b>	90,0	90,0	0,0	<b>10-10</b>
39	<b>83,9</b>	80,0	100,0	6,8	<b>9-16</b>
43-46	<b>96,1</b>	95,0	100,0	2,4	<b>0-2</b>
47-49	<b>96,1</b>	90,0	100,0	3,2	<b>0-2</b>

Die Vergleichbarkeit mit anderen Kulturen wird durch die Unterschiede im Blattapparat der Pflanzen eingeschränkt. Untersuchungen bestätigen aber, dass die Anlagerung am Boden bei Flächenbehandlungen an erster Stelle durch den Blattdeckungsgrad des Pflanzenbestandes beeinflusst wird (BECKER et al., 1999). Abhängig vom Wachstumsstand von Kartoffeln erreichen bis zu 50%, bereits eine Woche später nur noch 20-30% der Spritzflüssigkeit die Bodenoberfläche zwischen den Kartoffelreihen. Auch in der Reihe zeigt sich, dass die Anlagerung im unteren Bereich des Bestandes mit zunehmender Entwicklung abnimmt: Während über 90% der oberen Blätter mit mehr als 5% der blattflächenbezogenen Aufwandmenge bedeckt werden, sind es im unteren Bereich, abhängig von der Düsenteknik, unter 60% und bereits 7 Tage später weniger als 5% der untersuchten Blätter (KNEWITZ, 2011). Zu vergleichbaren Ergebnissen kommt auch WRETLAD: Über 50% der Spritzflüssigkeit verbleiben in der oberen Bestandesebene, etwa 30% in den mittleren und unteren Blatttagen. Die Bodenoberfläche erreichen nur 20% der gesamten Applikationsmenge (LARSOLLE et al., 2002). SCHENKE et al. ermitteln für das Bodensediment in einem wachsenden Kartoffelbestand eine fast lineare Abnahme mit steigendem Blattdeckungsgrad. Nur zwischen BBCH 51 und 69 besteht eine geringe Übereinstimmung zur Schätzung über den Blattdeckungsgrad (SCHENKE et al., 2004). Auch verschiedene Versuche in Buschbohnen erfassen in einem lockeren Bestand eine bessere Bestandsdurchdringung als bei einem dichten Blattapparat. Flächenbehandlungen erreichen nur selten die unteren Blatttagen (RÜEGG, 2002; WELCHES und LAUN, 2010).

Abb. 4: Einfluss des Entwicklungsstadiums auf die Bodendeposition in Kartoffeln (SCHENKE et al., 2004)



Bei den Bautypen besitzen angehängte Geräte eine geringere Neigung zu horizontalen Bewegungen des Spritzgestänges als Anbauspritzen. Daher liegt der Variationskoeffizient der dynamischen Belagsverteilung von Anhängespritzen mit 3-10% unter dem Wert von Geräten, die in der Heckhydraulik angebracht werden. Diese erreichen einen Variationskoeffizienten von 9-30% (WOLF, 2002). Auch LARDOUX et al. ermitteln für angehängte Geräte eine bessere Belagsverteilung. Auf einer unebenen Teststrecke erhöht sich der Variationskoeffizient auf 20-35%. Bei Überfahrt eines Hindernisses ergibt sich ein Variationskoeffizient von durchschnittlich 53% bei nur 40% korrekt dosierter Zielfläche. Als korrekt dosiert werden in dieser Untersuchung alle Messungen, gezählt die um unter 15% vom Mittelwert abweichen (LARDOUX et al., 2007b). Bei der Überprüfung von in der Praxis befindlichen Geräten werden für alle Bautypen durchschnittliche Variationskoeffizienten von 24-31% auf Teststrecken erreicht. Die Verteilungsqualität von einzelnen, meist älteren, Pflanzenschutzspritzen kann aber deutlich schlechter ausfallen (ENFÄLT et al., 1997a).

Die Trägheit des Spritzgestänges führt bei großen Arbeitsbreiten zu einer Verringerung des Variationskoeffizienten in einem definierten Abstand zum Gerät. Mit steigender Entfernung des Düsenverbands zur Gerätemitte steigt dieser aber überproportional an, sodass die Verteilungsqualität zum Gestängeende hin abnimmt. Auch hier ist der Variationskoeffizient von angehängten Geräten geringer: Er beträgt auch im Abstand von 12,50 m unter 10%, während er bei Anbauspritzen schon 6 m von der Gerätemitte entfernt bis zu 30% betragen kann (WOLF, 2002).

Ausführung und Qualität der Pendleinrichtung beeinflussen die Intensität der horizontalen und vertikalen Gestängebewegungen. Bei der Applikationen auf speziellen Teststrecken schwankt der Variationskoeffizient der vertikalen Gestängeauslenkung abhängig von der Aufhängung zwischen 3,2 und 18%. Die Spritzhöhe weicht in den verschiedenen Systemen um 5 bis 25 cm in einem Abstand von 6 m und um bis zu 40 cm in einem Abstand von 12,50 m zur Gerätemitte ab. Die beste Belagsverteilung wird mit Geräten erreicht, die horizontal und vertikal über eine gefederte und gedämpfte Pendleinrichtung verfügen. Dabei schwankt die Spritzhöhe im Abstand von 6 m bei den Anbau- beziehungsweise 12,50 m bei den Anhängegeräten um nur 10 cm (WOLF, 2002).

Die oben aufgeführten Untersuchungen erfolgten im Düsenverband mit 110°-Flachstrahldüsen bei einer Spritzhöhe von 50 cm und einer Geschwindigkeit von 6 km/h. Die verwendeten Teststrecken unterschieden sich. Die Variation der Belagsverteilung von Doppelflachstrahl- und Hohlkegeldüsen fällt, bedingt durch die starke Ausdehnung des Spritzstrahls längs zur Fahrtrichtung, höher aus. Der Einsatz von Pralldüsen führt zu einem deutlich gleichmäßigeren Belag (WOLF, 2002).

Mit steigender Spritzhöhe nimmt die potentielle Abdrift zu. Eine stabile Höhenführung und geringe seitliche Düsenabstände ermöglichen eine Reduzierung des Zielflächenabstands und der applikationstechnisch bedingten Verluste (NORDEN, 1982; KIFFERLE und STAHLI, 2001; LARDOUX et al., 2007a). Die Verteilungsqualität hingegen wird durch eine große Spritzhöhe verbessert. Die Überlappung der Düsen trägt dazu bei, Unterschiede im Flüssigkeitsstrom der Düsen zu überlagern. Abhängig von den verwendeten Düsen werden optimale Werte ab einem Zielflächenabstand von etwa 50 cm erreicht (LARDOUX et al., 2007a). Da mit steigender Spritzhöhe die Tropfengeschwindigkeit reduziert wird, ist eine schlechtere Bestandsdurchdringung zu erwarten (GÖHLICH, 1977).

## **Gerätetechnik für Unterblattapplikationen**

In Reihen- und Sonderkulturen, selten in Getreide, werden neben Flächenapplikationen auch Unterblattbehandlungen durchgeführt. Die Applikation erfolgt meist mit geringem Abstand zur Zielfläche aus einer Position unterhalb der Blätter des Pflanzenbestandes (KIFFERLE und STAHLI, 2001).

### Geräte mit Spritzvorrichtungen am Hackrahmen

Unterblattspritzen, die auf der Gerätetechnik von Hackmaschinen basieren, werden in Zuckerrüben schon seit Jahrzehnten eingesetzt. Auch im Mais- und Kartoffelbau finden sie Verwendung. Arbeitsbreiten von 12 Reihen, und Geschwindigkeiten von 6 km/h sind üblich, das Behältervolumen bleibt meist gering gehalten (KIFFERLE und STAHLI, 2001; MAIDL, 2012). Angelehnt an die Hack- und Bandspritztechnik scheinen, bei entsprechender technischer Ausstattung, auch Arbeitsbreiten von 24 m und Fahrgeschwindigkeiten bis 12 km/h möglich (SCHMOTZER, 2008).

Die Spritzvorrichtungen werden am Hackrahmen und zwischen den Reihen montiert. Die Höhenführung erfolgt über Druckrollen am Parallelogramm oder Schleifkufen (KIFFERLE und STAHLI, 2001). Kombinationen mit Blatthebern, Spritzschirmen oder verschiedenen Werkzeugen zur mechanischen Unkrautbekämpfung sind möglich (JOHNSON und LAW, 1967). Dabei muss allerdings die Staubbelastung berücksichtigt werden (KUHLMANN und BORM, 1991). Die Anbringung der Geräte erfolgt meist im Front- oder Zwischenachsenaufbau, selten an der Heckhydraulik. Neben den Herstellergeräten werden eine Vielzahl landwirtschaftlicher Eigenbauten eingesetzt (HABERLAND, 1983).

Im Gegensatz zu Flächenspritzverfahren arbeiten Unterblattspritzgeräte nur mit einer einfachen Überlappung oder applizieren nur ein Spritzband, bei dem ausgewählte Bereiche nicht behandelt werden (KIFFERLE und STAHLI, 2001). Abhängig von der Konstruktion werden verschiedene Düsenanordnungen verwendet: Weitwinklige Flachstrahldüsen ermöglichen eine ausreichende Querverteilung auch bei Verwendung von nur einer Düse je Spritzeinheit. Häufiger werden zwei Düsen nebeneinander angebracht, die je nach Anwendung versetzt, verdreht oder verschränkt werden können. Zum Einsatz kommen Banddüsen mit einem Spritzwinkel von 80° oder Schrägstrahldüsen mit asymmetrischem Rechteckprofil. Die Spritzhöhe beträgt etwa 20 cm. Die optimale Einstellung der Düsen ist schwierig und muss individuell kontrolliert werden. Bei der Applikation von schlecht verträglichen Herbizidmischungen verhindern geringe Spritzwinkel und eine Verschränkung der Düsen in Richtung der Spritzschirme den Kontakt der Spritzflüssigkeit mit den Zuckerrübenblättern (JOHNSON und LAW, 1967; KUHLMANN und BORM, 1991; MAIDL, 2012).

### Systeme mit Unterblattspritzrohren am Feldspritzgestänge

Systeme, die nicht auf einer Konstruktion am Hackrahmen basieren, nutzen als tragendes Element meist die Feldspritze. Es kann zwischen Systemen, die nur am Gestänge befestigt werden und Geräten, bei denen die Düsen zusätzlich in der Höhe geführt werden, unterschieden werden. Die Arbeitsbreite dieses Verfahrens wird technisch nur durch die verwendete Feldspritze begrenzt und kann somit theoretisch über 36 m betragen (WOLF, 2002). Zur Anwendung dieser Systeme in Zu-

ckerrüben bestehen bisher keine Erfahrungen (HEINKEL, 2012). Allerdings hat sich das Verfahren zur Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln in Gemüse und zur Unkrautbekämpfung in weit entwickelten Maisbeständen bereits wiederholt bewährt (RÜEGG et al., 2006; SCHULZE-ISING, 2012).

Bereits in den 80er Jahren wurden starre, am Feldspritzgestänge befestigte und nach unten versetzte Düsenhalter, an deren Ende zwei Düsen angebracht waren, eingesetzt, um Spätbehandlungen in Mais durchzuführen (IRLA, 1976). Ebenso werden heute gefederte Schlepprohre verwendet. Diese werden im Reihenabstand an die Düsenhalter der Haupt- oder einer zusätzlichen Spritzleitung montiert. Am Ende sind Weitwinkel-Flachstrahldüsen angebracht (SCHULZE-ISING, 2012).

Eine weitere Technik, die ohne Bodenführung eingesetzt wird, ist das Dropleg Application Distribution System (DADS), das zu Beginn der 90er Jahre von Benest entwickelt wurde. Es basiert auf einem am Spritzgestänge befestigten Spritzrohr mit nach hinten gebogenen Düsenstock am unteren Ende (KIFFERLE und STAHLI, 2001). Die Aufhängung am Spritzgestänge erfolgt über Anbauplatten, die entsprechend der Reihenweite befestigt werden können. Die Flüssigkeitszuleitung erfolgt über die Düsenstöcke der normalen Spritzleitung. Im Gegensatz zu den gefederten Schlepprohren kann das Dropleg quer zur Fahrtrichtung frei pendeln. Die Indikation bestimmt die Wahl der Düsen (LECHLER, 2011). Bei der Unkrautbekämpfung in Mais werden Zungendüsen mit einem Spritzwinkel von 140° eingesetzt. Die Spritzhöhe beträgt dabei 20 bis 40 cm. (SCHULZE-ISING, 2012).

Da die Spritzhöhe bei gestängegeführten Systemen stark schwanken kann, entwickelte Birchmaier in den 80er Jahren eine Vorrichtung, bei der die Anbringung am Spritzgestänge mit der Anpassung an die Bodenoberfläche kombiniert wird. Dabei werden die Düsen an Schlepphaltern angebracht, die über den Boden schleifen und so eine gleichmäßige Höhenführung gewährleisten (IRLA, 1976).

#### Einfluss auf die Applikationsqualität

Ergebnisse zur Zielflächenverteilung von Unterblattspritzungen in Zuckerrüben liegen nicht vor. Auch wurde die Dropleg-Technik bislang überwiegend zur Bekämpfung von pilzlichen Krankheiten und Schädlingen eingesetzt. Die Zielfläche entsprach somit der Kulturpflanze und nicht der Bodenoberfläche. Dennoch lassen Erfahrungen aus diesen Versuchen und aus dem Einsatz des Verfahrens zur Unkrautbekämpfung in Mais vermuten, dass auch in Zuckerrübenbeständen eine bessere Verteilung auf der Zielfläche erreicht werden kann, als mit üblichen Flächenbehandlungen.

Mit der Unterblattspritzung wird die biologische Wirkung von Pflanzenschutzmaßnahmen erhöht: Untersuchungen bestätigen eine gesteigerte Applikationsqualität bei der Bekämpfung von Krautfäule in Kartoffeln, Stängelfäule in Buschbohnen, Thrips in Lauch und Zwiebeln sowie verschiedenen Krankheiten und Schädlingen in Kohl. Oft wird bei diesen Indikationen eine Kombination von Flächen- und Unterblattbehandlung eingesetzt (RÜEGG und EDER, 2005; WELCHES und LAUN, 2010). Applikationsversuche mit Farbstoffen belegen in Zwiebeln eine bis zu 40% höhere Anlagerung an der Pflanze (RÜEGG und EDER, 2005) und in Buschbohnen einen 3-mal so hohen Belag in der unteren Hälfte des Bestandes (WELCHES und LAUN, 2010). Untersuchungen zum Belagsdeckungsgrad wurden bisher nur in Buschbohnen durchgeführt: Während der Bedeckungsgrad an der Blattan-

terseite bei einer Flächenapplikation nur etwa 1-18% beträgt, liegt er bei der Unterblattspritzung bei 12-36% (RÜEGG, 2002). Schwer zu benetzende Stellen im Pflanzenbestand können mit Unterblattbehandlungen also deutlich besser erreicht werden. Dazu zählt letztlich auch die Bodenoberfläche in einem weit entwickelten Zuckerrübenbestand

Unterblattapplikationen erfolgen meist in Reihenkulturen. Der Abstand zwischen den Spritzeinheiten entspricht dem Reihenabstand. Ungleichmäßig durchgeführte Anschlussfahrten bei der Saat führen zu Problemen, wenn die Arbeitsbreite des Unterblattspritzgerätes die Breite der Sämaschine übersteigt: Die Spritzeinheiten werden nicht mehr exakt zwischen den Reihen geführt. Da sich Unter- oder Überschneidungen addieren, verstärkt eine große Arbeitsbreite diesen Effekt. Moderne und präzise Lenksysteme können dies verhindern (HOLPP, 2010; HEINKEL, 2012).

Die Applikationsqualität von Unterblattspritzgeräten am Hackrahmen ist stark von der Einstellung der Düsen abhängig. Da eine geringe Überlappung vorliegt, beeinflussen bereits kleine Veränderungen der Spritzhöhe oder Düsenstellung die Querverteilung (MAIDL, 2012). Wird das Gerät in der Fronthydraulik angebracht, können auch kleine Lenkbewegungen zu einer Verschiebung des Spritzbildes des gesamten Düsenverbands führen (KUHLMANN und BORM, 1991). Die Möglichkeit, besonders in Kombination mit Blatthebern, die Applikationsqualität zu erhöhen und zugleich den Herbizidstress zu reduzieren, bestätigen sowohl verschiedene Untersuchungen, als auch die meisten Erfahrungen aus der Praxis (JOHNSON und LAW, 1967; HABERLAND, 1983; FIEDLER, 2011).

Bei Systemen, die an der Feldspritze montiert werden und über keine zusätzliche Höhenführung verfügen, ist die Spritzhöhe unter anderem abhängig von den Schwingungen des Spritzgestänges. Bei einer Spritzhöhe von 20 bis 40 cm wird die Verteilung in Mais als „sehr gut“ beschrieben. Arbeitsgeschwindigkeiten von über 6 km/h können die Applikationsqualität beeinträchtigen, „weil die Düsen dann schon mal aus dem Bestand auftauchen“ (SCHULZE-ISING, 2012). Berücksichtigt man den Effekt der Spritzhöhe auf die Ausdehnung des Düsenstrahls und die vertikalen Schwingungen, die bei Feldspritzgestängen auftreten ist zu erwarten, dass die Querverteilung beeinträchtigt wird, sobald eine bestimmte Spritzhöhe unterschritten wird (NORDEN, 1982; WOLF, 2002).

Die Droplegs können, im Gegensatz zu den anderen Spritzrohren, quer zur Reihe pendeln. Pflanzenschäden treten daher nicht auf (RÜEGG und EDER, 2005; SCHULZE-ISING, 2012). Allerdings führt diese Eigenschaft dazu, dass die Düsen zwischen den Reihen „mäandrieren“ (RÜEGG et al., 2006). Bei Hängedüsen kann auch ein Zurückfedern der Spritzrohre beobachtet werden (NORDEN, 1982). Dabei ändert sich sowohl die Position der Düse, als auch der Winkel zur Bodenoberfläche.

Die Ausstattung eines gestängegeführten Unterblattspritzgerätes mit Schlepphaltern hat sich besonders auf hängigen Flächen bewährt. Beeinträchtigungen der Zielflächenverteilung, die aus der Veränderung der Spritzhöhe resultieren, können deutlich verringert werden (IRLA, 1976)

Sowohl bei boden-, als auch bei gestängegeführten Systemen ist die Spritzhöhe, verglichen mit Flächenbehandlungen, gering. Auch schirmt der Pflanzenbestand die Düsen effektiv gegen den Wind ab, sodass insgesamt ein reduziertes Abdriftpotential besteht (KIFFERLE und STAHLI, 2001).

### 3.2.4 Düsenteknik

Die Düse stellt im Applikationsverfahren die belagsbildende Einheit dar (WOLF, 2002). Die Wahl der korrekten Düse ist abhängig von der Gestalt des Pflanzenbestandes, der Zielfläche und der Wirkungsweise der Pflanzenschutzmittel, beziehungsweise der Indikation. Die verschiedenen Düsen unterscheiden sich im Bautyp, der Strahlgeometrie und dem erzeugten Tropfenspektrum.

#### Düsentypen

Seit Einführung des chemischen Pflanzenschutzes wurde eine Vielzahl an Düsentypen entwickelt. Diese unterscheiden sich in der Dosierung, der Tropfenerzeugung und -verteilung. In der Praxis durchgesetzt haben sich Antidrift-, Luftinjektor- und verschiedene Pralldüsen. Die Konstruktion von Spezialdüsen kann erheblich von den hier dargestellten Bautypen abweichen.

#### Bautypen

Standard- und Antidriftdüsen verteilen den Spritzstrahl über die Düsenöffnung. Durch den Vorzerstäuber ist das Tropfenspektrum von Antidriftdüsen etwas gröber. Bei üblichem Spritzdruck liegt der mittlere Volumendurchmesser einer -04er Düse bei 300-400  $\mu\text{m}$  (KIFFERLE und STAHLI, 2001).

Luftinjektordüsen arbeiten nach dem Venturi-Prinzip: Durch seitliche Schlitze im Düsenkörper wird Luft in den Flüssigkeitsstrahl gesaugt, die sich mit den Spritztropfen vermischt. Mit steigender Geschwindigkeit des Flüssigkeitsstrahls entstehen große Blasentropfen, die mit kleinen Luftbläschen gefüllt sind. Diese zerplatzen beim Aufprall auf die Zielfläche und es entstehen feinere Tropfen, die sich an die Oberfläche anlagern. Der Feintropfenanteil von Luftinjektordüsen ist geringer als bei Standarddüsen. Bei einem Spritzdruck von 4,0 bar liegt der MVD einer 04-er Düse bei 450  $\mu\text{m}$ . Die Entwicklung ist bis zur 3. Generation fortgeschritten: Bei modernen Düsen ist ein Druck von 1,5-3,0 bar ausreichend, um einen stabilen Spritzstrahl zu erzeugen. Das Venturi-Prinzip kann mit verschiedenen Düsenöffnungen kombiniert werden (KIFFERLE und STAHLI, 2001).

Bei Pralldüsen erfolgt die Dosierung und Tropfenbildung ebenso wie bei den Standard- oder Luftinjektordüsen. Die Verteilung wird aber nicht durch den Austritt an der Düsenöffnung, sondern durch den Aufprall auf eine geneigte Fläche erreicht. Der Flüssigkeitsstrom wird abgelenkt und es entsteht ein weitwinkliger Spritzstrahl. Die Neigung dieser Prallfläche beeinflusst den Abspritzwinkel. Der MVD einer Düse der Größe -04 beträgt bei 3,0 bar 420  $\mu\text{m}$  (KIFFERLE und STAHLI, 2001).

#### Einfluss auf die Applikationsqualität

Der Einfluss der Bauart auf die Applikationsqualität kann nur im Zusammenhang mit anderen Applikationsparametern betrachtet werden. Die Bauart nimmt aber entscheidenden Einfluss auf die Strahlgeometrie, das Tropfenspektrum, die Tropfengeschwindigkeit und somit das Verhalten der Spritzflüssigkeit im Bestand und auf der Zielfläche. Auch beeinflusst die Zerstäubung das Abdriftisiko der Düsen: Luftinjektordüsen sind daher zu bevorzugen (KIFFERLE und STAHLI, 2001).

## **Strahlgeometrie und Verteilungsprofil**

Die Ausdehnung und Ausrichtung des Spritzstrahls wird durch die Bauart und die Anbringung der Düse am Spritzgestänge bestimmt. Die effektive Strahlbreite steht auch unter dem Einfluss des Spritzdrucks und der physikalischen Eigenschaften der Spritzflüssigkeit (KIFFERLE und STAHLI, 2001).

### Flachstrahlgeometrie

Für Flächenbehandlungen werden meist Düsenverbände aus Schlitzdüsen mit einem Spritzwinkel von 110-120° und Dreiecksverteilung eingesetzt. Auch Pralldüsen lassen einen Flachstrahl entstehen. Die applizierte Fläche bildet eine Ellipse. Im Verband sind die Düsen etwa 8° angestellt, um einen Kontakt der Spritzstrahlen zu vermeiden (WOLF, 2002). Durch größere Anstellwinkel wird die Ausdehnung in Fahrtrichtung erhöht (RAMON und LANGENAKENS, 1996). Auch der Abspritzwinkel kann verändert werden (RÜEGG, 2002). Bei Pralldüsen beträgt dieser 15° nach hinten (WOLF, 2002).

Banddüsen mit einem Spritzwinkel von 80-90°, die für Unterblattspritzungen eingesetzt werden, haben eine Rechteckverteilung. Da sie nicht überlappend eingesetzt werden, beeinflusst das Profil der einzelnen Düse die Querverteilung der Applikation (NORDEN, 1982; KIFFERLE und STAHLI, 2001).

### Doppelflachstrahlgeometrie

Sollen Spritzschatten vermieden werden, können Applikationen mit zwei schräg gestellten Spritzstrahlen durchgeführt werden. Dies lässt sich mit speziellen Doppelflachstrahldüsen oder mit zwei normalen Flachstrahldüsen in einer Zweidüsenkappe realisieren. Die Schrägstellung in und entgegen der Fahrtrichtung ist abhängig von der Konstruktion der Düse. Doppelflachstrahlapplikationen verfügen über eine höhere Ausdehnung in Fahrtrichtung (KIFFERLE und STAHLI, 2001; WOLF, 2002). Bedingt durch die Aufteilung des Flüssigkeitsstroms auf zwei Strahlen, verringert sich der MVD von Doppelflachstrahldüsen um etwa 30% bei gleicher Düsengröße (NORDEN, 1982).

### Schrägstrahlgeometrie

Schrägstrahldüsen besitzen eine exzentrische Querverteilung. Sie werden häufig zur Unterblattapplikation in Reihenkulturen eingesetzt. Durch die asymmetrische Verteilung der Spritzstrahlen können zwei Düsen in geringer Entfernung zueinander eingesetzt werden. Durch die Verschränkung der Düsen in verschiedene Richtungen lassen sich Strahlgeometrie und Querverteilung an die Anforderungen der Behandlung anpassen (KIFFERLE und STAHLI, 2001; KNEWITZ, 2006).

### Weitwinkeldoppelflachstrahlgeometrie

Auch spezielle 150°-Flachstrahldüsen eignen sich für Unterblattbehandlungen. Durch Kombination von zwei Schrägstrahlen, die sich nur geringfügig überschneiden, wird auch bei sehr geringem Zielflächenabstand eine gute Verteilungsgenauigkeit erreicht. Die Strahlbreite entspricht etwa der theoretischen Ausbreitung dieser beiden Spritzstrahlen (NORDEN, 1982; KIFFERLE und STAHLI, 2001).

### Einfluss auf die Applikationsqualität

Die geometrische Ausrichtung der Spritzstrahlen kann die Applikationsqualität stark beeinflussen. Bei der Bewertung muss zwischen der Einstellung der Düse am Spritzgestänge und der durch den Düsentyp vorgegebenen Ausdehnung der Spritzstrahlen unterschieden werden. Da bei Unterblattspritzungen keine Überlappung stattfindet, werden diese separat behandelt.

In Getreide, das mit Zuckerrübenbeständen aber nur begrenzt vergleichbar ist, wurde festgestellt, dass die Bestandsdurchdringung unter den Düsen besser ist, als zwischen den Düsen. Ein geringer Spritzwinkel ermöglicht eine höhere Benetzung des unteren Pflanzenbestandes. Die reduzierte Überlappung verstärkt aber das Risiko für Fehldosierungen. Daher muss entweder die Spritzhöhe herauf- oder der seitliche Düsenabstand herabgesetzt werden (NORDEN, 1982; LAGERFELT, 1988).

Der Anstellwinkel im Düsenverband beträgt meist etwa 8°. Eine größere Anstellung der Düsen kann den Variationskoeffizienten der dynamischen Belagsverteilung reduzieren, vorausgesetzt die Querverteilung wird nicht negativ beeinflusst (NORDEN, 1982; RAMON und LANGENAKENS, 1996).

Der Einfluss des Abspritzwinkels auf die Verteilungsqualität ist vergleichsweise gering (NORDEN, 1982). Allerdings können Flachstrahldüsen, die in Fahrtrichtung schräg gestellt werden, einen lockeren Bestand von Buschbohnen besser durchdringen (RÜEGG, 2002). In Getreide hingegen wird die Bestandsdurchdringung bei einem größeren Abspritzwinkel verringert (GÖHLICH, 1977).

Die Strahlgeometrie beeinflusst sowohl die Verteilungsqualität des Feldspritzgerätes, als auch das Verhalten der Spritzflüssigkeit im Bestand. Je größer die Ausdehnung der Spritzstrahlen in Fahrtrichtung ist, desto geringer bleibt der Variationskoeffizient bei horizontalen Schwingungen des Spritzgestänges. Dies betrifft zum Beispiel verschiedene Hohlkegel- und Doppelflachstrahldüsen. Hingegen werden Änderungen der Spritzhöhe durch Pralldüsen besser ausgeglichen (WOLF, 2002).

Doppelflachstrahldüsen mit 30° nach hinten und vorne gerichteten Spritzstrahlen ermöglichen in Kartoffeln eine bessere Anlagerung im unteren Pflanzenbestand als normale Flachstrahldüsen oder Hi-Speed-Düsen mit asymmetrischer Ausrichtung der beiden Spritzfächer. Der Unterschied wird mit steigender Dichte des Pflanzenbestandes geringer. Ein Einfluss auf die Anlagerung an der Bodenoberfläche konnte nicht festgestellt werden. Bei kleinen Zielflächen, etwa Unkräutern, kann durch Doppelflachstrahldüsen eine bessere Wirkung erzielt werden (KNEWITZ, 2011). Doppelflachstrahldüsen werden von Düsenherstellern und Anbauverbänden für die Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben empfohlen. Die Vermeidung von Spritzschatten durch die Zuckerrübenblätter oder eine unebene Bodenoberfläche erhöht den Wirkungsgrad der Applikation (MAIDL, 2012).

Bei Unterblattbehandlungen überlappen die Spritzstrahlen der einzelnen Düsen meist nur gering. Die Verteilungsqualität wird fast ausschließlich durch das Verteilungsprofil der Düse bestimmt: Bei Band- und Weitwinkeldoppelstrahldüsen, die eine Rechteckverteilung haben, können Anstellwinkel bis zu 45° die Querverteilung verbessern. Variationskoeffizienten von 4-6% werden erreicht. Der optimale Abstand einer 150°-Flachstrahldüse liegt bei 25 cm. Aber auch bei einer Entfernung

zur Zielfläche von nur 15 cm beträgt der Variationskoeffizient unter 8%. Ein höherer Abspritzwinkel verringert die Applikationsqualität nur gering. Erst wenn die Düsen um mehr als 60° nach hinten angewinkelt werden reduziert die Verteilungsgenauigkeit deutlich (NORDEN, 1982).

Werden paarweise angeordnete Schrägstrahldüsen für die Unterblattapplikation eingesetzt, kann der Spritzschatten besser vermieden werden, als bei herkömmlichen Banddüsen (MAIDL, 2012). Die Verteilungsqualität reicht bei den bisher untersuchten Düsentypen aber nicht an das Rechteckprofil von symmetrischen Düsen heran. Variationskoeffizienten von bis zu 30% werden erfasst. Außerhalb des Zielbereichs werden, abhängig von der Einstellung, bis zu 16% der Spritzflüssigkeit appliziert. Häufig kann mit entsprechend verschränkten Hohlkegeldüsen eine bessere Qualität der Querverteilung erzielt werden, als mit den verfügbaren Schrägstrahldüsen (KNEWITZ et al., 2011).

### Tropfenspektrum und -geschwindigkeit

Das Tropfenspektrum einer Düse wird durch den Bautyp, die Düsengröße, den Spritzwinkel, den Spritzdruck und den Durchfluss bestimmt. Auch die physikalischen Eigenschaften der Spritzflüssigkeit können das Tropfenspektrum stark beeinflussen. Durch Vergleich mit der Tropfengrößenverteilung von Referenzdüsen lassen sich Anwendungsverfahren in Zerstäubungsklassen einteilen. Maßstab ist der mittlere Volumendurchmesser. Neben dem mittleren Volumendurchmesser werden auch der zeh- und der neunzigprozentige volumetrische Tropfendurchmesser zur Beschreibung des Tropfenspektrums verwendet (SOUTHCOMBE et al., 1997; KIFFERLE und STAHLI, 2001).

Tab. 3: Einfluss des Tropfenspektrums auf die Applikationsqualität  
(MAYNARD et al., 1996)

Tropfen- größe	MVD	Bedeckungs- potential	Bestandsdurch- dringung	Abdrift- risiko
sehr fein	< 125 µm			
fein	< 250 µm			
mittel	< 350 µm			
grob	< 450 µm			
sehr grob	< 550 µm			

Die Tropfengeschwindigkeit steht in engem Zusammenhang zum Tropfenspektrum. Die Auftreffenergie eines Spritztropfens ist abhängig von der Austrittsenergie an der Düse, der Tropfengröße und dem Widerstand, der während dem Flug auf diesen wirkt. Daher wird die realisierte Auftreffgeschwindigkeit auch von der Entfernung zwischen Düsenöffnung und Zielfläche beeinflusst. Während bei einer Tropfengröße von 500 µm die vertikale Tropfengeschwindigkeit um 0,5 m/s je 10 cm Düsenabstand reduziert wird, fällt die Geschwindigkeit von 100 µm großen Tropfen bereits in einer Entfernung von 40 cm zur Düse auf unter 1 m/s ab (GÖHLICH, 1977; NORDEN, 1982).

### Einfluss auf die Applikationsqualität

Das Tropfenspektrum ist eine abhängige Variable, die durch die Düsenwahl und den Spritzdruck beeinflusst wird. Für die Verteilungsqualität einer Feldspritze hat die Tropfengrößenverteilung nur geringe Bedeutung (WOLF, 2002). Hingegen werden die Abdrift, die Durchdringung, Verteilung und Anlagerung im Bestand und die Belagsstruktur stark durch die Tropfengröße beeinflusst.

Abdrift entsteht besonders bei Tropfenspektren mit einem hohen Anteil an feinen Tropfen. Diese verfügen über eine geringe Fallgeschwindigkeit und sind somit anfällig gegenüber der Verlagerung durch horizontale und vertikale Luftströmungen sowie Verdunstung. Anwendungsverfahren mit grobem Tropfenspektrum tragen zur Verringerung der Abdrift bei (KIFFERLE und STAHLI, 2001). Tropfendurchmesser von über 500 µm können durch die hohe Auftreffgeschwindigkeit von der Zielfläche abprallen oder abrollen. Dies lässt sich nur eingeschränkt auf die von Luftinjektordüsen erzeugten Bläschentropfen übertragen: Diese zerplatzen auf der Zielfläche in kleine Tropfen und lagern sich ähnlich diesen auf der Zielfläche an (KIFFERLE und STAHLI, 2001). Versuche zur Unkrautbekämpfung in Getreide und Zuckerrüben bestätigen, dass keine signifikanten Wirkungsunterschiede zwischen Standard- und Luftinjektorflachstrahldüsen bestehen. Nur bei sehr grobtropfigen Applikationen wird ein Wirkungsverlust festgestellt (GEHRING et al., 2006; TOEWS et al., 2012).

Die Bestandsdurchdringung nimmt bei steigendem Blattdeckungsgrad oder Blattflächenindex ab (RÜEGG, 2002; SCHENKE et al., 2004; KNEWITZ, 2011). Dies betrifft besonders feine Tropfengrößen, die mit geringer Geschwindigkeit in den Bestand gedrückt werden. Sie werden durch Luftströmungen abgelenkt und lagern sich an den Blättern an. Somit wird zwar die Verteilung im Pflanzenbestand verbessert, aber nicht die Anlagerung an der Bodenoberfläche (KNOTT, 1973; NORDEN, 1982; RÜEGG, 2002). Während KNOTT und RÜEGG bei größeren Tropfendurchmessern eine verstärkte Anlagerung im Wipfelbereich feststellen (KNOTT, 1973; RÜEGG, 2002), belegen andere Versuche, dass durch ein gröberes Tropfenspektrum eine bessere Bestandsdurchdringung erreicht werden kann (GÖHLICH, 1977). Sowohl in Getreide, als auch in Kartoffeln wird beim Einsatz von grobtropfigen Luftinjektordüsen ein höherer Belag im bodennahen und mittleren Bereich des Bestandes angelagert als mit konventionellen Flachstrahldüsen. Bedingt wird dies durch eine höhere Tropfengeschwindigkeit und -masse (NORDEN, 1982; RIPKE, 2000).

Deutlich wird der Einfluss der Tropfengröße auf die Belagsstruktur: Die Zielfläche kann sowohl mit vielen kleinen, als auch mit wenigen großen Belagspunkten belegt werden und trotzdem den gleichen Bedeckungsgrad aufweisen. Bei gleicher Aufwandmenge ist die Fläche, die durch einen großen Tropfen bedeckt werden kann, geringer, als die Belagsfläche von mehreren kleinen Tropfen, die in der Summe das gleiche Volumen besitzen. Diese überproportionale Anlagerung wird maßgeblich durch die Spreitung beeinflusst, die von den physikalischen Eigenschaften der Spritzflüssigkeit und der Zielfläche abhängt (GÖHLICH, 1977; NORDEN, 1982). Eine gute Belagsstruktur kann auch durch Luftinjektordüsen erzielt werden. Diese besitzen zwar ein grobes Tropfenspektrum, die erzeugten Bläschentropfen verteilen sich beim Zerplatzen aber auf einer größeren Oberfläche (KIFFERLE und STAHLI, 2001). Daher ist der Wirkungsgrad von grobtropfigen Luftinjektordüsen auch bei der Unkrautbekämpfung nicht geringer als bei Standardflachstrahldüsen (GEHRING et al., 2006).

### 3.2.5 Applikationsparameter

Während die Geräte- und Düsenteknik vor der Applikation festgelegt werden, können die Applikationsparameter auch während der Ausbringung individuell angepasst werden. Dennoch werden diese durch die verwendete Technik beeinflusst, beziehungsweise sind von dieser abhängig.

Der Einfluss der Spritzhöhe auf die Applikationsqualität wurde bereits im Kapitel „Gerätetechnik“ erläutert. Der Spritzdruck steht im Zusammenhang zum Tropfenspektrum und zur Tropfengeschwindigkeit der „Düsenteknik“. Sowohl die Durchfluss-, als auch die Wasseraufwandmenge, werden bei gleicher Düsengröße durch den Arbeitsdruck bestimmt.

#### Fahrgeschwindigkeit

Die Arbeitsgeschwindigkeit bei Pflanzenschutzbehandlungen beträgt meist 6-10 km/h. Mit steigender Geschwindigkeit nehmen die Schwingungen des Spritzgestänges zu und die Verteilungsqualität ab (WOLF, 2002; LARDOUX et al., 2007a). JEGATHEESWARAN stellt bei 6 km/h einen höheren Bedeckungsgrad fest, als bei 12 km/h (JEGATHEESWARAN, 1977). Versuche am Julius-Kühn-Institut ermitteln auch bei Fahrgeschwindigkeiten von 24 km/h keine signifikante Verschlechterung der Bestandsdurchdringung. Die Abdrift wird aber stark erhöht (WYGODA et al., 2010).

Untersuchungen zur Bedeutung der Fahrgeschwindigkeit bei Unterblattapplikationen wurden bisher nicht durchgeführt. Begrenzende Faktoren sind die Genauigkeit der Spurführung, die Stabilität und das Verhalten der Applikationstechnik im Bestand. Für Unterblattspritzgeräte, die am Hackrahmen geführt werden, sind Geschwindigkeiten von 6-10 km/h üblich (FIEDLER, 2011; MAIDL, 2012). Behandlungen mit Spritzbeinen erfolgen mit bis zu 6 km/h. Eine größere Arbeitsgeschwindigkeit erschwert die Höhenführung und beeinträchtigt die Verteilung (SCHULZE-ISING, 2012).

#### Wasseraufwandmenge

Die applizierte Menge an Spritzflüssigkeit hat für die Verteilungsqualität eine große Bedeutung: Sie kann durch die Fahrgeschwindigkeit oder durch den Düsenausstoß beeinflusst werden.

Die Wassermenge zur Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben beträgt 200-250 l/ha (DUCH, 2012). Bei späten Behandlungen werden bis zu 300 l/ha angesetzt (BAUER, 2007). Viele Untersuchungen stellen einen höheren Belagsdeckungsgrad bei größeren Wasseraufwandmengen fest. Dies resultiert aber nicht aus einer höheren Wirkstoffanlagerung, sondern aus einer anderen Belagsstruktur, die nur durch die Menge des Trägerstoffs bestimmt wird (JEGATHEESWARAN, 1977; LAST und PARKIN, 1987; TREIBER et al., 2000). Da ein enger Zusammenhang zwischen Belagsdeckungsgrad und Wirkung besteht, wird bei vielen Indikationen eine bessere Wirkung durch hohe Wasseraufwandmengen erzielt (TREIBER et al., 2000; FRIESSLEBEN et al., 2000). Sehr geringe Wirkstoffgehalte in der Spritzlösung, die aus überhöhten Wasseraufwandmengen resultieren, können aber die Wirkung von Pflanzenschutzmitteln beeinträchtigen. Die optimale Wasseraufwandmenge für eine Indikation hängt auch von der Wirkungsweise der Präparate ab (NORDEN, 1982; KIFFERLE und STAHLI, 2001).

Bei Unterblattapplikationen in späten Entwicklungsstadien werden häufig geringere Wasseraufwandmengen verwendet. Aufwandmengen von etwa 180-200 l/ha sind möglich, bei der Verwendung von Kontaktherbiziden werden aber bis zu 250 l/ha empfohlen (FIEDLER, 2011; MAIDL, 2012). Auch die Unkrautbekämpfung mit Droplegs in Mais erfolgt mit 200 l/ha (SCHULZE-ISING, 2012).

### 3.2.6 Sonstige Effekte

Externe Effekte auf die Applikationsqualität lassen sich durch das Applikationsverfahren kaum beeinflussen und können auch nicht auf den Pflanzenbestand zurückgeführt werden. Dazu zählen die Beschaffenheit der Bodenoberfläche, das Lenk- und Beschleunigungsverhalten des Fahrers und die Witterung (WOLF, 2002). Die physikalischen Eigenschaften der Spritzbrühe lassen sich zwar verändern, sollen hier aber als externer Effekt aufgeführt werden.

#### Bodenoberfläche

Das Relief einer Fläche und die Festigkeit des Bodens sind vom Standort und der Bewirtschaftung abhängig. Der Einfluss auf die Applikationsqualität besteht bei Flächenbehandlungen in der Änderung des Fahr- und Bewegungsverhaltens der Feldspritze und des Spritzgestänges. Sowohl horizontale, als auch vertikale Bewegungen, werden durch eine raue Bodenoberfläche verstärkt und die Verteilungsqualität reduziert (WOLF, 2002). Bei den meisten Unterblattspritzgeräten erfolgt die Höhenführung über den Boden. Die Spritzhöhe wird daher kaum beeinflusst. Unebenheiten der Bodenoberfläche können aber zu Vibrationen an den Spritzeinheiten führen (MAIDL, 2012). Unterblattspritzrohre, die über keine Schleifkufe verfügen und in engem Abstand über dem Boden geführt werden sollen, sind nur auf ebenen Flächen zu empfehlen (HEINKEL, 2012). Nur mit entsprechender Höhenführung ist auch der Einsatz auf hügeligen Standorten möglich (IRLA, 1976).

#### Fahrverhalten

Der Einfluss des Fahrers auf die Applikationsqualität ist schwer zu quantifizieren. Er beeinflusst die Verteilungsqualität durch Lenken, Beschleunigen und Abbremsen, beziehungsweise den Verzicht auf diese Aktionen (WOLF, 2002). Bereits kleine seitliche Bewegungen führen zu einer Verschiebung des gesamten Düsenverbands (KUHLMANN und BORM, 1991). Für Unterblattspritzungen werden daher automatische Lenksysteme empfohlen (SCHMOTZER, 2008; HOLPP, 2010; HEINKEL, 2012).

#### Spritzflüssigkeit

Die Oberflächenspannung der Spritzbrühe kann die Applikationsqualität verändern. Besonders deutlich zeigt sich dies an der Belagsstruktur und dem Bedeckungsgrad der Zielfläche: Bei gleicher Aufwandmenge wird durch Spritzwasser, das eine Oberflächenspannung von 72 dyn/cm hat, ein Bedeckungsgrad von 10 % erreicht. Durch eine mit speziellen Netzmitteln versetzte Spritzbrühe mit einer Oberflächenspannung von nur 20 dyn/cm werden hingegen bis zu 90% der Zielfläche bedeckt (GÖHLICH, 1977). Allerdings führt eine verringerte Oberflächenspannung zu einem sehr groben Tropfenspektrum, wenn das Applikationsverfahren nicht angepasst wird (NORDEN, 1982).

### Witterung

Die Witterung nimmt, abhängig von der Geräte- und Düsentechnik, deutlichen Einfluss auf die Applikationsqualität. Dies betrifft an erster Stelle die biologische Wirksamkeit von verschiedenen Pflanzenschutzmitteln. Auch die Abdrift wird durch Umweltfaktoren stark beeinflusst.

Nach guter fachlicher Praxis ist eine Applikation bei Windgeschwindigkeiten unter 5 m/s, Temperaturen unter 25 °C und einer relativen Luftfeuchte von 30% möglich (KIFFERLE und STAHLI, 2001). Mit steigender Windgeschwindigkeit erhöht sich bei fast allen Applikationsverfahren die Abdrift. Besonders kleine Tropfen können schon bei geringem Wind leicht von der Zielfläche weggetragen werden. Bei hohen Temperaturen trägt auch der thermische Aufwind dazu bei, kleine Tröpfchen in der Schwebelage zu halten und somit für horizontale Winde angreifbar zu machen (GÖHLICH, 1977; RIPKE, 2000; KIFFERLE und STAHLI, 2001). Je kleiner ein Spritztropfen ist, desto schneller kann er verdunsten. Tropfen mit einem Durchmesser unter 50 µm erreichen bei einer Spritzhöhe von 60 cm und einer Luftfeuchte von 40% oft nicht mehr die Zielfläche. Auch bei Tropfengrößen von 100 µm treten Verdunstungsverluste auf (GÖHLICH, 1977; SCHWEIZER et al., 2000; KIFFERLE und STAHLI, 2001). Die Abdrift kann durch applikationstechnische Maßnahmen reduziert werden.

### **3.2.7 Zusammenfassung**

Das Applikationsverfahren beinhaltet die Geräte- und Düsentechnik sowie ausgewählte Applikationsparameter. Die Qualität einer Applikation kann durch die biologische Wirkung oder über die Verteilungsqualität und das Anlagerungsverhalten der Spritzflüssigkeit ermittelt werden. Bei der Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben besteht die Zielfläche aus den Unkräutern und dem Boden.

Flächenbehandlungen werden mit verschiedenen Geräten durchgeführt, die sich in der Konstruktion und der dynamischen Verteilungsqualität deutlich unterscheiden. Die Bestandsdurchdringung hingegen wird nicht durch den Sprizentyp, sondern fast ausschließlich über den Blattdeckungsgrad der Kultur bestimmt. Doppelflachstrahldüsen können dazu beitragen, den Spritzschatten der Kultur zu reduzieren und die Benetzung von schwer erreichbaren Zielflächen zu erhöhen.

Unterblattapplikationen mit speziellen Unterblattspritzern haben sich bei der Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben bereits bewährt. Der wirkungsmindernde Spritzschatten kann reduziert werden. Spritzrohre wurden bisher nicht in Zuckerrüben eingesetzt, liefern aber gute Ergebnisse in Mais und in Gemüsekulturen. Problematisch ist bei diesem Verfahren die Höhen- und Seitenführung.

Für Unterblattspritzungen sind Düsen mit gleichmäßiger Querverteilung erforderlich. Auch bei anderen Verfahren ist die Strahlgeometrie von großer Bedeutung. Der Einfluss des Tropfenspektrums auf die Wirksamkeit der Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben wurde bisher nicht geklärt.

Als sonstige Applikationsparameter sind Fahrgeschwindigkeit und Wasseraufwandmenge zu nennen. Abhängig vom Applikationsverfahren kann das Fahrverhalten die Verteilungsqualität stark beeinflussen. Ein wichtiger Faktor für die biologische Wirkung einer Behandlung ist die Witterung.

### **3.3 Versuchsmethodische Aspekte**

Untersuchungen zur Zielflächenverteilung können auf verschiedene Weise durchgeführt werden. Die bekannten Methoden sind zur Bestimmung der Applikationsqualität im Bestand unterschiedlich gut geeignet. Neben der Genauigkeit der Messung, sind auch die Kosten und der Aufwand bei der Durchführung und Auswertung der Versuche zu berücksichtigen.

Versuche zur Verteilungsqualität von Pflanzenschutzgeräten auf ebenen Zielflächen werden meist im Labor oder in Spritzhallen durchgeführt (WOLF, 2002; OOMS et al., 2003; LARDOUX et al., 2007a). Bei Untersuchungen am Pflanzenbestand kann auf Feldversuche meist nicht verzichtet werden (FRIESSLEBEN et al., 2000). Applikationen mit vereinfachten Spritzgestängen können unter bestimmten Bedingungen auch im Gewächshaus erfolgen (LAGERFELT, 1988).

#### **3.3.1 Bestimmung der Zielflächenverteilung**

Die Messung der dynamischen Zielflächenverteilung erfordert eine Bewegung des Spritzgerätes. Statische Verfahren zur Bestimmung des Düsenausstoßes oder der Querverteilung, wie sie bei der amtlichen Prüfung verwendet werden, sind für die Untersuchung nicht geeignet (WOLF, 2002).

#### **Definition der Zielfläche**

Die Zielfläche bei der Applikation von Herbiziden besteht aus den aufgelaufenen Unkräutern und der Bodenoberfläche. Die Messung des Belags auf den Pflanzen ist aber mit sehr hohem Aufwand verbunden. Daher wird zur Bewertung der Verteilungsqualität häufig auf künstliche Oberflächen zurückgegriffen, die repräsentativ im Bestand angebracht werden (OSTERHILD, 1985; WOLF, 2002).

#### **Ermittlung der Belagsmassenverteilung**

Das Anlagerungsverhalten der Spritzflüssigkeit auf der Zielfläche kann direkt über die Messung der Belagsmasse der Spritzflüssigkeit oder indirekt über einen, der Spritzlösung zugesetzten, Farbstoff erfolgen. Abhängig von der Untersuchung werden verschiedene Methoden eingesetzt.

#### **Volumetrische Bestimmung**

Die Belagsmasse kann aus dem Volumen der Spritzflüssigkeit ermittelt werden. Dabei werden, zur Messung der dynamischen Belagsverteilung, mehrere Rinnenprüfstände längs zur Fahrtrichtung aufgestellt. Die Wassermenge in den Rinnen wird nach der Applikation bestimmt. Die Versuche können sowohl im Labor, als auch auf einer Versuchsstrecke durchgeführt werden. Der Rinnenprüfstand ist generell nur zur Bestimmung der Verteilung auf einer ebenen Oberfläche geeignet. Durch die geringe Wassermenge in den einzelnen Messzylindern wird die Genauigkeit der Untersuchung eingeschränkt. Die Auflösung bleibt durch die Größe der Rinnenfelder begrenzt. Auch der Aufwand der Analyse nimmt bei einer hohen Anzahl an Messbereichen deutlich zu (WOLF, 2002). Bei der Anwendung im Bestand ist mit weiteren Problemen zu rechnen.

### Bestimmung über photometrische und fluorometrische Messungen

Das häufigste Verfahren zur Bestimmung der Belagsmasse besteht in der Ausbringung von Spritzflüssigkeiten, die mit einer definierten Menge eines Farbstoffs versetzt wurden, auf ein Trägermaterial. Dieses wird mit Wasser aus- oder abgewaschen und die Konzentration des Farbstoffes durch photometrische oder fluorometrische Messungen erfasst. Die Berechnung der Belagsmasse erfolgt durch Vergleich mit der Farbstoffkonzentration in der Spritzflüssigkeit (WOLF, 2002).

Abhängig von der Analyse und dem Trägermaterial werden nicht fluoreszierende Farbstoffe wie Nigrosin WLF, Ölröt O oder Sudanschwarz (WAITE, 1978; LARSOLLE et al., 2002) oder fluoreszierende Farbstoffe verwendet. Zu letzteren zählen Brillantsulfoflavin, Natriumflavin und Tinopal (LAST und PARKIN, 1987; HERBST und WYGODA, 2006). Die Farbstoffe müssen eine gute Löslichkeit, Lagerfähigkeit und Lichtstabilität besitzen. Neben künstlichen Oberflächen wie Filterpapier, Kunststoffplatten und Petrischalen, sind auch Untersuchungen an Pflanzen möglich. Die Auswertung erfolgt über die Bestimmung der Lichtabsorption oder -emission (WOLF, 2002; HERBST und WYGODA, 2006).

Volumetrische Bestimmungen über den Zusatz von Farbstoffen eignen sich zur Messung von Spritzbelägen auf organischen und künstlichen Oberflächen (LARSOLLE et al., 2002; HERBST und WYGODA, 2006). Auch die Analyse der Spritzverteilung auf einer flachen Ebene ist möglich. Die Genauigkeit der Messungen ist abhängig von der Behandlung der Proben, dem verwendeten Farbstoff und Trägermaterial. Die Auflösung des Verfahrens kann durch den Zuschnitt beeinflusst werden. Dieser liegt in vielen Untersuchungen bei 10 x 10 cm. Auswertungen von großen Oberflächen oder mit einem engen Raster sind mit einem sehr hohen Aufwand verbunden (WOLF, 2002).

### Sonstige Verfahren

Statt eines Farbstoffes kann auch der Kupferbelag auf der Pflanze ermittelt werden. Dazu dienen colorimetrische (SALYANI und WHITNEY, 1988) oder spektroskopische (BYERS et al., 1984) Analysen. Mit chromatographischen Messverfahren können auch andere Inhaltsstoffe für die Bestimmung der Belagsmasse verwendet werden (YATES et al., 1974). Quantitative Messungen anhand der Anlagerung von radioaktiv markierten Zusätzen sind ebenfalls möglich (NORDBY, 1959).

### **Ermittlung der Belagsflächenverteilung**

Die Alternative zur Messung der Belagsmasse ist die Bestimmung der Fläche, die von einer Spritzflüssigkeit belegt wird. Auch hier wird eine Vielzahl von Messverfahren eingesetzt. Allen gemeinsam ist, dass für die Bewertung der Spritzverteilung eine bildanalytische Bearbeitung erforderlich ist. Diese erfolgt meist mit entsprechender Software. Soll auf Grundlage der Belagsfläche auch die Belagsmasse bestimmt werden, ist dies nur über eine Kalibrierung oder Standardisierung möglich. Mit bildanalytischen Verfahren lassen sich neben dem Bedeckungsgrad auch die Belagsstruktur und die Belagsdichte der Zielflächenverteilung bestimmen (LAST und PARKIN, 1987). Die Auflösung dieses Verfahrens wird bei Anwendung von modernen Messgeräten fast nur durch die Qualität der Digitalisierung und das bei der Analyse gewählte Raster bestimmt (LARDOUX et al., 2007a).

### Erzeugung von Spritzbildern

Die Beschaffenheit des Spritzbildes entscheidet über die Möglichkeiten der späteren Auswertung. Daher ist die Methode zur Erzeugung eines Spritzbildes für die Qualität der Analyse von größter Bedeutung. Abhängig von der Untersuchung werden verschiedene Verfahren eingesetzt.

Die einfachste Möglichkeit ist die Verwendung von wasser- oder ölsensitivem Papier. Dieses verfärbt sich bei Kontakt mit der Spritzlösung an den benetzten Stellen, sodass Belagsfläche und Belagsstruktur optisch erfasst werden können. In der Anwendung lassen sich bei den beiden Typen verschiedene Probleme feststellen, die einem wissenschaftlichen Einsatz widersprechen: Wassersensitives Papier verfärbt sich bei einer starken Benetzung vollständig blau. Bei hohen Aufwandsmengen ist somit weder eine quantitative, noch eine qualitative Bewertung möglich. Das gleiche gilt für ablaufende Spritzflüssigkeit. Auch bei hoher Feuchtigkeit verändert sich die Farbe des sonst gelben Papiers und erschwert somit die Analyse (SALYANI und FOX, 1999). Ölsensitives Papier scheint für die Untersuchung besser geeignet: Probleme, die durch Ausbreitung der Spritzflecken nach der Applikation entstehen, können durch Behandlung mit Aceton vermieden werden. Dazu sind aber ein hoher Aufwand und entsprechende Ausrüstung erforderlich (SALYANI, 1999).

Ebenfalls für die landwirtschaftliche Praxis empfohlen wird eine, von Holder entwickelte, wiederverwendbare Tropfentestfolie. Der schwarze Kunststoff bietet einen guten Kontrast zu den hellen Pflanzenschutzmitteln. Der Zusatz von Farbstoffen ist nicht erforderlich. Die Folie kann auf beliebige Größe zugeschnitten und im Bestand ausgelegt werden. Die Auswertung der Spritzbilder wird durch ein aufgedrucktes Raster und entsprechende Schautafeln vereinfacht (OSTERHILD, 1985).

Die Belagsbildung auf künstlichen Trägermaterialien unterscheidet sich deutlich von der Spritzverteilung auf natürlichen Oberflächen. Bei Messungen an Pflanzen oder Tieren werden meist fluoreszierende Farbstoffe eingesetzt, um einen ausreichenden Kontrast zu gewährleisten. Auch die Löslichkeit in Wasser, die Lichtbeständigkeit und die Beeinflussung der physikalischen Eigenschaften der Spritzbrühe sind von Bedeutung. Die Farbstoffe müssen nach der Applikation an der Oberfläche haften und dürfen von dieser nicht absorbiert werden (PALLADINI et al., 2005). Beispiele für fluoreszierende Farbstoffe, die sich auf Blattspreiten oder Insekten anlagern können, sind Tinopal (LAST und PARKIN, 1987), Zn-Cd (HIMEL, 1969), Brilliantblau und Saturngelb (PALLADINI et al., 2005). Abhängig vom zu untersuchenden Material werden auch nichtfluoreszierende Farbstoffe eingesetzt (LAGERFELT, 1988; STADLER et al., 2000). Bei der Untersuchung von natürlichen Objekten sind Ziel- und Messfläche meist identisch. Dies vereinfacht zwar die Abschätzung der biologischen Wirkung, erhöht aber den Aufwand bei der Auswertung von teils komplexen Strukturen (HIMEL, 1969; LAST und PARKIN, 1987; STADLER et al., 2000). Die Aufbewahrung der Proben ist kaum möglich.

Künstliche Kollektoren werden, ähnlich wie bei den farbstofflosen Verfahren, im Bestand oder auf dem Boden befestigt. Entscheidend für ein gutes Spritzbild ist die Kombination von Farbstoff und Trägermaterial (DERKSEN und JIANG, 1995). Die Anforderungen an den Farbstoff stimmen weitestgehend mit den Ansprüchen an andere bildanalytisch verwendete Farbstoffe überein. Fluoreszenz ist nicht erforderlich. Es gibt zahlreiche Beispiele für Farbstoff-Trägermaterial-Kombinationen, die

bereits mit Erfolg in Versuchen eingesetzt wurden. Als Farbstoffe sind unter anderem Rhodamin B, Brilliantsulfoflavin, Nigrosin WLF, Ölröt O und Sudanschwarz B von Bedeutung (WAITE, 1978). Häufig dienen spezielle Belagskarten, beispielsweise Kromekote Cards, als Trägermaterial. Diese Kollektoren sind etwa 12x16 cm groß und haben gegenüber anderen Trägermaterialien deutlich verbesserte Eigenschaften. Die Darstellung von einzelnen Spritzflecken erfolgt mit hoher Qualität. Eine dauerhafte Dokumentation ist möglich. Zur Belagsbildung von verschiedenen Flüssigkeiten und Farbstoffen auf Kromekote Cards bestehen umfassende Untersuchungen (MARKIN, 1978).

Auch andere Trägermaterialien wurden mit unterschiedlichem Erfolg als Belagskarten eingesetzt. Die meisten dieser Kollektoren sind aufgrund einer uneinheitlichen oder nicht deutlich abgegrenzten Spreitung der auftreffenden Tropfen nicht zu verwenden. Auch die Kombination von feinem Schleifpuder, das der Spritzlösung zugegeben wird, mit schwarzen Trägermaterialien hat sich nicht bewährt (MARKIN, 1978). Messingplatten, die mit dem fluoreszierenden Farbstoff Tinopal belegt wurden, liefern hingegen gute Ergebnisse (DERKSEN und JIANG, 1995).

Die bisher aufgeführten Verfahren eignen sich nur begrenzt für die Belagsmessung auf größeren Zielflächen, da sie für die Anwendung entweder zu teuer, zu aufwendig oder zu umständlich sind. ENFÄLT et al. stellten 1997 eine Methode vor, mit der auch sehr große Zielflächen untersucht werden können. Dabei wird vorgeleimte Tapete als Trägermaterial verwendet. Der eingesetzte Farbstoff ist Nigrosin WLF. Das Verfahren wurde zur Bestimmung der dynamischen Belagsverteilung auf einer ebenen Oberfläche entwickelt (ENFÄLT et al., 1997a) und bereits in verschiedenen Untersuchungen eingesetzt. Diese befassten sich meist mit der Gerätetechnik und dem Einfluss von Schwingungen des Spritzgestänges auf die Verteilungsqualität. Auch der Effekt von verschiedenen Düsen, unterschiedlichen Spritzhöhen und Aufwandmengen wurde untersucht. Meist wurden mit der Methode befriedigende bis gute Ergebnisse erzielt. Das Trägermaterial ist auch für den Einsatz unter Feldbedingungen ausreichend robust. Die Proben können dauerhaft gelagert werden (SINFORT et al., 1997; LARSOLLE et al., 2002; WOLF, 2002; OOMS et al., 2003; LARDOUX et al., 2007a).

### Kalibrierung und Standardisierung

Die Belagsbildung wird durch die Geräte- und Düsentechnik, die Applikationsparameter und eine Vielzahl von internen und externen Faktoren beeinflusst. Diese können zu erheblichen Unterschieden im Bedeckungsgrad führen und müssen bei einer Untersuchung berücksichtigt werden: Daher ist eine Kalibrierung oder Standardisierung eines Applikationsverfahrens erforderlich.

An erster Stelle wird der Bedeckungsgrad durch die Menge der Spritzflüssigkeit bestimmt, die auf dem Trägermaterial angelagert wird. Sowohl auf einer ebenen Zielfläche, als auch im Bestand wird die Belagsfläche durch eine größere Wasseraufwandmenge erhöht (LAST und PARKIN, 1987; STADLER et al., 2000; TREIBER et al., 2000; LARSOLLE et al., 2002). Verluste durch Abdrift treten bei großen Spritzhöhen auf und können die Vergleichbarkeit von Untersuchungen beeinträchtigen: Bei geringer Spritzhöhe wird die Belagsbildung über-, bei großem Abstand zur Zielfläche hingegen unterschätzt (WOLF, 2002; OOMS et al., 2003; LARDOUX et al., 2007a; LARDOUX et al., 2007b). Wind kann dazu führen, dass sich das Spritzbild des Düsenverbands verschiebt (OOMS et al., 2003).

Selbst bei gleicher Belagsmasse kann der Bedeckungsgrad des Trägermaterials sehr unterschiedlich ausfallen. Diese Abweichungen auf die Spreitung der einzelnen Spritztropfen zurückzuführen. Das Spreitverhalten der Spritztropfen auf der Zielfläche ist von verschiedenen Faktoren abhängig, die bei der Bewertung der Applikationsqualität berücksichtigt werden müssen:

#### 1. Tropfenspektrum und -geschwindigkeit

Die Energie, die ein Tropfen beim Aufprall auf die Oberfläche aufweist, steht in direktem Zusammenhang zur Spreitung. Die Aufprallenergie ist abhängig von der Geschwindigkeit und der Masse eines Tropfens und steht daher im Bezug zu Spritzhöhe, Düsentyp und Tropfenspektrum.

In verschiedenen Untersuchungen wurde bestätigt, dass eine geringe Spritzhöhe zu einem höheren Bedeckungsgrad führt als ein großer Abstand zur Zielfläche (GÖHLICH, 1977; WOLF, 2002; OOMS et al., 2003). Düsen mit einer hohen Austrittsgeschwindigkeit, etwa Luftinjektor-Düsen, vergrößern ebenfalls die bedeckte Fläche (WOLF, 2002). Die Geschwindigkeit der Tropfen nimmt im Flug ab. Davon sind besonders kleine Tropfen betroffen, die bereits durch ihre geringe Masse über eine reduzierte Aufprallenergie verfügen (GÖHLICH, 1977; NORDEN, 1982; LARDOUX et al., 2007a).

Dieser Effekt wird durch die Vervielfachung der Tropfenzahl überlagert: Die Halbierung des Tropfendurchmessers führt zwar dazu, dass die theoretische Belagsfläche je Tropfen auf ein Viertel reduziert wird, bewirkt aber zugleich eine Verachtfachung der Tropfenzahl. Berücksichtigt man die unterschiedliche Spreitung der Tropfen, erhöht sich die Belagsfläche etwa um den Faktor 1,7 bis 1,8 (NORDEN, 1982; SALYANI und FOX, 1999). Der Einfluss der Tropfengröße auf die Belagsbildung einer Wasser-Petroleum-Lösung auf wassersensitivem Papier ist in Tabelle 4 zusammengestellt.

Tab. 4: *Einfluss des Tropfenspektrums auf die Belagsfläche*  
(NORDEN, 1982; REICHARD, 1990; SALYANI und FOX, 1999; KIFFERLE und STAHLI, 2001)

Tropfen- durch- messer μm	Tropfen- volumen μl x 10 <sup>-2</sup>	Tropfen- fläche mm <sup>2</sup> * 10 <sup>-2</sup>	Sprei- tungs- faktor mm <sup>2</sup> /mm <sup>2</sup>	Flecken- durch- messer μm	Flecken- fläche mm <sup>2</sup> * 10 <sup>-2</sup>	Flecken- anzahl je μl	Belags- fläche je μl mm <sup>2</sup>
<b>50</b>	0.0016	0.20	<b>1.56</b>	<b>78</b>	0.48	611.15	<b>291.21</b>
<b>100</b>	0.0131	0.79	<b>1.67</b>	<b>167</b>	2.19	76.39	<b>167.00</b>
<b>150</b>	0.0442	1.77	<b>1.74</b>	<b>260</b>	5.33	22.64	<b>120.63</b>
<b>200</b>	0.1047	3.14	<b>1.79</b>	<b>357</b>	10.03	9.55	<b>95.77</b>
<b>250</b>	0.2045	4.91	<b>1.83</b>	<b>457</b>	16.38	4.89	<b>80.07</b>
<b>300</b>	0.3534	7.07	<b>1.86</b>	<b>558</b>	24.45	2.83	<b>69.18</b>
<b>400</b>	0.8378	12.57	<b>1.91</b>	<b>765</b>	46.01	1.19	<b>54.92</b>
<b>500</b>	1.6362	19.63	<b>1.96</b>	<b>978</b>	75.14	0.61	<b>45.92</b>
<b>600</b>	2.8274	28.27	<b>1.99</b>	<b>1195</b>	112.17	0.35	<b>39.67</b>

## 2. Spritzflüssigkeit

Der Belagsdeckungsgrad korreliert direkt mit der Oberflächenspannung der Spritzflüssigkeit. Bei gleicher Aufwandmenge lässt sich mit bestimmten Hilfsstoffen, die auch in der landwirtschaftlichen Praxis eingesetzt werden, die Belagsfläche vervielfachen (GÖHLICH, 1977). In Untersuchungen mit Kromekote Cards wurde der Spreitungsfaktor für unterschiedliche Spritzlösungen und Farbstoffe ermittelt. Für eine Spritzlösung basierend auf destilliertem Wasser beträgt die Spreitung etwa 1,63-2,18 und ist abhängig vom verwendeten Farbstoff (WAITE, 1978).

## 3. Trägeroberfläche

Die Benetzbarkeit von Trägermaterialien ist sehr unterschiedlich und muss im Zusammenhang mit den Eigenschaften der Spritzflüssigkeit bewertet werden. Maß für das Anlagerungsverhalten ist der Randwinkel zwischen Spritztropfen und Oberfläche (NORDEN, 1982; KIFFERLE und STAHLI, 2001). Auch die Randschärfe der Flecken ist vom verwendeten Trägermaterial abhängig (MARKIN, 1978). SALYANI und FOX ermitteln für den Durchmesser von Belagspunkten ( $d_s$ ) einer Wasser-Petroleum-Mischung auf wassersensitivem Papier in Abhängigkeit von der Tropfengröße ( $d_T$ ) die Formel:

$$d_s = \left( \frac{d_T}{0.950} \right)^{\frac{1}{0.910}}$$

Dies entspricht einem Spreitungsfaktor von 1,56 bis 1,99 für Tropfen mit 50-600  $\mu\text{m}$  Durchmesser. Der Zielflächenabstand bei diesen Untersuchungen lag mit etwa 2 m über der Spritzhöhe bei Feldapplikationen (SALYANI und FOX, 1999). Je nach Messverfahren muss der Spreitungsfaktor auf andere Weise berechnet werden (HOFFMANN und HEWITT, 2005). WOHLHAUSER gibt für übliche Spritzabstände einen durchschnittlichen Wert von 2 für die Spreitung auf wassersensitivem Papier an. Auch der Grenzwert der minimalen, noch zu ermittelnden, Tropfengröße wird durch das Trägermaterial beeinflusst (WOHLHAUSER, 2003). Nach LARDOUX et al. bleibt bei Messungen auf vorgeleimter Tapete die kumulierte Belagsfläche von Tropfen mit weniger als 150  $\mu\text{m}$  Durchmesser unabhängig vom Tropfenspektrum konstant, wird also partiell nicht erfasst (LARDOUX et al., 2007a).

## 4. Sonstige Effekte

Besonders bei hohen Aufwandmengen kann die Überlagerung von Spritzflecken zu einer starken Unterschätzung der Belagsfläche führen. Auch die Bestimmung der Tropfendichte und des Tropfenspektrums sind bei einem Belagsdeckungsgrad über 20% nur noch begrenzt möglich (SALYANI und FOX, 1994; WOHLHAUSER, 2003; FOX et al., 2003). Darüber hinaus beeinflusst der Aufprallwinkel der Tropfen auf die Zielfläche die Spreitung (GÖHLICH, 1977). Dies kann zu Problemen beim Vergleich von Düsen mit verschiedener Strahlgeometrie führen.

Die Menge an Einflussfaktoren macht deutlich, dass ein direkter Vergleich der Belagsbildung von verschiedenen Applikationsverfahren nicht möglich ist. Für alle Verfahren muss eine Kalibrierung oder Standardisierung erfolgen. Dafür stehen verschiedene Methoden zur Verfügung.

Bei der Kalibrierung wird ein Zusammenhang zwischen dem ermittelten Belagsdeckungsgrad und den Ergebnissen aus einem anderen Messverfahren ermittelt. Diese können aus einer photo- oder fluorometrischen Untersuchung stammen (LARSOLLE et al., 2002; LARDOUX et al., 2007a). Alternativ kann auch die Gewichts Differenz des Trägermaterials vor und nach der Applikation bestimmt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Verdunstung zu Verlusten führen kann (ENFÄLT et al., 1997a; LARDOUX et al., 2007a). WOLF vergleicht die bildanalytisch ermittelten Werte zusätzlich mit den Ergebnissen aus volumetrischen und kapazitiven Untersuchungen (WOLF, 2002).

Die Standardisierung des Messverfahrens, also der Vergleich zur Belagsbildung unter definierten Bedingungen, stellt eine Alternative zur Kalibrierung dar. Ein Beispiel für die Standardisierung ist der Vergleich des erzeugten Spritzbelags mit veröffentlichten Bildtafeln. Dies ermöglicht aber nur eine Bewertung auf Grundlage der dort verwendeten Applikationsverfahren (OSTERHILD, 1985). OOMS et al. führen mit der Methode von ENFÄLT et al. mehrere Standardisierungen im Labor durch und nutzen die Ergebnisse zur Bewertung der Messwerte ihrer Untersuchung (OOMS et al., 2003).

Für jedes Applikationsverfahren muss eine Standardisierung oder Kalibrierung durchgeführt werden, um eine Verfälschung durch die oben genannten Störfaktoren auszuschließen (WOLF, 2002). GÖHLICH bemerkt, dass der Belagsdeckungsgrad nur relativ beurteilt werden soll (GÖHLICH, 1977).

### Digitalisierung und Auswertung

Die Methoden zur Auswertung der Belagsflächenverteilung haben sich in den vergangenen Jahrzehnten kontinuierlich weiterentwickelt. Es kann zwischen zwei Verfahren unterschieden werden: Die ersten bestimmen den Belagsdeckungsgrad über die Summe der Belagsfläche der einzelnen Spritzflecken. Alternativ wird der durchschnittliche Grauwert einer Fläche ermittelt. Die Analyse kann am Trägermaterial, an Fotografien oder digitalisierten Grafiken durchgeführt werden.

Die ersten Bildanalysen erfolgten über die manuelle Auszählung und Vermessung der Spritzflecken auf der Zielfläche. Zur Vereinfachung wurden Raster verwendet. Belagsfläche und Bedeckungsgrad lassen sich aus dem Produkt von Tropfendichte und durchschnittlicher Tropfenfläche ermitteln (HIMEL, 1969; DUMBAULD und RAFFERTY, 1978). Probleme bei der Bewertung ergeben sich durch das begrenzte Leistungsvermögen des menschlichen Auges (DERKSEN und JIANG, 1995).

Seit den 1980er Jahren besteht die Möglichkeit einer automatisierten Auswertung durch bildanalytische Computertechnik. Damit war es möglich den Aufwand einer Untersuchung zu reduzieren und große Stichproben zu bearbeiten. Grundlage der Berechnung ist die Übertragung des Trägermaterials in eine digitale Graustufen- und die anschließende Umwandlung in eine Schwarzweißgrafik mit einem festgelegten Schwellenwert. In der binären Grafik wird zwischen Spritzbelag und nicht bedeckter Zielfläche unterschieden (ERIKSSON, 1988). Mit entsprechender Software kann jeder Spritzfleck individuell auf seine Größe und Form untersucht und der Belagsdeckungsgrad ermittelt werden (SALYANI und FOX, 1994). Die Fleckengröße wird über das Produkt aus der Fläche eines Pixels und der Anzahl der Pixel in diesem Fleck bestimmt. Die Leistung der automatischen

Bildanalyse wird nur durch die verwendete Digitalisierungs- und Auswertungstechnik begrenzt. Zur Analyse der Tropfenstruktur wird eine Auflösung von 300 ppi als nicht ausreichend bewertet. Mit 2400 ppi ist die Erfassung von Tropfen ab 23,9  $\mu\text{m}$  möglich (ZHU et al., 2011). Da sich die Software anpassen lässt und durch manuelle Operationen ergänzt werden kann, ergeben sich als weitere Variablen (ERIKSSON, 1988; SALYANI und FOX, 1994; DERKSEN und JIANG, 1995; ZHU et al., 2011):

- Farbstoff und Trägermaterial
- Fotografie, z.B. Hintergrund, Belichtung, Positionierung, Fokussierung
- Digitalisierung, z.B. Hintergrund, Belichtung, Positionierung, Fokussierung, Auflösung
- Bestimmung des Maßstabes
- Bestimmung der Glättung
- Ausfüllung von Spritzflecken
- Bestimmung des Schwellenwertes
- Aufteilung von berührenden oder überschneidenden Spritzflecken

Moderne Software ermöglicht die exakte Vermessung von Spritzflecken, die automatische Anpassung von Schwellenwerten und die Abgrenzung von Belagspunkten. Die Leistung wird auch bei diesen Verfahren durch die Qualität der digitalisierten Grafik eingeschränkt (ZHU et al., 2011).

Bei anderen Verfahren zur Bestimmung des Belagsdeckungsgrads wird auf die Analyse der einzelnen Tropfen verzichtet. Die Auswertung erfolgt über den durchschnittlichen Bedeckungsgrad einer definierten Messfläche. Bei frühen Untersuchungen wurde der Wert aus der Lichttransmission durch ein transparentes Trägermaterial ermittelt (CARLTON, 1967). Digitale Bildanalyse hat sich auch bei diesem Verfahren durchgesetzt: Das Graustufen- oder Schwarzweißbild wird über ein festgelegtes Raster in einzelne Flächen aufgeteilt. Der Grauwert dieser Rasterquadrate wird bestimmt und ins Verhältnis zu einer Kalibrierung oder Standardisierung gesetzt. Daraus ergibt sich der relative Blattdeckungsgrad (ENFÄLT et al., 1997a; OOMS et al., 2003). Die Methode wurde bereits zur Analyse der Verteilungsqualität von Feldspritzgeräten eingesetzt. Raster von 2,5 x 2,5 cm bis 10,0 x 10,0 cm werden verwendet. Bei den durchgeführten Untersuchungen war die Größe der Rasterquadrate nicht von Bedeutung (OOMS et al., 2003). Neben Durchschnittswerten, Variationskoeffizienten und den minimalen und maximalen Belagswerten, kann auch der Anteil über- und unterdosierter Flächen ermittelt werden. LARDOUX et al. legen als Grenzzlinien für die Bewertung als korrekt dosierte Fläche eine Abweichung von 15% zum Standard fest (LARDOUX et al., 2007a). Störeffekte bei der Applikation und Digitalisierung können auch diese Ergebnisse beeinträchtigen.

### **Simulation**

Simulationen zur Zielflächenverteilung ermöglichen die Bewertung der Verteilungsqualität einzelner Düsen (KAUL et al., 1994) und der Wirkung von Schwindungen am Spritzgestänge (WOLF, 2002; LARDOUX et al., 2007b). Zur Abschätzung der Deposition von Pflanzenschutzmitteln auf der Bodenoberfläche, kann bei Flächenbehandlungen der Blattdeckungsgrad oder das Entwicklungsstadium der Kultur herangezogen werden (BECKER et al., 1999). Die Bestimmung der Zielflächenverteilung in einem Pflanzenbestand ist mit einer Simulation bisher nicht möglich.

### 3.3.3 Bestimmung des Blattdeckungsgrades

Der Blattdeckungsgrad von Kultur- oder Schadpflanzen wird meist über die Erfahrung geschätzt. Dies kann mit einem entfernten Blick erfolgen oder über spezielle Schätzrahmen, die besonders bei kleinen Pflanzen eingesetzt werden (MÄRLANDER und BRÄUTIGAM, 1994; WELLMANN, 1999).

Bildanalytische Verfahren ermöglichen eine objektive und exakte Bestimmung des Blattdeckungsgrades anhand von Foto- oder Videoaufnahmen. Durch verschiedene Farb- und Formanalysen kann auch die Verteilung der Blattflächen über einer anderen Oberfläche bestimmt werden.

Grüne Pflanzen zeigen eine starke Absorption im Rot- und hohe Reflektion im Nahinfrarotbereich. Daher kann bereits durch die Verwendung entsprechender Kameratechnik eine Vorauswertung durchgeführt werden. Eingesetzt werden CCD-Kameras mit verschiedenen Filtervorsätzen (ZHANG und CHAISATTAPAGON, 1995), Infrarot-Kameras (KÜHLBAUCH et al., 1984) oder RGB-Videos (PETRY und KÜHLBAUCH, 1988). Bei absätzigen Verfahren erfolgt die Auswertung über einzelne Aufnahmen, die entweder mit Fotokamera und Stativ oder mit speziell dazu entwickelten Geräten durchgeführt werden. Alternativ ermöglichen Videokameras auch eine laufende Dokumentation während der Überfahrt der Kultur (PETRY und KÜHLBAUCH, 1988; ZHANG und CHAISATTAPAGON, 1995).

Die Aufnahmen werden in Graustufenbilder umgewandelt. Zur Differenzierung zwischen Hintergrund und Blattfläche wird ein Schwellenwert bestimmt. Dabei wird eine binäre Grafik erzeugt. Diese enthält häufig fehlinterpretierte Pixel, die aus einer unvollständigen Belichtung stammen: Beschattungen, Verfärbungen und die Reflektion anderer Oberflächen verfälschen das Ergebnis. Während kleine Pixel über einen Größenschwellenwert diskriminiert werden können, ist bei der Nichterfassung von ganzen Bereichen eine manuelle Auswahl erforderlich. Blattdeckungsgrad und Blattflächenverteilung einer binären Grafik werden, wie auch bei der Analyse der Belagsfläche, über den Anteil und die Position der schwarzen Pixel bestimmt (ZHANG und CHAISATTAPAGON, 1995).

### 3.3.4 Zusammenfassung

Untersuchungen zur Zielflächenverteilung bei der Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben können nur im Bestand durchgeführt werden. Abhängig vom Messverfahren erfolgt die Bestimmung des Belags über die Masse oder den Bedeckungsgrad einer natürlichen oder künstlichen Oberfläche.

Die meisten Methoden zur Analyse besitzen eine zu geringe Auflösung oder einen zu hohen Material- und Arbeitsaufwand. Mit dem von ENFÄLT et al. entwickelten Verfahren zur Bestimmung des Belagsdeckungsgrades können auch große Zielflächen untersucht werden. Dazu wird eine Nigrosinlösung auf vorgeleimte Tapete appliziert. Nach der Digitalisierung der Spritzbilder ist eine bildanalytische Auswertung über Software möglich. Durch die zahlreichen Einflüsse auf die Belagsbildung ist eine Standardisierung oder Kalibrierung aller untersuchten Applikationsverfahren erforderlich.

Die objektive Bestimmung des Blattdeckungsgrades kann anhand von fotografischen Aufnahmen des Pflanzenbestandes erfolgen. Filtervorsätze vereinfachen die bildanalytische Auswertung.

#### **4 Zielsetzung**

Die Zielflächenverteilung verschiedener Verfahren zur Applikation von Herbiziden in Zuckerrüben wurde bisher kaum untersucht. Daher stellt diese Arbeit auch wissenschaftlich einen Ansatz dar.

An erster Stelle ist zu klären, ob das Messverfahren von ENFÄLT et al. (1997a) in Verbindung mit moderner bildanalytischer Auswertungstechnik dazu geeignet ist, den Belagsdeckungsgrad, die Belagsverteilung und das Tropfenspektrum auf einer Zielfläche im Bestand zu erfassen. Dabei sollen auch Erfahrungen gesammelt werden, die zur Weiterentwicklung der Methode beitragen.

Ziel der Versuche ist der Vergleich von vier Applikationsverfahren hinsichtlich der Zielflächenverteilung in einem entwickelten Zuckerrübenbestand. Es soll festgestellt werden, inwiefern verschiedene Flächen- und Unterblattbehandlungen zur Bekämpfung der Restverunkrautung geeignet sind. Dabei werden die Verteilungsqualität und der Effekt des Spritzschattens berücksichtigt.

Untersucht werden die folgenden Verfahren:

- Flächenapplikation mit Flachstrahldüsen
- Flächenapplikation mit Doppelflachstrahldüsen
- Unterblattapplikation mit „Lechler Droplegs“
- Unterblattapplikation mit „Schmotzer Unterblattspritze“

Während zur Belagsbildung von Flachstrahldüsen in Zuckerrüben bereits einige Untersuchungen durchgeführt wurden, bestehen zu den anderen Verfahren bisher keine Ergebnisse, die eine technische Bewertung der Applikationsqualität zulassen. In dieser Arbeit soll untersucht werden, ob die Doppelflachstrahlgeometrie einen Einfluss auf die Vermeidung von Spritzschatten hat, welche Zielflächenverteilung durch Unterblattspritzgeräte erreicht werden kann und ob eine Applikation mit Droplegs überhaupt dazu geeignet ist, Unterblattspritzungen in Zuckerrüben durchzuführen.

Die hohe Applikationsqualität von speziellen Unterblattspritzgeräten bestätigt sich in der Praxis. Durch den Einsatz von Droplegs könnte der Aufwand einer Applikation deutlich reduziert werden. Da diese Technik bisher nicht in Zuckerrüben eingesetzt wurde, sollen auch die ersten Erfahrungen zur Anwendung im Bestand dokumentiert und mögliche Probleme diskutiert werden.

Während der Versuche ergaben sich weitere Zielsetzungen, die über die Messung der Zielflächenverteilung hinausgehen und in dieser Arbeit nur noch ansatzweise bearbeitet werden konnten: Dazu zählen die Untersuchung der potentiellen Herbizidbelastung der Zuckerrüben und des Abdriftrisikos der verschiedenen Applikationsverfahren. Um zu ermitteln, ob Droplegs durch verschiedene Schleifkufen am Boden geführt werden können, wurden zusätzliche Versuche angelegt.

Die Arbeit richtet sich an wissenschaftliche Institutionen, die sich mit dem Zuckerrübenbau und der Pflanzenschutztechnik befassen, aber auch an die landwirtschaftliche und -technische Praxis: Die Ergebnisse dienen an erster Stelle der Anwendung im Feld und der Entwicklung der Geräte.

## **5 Material und Methoden**

Die Versuche auf dem Lehr- und Versuchsgut Roggenstein wurden im Zeitraum vom 29.05.12 bis 07.07.12 durchgeführt. Zwei Applikationsverfahren zur Flächenbehandlung mit Flachstrahl- und Doppelflachstrahldüsen sowie verschiedene Unterblattapplikationsverfahren wurden untersucht. Unterblattspritzungen erfolgten mit „Lechler Droplegs“ und einer „Schmotzer Unterblattspritze“.

### **5.1 Versuchsgeräte**

Versuchsfahrzeug bei allen Applikationen war ein Geräteträger Fendt F 275 GTS, Baujahr 1984 mit 70 PS. Die Spurweite lag bei 300 cm. Die Bereifung vorne war 7.5-18 ASF und hinten 11.2-48 R. Das Fahrzeug verfügte über eine hydraulische Lenkung und insgesamt drei Anbauräume durch die Ausstattung mit Heck-, Front- und Zwischenachshydraulik. Die bestehende Druckanlage lieferte bis zu 8,0 bar. Das mechanische Tachometer erlaubte die optische Kontrolle der Motordrehzahl.

Das Spritzgestänge für die Flächenapplikation und die Unterblattspritzung mit „Lechler Droplegs“ wurde in der Fronthydraulik angebracht. Dies ermöglichte eine gute Sicht auf die einzelnen Applikationen, führte aber zu Schwankungen bei der Lenkung des Gerätes. Der eigentliche Spritzbalken bestand nur aus einem Düsenrohr von 265 cm mit sechs Düsenhaltern im Abstand von 50 cm. Die Düsen für die Flächenapplikation verliefen exakt über den Zuckerrübenreihen. Die Halterungen für insgesamt fünf „Lechler Droplegs“ wurden an einem zusätzlich angebrachten Vierkanthrohr angebracht. Der seitliche Abstand dieser Anbauplatten lag bei 50 cm. Die Spritzbeine hingen jeweils in der Mitte zwischen den Zuckerrübenreihen. Die Einstellung der Spritzhöhe für die aufgeführten Applikationen erfolgte über Drehung einer Gewindestange im Spritzrahmen. Das Spritzgestänge wurde durch zwei Dämpfer aus Gummi gegenüber horizontalen Schwingungen stabilisiert.

Drei Spritzeinheiten einer „Schmotzer Unterblattspritze“ wurden im Abstand von 50 cm an die zwischen den Achsen angebrachte Hackschiene montiert. Die einzelnen Parallelogramme verliefen in der Mitte zwischen den Reihen zwei bis fünf und waren mit je zwei Düsenstöcken besetzt. An den Parallelogrammen befestigte Klutenräumer und dreieckförmige Blattheber waren an jeder Spritzeinheit vorhanden. Die Höhenführung konnte, da sonst das Trägermaterial beschädigt worden wäre, nicht durch die bestehenden Druckrollen erfolgen. Daher wurden Ketten von der Achse der ausgebauten Druckrollen zu einem zusätzlichen Querträger über der Hackschiene gespannt. Eine ständige Anpassung der Spritzhöhe an die Bodenoberfläche war somit nicht mehr möglich. Die Höheneinstellung erfolgte zusammen mit der Hackschiene über Regelung der Zwischenachshydraulik. Die Kontrolle des Zielflächenabstands wurde vor jeder Applikation wiederholt.

Die Spritzung erfolgte mit Druckluft aus der Anlage des Versuchsfahrzeugs. Die Regelung des Arbeitsdruckes erfolgte über ein Druckminderventil mit Stellrad, das in die Leitung eingebaut wurde. Der Behälter für die Spritzflüssigkeit verfügte über 5,0 l Nutzinhalt und lieferte bei maximalem Druck von 6,0 bar einen Durchfluss von 4,52 l/min. Die Leitung der Spritzflüssigkeit vom Behälter zum Düsenrohr und zu den Düsen erfolgte durch klare Schläuche aus PVC. Absperrventile ermöglichten sowohl die An- und Abschaltung, als auch die Zuleitung zu den verschiedenen Systemen.

## 5.2 Versuchsflächen

Die Versuche wurden im Vorgewende des landwirtschaftlichen Schlages „Unterfeld 7“ durchgeführt, die Dokumentation der Bewirtschaftung ist unten aufgeführt. Der Feldaufgang war hoch. Die Sorte „Sabrina KWS“ zeichnet sich durch mittelgroße Blattspreiten und mittellange Blattstiele aus. Die Stellung der Blätter kann als flach bis mittel beschrieben werden, der Blattansatz ist eng (KUCKENBERG, 2012). Der Schlag lag insgesamt relativ eben, allerdings waren die Fahrspuren der Saat und die Vertiefung des Spuranzeigers deutlich erkennbar. Auch durch den teils sehr hohen Kiesgehalt wurde eine flache Ablage des Trägermaterials auf die Bodenoberfläche erschwert.

Schlag:	Unterfeld 7, 48°11'20 N, 11°19'40 O, 514 m NN
Boden:	sL 4 D 56/50
Saat:	24.03.12, Sägerät 6-reihig, Reihenweite 50 cm, Ablageweite 19,5 cm
Sorte:	Sabrina KWS
Düngung:	140 kg/ha N, 90 kg/ha P, 90 kg/ha K
Pflanzenschutz:	1. NAK: 1,2 l/ha Betanal maxxPRO®, 1,2 l/ha Goltix Gold® 2. NAK: 1,3 l/ha Betanal maxxPRO®, 1,3 l/ha Rebell®, 25 g/ha Debut® 3. NAK: 1,3 l/ha Betanal maxxPRO®, 1,3 l/ha Goltix Gold®, 25 g/ha Debut® 4. NAK: 1,2 l/ha Rebell®, 25 g/ha Debut®

Abb. 5: Versuchsfahrzeug



### **5.3 Applikationsverfahren**

Die Applikationen wurden bei einer Arbeitsgeschwindigkeit von 6 km/h und mit einer Wasseraufwandmenge von 250 l/ha durchgeführt. Der Arbeitsdruck wurde bei allen Applikationsverfahren an den Abstand der Düsen und die verwendete Düsengröße angepasst.

Die Fahrgeschwindigkeit wurde über das wiederholte Abfahren einer 100 m langen Teststrecke ermittelt. Die angestrebte Geschwindigkeit von 6 km/h wurde bei einer Motordrehzahl von etwa 1400 U/min im 2. Gang mit langsamer Untersetzung erreicht. Die Drehzahl wurde zu Beginn jeder Applikationsreihe über den Handgashebel eingestellt und zwischen den einzelnen Messungen nicht mehr verändert. Die Einstellung des Druckminderventils auf den erforderlichen Spritzdruck erfolgte durch mehrfaches Auslitern der einzelnen Düsen und wurde durch Markierungen auf dem Stellrad des Ventils festgehalten. Die Spritzhöhe ist definiert als Abstand zwischen der Düsenaustrittsöffnung und der Zielfläche, die bei der Untersuchung in etwa dem Boden entsprach. Die Einstellung erfolgte im Feld über den Mittelwert des Abstandes von drei bis vier Düsen.

Die gesamte Düsenteknik, einschließlich der Droplegs, wurde vom Unternehmen Lechler aus Metzingen zur Verfügung gestellt. Informationen zur Charakteristik der einzelnen Düsenarten entstammen dem Katalog (LECHLER, 2011) oder wurden in Kooperation mit Dr. Heinkel auf Versuchständen ermittelt (HEINKEL, 2012). Die Beschreibung der verschiedenen Tropfenspektren erfolgt über das Klassifikationsschema der British Crop Protection Conference (SOUTHCOMBE et al., 1997). Untersuchungen zum Abdriftpotential wurde am Julius-Kühn-Institut durchgeführt (JKI, 2012).

#### **5.3.1 Flächenapplikation mit Flachstrahldüsen (SF)**

Düsentyp:	Lechler IDKN 120-03 POM
Tropfenspektrum:	grobtropfig (3,0-4,5 bar)
Abdriftreduktion:	90% (1,0 bar), 75% (1,0-1,5 bar), 50% (1,5-3,0 bar)
Spritzhöhe:	60 cm (80 cm)
Spritzwinkel:	120°
Spritzdruck:	3,3 bar
Durchfluss:	1,25 l/min

Die Flächenapplikation mit Air-Injektor Kompakt-Flachstrahldüsen erfolgte über insgesamt sechs Lechler IDKN 120-03 mit einem Düsenabstand von 50 cm. Bei einer Spritzhöhe von 60 cm ergab sich somit eine theoretische Überlappung von 4,16. Bei der letzten Applikation wurde, da inzwischen auch die Zuckerrüben eine Höhe von 50 cm erreichten, eine Spritzhöhe von 80 cm gewählt. Die entsprechende theoretische Strahlbreite der einzelnen Düsen erhöhte sich dabei auf 277 cm.

Bei einem Spritzdruck von 3,3 bar entstand bei Verwendung der IDKN-Düsen ein grobes Tropfenspektrum mit einem MVD von etwa 420-440  $\mu\text{m}$ . Die durchschnittliche vertikale Austrittsgeschwindigkeit der Spritztropfen lag nach Herstellerangaben bei 3,1 m/s. Eine Klassifizierung als verlustminderndes Gerät war bei dem gewählten Druck nicht gegeben.

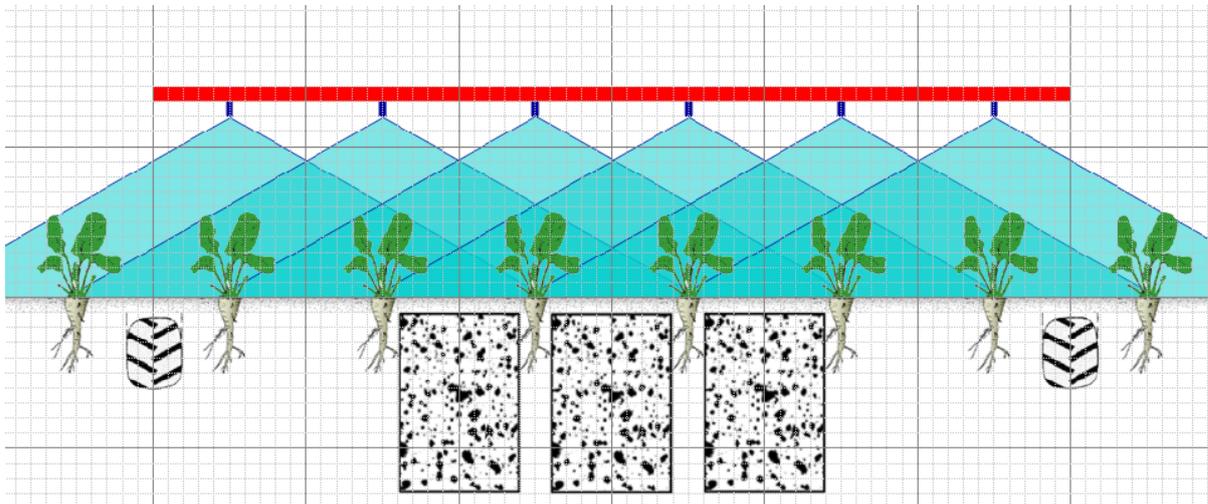
### 5.3.2 Flächenapplikation mit Doppelflachstrahldüsen (DF)

Düsentyp:	Lechler IDKT 120-03 POM
Tropfenspektrum:	grob tropfig (2,5-3,5 bar)
Abdriftreduktion:	90% (1,0 bar), 75% (1,0-1,5 bar), 50% (1,5-3,0 bar)
Spritzhöhe:	60 cm, (80 cm)
Spritzwinkel:	2 x 120°
Spritzdruck:	3,3 bar
Durchfluss:	1,25 l/min

Die Parameter beim Einsatz von Kompakt-Doppelflachstrahldüsen unterschieden sich nicht von denen bei der Verwendung von Kompakt-Flachstrahldüsen. Die beiden Spritzstrahlen einer Düse waren jeweils 30° nach vorne und hinten gerichtet. Die theoretische Strahlbreite lag etwa 15% höher als bei der IDKN 120-03. Der Spritzabstand wurde bei der letzten Applikation erhöht.

Bei einem Arbeitsdruck von 3,3 bar entstand auch bei Doppelflachstrahldüsen ein grobes Tropfenspektrum: Der MVD lag mit 360-380 µm etwas geringer. Eine Klassifizierung als verlustminderndes Gerät bestand bei dem gewählten Druck nicht.

Abb. 6: Versuchsgesetz für Flächenapplikationen



### 5.3.3 Unterblattapplikation mit „Lechler Droplegs“ (DL)

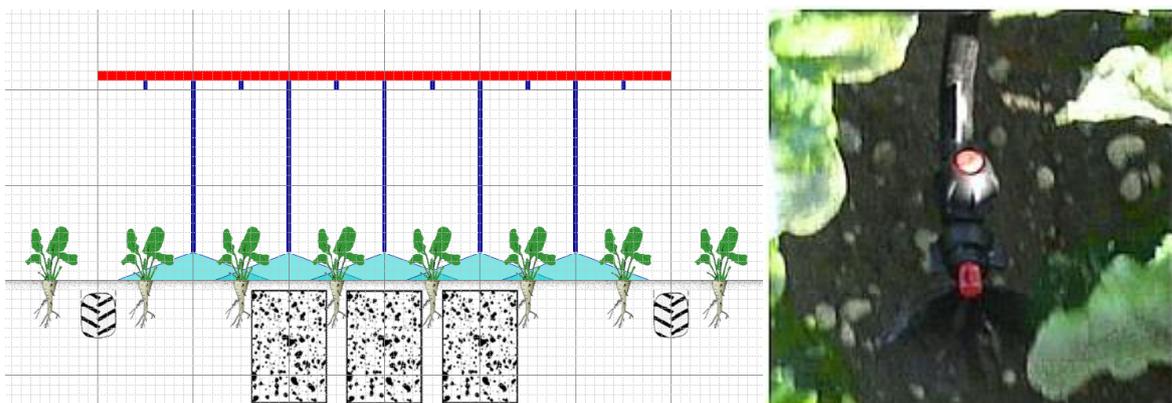
Düsentyp:	Lechler FT 2,0-448 POM
Tropfenspektrum:	mitteltropfig
Abdriftreduktion:	keine Anerkennung
Spritzhöhe:	12 cm, 16 cm
Spritzwinkel:	140°
Spritzdruck:	2,0 bar
Durchfluss:	1,25 l/min

Die Unterblattapplikation mit Spritzbeinen erfolgte über fünf Lechler Droplegs mit Zungendüsen. Die Halterungen wurden so angebracht, dass die Düsen im Zwischenbereich der Zuckerrübenreihen geführt wurden. Die Aufhängung des Droplegs ist in Fahrtrichtung stabil. Die Spritzbeine können quer zur Reihe frei pendeln. Die Verbindung mit der Spritzleitung erfolgt über Düsenstöcke. Das Gewicht des Spritzbeines beträgt etwa 400 g bei einer Länge von 90 cm. Das Dropleg besteht aus Kunststoff und ist somit flexibel. Am unteren Ende befindet sich eine nach hinten gebogene und verstärkte Schleifkufe, die in einem erhöhten Düsenstock mit Bajonettanschluss ausläuft.

Die Zungendüsen FT 2,0-448 wurden mit einer Rundlochbajonettkappe am Bajonettanschluss des Droplegs angebracht und mit einer Messlehre zum Boden ausgerichtet. Durch die bogenförmige Schleifkufe und den Ablenkungswinkel der Düse wurde der Spritzstrahl 30° nach hinten gerichtet. Das Verfahren wurde mit einer Spritzhöhe von 12 cm und 16 cm eingesetzt. Dabei ergaben sich theoretische Strahlbreiten von 76 cm und 102 cm. Die tatsächliche Spritzhöhe wurde durch die Auflage des Trägermaterials auf die Bodenoberfläche leicht verringert. Auch der Effekt von Bodenunebenheiten auf die Bewegung des Spritzgestänges muss berücksichtigt werden. Die minimale theoretische Strahlbreite von 50 cm wurde ab einer Spritzhöhe von 7,88 cm erreicht.

Bei einem Arbeitsdruck von 2,0 bar entstand nach Herstellerangaben ein mittleres Tropfenspektrum. Die verwendeten Zungendüsen wurden als verlustminderndes Gerät bisher nicht anerkannt. Das geringste Abdriftpotential bestand bei einem Arbeitsdruck von 1,0 bis 2,0 bar.

Abb. 7: Versuchsgert für Unterblattapplikation mit „Lechler Dropleg“



### 5.3.4 Unterblattapplikation mit „Schmotzer Unterblattspritze“ (UB)

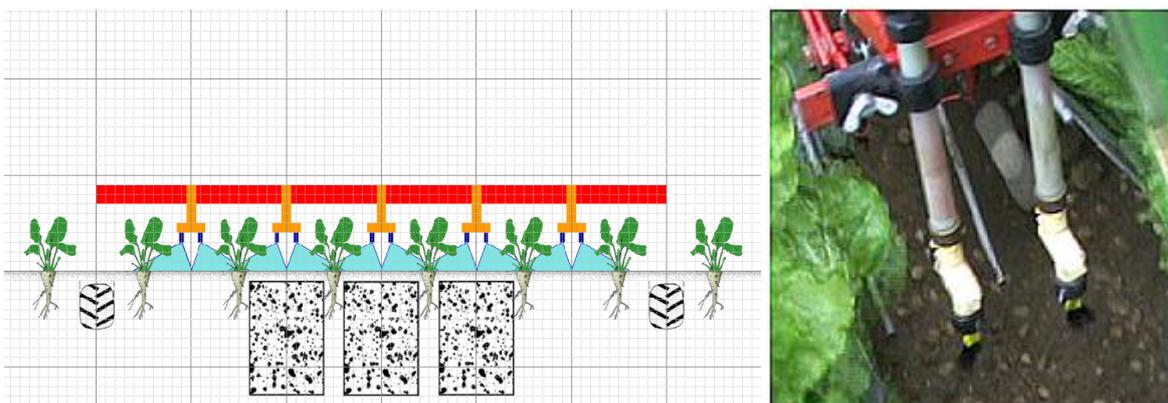
Düsentyp:	Lechler IDKS 80-02 POM
Tropfenspektrum:	grob tropfig
Abdriftreduktion:	keine Anerkennung
Spritzhöhe:	20 cm
Spritzwinkel:	80°, asymmetrisch
Spritzdruck:	3,3 bar
Durchfluss:	0,625 l/min

Die „Schmotzer Unterblattspritze“ wurde von Dr. Maidl vom Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme zur Verfügung gestellt. Die IDKS-Schrägstrahldüsen wurden paarweise an den beiden Düsenstöcken angebracht. Der kürzere Schenkel wurde zur Mitte des Zwischenreihenbereichs ausgerichtet, der längere Schenkel zeigte in Richtung der Zuckerrübenreihe. Der Abstand zwischen beiden Düsen betrug 8 cm. Zwischen der untersten Kante der Halterung des Spritzröhrchens und der Düsenaustrittsöffnung lagen etwa 18 cm. Der gesamte Düsenstock und somit auch die Düsen waren etwa 15° nach hinten gerichtet. Zusätzlich wurden die einzelnen Düsen um 10° entgegen der Fahrtrichtung verschränkt, um das Aufprallen des Spritzstrahles auf die Blattheber zu vermeiden. Die eigentliche Spritzung erfolgte somit kurz hinter den Blatthebern.

Mit den eingesetzten IDKS-Düsen ergab sich bei einer Spritzhöhe von 20 cm eine theoretische Strahlbreite von 43 cm für jede Düse. Davon entfielen 35 cm auf den längeren Schenkel und 8 cm auf den kurzen Schenkel. Bei einem Abstand von 8 cm zwischen den beiden Schrägstrahldüsen an einer Spritzeinheit wurde eine theoretische Strahlbreite von etwa 78 cm je Düsenpaar erreicht. Die Überlappung zwischen zwei Spritzeinheiten lag somit bei 28 cm.

Die Lechler IDKS 80-02 lieferten bei einem Spritzdruck von 3,3 bar ein grobes Tropfenspektrum, ähnlich den verwendeten IDKN-Düsen. Die Air-Injektor Kompakt-Schrägstrahldüsen sind erst ab einer Düsengröße von 025 als verlustmindernd anerkannt. Die geringste Abdrift wird auch bei diesen Düsen bei einem Druck unter 3,0 bar erreicht.

Abb. 8: Versuchsgert für Unterblattapplikation mit „Schmotzer Unterblattspritze“



#### **5.4 Erfassung des Blattdeckungsgrades**

Der Blattdeckungsgrad und die -verteilung im Bereich der Zielfläche wurde aus Aufnahmen mit einer digitalen Spiegelreflexkamera Canon EOS 300D ermittelt. Die Fotografien erfolgten aus einer Höhe von 150 cm bei einer Brennweite von zirka 18,5 mm. Aufnahmen wurden nach Einlegen des Trägermaterials und erneut nach der Applikation der Spritzflüssigkeit durchgeführt. Die Kamera wurde mit einem Dreibeinstativ senkrecht zur Bodenoberfläche ausgerichtet. Die Einstellung wurde für alle durchgeführten Aufnahmen auf vollautomatische Fotografie ohne Blitz eingestellt.

Aufnahmemodus: Vollautomatische Aufnahme ohne Blitz  
Bildqualität: groß/fein (3072 x 2048 Pixel)  
Dateiformat: JPEG

#### **5.5 Erfassung des Belagsdeckungsgrades**

Die Applikationsqualität der verschiedenen Applikationsverfahren wurde auf Grundlage des 1997 von ENFÄLT et al. entwickelten Verfahrens zur Analyse der dynamischen Belagsverteilung auf einer ebenen Zielfläche durchgeführt (ENFÄLT et al., 1997a). Zur Standardisierung der Messwerte diente der Vergleich mit der optimalen Belagsbildung des jeweils eingesetzten Applikationsverfahren.

Die Spritzflüssigkeit wurde mit 30 g/l Nigrosin angefärbt. Danach erfolgte die Applikation auf ein Trägermaterial aus vorgeleimter Tapete, das zwischen den Zuckerrübenreihen ausgelegt wurde. Die beschichtete Seite der Tapete lag oben, um die farbstoffhaltigen Spritztropfen aufzunehmen. Das mit einem Spritzbild bedeckte Trägermaterial wurde mit einem Aufsichtsscanner digitalisiert und die Zielflächenverteilung mit entsprechender Software ermittelt und bewertet.

#### **Farbstoff**

Der verwendete Farbstoff wurde vom Unternehmen Lanxess aus Leverkusen zur Verfügung gestellt. Verwendet wurde Nigrosin W flüssig. Die Dichte der Mischung lag nach Herstellerangaben bei 1,05 bis 1,15 kg/l bei 20 °C. Die Dosierung erfolgte, ausgehend von 1,10 kg/l und einem Farbstoffgehalt von 20%, mit 136 ml/l Spritzlösung. Dies ergab eine Farbstoffkonzentration von 30 g/l.

#### **Trägermaterial**

Als Trägermaterial wurde vorgeleimte Tapete von Venilia (Leana, 56231335) und Brewster (Mirage, 32063) verwendet. Die Rollen von 10,05 m x 53 cm wurden an den Zwischenreihenbereich angepasst und auf Stücke von 70 x 45 cm zugeschnitten. Bei späteren Messungen wurde, bedingt durch den höheren Entwicklungsstand der Zuckerrüben, ein Zuschnitt von 70 x 40 cm gewählt. Damit das Trägermaterial glatt auf den Boden gelegt werden konnte, wurde es auf beschichtete Holzplatten von 70 x 40 cm aufgespannt. Zur Befestigung dienten jeweils vier 8,0 x 4,0 mm große Neodymmagnete in Verbindung mit einfachen Metallapplikationen in den Ecken der Holzplatten. Das Trägermaterial wurde im Randbereich nummeriert und mit roten Markierungen versehen.

### Durchführung

Das Trägermaterial auf Holzplatten wurde in den nebeneinanderliegenden Bereichen zwischen den Reihen 2 bis 5 abgelegt und an die Bodenoberfläche angedrückt. Die Zuckerrübenblätter verblieben über dem Trägermaterial. Bei Applikationen mit der Unterblattspritze wurde eine Rampe aus einer Metallplatte verwendet, um die Gefahr der Beschädigung des Trägermaterials durch die Klutenräumer zu verringern. Das gleiche gilt für die Versuche mit Schleifkufen an den Droplegs. Anschließend erfolgte, wie beschrieben, die erste Fotografie.

Für die Applikation wurde eine ausreichende Strecke zur Beschleunigung auf Fahrgeschwindigkeit angesetzt. Nach einem Wechsel der Düsen wurden diese kurz vor der Applikation "angespritzt". Die Applikationen erfolgten jeweils auf einer Strecke von etwa 5 m. Das Trägermaterial lag innerhalb der letzten 2 m. Nach der Applikation konnte die mit Farbstoff benetzte Tapete noch kurz im Bestand abtrocknen, wurde dann entnommen und unter einem Witterungsschutz abgelegt.

### Standardisierung

Die Standardisierung der Applikationsverfahren erfolgte durch Auftragung des Farbstoffes auf lange Bahnen des Trägermaterials von 5,00 m x 0,53 m unter möglichst optimalen Bedingungen. Die vorgeleimte Tapete wurde in Fahrtrichtung ausgelegt, sodass die Breite des Trägermaterials den seitlichen Abstand der Düsen übertraf. Die Applikation erfolgte in Richtung der Messfläche.

### Digitalisierung

Zur Digitalisierung der Spritzbilder wurde der Aufsichtsscanner Zeutschel OS 12000 Bookcopy C, Baujahr 2008, verwendet. Das Gerät war in der Lage auch Vorlagen von 635 x 460 mm zu scannen. Die Auflösung der Ausgabedatei betrug 300 ppi. Die Aufnahmen wurden am späten Abend durchgeführt, sodass Störungen durch das Tageslicht weitestgehend ausgeschlossen werden konnten. Die verwendeten Einstellungen der Software waren:

Seitenmodus:	ganz
Farbmodus:	24 bit Farbe
Bildbearbeitung:	Foto
Helligkeit:	0
Perfect Book:	aus
Scanrotation:	0
Überlappung:	0
Dateiformat:	JPEG

Die Auflösung der Ausgabedatei entsprach 118,11 Pixel/Zentimeter. Das Verhältnis zum Maßstab des Trägermaterials wurde über Digitalisierung eines 30 cm langen Messstabs in drei verschiedenen Positionen bestimmt. Der Durchschnittswert aus 16 Messungen betrug 52 Pixel/Zentimeter. Das Größenverhältnis zwischen Trägermaterial und Ausgabedatei lag bei 1 zu 0,44.

## **5.6 Auswertung der Zielflächenverteilung**

Die Bildbearbeitung wurde mit Adobe Photoshop CS6 Extended Version 13.0 durchgeführt. Dabei ein Raster von 2,5 x 2,5 cm über das Spritzbild gelegt und der Grauwert innerhalb der einzelnen Messquadrate ermittelt (ENFÄLT et al., 1997a; OOMS et al., 2003). Die Verrechnung der Daten mit dem Standard und die weitere Analyse erfolgte unter Verwendung von Microsoft Excel 2007.

### **Bildbearbeitung**

Die Bildbearbeitung erfolgte auf Grundlage von drei Grafiken:

- Fotografie des Trägermaterials im Bestand vor der Applikation
- Fotografie des Trägermaterials im Bestand nach der Applikation
- Grafik des Trägermaterials nach der Digitalisierung

Diese wurden in Adobe Photoshop auf drei verschiedene Ebenen importiert und anschließend in mehreren Schritten bearbeitet. Die Standardeinstellungen der Software wurden nicht verändert. Das Verfahren ist in Abbildung 9 beispielhaft dargestellt. Die Auswertung der Standardisierungen erfolgte nach dem gleichen Prinzip, lediglich die Anordnung des Rasters wurde verändert.

#### 1. Festlegung der Messskala

Über die Funktion „Messskala festlegen“ wurde der ermittelte Maßstab auf die vorliegende Grafik übertragen, sodass in den anschließenden Messungen die reale Größe erfasst werden konnte.

Pixellänge:	52
Logische Länge:	1
Logische Einheit:	cm

#### 2. Anpassung der Größe der Fotografien

Die Fotografie des Trägermaterials vor der Applikation wurde durch Skalieren und Drehen, seltener auch Verzerren und Verformen, transformiert und an die Grafik des Trägermaterials nach der Digitalisierung angepasst. Dazu dienten die roten Anlegemarken auf dem Trägermaterial, die bei einer um 50% reduzierten Deckkraft der Fotografie auf beiden Ebenen gleichzeitig zu sehen waren. Aus arbeitswirtschaftlichen Gründen wurde die Zeit für diesen Schritt auf 10-15 min begrenzt. Waren die Anlegemarken auf der ersten Fotografie durch die Blätter verdeckt, wurde der Vorgang stattdessen mit der fotografischen Aufnahme des Trägermaterials nach der Applikation durchgeführt. Dabei wurden auch die überlagernden Belagsflecken der beiden Ebenen genutzt.

Mit Abschluss des zweiten Arbeitsschrittes entsprach der Maßstab der Grafik und der Fotografien der tatsächlichen Größe des Trägermaterials. Die Fotografie wurde dabei so ausgerichtet, dass die Ebenen des Trägermaterials im Bestand und der digitalisierte Grafik deckungsgleich überlagern.

### 3. Diskriminierung der Blattflächen

Zur Bestimmung des Blattdeckungsgrades wurden in der Fotografie des Trägermaterials alle Bereiche entfernt, die nicht zum Blattapparat gehören. Aufgrund der großen Unterschiede innerhalb der Blattstruktur und unzureichend gleichmäßiger Belichtung, war dies nur manuell möglich. Dazu wurden die Werkzeuge „Zauberstab“ und „Radiergummi“ verwendet. Durch Erweitern und anschließendes Verkleinern der Auswahl um 6-8 Pixel wurden kleine Pixel entfernt, die am Rand von den Blättern oder bei kleineren Verschmutzungen auftraten. Kleine Blattschäden wurden vernachlässigt. Auch für diesen Arbeitsschritt wurde die Bearbeitungszeit begrenzt.

Die Ebene wurde über die „Schwarzweiß-Korrektur“ in ein Graustufenbild mit 256 Farben umgewandelt und durch die „Schwellenwert-Korrektur“ ein Schwarzweißbild erzeugt. Der Schwellenwert betrug 255. Das Ergebnis war eine, in Blattflächen und Hintergrund getrennte, binäre Grafik.

### 4. Diskriminierung der Spritzflecken

Auf der digitalisierten Grafik des Trägermaterials wurden die Anlegemarken entfernt und ebenso Flecken, die als Verschmutzung oder Verfärbung erkannt werden konnten. Anschließend erfolgte die Transformation in ein Schwarzweißbild. Dabei wurde ein Schwellenwert von 128 angesetzt.

### 5. Einteilung des Spritzbildes in Bereiche unter und zwischen den Blattflächen

Damit die Bereiche unter und die Bereiche zwischen den Blattflächen getrennt analysiert werden konnten, musste das Spritzbild weiter bearbeitet werden. Dazu wurde die bearbeitete Grafik kopiert und die Belagsfläche unter den Blättern oder zwischen den Blattflächen entfernt. Die Bereiche wurden mit dem „Zauberstab“ auf der bearbeiteten Fotografie des Trägermaterials markiert.

### 6. Anpassung des Messrasters

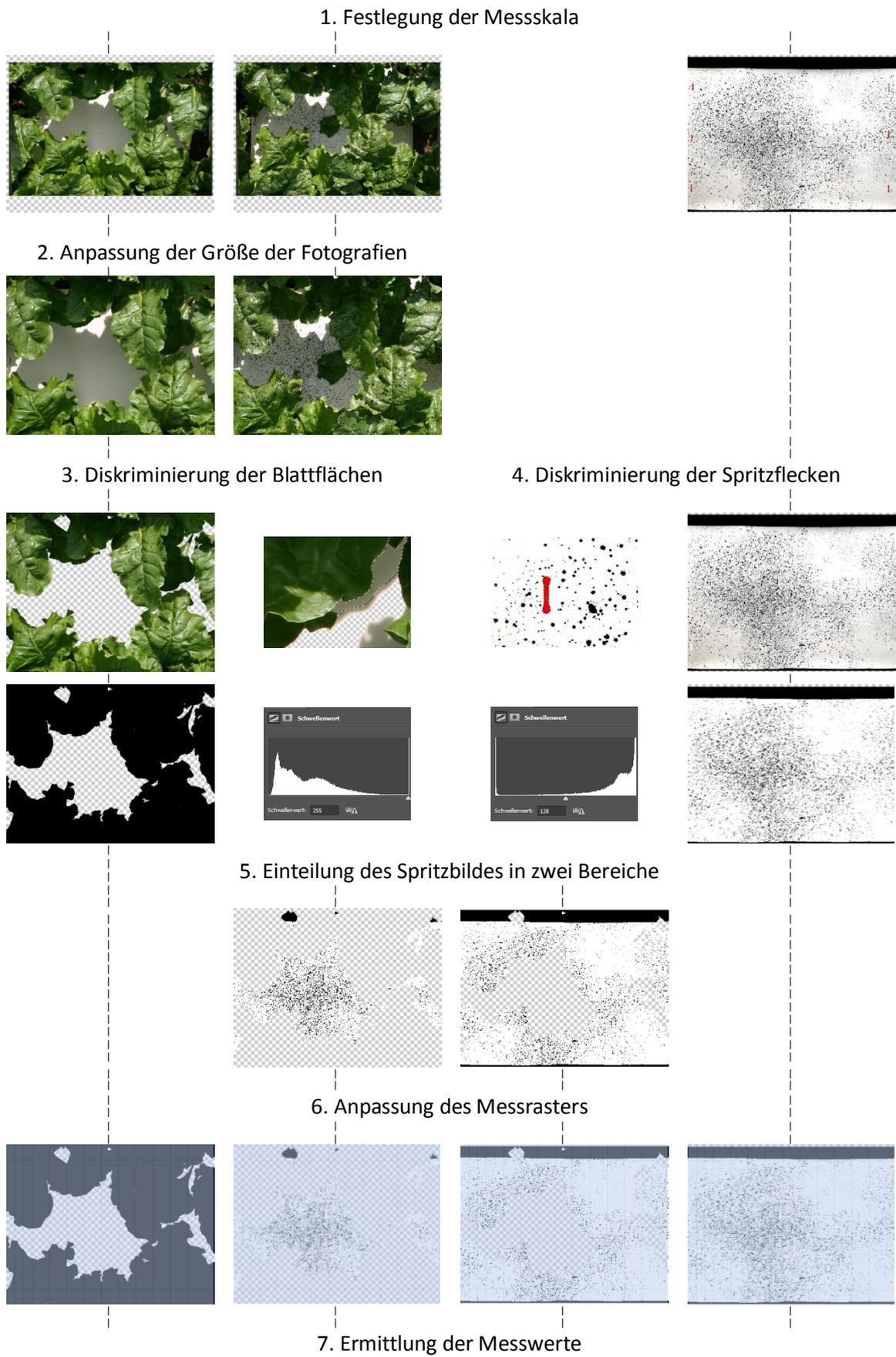
Der zu untersuchende Bereich des Trägermaterials wurde auf 50 x 60 cm mit einem Messraster von 2,5 x 2,5 cm belegt. Dieses wurde auf einer zusätzlichen Ebene über den bestehenden Ebenen ausgerichtet, bis sie mit dem angestrebten Messbereich optimal überlagerte. Mit dem „Zauberstab“ und der Option „nicht benachbart“ konnten alle Messflächen gleichzeitig markiert werden.

### 7. Ermittlung der Messwerte

Über „Messungen aufzeichnen“ wurden die Grauwerte aller Rasterquadrate ermittelt. Dieser Vorgang wurde für alle relevanten Ebenen wiederholt. Die anderen Ebenen wurden ausgeblendet. Damit ergaben sich je 480 gerasterte Messwerte für den Blattdeckungsgrad und den Belagsdeckungsgrad im gesamten Bereich, beziehungsweise unter oder zwischen den Blattflächen.

Die ermittelten Messwerte lagen beim Export in einer, durch die Software bestimmten, Sortierung und als Grauwerte von 0 bis 255 vor. Die Daten wurden als Textdateien (.txt) abgespeichert.

Abb. 9: *Bildbearbeitung zur Auswertung der Zielflächenverteilung*



## Datenauswertung

Die Datenauswertung erfolgte mit Microsoft Excel 2007. Die Textdateien wurden importiert und transformiert, um die Sortierung des Messrasters wiederherzustellen. Die Grauwerte aus allen Messungen wurden in prozentuale Werte für den Anteil an schwarzen Pixeln an der Messfläche übertragen. Bei der Auswertung wurden unter anderem die folgenden Messwerte berechnet:

### 1. Blattdeckungsgrad (BDG)

Der Blattdeckungsgrad kann anhand der Fotografien sowohl für den gesamten Pflanzenbestand, als auch nur für den Bereich der Messfläche ermittelt werden. Es wird unterscheiden zwischen:

- durchschnittlicher feldbezogener Blattdeckungsgrad (60 x 50 cm)
- durchschnittlicher bereichsbezogener Blattdeckungsgrad (60 x 45 cm, 60 x 40 cm)

### 2. Absoluter Belagsdeckungsgrad (aSDG)

Der absolute Belagsdeckungsgrad beschreibt den Anteil der schwarzen Pixel an allen Pixeln der bearbeiteten Messflächen. Die folgenden Werte können sowohl für den gesamten Messbereich, als auch für die Bereiche zwischen den Blättern und unter den Blättern berechnet werden:

- durchschnittlicher absoluter Belagsdeckungsgrad
- prozentualer Anteil mit Belagsdeckungsgrad in einem bestimmten Intervall (z.B. 80-120%)

Nur für den gesamten Bereich können hingegen die folgenden Werte ermittelt werden:

- Variationskoeffizient der Gesamt-, Längs- und Querverteilung des Belagsdeckungsgrads
- Minimum und Maximum des absoluten Belagsdeckungsgrads in einem Rasterquadrat

### 3. Relativer Belagsdeckungsgrad (rSDG)

Alle Werte, die für den absoluten Belagsdeckungsgrad ermittelt werden, lassen sich auch für den relativen Belagsdeckungsgrad bestimmen. Dazu erfolgt die Verrechnung mit der Standardisierung: Die relative Belagsbildung wird über das Verhältnis zwischen dem absoluten Belagsdeckungsgrad der Messung und dem durchschnittlichen absoluten Belagsdeckungsgrad des Standards bestimmt.

### 4. Optimierter Belagsdeckungsgrad (oSDG)

Der optimierte Blattdeckungsgrad unterdrückt den Effekt einer ungleichmäßigen Querverteilung des Standards: Der Vergleich erfolgt über ein Spritzbild, das aus der Spiegelung an der Längsachse der Standardisierung hervorgeht. Die längs gerichteten Reihen des Rasters werden einzeln berechnet. Der Standard wurde vor jeder Messung in Schritten von 2,5 cm nach links oder rechts verschoben, um eine optimale Anpassung an das jeweils vorliegende Spritzbild sicherzustellen.

### **5.7 Bestimmung der Witterung**

Die Witterung wurde über die Wetterstation Roggenstein des Agrarmeteorologischen Messnetzes erfasst. Diese stand bei 48°10'51 N und 11°19'11 O auf 521 m NN und damit etwa 1 km von der Versuchsfläche entfernt. Die Werte für Luft- und Bodentemperatur, Niederschlag, Windgeschwindigkeit, relative Luftfeuchte und Globalstrahlung wurden im stündlichen Durchschnitt abgerufen.

### **5.8 Zusätzliche Versuchsansätze**

Neben den Untersuchungen zur Zielflächenverteilung zwischen den Reihen, wurden bei einigen Applikationen auch Messungen der Zielflächenverteilung in der Reihe, des Tropfenspektrum von Flächenapplikationen und des Farbstoffbelags auf den Zuckerrübenblättern durchgeführt. Bei der Standardisierung der Applikationsverfahren wurde auch das Abdriftpotential erfasst. Nach erfolgreicher Durchführung aller Untersuchungen, konnten auch einige Versuche zur Verbesserung der Applikationsqualität bei Unterblattbehandlungen realisiert werden.

#### **Bestimmung der Zielflächenverteilung in den Reihen**

An zwei Versuchstagen erfolgte, zusätzlich zur Messung der Zielflächenverteilung im Zwischenreihenbereich, auch die Bestimmung der Zielflächenverteilung in der Reihe. Dazu wurden bei mehreren Applikationsreihen jeweils vier 12 x 12 cm große Stücke des Trägermaterials zwischen den Zuckerrüben in der dritten und vierten Reihe platziert, bevor die Applikation durchgeführt wurde. Auf die Erfassung des Blattdeckungsgrads im Messbereich wurde dabei verzichtet.

Die Auswertung des Belagsdeckungsgrads erfolgte auf einer Fläche von 10 x 10 cm. Der absolute Messwert wird relativ zum durchschnittlichen absoluten Belagsdeckungsgrad zwischen den Reihen mit diesem Applikationsverfahren und an diesem Versuchstag betrachtet.

#### **Bestimmung des Tropfenspektrums von Flächenapplikationen**

Die Analyse des Tropfenspektrums erfolgte am gleichen Trägermaterial, das auch zur Bestimmung der Zielflächenverteilung in der Reihe verwendet wurde. Die 12 x 12 cm großen Stücke wurden mit dem Flachbettscanner Epson Perfection V200 Photo bei 600 ppi und 8 Graustufen digitalisiert.

Die Auswertung erfolgte über DepositScan, einer frei erhältlichen Software des Agricultural Research Service. Dieses Verfahren beschreiben auch ZHU et al. (2011). Die verwendete Formel zur Berechnung der Tropfengröße ( $d_T$ ) in Abhängigkeit von der Größe des Spritzflecks ( $d_S$ ) betrug:

$$d_T = 0.950 \times d_S^{0.910}$$

Es können der mittlere ( $DV_{0,5}$ ), der 10%ige ( $DV_{0,1}$ ) und der 90%ige Volumendurchmesser ( $DV_{0,9}$ ) ermittelt werden. Darüber hinaus auch der absolute Belagsdeckungsgrad und die durchschnittliche Tropfendichte. Die Ergebnisse wurden mit dem zu erwartenden Tropfenspektrum verglichen.

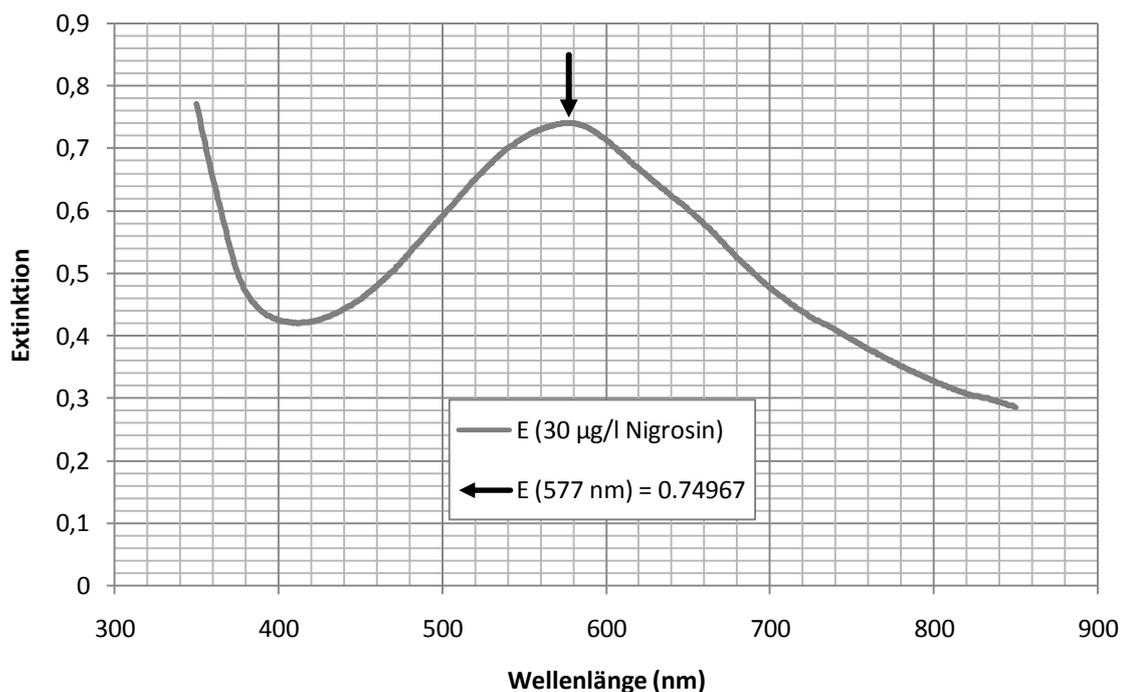
### Bestimmung des Farbstoffbelags auf den Zuckerrübenblättern

Der Farbstoffbelag auf dem Blattapparat der Zuckerrüben wurde an zwei Versuchstagen ermittelt. Dazu wurden je Applikationsverfahren vier Zuckerrüben aus dem Messbereich entnommen. Innerhalb von sechs Stunden nach der Applikation wurde der Blattapparat etwa 2 bis 3 cm über dem Blattansatz abgeschnitten und die Frischmasse der Blätter bestimmt. Anschließend wurden die Zuckerrübenblätter jeder einzelnen Probe in 500 ml destilliertem Wasser abgewaschen, bis der Farbstoff sich ausreichend von den Blättern gelöst hatte. 250 ml der Waschlösung wurden in Probefläschchen abgefüllt. Zusätzlich wurden zwei Proben der Spritzflüssigkeit genommen.

Die Analyse der Proben erfolgte am Lehrstuhl für Phytopathologie der Technischen Universität München. Alle Messungen wurden mit dem Zweistrahlphotometer Kontron Uvikon 922 durchgeführt. Zur Standardisierung wurde die Probe der Spritzflüssigkeit mit dem Faktor 1000 verdünnt und die Extinktionskurve, siehe Abbildung 10, ermittelt. Anschließend wurden auch die übrigen Proben verdünnt, um eine ausreichende Genauigkeit der Messung sicherzustellen.

Der Spritzbelag wurde im Bezug zur Blattfrischmasse ermittelt. Damit war es möglich, die einzelnen Applikationsverfahren untereinander zu vergleichen. Dies erfolgte über die Umrechnung auf den Farbstoffbelag einer durchschnittlichen Zuckerrübe. Es wurde ein linearer Zusammenhang zwischen Belagsmasse und Blattfrischmasse angesetzt. Auch wurde der theoretische Spritzbelag auf einem Quadratmeter der Bodenoberfläche ermittelt und über den durchschnittlichen Blattdeckungsgrad berechnet, in welchem Verhältnis dieser zum Spritzbelag der Applikationen steht.

Abb. 10: Extinktionskurve bei 30 µg/ml Nigrosin



### Bestimmung der Abdrift

Bei der Standardisierung wurde mit dem gleichen Messverfahren versucht, die potentielle Abdrift der verschiedenen Applikationsverfahren zu bestimmen. Dazu wurden 10 cm schmale Streifen des Trägermaterials rechts und links von der Bahn zur Standardisierung ausgelegt. Der Abstand zur äußersten Düse, bei der Unterblattspritze zur Mitte des äußeren Düsenpaares, betrug 125 und 250 cm. Für die Messung wurden etwa 5 m lange Streifen eingesetzt.

Die Auswertung des Spritzbelags erfolgte nach dem bekannten Verfahren. Zusätzlich wurden die Proben mit dem Flachbettscanner Epson Perfection V200 Photo bei einer Auflösung von 600 ppi digitalisiert und als Grafik mit 8-bit Graustufen über DepositScan ausgewertet.

### Anbringung von Schleifkufen an die „Lechler Droplegs“

Einleitende Versuche zur Höhenführung der Droplegs über die Bodenoberfläche wurden mit zwei provisorischen Schleifkufen durchgeführt, die an jeweils einem Spritzbein befestigt wurden.

Die erste Konstruktion basierte auf einem einfachen Gewebeschlauch von 3/4 Zoll. Dieser wurde oben aufgeschnitten, um die Schleifkufe der Droplegs gelegt und mit Schlauchschellen befestigt. Die Krümmung der Schleifkufe aus Gewebeschlauch erfolgte durch Einsatz eines gebogenen Kupferröhrchens in den Schlauch. Bei Auflage der Schleifkufe auf der Bodenoberfläche betrug die Spritzhöhe etwa 10 cm. Das Gewicht der gesamten Konstruktion lag bei 518 g.

Auch die zweite Konstruktion der Schleifkufe wurde aus Gewebeschlauch und Kupferröhrchen erstellt. Im Gegensatz zum ersten Versuch wurden zwei Kufen im Abstand von etwa 20 cm angebracht. Diese wurden mit Kreuz- und Bogenstücken von Wasserleitungen und weiteren Stücke von Gewebeschlauch ebenfalls im unteren Bereich des Droplegs angebracht. Die Spritzhöhe der Konstruktion lag ebenfalls bei etwa 10 cm. Das Gesamtgewicht erhöhte sich auf etwa 980 g.

Beide Verfahren wurden in dreifacher Wiederholung mit dem oben dargestellten Messverfahren untersucht. Als Standardverfahren diente die Applikation mit „Lechler Droplegs“ in einer Spritzhöhe von 12 cm. Die Auswertung erfolgte nach dem bekannten bildanalytischen Verfahren.

### Einstellung der Düsen an der „Schmotzer Unterblattspritze“

Die Applikationsqualität der Unterblattspritze ist stark von der Einstellung der Düsen abhängig. Daher wurde in dreifacher Wiederholung ein leicht modifiziertes Applikationsverfahren untersucht, bei dem der Abstand zwischen den Düsen einer Spritzeinheit auf 12 cm vergrößert wurde. Bei dieser Einstellung prallte der Spritzstrahl direkt auf den Spritzschirm. Daher wurde auch der Anstellwinkel der beiden Düsen verändert: Dieser wurde auf 30° nach hinten erhöht.

Auch die Auswertung dieser Versuche erfolgte nach den üblichen Methoden. Zur Standardisierung wurde die oben aufgeführte Applikation mit der „Schmotzer Unterblattspritze“ verwendet.

## **6 Ergebnisse**

Die Ergebnisse der Versuche werden auf den folgenden Seiten zusammengefasst und beispielhaft erläutert. Eine umfassende Aufstellung der Messwerte, einschließlich der grafischen Darstellung ist im Anhang zu finden. Die Daten zur Witterung während der Versuche liefert die Grafik A19.

### **6.1 Verhältnis von feld- und bereichsbezogenem Blattdeckungsgrad**

Der feldbezogene Blattdeckungsgrad und der Blattflächenanteil im Messbereich stehen im direkten Zusammenhang. Bei einem Reihenabstand der Zuckerrüben von 50 cm gelten für den feldbezogenen Blattdeckungsgrad ( $BDG_{50}$ ), abhängig vom Blattdeckungsgrad in einem Messbereich mit einer Breite von 45 cm ( $BDG_{45}$ ), beziehungsweise 40 cm ( $BDG_{40}$ ), die folgenden Formeln:

$$BDG_{50} = 1.083 \times BDG_{45} - 0.085 \quad (R^2 = 0.997)$$

$$BDG_{50} = 1.083 \times BDG_{40} - 0.176 \quad (R^2 = 0.994)$$

### **6.2 Standardisierung**

Die Standardisierung der verschiedenen Applikationsverfahren erfolgte an drei Versuchstagen. Die Ergebnisse der Bildanalyse sind in den Abbildungen A1 bis A4 aufgeführt. Unterschiede zwischen den Applikationsverfahren bestehen sowohl im absoluten Belagsdeckungsgrad, als auch bei der Quer- und Längsverteilung und dem prozentualen Anteil unter- und überdosierter Bereiche. Der  $aSDG_{50}$  und der  $rGVK_{50}$  der Standardisierung aller Verfahren wird in Abbildung 11 dargestellt. Die mit DropSense ermittelten Messwerte zum absoluten Belagsdeckungsgrad weichen weniger als 5% von den Berechnungen der Bildanalyse ab. Diese Ergebnisse sind in Tabelle A11 gelistet.

#### **6.2.1 Flächenapplikation mit Flachstrahldüsen (SF)**

Das Spritzbild der Standardisierung und die berechneten Werte sind in Abbildung A1 dargestellt. Der durchschnittliche absolute Belagsdeckungsgrad ( $aSDG_{50}$ ) auf einer 500 x 50 cm großen Messfläche beträgt 48,02%. Der Variationskoeffizient über die vollständige Messfläche ( $rGVK_{50}$ ) liegt bei 8,77%. Für den Variationskoeffizienten in ( $rLVK_{50}$ ) und quer zur Fahrtrichtung ( $rQVK_{50}$ ) ergeben sich 5,05% und 2,18%. Es werden 74,82% des Gesamtbereichs korrekt ( $aSDG_{50} \pm 10\%$ ) und 97,57% der Rasterquadrate fast korrekt ( $aSDG_{50} \pm 20\%$ ) appliziert. Die maximalen Abweichungen vom durchschnittlichen Belagsdeckungsgrad liegen bei 31,05%.

#### **6.2.2 Flächenapplikation mit Doppelflachstrahldüsen (DF)**

Die wichtigsten Werte und das Spritzbild zum Applikationsverfahren sind in Abbildung A2 abgebildet. Der absolute Belagsdeckungsgrad beträgt durchschnittlich 39,35%. Der  $rGVK_{50}$  beträgt 9,80%, der  $rLVK_{50}$  liegt bei 7,35% und der  $rQVK_{50}$  bei 1,88% aus. 68,70% der Messfläche werden korrekt appliziert, außerhalb eines Intervalls von 80-120% des  $aSDG_{50}$  liegen weniger als 3,92% der Fläche.

### 6.2.3 Unterblattapplikation mit „Lechler Droplegs“ (DL)

Die Standardisierung der Unterblattapplikation mit Droplegs wurde, ebenso wie die Versuche, in Spritzhöhen von 12 cm und 16 cm durchgeführt. Die Ergebnisse und die digitalisierten Spritzbilder beider Standardverfahren werden in den Abbildungen A3 und A4 zusammenfassend dargestellt. Auch die Veränderung der Messwerte durch die Optimierung wird aufgeführt.

Die Spritzbilder der beiden Standardisierungen unterscheiden sich in der absoluten Belagsbildung und der Verteilungsqualität. Es wird deutlich, dass auch die Querverteilung nicht konstant bleibt: Das gesamte Verteilungsprofil schwankt während der Applikation um eine gedachte Mittellinie.

#### Applikation in einer Spritzhöhe von 12 cm (DL1)

Der durchschnittliche absolute Belagsdeckungsgrad in einer Spritzhöhe von 12 cm beträgt 49,66%, der Gesamtvariationskoeffizient 42,58%. Während der Variationskoeffizient der Querverteilung mit 40,92% sehr hoch ist, bleibt der  $rLVK_{50}$  mit 6,47% relativ gering. Der  $aSDG$  beträgt im mittleren Bereich etwa 70-80%, im Randbereich nur 20-40%, weist also auf eine Dreiecksverteilung hin. Bei absoluter Berechnung ist der prozentuale Anteil der korrekt oder fast korrekt applizierten Rasterquadrate mit nur 25,00% gering. In einem Intervall von 60-140% des  $aSDG_{50}$  liegen bereits 51,73%. 5,70% der Messfläche weisen einen absoluten Belagsdeckungsgrad unter 40% des  $aSDG_{50}$  auf.

Betrachtet man statt dieser Werte die optimierte Verteilung der Standardisierung, verringert sich der Variationskoeffizient der Gesamtverteilung auf 18,53%. Der  $oLVK_{50}$  beträgt weiterhin 7,83%, aber der  $oQVK_{50}$  sinkt auf 9,84%. Die starke Überdosierung in der Mitte des Spritzbildes und die Unterdosierung im Randbereich werden nicht mehr erfasst. Rasterquadrate, die mit weniger als 40% des optimierten Standarddeckungsgrads ( $oSDG_{50}$ ) bedeckt werden, treten nach der erneuten Berechnung nicht mehr auf. Der Anteil der fast korrekt applizierten Flächen steigt auf 72,26%.

#### Applikation in einer Spritzhöhe von 16 cm (DL2)

Die Standardisierung in einer Spritzhöhe von 16 cm ist mit den aufgeführten Ergebnissen zu vergleichen: Der absolute Belagsdeckungsgrad liegt mit 53,61% höher, der  $rGVK_{50}$  mit 30,00% aber deutlich geringer als in einer Spritzhöhe von 12 cm. Grund dafür ist eine gleichmäßigere Querverteilung mit einem  $rQVK_{50}$  von 28,36%. Die Belagswerte im Randbereich liegen etwa 35% höher als beim oben aufgeführten Verfahren. Der Anteil fast korrekt behandelte Flächen beträgt 35,43%. Der geringste absolute Belagsdeckungsgrad, der in einem Rasterquadrat ermittelt werden kann, liegt bei 19,07%, der höchste Messwert bei 160,07% der durchschnittlichen Belagsbildung.

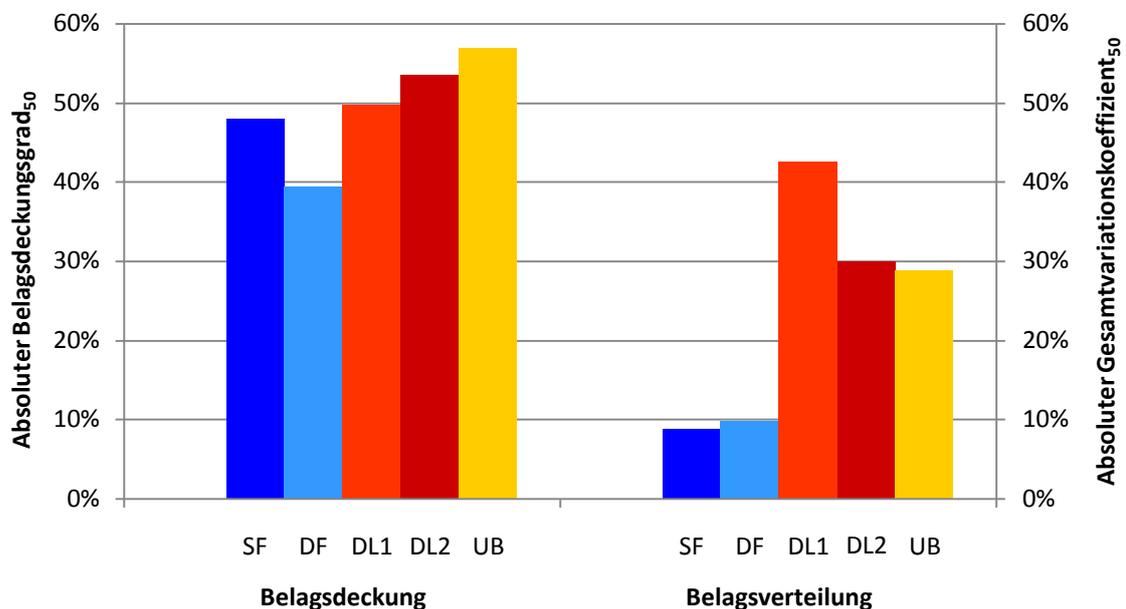
Auch bei der Applikation in einer Spritzhöhe von 16 cm werden durch die Optimierung der Berechnung die Messwerte des Verfahrens deutlich verbessert: Der  $oGVK_{50}$  sinkt auf 14,89% und der  $oQVK_{50}$  sogar auf 8,19%. Die optimierte Berechnung ergibt einen Anteil von 84,05% fast korrekt applizierter Flächen. Für das Minimum des optimierten Belagsdeckungsgrads ( $oSDG_{50}$ ) in einem Rasterquadrat wird 33,00% ermittelt. Auch der maximal erfasste Belag erhöht sich auf 177,09%.

### 6.2.4 Unterblattapplikation mit „Schmotzer Unterblattspritze“ (UB)

Die Standardisierung der „Schmotzer Unterblattspritze“ wird in Abbildung A5 dargestellt. Bei der Berechnung wurde ein durchschnittlicher absoluter Belagsdeckungsgrad von 56,93% ermittelt. Der  $rGVK_{50}$  des Spritzbildes liegt bei 28,93%. Auch bei diesem Verfahren übersteigt der Variationskoeffizient der Querverteilung mit 27,43% die Variation in Fahrtrichtung deutlich. Das Spritzbild eines Düsenpaares bildet gemeinsam eine abgerundete Dreiecks- oder Trapezverteilung. Allerdings beträgt der  $aSDG_{50}$  auch in den Randbereichen über 40%. Dies entspricht etwa 60% des durchschnittlichen relativen Belagsdeckungsgrads ( $rSDG_{50}$ ). Der Anteil korrekt oder fast korrekt applizierter Rasterquadrate liegt bei nur 24,76%. In einem Intervall von 60-140% des durchschnittlichen  $aSDG_{50}$  liegen aber über 83,31% der gesamten Messfläche.

Der durchschnittliche optimierte Belagsdeckungsgrad der Standardisierung ( $oSDG_{50}$ ) beträgt, bedingt durch die Spiegelung der ermittelten Querverteilung, nicht 100%, sondern 103,68%. Der  $oGVK_{50}$  verringert sich auf 14,41%. Der Variationskoeffizient der Querverteilung beträgt nach der Optimierung nur noch 6,95%. In einem Intervall von 80-120% des  $oSDG_{50}$  liegen 83,61% der Messfläche. Dies entspricht etwa der Verteilungsqualität beider untersuchten Flächenapplikationen. Die Dreiecksverteilung der Düsenpaare wird nach der erneuten Berechnung nicht mehr erfasst.

Abb. 11: Ergebnisse zur Belagsbildung der Standardisierung



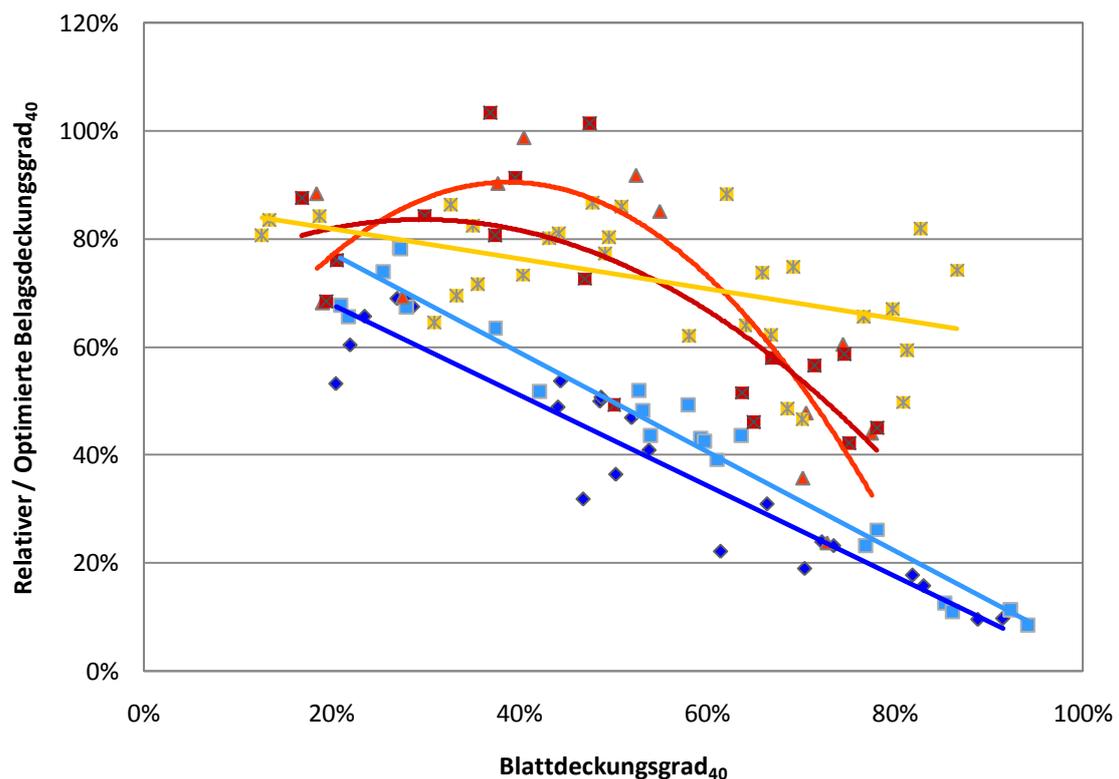
- ◆ Flächenapplikation mit Flachstrahldüsen (SF)
- Flächenapplikation mit Doppelflachstrahldüsen (DF)
- ▲ Unterblattapplikation mit Lechler Dropleg in 12 cm (DL1)
- Unterblattapplikation mit Lechler Dropleg in 16 cm (DL2)
- Unterblattapplikation mit Schmotzer Unterblattspritze (UB)

### 6.3 Zielflächenverteilung zwischen den Reihen

Die Ergebnisse aller Messungen zur Zielflächenverteilung sind im Anhang in Tabelle A1 bis A10 aufgelistet. Bildlich dargestellt werden die Versuche in den Abbildungen A6 bis A15. Die Auswertung innerhalb eines Messbereichs von 60 x 45 cm, bei dem nur 5 cm für die Reihen ausgespart wurden, war nur im frühen Entwicklungsstadium der Zuckerrüben möglich. Bei späteren Messungen wurde Trägermaterial mit einer Breite von 40 cm ausgelegt. Die Darstellung und Diskussion beschränkt sich daher auf die Ergebnisse der Auswertung eines 60 x 40 cm großen Messbereichs.

Die Abhängigkeit der Applikationsqualität vom Blattdeckungsgrad der Zuckerrüben wird bei allen Applikationsverfahren deutlich. Zwischen den eingesetzten Geräten und Düsen bestehen große Unterschiede, die sowohl den relativen oder optimierten Belagsdeckungsgrad, als auch die Verteilungsqualität betreffen. Besonders zu erwähnen ist der Anteil nicht oder kaum bedeckter Flächen.

Abb. 12: Ergebnisse zur Zielflächenverteilung zwischen den Reihen



- ◆ Flächenapplikation mit Flachstrahldüsen (SF)
- Flächenapplikation mit Doppelflachstrahldüsen (DF)
- ▲ Unterblattapplikation mit Lechler Dropleg in 12 cm (DL1)
- Unterblattapplikation mit Lechler Dropleg in 16 cm (DL1)
- Unterblattapplikation mit Schmotzer Unterblattspritze (UB)

### 6.3.1 Flächenapplikation mit Flachstrahldüsen (SF)

Bei der Flächenbehandlung mit Flachstrahldüsen wurden insgesamt 24 Messungen an 4 Versuchstagen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den Tabellen A1 und A2 dargestellt und werden in der Abbildung A6 zusammengefasst. Abbildung A7 zeigt einige Beispiele für die Belagsbildung.

Der relative Belagsdeckungsgrad im Messbereich nimmt mit dem Blattdeckungsgrad der Zuckerrüben ab. Das kann mit recht hoher Genauigkeit durch eine lineare Funktion dargestellt werden:

$$rSDG_{40} = -0.837 \times BDG_{40} + 0.845 \quad (R^2 = 0.889)$$

Auffällig ist der Unterschied in der Belagsbildung zwischen und unter den Blättern. Der durchschnittliche  $rSDG_{40}$  in den blattfreien Zonen liegt deutlich über dem Mittelwert des gesamten Messbereiches und nimmt ähnlich diesem linear ab. Hingegen treten im Blattschatten auch bei geringem Blattdeckungsgrad bereits eine starke Unterdosierung auf: Der mittlere Spritzbelag in diesem Bereich liegt dauerhaft unterhalb von 40% des durchschnittlichen  $aSDG_{50}$  des Standards.

Während der Belagsdeckungsgrad mit der Entwicklung der Zuckerrüben abnimmt, steigt der Variationskoeffizient linear an: Bereits bei einem Blattdeckungsgrad von etwa 20% liegt der  $rGVK_{40}$  bei 40%. Mit zunehmender Entwicklung des Bestandes steigt er auf über 80% an. Deutlich zu erkennen ist der Unterschied zwischen der Quer- und Längsverteilung: Der  $rQVK_{40}$  bleibt unabhängig vom Blattdeckungsgrad mit etwa 40% fast konstant, weist aber eine recht hohe Streuung der einzelnen Werte auf. Der Variationskoeffizient in Fahrtrichtung steigt von 20% auf etwa 50% an.

Der Anteil der Messfläche, der einen Belagsdeckungsgrad in einem bestimmten Intervall aufweist, kann nur bedingt in eine lineare Funktion mit Bezug auf den Blattdeckungsgrad übertragen werden. Einzig für den Anteil nicht und kaum bedeckter Bereiche ergibt sich mit hoher Genauigkeit:

$$rSDG_{40}(0 - 20\%) = 1.025 \times BDG_{40} - 0.215 \quad (R^2 = 0.826)$$

Bei einem Blattdeckungsgrad von 80% liegt deren Anteil bei etwa 60%. Auch der Anteil stark unterdosierter Bereiche ( $rSDG_{40} = 20-40\%$ ) steigt mit dem  $BDG_{40}$  an. Gleichzeitig ist für alle anderen Intervalle ( $rSDG_{40} > 40\%$ ) eine deutliche Abnahme zu verzeichnen. Messbereiche, in denen eine korrekte oder fast korrekte Dosierung erfolgt, treten bei einem  $BDG_{40}$  von 80% nicht mehr auf. Schon bei einem Blattdeckungsgrad von 40% sinkt der Anteil auf unter 20%. Zwischen den einzelnen Messungen besteht zwar eine hohe Streuung, die Entwicklungstendenz ist aber eindeutig.

Bereits aus der Bestimmung des durchschnittlichen Spritzbelags wird ersichtlich, dass die Dosierung im Blattschatten geringer ausfällt als zwischen den Blättern der Zuckerrüben. Der Anteil der verschiedenen Intervalle des Belagsdeckungsgrads bestätigt dieses Ergebnis: Bereits bei einem  $BDG_{40}$  von nur 20% beträgt der Anteil der nicht oder kaum bedeckten Flächen an der gesamten Fläche unter den Blättern bis zu 40%. Bereiche mit korrekter Belagsbildung sind im Blattschatten fast nicht zu erfassen, selbst wenn die Zonen, die unbedeckt liegen, ausreichend dosiert werden.

### 6.3.2 Flächenapplikation mit Doppelflachstrahldüsen (DF)

Die Untersuchung der Applikationen mit Flachstrahl- und Doppelflachstrahldüsen erfolgten nach dem gleichen Konzept. Auch hier wurden 23 Trägermaterialien ausgewertet. Die Ergebnisse sind in Abbildung A8 zusammengestellt und in Abbildung A9 beispielhaft dargestellt.

Der durchschnittliche relative Belagsdeckungsgrad nimmt bei Flächenapplikationen linear mit dem Blattdeckungsgrad ab. Bei der Applikation mit Doppelflachstrahldüsen liegt der  $rSDG_{40}$  bei geringem Blattdeckungsgrad etwa 10, bei höherem  $BDG_{40}$  noch 5 Prozentpunkte über der relativen Belagsdeckung von Flachstrahldüsen. Die entsprechende Funktion der Belagsbildung ist:

$$rSDG_{40} = -0.918 \times BDG_{40} + 0.957 \quad (R^2 = 0.955)$$

Auch bei diesem Verfahren ist der Belagsdeckungsgrad unter den Blättern geringer als zwischen den Zuckerrüben. Dieser Effekt ist schwächer ausgeprägt als beim Einsatz von Flachstrahldüsen: Bei geringem  $BDG_{40}$  ist die relative Belagsdeckung im Blattschatten fast 30% höher als bei der Verwendung von Flachstrahldüsen. Erst ab einem  $BDG_{40}$  von 80% besteht kein Unterschied mehr.

Applikationen mit Doppelflachstrahldüsen besitzen, unabhängig vom Blattdeckungsgrad, einen geringeren Variationskoeffizienten. Zwar liegt der  $rQVK_{40}$  mit etwa 40% auf dem gleichen Niveau, doch ist die Qualität der Längsverteilung deutlich besser: Selbst bei einem Blattdeckungsgrad von über 80% bleibt der  $rLVK_{40}$  meist unter 40%, gegenüber 60% beim Einsatz von Flachstrahldüsen.

Deutlich wird der Unterschied beim Anteil unterdosierter Flächen am gesamten Messbereich: Zwar steigt auch bei der Applikation mit Doppelflachstrahldüsen der Anteil nicht oder kaum bedeckter Flächen bei höherem Blattdeckungsgrad an, bleibt aber bis zu einem  $BDG_{40}$  von 60% unter 20%. Erst bei noch höherem Blattflächenanteil nimmt der Anteil deutlich zu. Besser als durch eine lineare Funktion lässt sich dieser Verlauf über die folgende polynomische Funktion darstellen:

$$rSDG_{40}(0 - 20\%) = 2.566 \times BDG_{40}^2 - 1.793 \times BDG_{40} + 0.353 \quad (R^2 = 0.960)$$

Bei der Applikation mit Doppelflachstrahldüsen wird der Anteil nicht oder kaum bedeckter Bereiche im Blattschatten der Zuckerrüben verringert: Bis zu einem Blattdeckungsgrad von 60% werden nur 20% dieser Fläche mit weniger als 1/5 der applizierten Dosis belegt. Bei Einsatz von Flachstrahldüsen sind es deutlich über 40%. Auch zwischen den Blättern ist der Anteil nicht oder kaum bedeckter Bereiche bis zu einem  $BDG_{40}$  von etwa 60% geringer als bei Applikationen mit Flachstrahldüsen: Diese umfassen nur selten mehr als 10% der Messfläche. Schwankungen zwischen den verschiedenen Messungen treten auch bei der Auswertung dieser Applikationsreihen auf.

Bei den beiden untersuchten Verfahren zur Flächenapplikation verringert sich der Unterschied der Belagsbildung im Blattzwischenraum und Blattschatten mit zunehmendem Blattdeckungsgrad. Erst bei einem  $BDG_{40}$  von über 80% gleichen sich die Werte für die Belagsbildung an. Der relative Belagsdeckungsgrad beträgt in einem solchen Bestand aber nur noch etwa 10-20% des Standards.

### 6.3.3 Unterblattapplikation mit „Lechler Droplegs“ (DL)

Die Unterblattspritzung mit „Lechler Droplegs“ wurde in verschiedenen Spritzhöhen durchgeführt. Bei einer Spritzhöhe von 12 cm wurden 15 Messungen, in 16 cm Spritzhöhe wurden 17 Messungen ausgewertet. Dargestellt werden nur die Ergebnisse der optimierten Belagsdeckung.

#### Applikation in einer Spritzhöhe von 12 cm (DL1)

Die Ergebnisse der bildanalytischen Auswertung sind in den Tabellen A5 und A6 dargestellt. Abbildung A10 stellt eine grafische Zusammenfassung der Ergebnisse zur optimierten Belagsbildung dar. Die Abbildung A11 zeigt Beispiele für Spritzbilder bei verschiedenem Blattdeckungsgrad.

Die Veränderung der optimierten Belagsdeckung bei Unterblattapplikationen mit Spritzrohren unterscheidet sich deutlich von den Ergebnissen der Flächenbehandlungen: Zwar wird auch bei diesem Verfahren eine Abnahme des Belagsdeckungsgrad mit steigendem Blattdeckungsgrad beobachtet, diese fällt aber geringer aus. Selbst bei einem  $BDG_{40}$  von 80% beträgt der  $oSDG_{40}$  noch über 40%. Bei einem  $BDG_{40}$  von 30 bis 60% erreicht der optimierte Belagsdeckungsgrad nicht selten Werte von 80% der Standardisierung. Allerdings erreicht auch bei einem Blattdeckungsgrad von unter 20% nicht die gesamte Dosis die Zielfläche. Daher lässt sich die Entwicklung des optimierten Belagsdeckungsgrads im Bestand nur durch eine polynomische Funktion gut darstellen:

$$oSDG_{40} = -3.858 \times BDG_{40}^2 + 2.995 \times BDG_{40} + 0.323 \quad (R^2 = 0.709)$$

Auch bei der Unterblattapplikation mit „Lechler Droplegs“ bestehen Unterschiede zwischen den Bereichen unter und zwischen den Blättern der Zuckerrüben: Diese Differenz beträgt aber nur etwa 10 Prozentpunkte und nimmt mit steigendem Blattdeckungsgrad ab. Die Belagsverteilung ist kaum abhängig von der Blattverteilung. Der Bereich im Blattschatten wird im Verhältnis deutlich stärker belegt, als bei allen Flächenapplikationen. Bei hohem Blattdeckungsgrad kann ein ständiger Wechsel von unter- und überdosierten Zonen entlang der Fahrtrichtung festgestellt werden.

Die optimierte Belagsverteilung verhält sich gegensätzlich zum Belagsdeckungsgrad: Bei einem Blattdeckungsgrad zwischen 30 und 60% liegt der  $oGVK_{40}$  unter 40%, bei geringerem  $BDG_{40}$  steigt er leicht, ab einem  $BDG_{40}$  von 70% aber deutlich an. Mit einem Gesamtvariationskoeffizient von über 70% ist die Verteilungsqualität in einem entwickelten Bestand nicht besser als bei Flächenapplikationen. Auch bei diesem Verfahren bleibt die Qualität der Querverteilung in etwa konstant.

Die Änderung der Verteilungsqualität wird auch in den Histogrammen zur Über- und Unterdosierung ersichtlich. Bei einem Blattdeckungsgrad von 30 bis 60% entspricht die Belagsverteilung fast dem Standard. Der Messflächenanteil mit einer Dosierung unter 60% liegt bei 10%. Bei geringem Blattdeckungsgrad wird unter den Blättern ein erhöhter Anteil von nicht oder kaum bedeckten Bereichen erfasst. Bei einem  $BDG_{40}$  über 60% steigen die Schwankungen zwischen den Messungen deutlich an: Der Anteil an nicht oder kaum bedeckten Flächen kann weniger als 10% aber auch bis 60% betragen. Bei einzelnen Applikationen treten starke Überdosierungen von bis zu 290% auf.

### Applikation in einer Spritzhöhe von 16 cm (DL2)

Die bildanalytisch ermittelten Belagswerte dieses Applikationsverfahrens sind in den Tabellen A7 und A8 dargestellt. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse liefert Abbildung A12. Beispiele für die Spritzverteilung der Unterblattbehandlung mit Spritzrohren werden in Abbildung A13 präsentiert.

Der Unterschied zwischen den Applikationen in einer Spritzhöhe von 12 cm und 16 cm ist, verglichen mit den Ergebnissen, die bei anderen Verfahren auftreten, nur gering. Daher beschränkt sich die Darstellung der Ergebnisse auf den Vergleich der Werte zur Variante mit geringerer Spritzhöhe.

Der Kurvenverlauf der optimierten Belagsdeckung ist bei einer Spritzhöhe von 16 cm etwas flacher, die Differenz zwischen dem Deckungsgrad zwischen und unter den Blättern bei geringem Blattdeckungsgrad hingegen etwas größer. Die Formel zur Beschreibung der  $oSDG_{40}$  weist eine schlechtere Regression auf, es treten also größere Schwankungen zwischen den Messungen auf:

$$oSDG_{40} = -1.823 \times BDG_{40}^2 + 1.080 \times BDG_{40} + 0.676 \quad (R^2 = 0.590)$$

Die Verteilungsqualität der Applikation in 16 cm Spritzhöhe ist bis zu einem Blattdeckungsgrad von 60% etwas geringer, folgt aber sonst dem gleichen Verlauf. Auch der Anteil unter- und überdosierter Bereiche an der Messfläche ist kaum abhängig von der Spritzhöhe dieser Applikationen. Bei einem Blattdeckungsgrad von 30 bis 60% treten starke Unterdosierungen etwas häufiger auf.

### Seiten- und Höhenführung

Bei beiden Applikationsverfahren mit Spritzrohren treten deutliche Variationen im Spritzbild auf, die überwiegend auf die Bewegung der Spritzrohre zurückzuführen sind. Beispiele für die Vielfalt der Belagsverteilung liefern die in Abbildung A11 und A13 dargestellten Spritzbilder.

Der Verlauf der einzelnen Zungendüsen über dem Trägermaterial lässt sich im Spritzbild erfassen. Es treten verschiedenste Variationen von Kurven, Diagonalen und seitlich versetzten Bahnen auf. Die Seitenführung der Droplets wird sowohl durch die Position des Spritzgestänges über dem Bestand, als auch durch die Bewegungen der Spritzrohre beeinflusst. Die Intensität der Abweichungen ist abhängig vom Fahrverhalten und dem Kontakt der Spritzrohre mit den Zuckerrüben.

Bei hohem Blattdeckungsgrad treten neben Quer- auch Längsbewegungen der Spritzrohre auf: Die Droplets bleiben im dichten Zuckerrübenblatt hängen und schnellen anschließend in ihre Position zurück. Auch das Pendeln in Fahrtrichtung lässt sich am Spritzbild erkennen. Dies äußert sich in einem Wechsel von über- und darauf folgend unterdosierten Bereichen.

An dritter Stelle sind Veränderungen der Spritzhöhe zu nennen: Auch bei exakter Einstellung der jeweils angestrebten Spritzhöhe vor der Applikation, veränderte sich der Abstand zwischen Düse und Trägermaterial bei der Durchführung. Sowohl geringere, als auch höhere Abstände traten auf. Im Spritzbild verändert sich die Bandbreite des überdosierten Bereiches unterhalb des Droplets.

### 6.3.4 Unterblattapplikation mit „Schmotzer Unterblattspritze“ (UB)

Insgesamt wurden 54 Messungen bei Applikationen mit der „Schmotzer Unterblattspritze“ durchgeführt. Davon konnte nur die Hälfte für die Auswertung genutzt werden, da durch einen technischen Defekt eine Vielzahl der Messungen verfälscht wurden. Auch wurden insgesamt 6 Trägermaterialien durch die Schleifkufen zerstört. Die Behandlungen fanden an 3 verschiedenen Versuchstagen statt, die nicht immer mit den Terminen der anderen Messungen übereinstimmen.

Bei der Bewertung der Ergebnisse ist zu beachten, dass die Einstellung der Unterblattspritze nicht optimal war und die Blattheber statt über den Boden zu schleifen über das Gerät geführt wurden.

Auch bei diesem Applikationsverfahren werden nur die optimierten Werte in einem Messbereich von 40 x 60 cm besprochen. Die Ergebnisse der Berechnung sind in den Tabellen A9 und A10 aufgelistet, eine Übersicht zur optimierten Belagsbildung liefert die Abbildung A14. Mehrere Beispiele für die Spritzverteilung bei steigendem Blattdeckungsgrad sind in Abbildung A15 dargestellt.

Der Belagsdeckungsgrad sinkt bei Unterblattapplikationen mit der „Schmotzer Unterblattspritze“ auch bei hohem Blattdeckungsgrad nur gering: Selbst bei einem  $BDG_{40}$  von über 80% übersteigt der  $oSDG_{40}$  meist 60%. Der Belagsdeckungsgrad unter den Zuckerrübenblättern weicht von der Belagsbildung auf der gesamten Zielfläche oder zwischen den Blättern kaum ab. Die Streuung der einzelnen Proben ist zwar recht hoch, lässt sich aber über diese lineare Funktion darstellen:

$$oSDG_{40} = -0.275 \times BDG_{40} + 0.876 \quad (R^2 = 0.246)$$

Die Verteilungsqualität ist bei Applikationen mit der „Schmotzer Unterblattspritze“ deutlich höher als bei Flächenspritzungen und auch höher als beim Einsatz der „Lechler Droplegs“. Der Variationskoeffizient der Gesamtverteilung steigt im Verlauf der Bestandsentwicklung von unter 20% auf etwa 30% an. Auch die ermittelten Werte für die Längs- und Querverteilung liegen bei unter 20%.

Veränderungen des Belagsdeckungsgrads äußern sich auch im Anteil der Flächen mit Über- und Unterdosierung. Der prozentuale Anteil der Zielfläche, der deutlich unterdosiert wird, also einen Belagsdeckungsgrad von weniger als 60% des optimierten Durchschnittswertes aufweist, liegt zwischen 10 und 80%. Nicht oder kaum bedeckte Flächen nehmen bei allen untersuchten Proben weniger als 20% der Zielfläche ein. Unterschiede zwischen Blattzwischenraum und Blattschatten wurden in dieser Untersuchung kaum erfasst.

#### Seiten- und Höhenführung

Auch bei Einsatz der „Schmotzer Unterblattspritze“ traten deutliche Variationen im Spritzbild der einzelnen Applikationen auf. Bei einigen Messungen ist das Zentrum der Überdosierung um bis zu 10 cm gegenüber der Mittellinie der Zielfläche verschoben. Auch die Breite des überdosierten Bandes kann zwischen 20 und 30 cm schwanken. Dies bildet den Verlauf der Überfahrt und die Spritzhöhe ab. Über- und Unterdosierungen in Fahrtrichtung werden hingegen kaum festgestellt.

### 6.3.5 Effekt der Blattstellung

Bei der Auswertung der Versuche wird deutlich, dass die Zielflächenverteilung nicht nur durch den Blattdeckungsgrad, sondern auch durch die Dichte und die Stellung der Blätter beeinflusst wird. Bei den Applikationen am 29.05.12 war diese, bedingt durch den geringen Entwicklungsstand der Zuckerrüben noch recht flach, am 05.05.12 und 15.05.12, dem zweiten und dritten Versuchstag, hingegen eher steil. Ab dem 23.06.12 setzte sich der Blattapparat der Zuckerrüben, bedingt durch den höheren Entwicklungsstand, aus hochstehenden und niederliegenden Blättern zusammen.

Bei Flächenapplikationen äußert sich der Effekt der Blattstellung im Verhältnis der Belagsbildung zwischen und unter den Blättern: Der Bereich unter den Blättern wird besser bedeckt, wenn der Blattapparat der Zuckerrüben aufrecht steht. Bei flach liegenden Blättern, sei es im frühen oder späten Entwicklungsstadium, treten deutliche Spritzschatten auf. Dies gilt für beide Düsentypen.

Applikationen mit dem „Lechler Dropleg“ werden stärker durch die Blattstellung beeinflusst, als alle anderen Applikationsverfahren: Bei aufrechter Blattstellung treten selten Spritzschatten auf. Auch der Belagsdeckungsgrad ist unter diesen Bedingungen deutlich höher als an Versuchstagen, an denen die Zuckerrüben einen hohen Anteil an flach liegenden Blättern aufweisen.

Die Zielflächenverteilung der „Schmotzer Unterblattspritze“ wird nur durch sehr flach liegende Blätter beeinträchtigt. Diese werden durch die angebrachten Blattheber nicht mehr angehoben und bilden ein Hindernis zwischen der Zielfläche und dem Spritzstrahl der Schrägstrahldüsen.

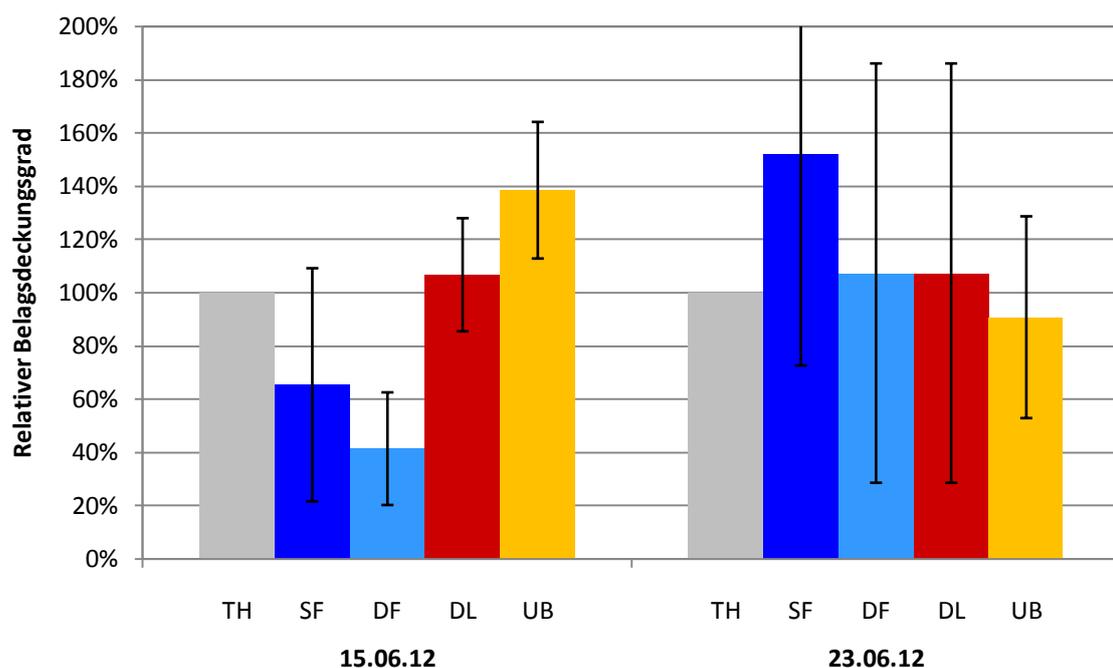
#### **6.4 Zielflächenverteilung in den Reihen**

Messungen zur Zielflächenverteilung in den Reihen erfolgten an zwei Versuchstagen im Abstand von acht Tagen. Für jedes Applikationsverfahren wurden zwei Proben je Versuchstag genommen. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse wird in Abbildung 13 dargestellt.

Häufig weicht der Belagsdeckungsgrad in den Reihen deutlich vom durchschnittlichen Belagsdeckungsgrad zwischen den Reihen ab. Allerdings treten auch insgesamt große Schwankungen auf: Auf einzelnen Trägermaterialien werden unter 25% oder über 200% der erwarteten Belagsfläche gemessen. Diese starken Abweichungen vom durchschnittlichen Belagsdeckungsgrad treten aber auch bei der Zielflächenverteilung zwischen den Reihen auf: Die Ergebnisse werden stark durch die Verteilung von einzelnen Bestandteilen des Blattapparats beeinflusst.

Bei der Untersuchung der Unterblattapplikationen werden geringere Abweichungen festgestellt als bei den Flächenbehandlungen. Bei Applikationen oberhalb des Blätterdachs ist der Effekt der Blattverteilung über dem Trägermaterial deutlich stärker ausgeprägt. Zum ersten Termin, bei einem Blattdeckungsgrad von 76,57%, ist die Belagsbildung in der Reihe geringer als zwischen den Reihen, da auch das Blattwerk in diesem Bereich sehr dicht war. Zum zweiten Termin hatte sich die Zuckerrübe bereits so stark entwickelt, dass es nicht immer möglich war, das Trägermaterial zwischen zwei exakt abgelegten Zuckerrüben zu platzieren. Stattdessen wurde die vorgeleimte Tapete an Zuckerrüben abgelegt, die neben einer Fehlstelle stehen. Bei diesen Messungen wurde häufig ein deutlich höherer Belagsdeckungsgrad ermittelt.

Abb. 13: Ergebnisse zur Zielflächenverteilung in den Reihen



### 6.5 Tropfenspektrum von Flächenapplikationen

Die Ergebnisse der Analyse des Tropfenspektrums sind in Tabelle A11 aufgelistet. Untersucht wurde das Trägermaterial aus Versuchen mit Flachstrahl- und Doppelflachstrahldüsen. Die über DepositScan erfassten Werte wurden mit Laser-Doppler-Tropfengrößen-Messungen verglichen.

Die Tropfengrößenanalyse von IDKN-120-03-Düsen ergibt einen durchschnittlichen MVD von 1111  $\mu\text{m}$  mit einem Variationskoeffizient von 13,70%. Dieser Wert liegt etwa 2,5-mal so hoch, wie es die Ergebnisse der PDPA erwarten ließen. Auch der Vergleich der Tropfengrößenverteilung, bildlich dargestellt in Abbildung 14, weist auf die Unterschiede der Messverfahren hin: Sowohl der feintropfige, als auch der extrem grobtropfige Anteil liegen über dem erwarteten Prozentsatz.

Bei der Untersuchung des Spritzbildes von Doppelflachstrahldüsen zeigt sich die gleiche Tendenz: Der MVD aus den Messungen liegt etwa doppelt so hoch wie bei der Analyse mit PDPA. Der Anteil von Tropfen unter 120  $\mu\text{m}$  und über 640  $\mu\text{m}$  wird stark überschätzt. Dies stellt Abbildung 15 dar.

Abb. 14: Durchschnittlicher MVD und Tropfenspektrum (Probe 10) der IDKN-120-03

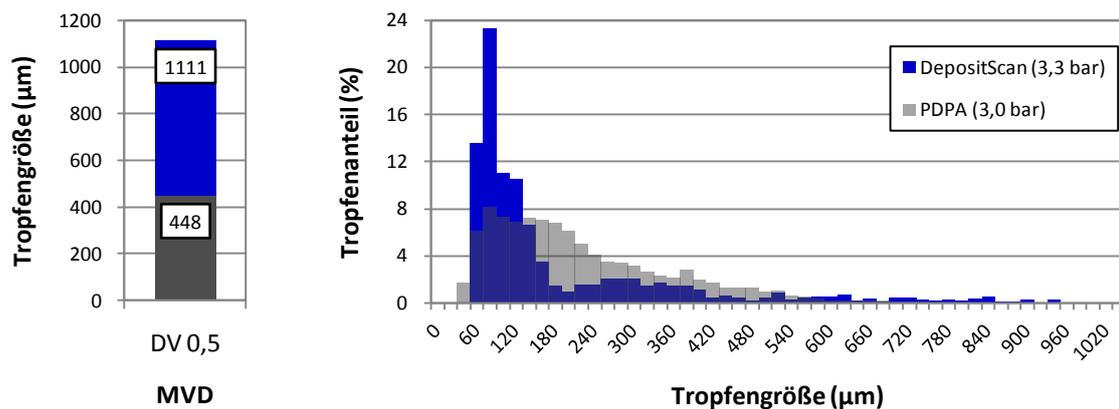
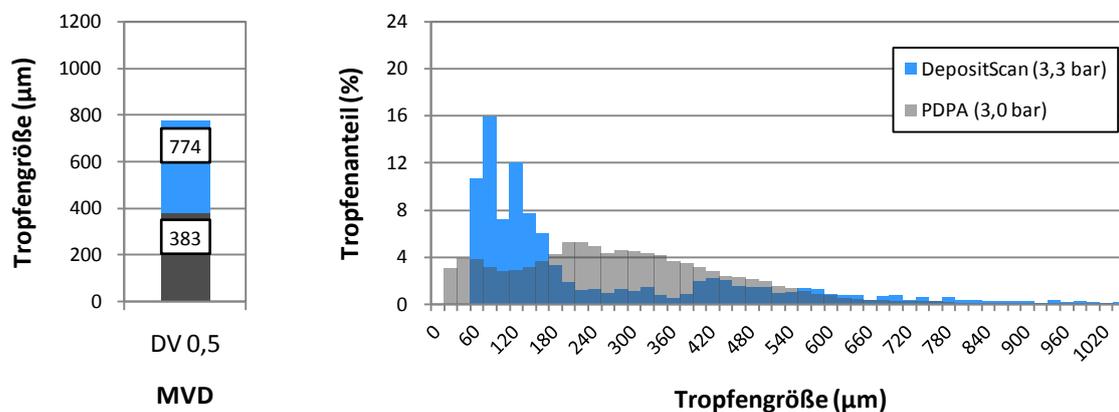


Abb. 15: Durchschnittlicher MVD und Tropfenspektrum (Probe 24) der IDKT-120-03



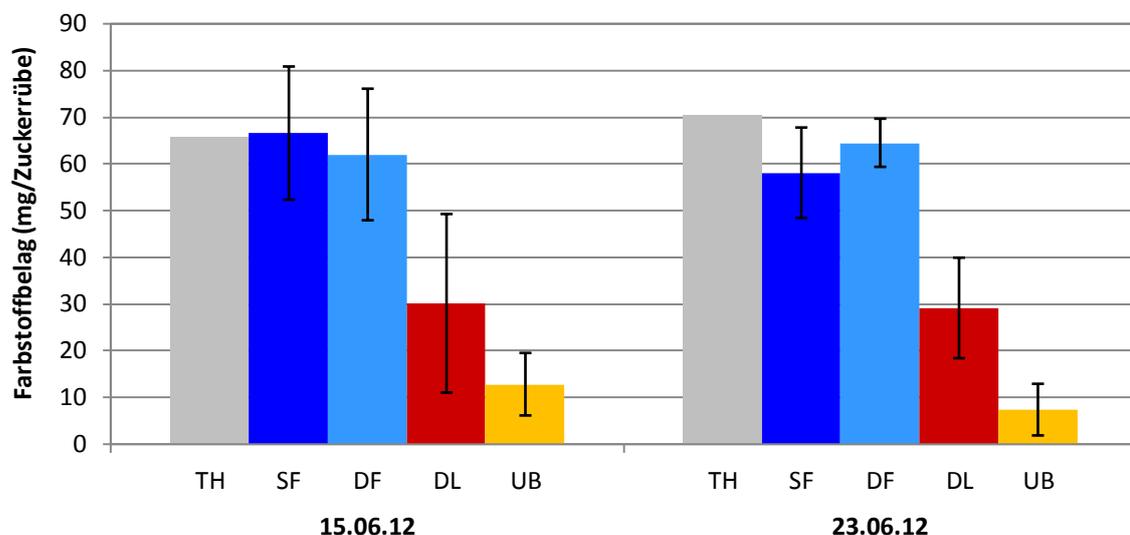
### 6.6 Farbstoffbelag auf der Zuckerrübe

Die Ergebnisse der Belagsmessung sind in Tabelle A12 aufgeführt. Insgesamt wurden 30 Proben untersucht. Ausgehend von 85% Feldaufgang und einer Bestandesdichte von 87 000 Zuckerrüben/ha werden über dem Standraum einer Zuckerrübe 86,03 mg Nigrosin appliziert. Der Blattdeckungsgrad lag an den Versuchstagen bei 76,57% und 82,09%. Daraus resultiert ein theoretischer Farbstoffbelag von 65,87 mg und 70,62 mg je Zuckerrübe. Die Blattfrischmasse einer durchschnittlichen Zuckerrübe lag zum ersten Termin bei 316 g, bei der zweiten Applikationsreihe bei 378 g. Die Belagsmasse der einzelnen Proben wurde auf durchschnittliche Zuckerrüben umgerechnet. Dabei wurde ein linearer Zusammenhang von Blattfrischmasse und Belagsmasse angenommen.

Die Ergebnisse dieser Berechnung sind in Abbildung 16 dargestellt. Bei den Flächenapplikationen mit Flachstrahl- und Doppelflachstrahldüsen entspricht der tatsächliche Farbstoffbelag etwa der, über den Blattdeckungsgrad ermittelten, erwarteten Belagsmasse (TH). Bei Applikationen mit den „Lechler Droplegs“ liegt der Belag mit 45,73% und 41,23% der theoretischen Masse deutlich unterhalb der Belagsbildung bei Flächenspritzungen. Einzelne Blattproben können aber mit höheren Farbstoffmengen belegt sein. Auch beim Einsatz der Unterblattspritze wird der Belag reduziert: Durchschnittlich lassen sich 12,80 mg beziehungsweise 7,37 mg Nigrosin von den Zuckerrübenblättern abwaschen. Dies entspricht 10-20% des theoretischen Farbstoffbelags. Auch bei diesem Verfahren können starke Abweichungen vom durchschnittlichen Belag festgestellt werden: Bei einzelnen Blattproben beträgt dieser unter 2 mg, bei anderen Proben bis zu 26,67 mg Farbstoff. Bei Unterblattapplikationen wurden fast ausschließlich die unteren Blattetagen belegt.

Obwohl der feldbezogene Blattdeckungsgrad vom ersten zum zweiten Termin um etwa 8% zunahm, ist der durchschnittliche Farbstoffbelag geringer. Dies gilt für alle untersuchten Verfahren.

Abb. 16: Ergebnisse zum Farbstoffbelag auf der Zuckerrübe



### **6.7 Abdrift**

Die Messungen der Abdrift wurden gemeinsam mit der Standardisierung durchgeführt. Durch einzelne Windböen und Lenkbewegungen wurden die Ergebnisse verfälscht. Auch die Digitalisierung bereitete Schwierigkeiten. Auf die Darstellung der einzelnen Ergebnisse wird daher verzichtet.

Die Auswertung der 125 cm von der äußersten Düse entfernt abgelegten Trägermaterialstreifen zeigt aber eine Tendenz: Bei Flächenapplikationen wird ein höherer Belag ermittelt als bei Unterblattbehandlungen. Der Belagsdeckungsgrad ist bei den IDKN-Düsen geringer als bei den Doppelflachstrahldüsen. Bei der Standardisierung der Dropleg-Variante in einer Spritzhöhe von 12 cm werden auf dem Trägermaterial auch größere Spritzflecken appliziert: Diese treten räumlich jeweils auf der Seite auf, in die das Dropleg in dem jeweiligen Streckenabschnitt pendelte. Bei der Standardisierung in einer Spritzhöhe von 16 cm, bei der sich das Spritzrohr quer zur Fahrtrichtung kaum bewegt hat, treten diese nur selten auf. Die Applikation mit der „Schmotzer Unterblattspritze“ ergab keine zu erfassenden Beläge in einem Abstand über 125 cm zur äußeren Spritzeinheit.

### **6.8 Anbringung von Schleifkufen an die „Lechler Droplegs“**

Da alle Applikationen mit Schleifkufen an den Droplegs im Bestand erfolgten, wurden die Ergebnisse mit den Messungen in einer Spritzhöhe von 12 cm verglichen. Die Spritzbilder und die wichtigsten Messwerte zur Verteilungsqualität sind in den Abbildungen A16 und A17 dargestellt.

Bei der Untersuchung der Modifikation mit einfacher Schleifkufe, war die Qualität der Querverteilung ähnlich wie bei Applikationen ohne Schleifkufe. Pendelbewegungen quer zur Fahrtrichtung traten seltener auf. Allerdings führte die Reibung der Schleifkufe über die Bodenoberfläche und das Trägermaterial dazu, dass die Bewegung des Spritzrohres in Fahrtrichtung ruckweise verlief: Abhängig vom Druck des Droplegs auf die Oberfläche wurde das Spritzrohr abgebremst oder beschleunigt. Der Variationskoeffizient der Längsverteilung stieg durch diese Bewegungen auf bis zu 39,22% an. Auch der  $rGVK_{40}$  war bereits bei einem Blattdeckungsgrad von nur 50,80% sehr hoch.

Die Modifikation mit doppelter Schleifkufe führte zu ähnlichen Ergebnissen. Das höhere Gewicht verringerte die Intensität der Querbewegungen, führte aber zu einer schlechteren Längsverteilung mit Variationskoeffizienten von bis zu 53,81%. Stieß nur eine der beiden Schleifkufen an einem größeren Hindernis an, wurde das Dropleg zusätzlich in eine leicht drehende Bewegung versetzt.

### **6.9 Einstellung der Düsen an der „Schmotzer Unterblattspritze“**

Die optimale Einstellung der Düsen ist abhängig von der Indikation. Die untersuchte Anpassung durch zusätzliche Verschränkung erhöhte die Verteilungsqualität nicht, veränderte aber die Querverteilung: Statt eines einzelnen, in der Mitte gelegenen, überdosierten Bereiches, wurde unter beiden einzelnen Düsen ein erhöhter Belag festgestellt. Im Randbereich wurde eine recht scharfe Abgrenzung erreicht. Die Spritzbreite je Spritzeinheit wurde somit auf etwa 45 cm verringert, der Bereich in der Reihe wurde ausgespart. Dargestellt sind die Ergebnisse in der Abbildung A18.

## **7 Diskussion**

### **7.1 Versuchsmethode**

Die Methode von ENFÄLT et al. (1997a) ist zur Bestimmung der Zielflächenverteilung im Bestand geeignet. Bei der Bewertung des Verfahrens muss zwischen der Anwendung in Zuckerrüben und der weiteren Auswertung der Daten unterschieden werden. Darüber hinaus soll auf Möglichkeiten und Probleme hingewiesen werden, die bei der Durchführung der Versuche erfasst wurden.

#### **7.1.1 Allgemeine Eignung**

Die Methode von ENFÄLT et al. wurde bisher nicht im Pflanzenbestand genutzt. Zur Untersuchung der Zielflächenverteilung dienen häufig photometrische und fluorometrische Messungen oder bildanalytische Messungen an klein dimensionierten Trägermaterialien. Diese Methoden sind mit hohem Aufwand oder Kosten verbunden, sobald große Zielflächen mit einer hohen Auflösung analysiert werden sollen (ENFÄLT et al., 1997a). Messungen mit dem hier eingesetzten Verfahren sind vergleichsweise einfach, relativ günstig und somit auch für den Einsatz in der Praxis geeignet.

#### **Anwendung im Bestand**

Die Ergebnisse der Versuche bestätigen, dass Messungen zur Belagsbildung im Bestand mit der Methode von ENFÄLT et al. (1997a) durchgeführt werden können. Dabei wird mit Nigrosin angefärbte Spritzlösung auf ein Trägermaterial aus vorgeleimter Tapete appliziert. Auch bei anderen Verfahren werden künstliche Oberflächen genutzt, um die Zielflächenverteilung im Bestand zu messen. Bei der Applikation von bodenaktiven Herbiziden entspricht die Zielfläche dem Boden. Bis zu einem bestimmten Entwicklungsstand können auch die Unkräuter durch auf der Bodenoberfläche ausgelegte Trägermaterialien gut dargestellt werden (OSTERHILD, 1985; WOLF, 2002).

Probleme bei Messungen im Bestand sind aus Versuchen mit wassersensitivem Papier bekannt. Die vorgeleimte Tapete verfärbt sich zwar nicht, kann aber durch Wassertropfen, die von den Zuckerrübenblättern abtropfen, angefeuchtet werden. Der auftreffende oder bereits bestehende Farbstoffbelag breitet sich aus und verändert das Spritzbild. Daher ist der Einsatz, ähnlich wie bei wassersensitivem Papier (SALYANI und FOX, 1999) nur in trockenen Beständen möglich. Blätter, die über das Trägermaterial streifen, können den noch feuchten Farbstoffbelag verschmieren. Unter optimalen Bedingungen ist der Spritzbelag aber nach wenigen Minuten ausreichend getrocknet. Das Trägermaterial eignet sich zur dauerhaften Aufbewahrung und erfordert keine besondere Pflege. Leichte Verschmutzungen auf der vorgeleimten Tapete können trocken entfernt werden.

Die Befestigung des Trägermaterials auf ebenen Holz- oder Blechplatten hat sich bewährt und ermöglicht eine schnelle und einfache Handhabung im Bestand. Messungen in den Reihen sind schwieriger durchzuführen aber ebenfalls möglich. Eingeschränkt wird der Einsatz durch die Entwicklung des Pflanzenbestandes. Böden mit höherem Kiesgehalt oder tiefen Fahrspuren führen zu Problemen, die sich durch die Wahl und Bearbeitung der Versuchsflächen aber vermeiden lassen.

## Auswertung der Daten

Probleme, die bei allen bildanalytischen Verfahren auftreten, sind auch bei der Auswertung von Messungen nach dem Verfahren von ENFÄLT et al. zu berücksichtigen. Die Applikationsverfahren müssen standardisiert und dokumentiert werden um einen Vergleich der Ergebnisse zu ermöglichen (WOLF, 2002). Die Qualität der Standardisierung und die Einhaltung von Geschwindigkeit und Wasseraufwandmenge sind für die Zuverlässigkeit der Ergebnisse von entscheidender Bedeutung.

Messungen mit dem Verfahren von ENFÄLT et al. können nicht direkt mit Ergebnissen aus anderen bildanalytischen Untersuchungen verglichen werden, da die Belagsbildung von den physikalischen Eigenschaften der Spritzlösung und des Trägermaterials beeinflusst wird: Untersuchungen mit einer 0,5%igen Nigrosinlösung zeigen, dass Tropfengrößen von 130 bis 430  $\mu\text{m}$  mit einer Spreitung von etwa 1,82 auf Kromekote Cards appliziert werden (WAITE, 1978). Dies entspricht in etwa dem Spreitungsfaktor eines Wasser-Petroleum-Gemischs auf wassersensitivem Papier (SALYANI und FOX, 1999). Die Analyse der vorgeleimten Tapete mit DepositScan lässt jedoch darauf schließen, dass die Spreitung auf diesem Trägermaterial deutlich höher ausfällt: Die ermittelten Werte für den MVD liegen etwa 2- bis 2,5-mal so hoch, wie es das Tropfenspektrum der verwendeten Düsen erwarten ließe. Die hohe Belagsbildung erschwert durch die teilweise Überlagerung von Spritzflecken die bildanalytische Auswertung (SALYANI und FOX, 1994; WOHLHAUSER, 2003; FOX et al., 2003).

### Belagsdeckungsgrad

Die Ergebnisse der Standardisierung unterstreichen, dass der Belagsdeckungsgrad nur relativ beurteilt werden kann (GÖHLICH, 1977). Auch bei der Analyse mit DepositScan werden deutliche Unterschiede zwischen dem Belagsdeckungsgrad der verschiedenen Applikationsverfahren ermittelt. Da alle Vergleichsapplikationen mit der gleichen Fahrgeschwindigkeit und einer Wasseraufwandmenge von 250 l/ha erfolgten, kann diese Differenz nur durch andere Faktoren erklärt werden:

Zwischen den Flächenapplikationen mit zwei verschiedenen Düsen beträgt der absolute Belagsunterschied etwa 12%. Da beide Verfahren in der gleichen Spritzhöhe durchgeführt wurden, lässt sich diese Differenz, sieht man von Messfehlern ab, auch auf das feinere Tropfenspektrum und die geringere Austrittsgeschwindigkeit des Spritzstrahls der IDKT-Düsen zurückführen. Eine geringere Belagsbildung bei schwächerer Aufprallenergie wird auch in anderen Untersuchungen ermittelt (GÖHLICH, 1977; NORDEN, 1982; WOLF, 2002; LARDOUX et al., 2007a). Der erwartete Anstieg des Belagsdeckungsgrades bei einem feineren Tropfenspektrum (NORDEN, 1982; SALYANI und FOX, 1999) kann nicht bestätigt werden oder wird durch andere Effekte überlagert. Auch die unzureichende Erfassung von kleinen Spritzflecken kann Einfluss auf die Bewertung der Belagsbildung nehmen: Wird bei der Digitalisierung eine zu geringe Auflösung verwendet, ist zu erwarten, dass ein großer Anteil des feintropfigen Spektrums nicht ausreichend erfasst werden kann (ZHU et al., 2011). Dies bestätigt der Vergleich der absoluten Belagsfläche von Spritzbildern, die mit 600 ppi statt 132 ppi digitalisiert wurden. Bei einer höheren Auflösung ist der Belagsunterschied zwischen den Applikationsverfahren geringer. Allerdings kann durch die Analyse über den durchschnittlichen Grauwert auch bei geringerer Auflösung eine hohe Messgenauigkeit erreicht werden (ENFÄLT et al., 1997a).

Die Belagsbildung verändert sich, wenn die Spritzhöhe des Applikationsverfahrens reduziert wird: Die Unterschiede im absoluten Belagsdeckungsgrad zwischen Flächenbehandlungen aus 60 cm und Unterblattapplikationen aus einer Spritzhöhe von unter 20 cm betragen, auch bei hoher Auflösung, bis zu 34%. Diese Differenz kann durch reale Verluste, die aus einer höheren Abdrift bei größerer Spritzhöhe resultieren (WOLF, 2002; OOMS et al., 2003; LARDOUX et al., 2007a) und die stärkere Spreitung bei geringerem Abstand zwischen Düse und Zielfläche begründet werden: Tropfen, die eine kurze Distanz zu überwinden haben, treffen mit einer höheren Aufprallenergie auf das Trägermaterial und hinterlassen somit auch größere Spritzflecken (GÖHLICH, 1977; WOLF, 2002; OOMS et al., 2003). Die Belagsflächenbildung wird sogar noch unterschätzt, da im Bereich direkt unterhalb der Düsen eine starke Überlagerung der Spritzflecken zu erwarten ist. Diese tritt bereits bei einem Belagsdeckungsgrad von 20-30% auf (SALYANI und FOX, 1994; WOHLHAUSER, 2003; FOX et al., 2003). Wird durch eine größere Entfernung zwischen Düse und Zielfläche der überlagernde Bereich der Fläche entzerrt, kann trotz geringerer Aufprallenergie der Tropfen eine höhere Belagsbildung auf der gesamten Messfläche erfasst werden. Im Randbereich des Spritzstrahls ist zu erkennen, wie die Spreitung durch den Aufprallwinkel der Tropfen auf die Zielfläche beeinflusst wird (GÖHLICH, 1977). Die Spritzflecken von schräg auftreffenden Tropfen werden länglich verzerrt.

Der hohe Einfluss von Spritzhöhe und Spritzwinkel auf die Belagsbildung wird nur zum Problem, wenn diese Faktoren bei der Durchführung der Untersuchung nicht konstant eingehalten werden: Schwankungen zwischen den einzelnen Messungen eines Applikationsverfahrens werden erhöht und erschweren den Vergleich mit dem Standard. Der Einsatz von Standardreihen bei verschiedener Spritzhöhe (ENFÄLT et al., 1997a) verbessert die Vergleichbarkeit der berechneten Messwerte. Voraussetzung dafür ist die Dokumentation der tatsächlichen Spritzhöhe während der Versuche.

### Belagsverteilung

Das Verfahren von ENFÄLT et al. wurde in Versuchen zur Verteilungsqualität von Feldspritzgeräten bereits wiederholt mit Erfolg eingesetzt (LARSOLLE et al., 2002; WOLF, 2002; OOMS et al., 2003; LARDOUX et al., 2007a). Auch bei Untersuchungen im Bestand werden gute Ergebnisse zur Verteilungsqualität und zum Anteil der unter- und überdosierten Flächen ermittelt. Darüber hinaus kann auch der Belagsdeckungsgrad in ausgewählten Bereichen der Zielfläche ermittelt werden. Der besondere Vorzug dieses Verfahrens besteht in der Möglichkeit zur Analyse der Verteilungsqualität von sehr großen Messflächen mit einer hohen Auflösung. OOMS et al. bestätigen, dass die Abschätzung der Variationsqualität mit einem engen Messraster von 2,5 x 2,5 cm nicht zu einer Verschlechterung der Ergebnisse gegenüber einem gröberen Raster führt (OOMS et al., 2003).

Die Analyse der dynamischen Belagsverteilung außerhalb des Bestandes liefert, unter Berücksichtigung der bereits aufgeführten Einschränkungen, gute Ergebnisse für die beiden Flächenapplikationen. Die ermittelten Variationskoeffizienten sind mit den Werten aus früheren Untersuchungen zu vergleichen (LARSOLLE et al., 2002; WOLF, 2002; OOMS et al., 2003; LARDOUX et al., 2007a). Bei Applikationen mit Unterblattspritzgeräten und Schrägstrahldüsen wird eine schlechtere Querverteilung ermittelt. Volumetrische Messungen an einzelnen Düsen bestätigen, dass die Qualität der Querverteilung bei fehlender Überlappung der Düsen deutlich reduziert wird (KNEWITZ, 2006).

Bei Untersuchungen zur Deposition von Pflanzenschutzmitteln auf der Bodenoberfläche wird bei den meisten Verfahren die Belagsmasse eines Farbstoffes auf einem Trägermaterial bestimmt. Auch kann diese über den im Bestand verbleibenden Anteil der Spritzflüssigkeit geschätzt werden (BECKER et al., 1999; SCHENKE et al., 2004). Dabei ist es kaum möglich die Verteilung des Belags auf der Zielfläche zu analysieren (KNEWITZ et al., 2011). Auch mit dem Verfahren von ENFÄLT et al. kann die Deposition am Boden ermittelt werden: Die Auflösung der Messungen ist zugleich hoch genug um auch die Verteilungsqualität zu bestimmen. Neben dem Variationskoeffizient kann auch der Belagsdeckungsgrad unter oder zwischen den Blättern ermittelt werden. Es ist zu berücksichtigen, dass sich die Blattverteilung noch während der Durchführung der Applikation verändern kann: Wichtigste Ursachen sind die Bewegung und Beschädigung der Blätter durch das Versuchsgerät.

Während die Zielflächenverteilung bei Applikationsverfahren mit geringen Variationskoeffizienten über den durchschnittlichen Belagsdeckungsgrad ermittelt werden kann, muss bei Versuchen, bei denen bereits der Standard eine ungleichmäßige Querverteilung aufweist, differenziert vorgegangen werden: Soll der Effekt der Kultur auf die Zielflächenverteilung bestimmt und die Fehlverteilung des Applikationsverfahrens vernachlässigt werden, darf der Vergleich nicht über den durchschnittlichen Belag der Standardisierung erfolgen, sondern muss an die Querverteilung des Verfahrens angepasst werden. Ansonsten würden Fehldosierungen in verschiedenen Bereichen der Zielfläche unterschiedlich bewertet (GÖHLICH, 1977). Abhängig von der Seitenführung der Düsen über dem Trägermaterial kann diese Anpassung manuell oder automatisch durchgeführt werden.

### Tropfenspektrum

Die Analyse der Tropfengrößenverteilung ist nur in Bereichen mit einem Belagsdeckungsgrad unter 30% möglich. Bei höherem Deckungsgrad überlagern die Belagsflächen deutlich. Die durchschnittliche Größe von Spritzflecken und somit der Durchmesser der Tropfen werden über-, die Tropfendichte hingegen unterschätzt (SALYANI und FOX, 1994; WOHLHAUSER, 2003; FOX et al., 2003).

Das Verhalten der Spritzflüssigkeit auf dem Trägermaterial muss bekannt sein, um die Ausbreitung der Tropfen auf dem Trägermaterial zu ermitteln. Die Spreitung einer 3%igen Nigrosinlösung auf vorgeleimter Tapete wurde bisher nicht untersucht. Die Versuche belegen, dass die Spreitung bei dem Verfahren von ENFÄLT et al. über der Spreitung von Spritztropfen auf wassersensitivem Papier (SALYANI und FOX, 1999) oder Nigrosin-Lösung auf Kromekote-Cards liegt (WAITE, 1978). Das mit DepositScan ermittelte Tropfenspektrum weicht auch bei der Auswertung von Zielflächen mit geringem Bedeckungsgrad von den erwarteten Ergebnissen ab: Der MVD wird um den Faktor 1,19 bis 2,93 überschätzt. Der Variationskoeffizient zwischen den Proben ist mit 16% deutlich zu hoch. Mit steigender Tropfengröße erhöht sich die Differenz zwischen ermitteltem und erwartetem Volumendurchmesser. Dies lässt sich vermutlich auf die Ausbreitung der Spritzlösung in der Leimschicht zurückführen. Ebenfalls überschätzt wird der Anteil von Tropfen mit einem Durchmesser unter 100 µm. Diese könnten durch einen Größenschwellenwert ausgegrenzt werden (ZHU et al., 2011). Dennoch ist das Histogramm der Tropfengrößenverteilung mit dem Tropfenspektrum, das in Laser-Doppler-Tropfengrößen-Messungen ermittelt wird, nicht zu vergleichen. Daher kann bezweifelt werden, dass eine Analyse des Tropfenspektrums auf vorgeleimter Tapete möglich ist.

### 7.1.2 Spezielle Eignung

Die Eignung des Messverfahrens für die Bewertung der Zielflächenverteilung in Zuckerrüben wurde in den Versuchen bestätigt. Daher soll an dieser Stelle nur auf Faktoren hingewiesen werden, die zu Problemen bei der Durchführung und Analyse dieser Versuche geführt haben könnten. Durch eine hohe Anzahl an Stichproben wird die Bedeutung dieser Faktoren aber verringert.

#### Standardisierung

Die Standardisierung wurde einmalig für jedes Applikationsverfahren durchgeführt. Bedingt durch die lange Messtrecke und die Breite des Trägermaterials von über 50 cm können Verfälschungen, die aus einer ungleichmäßigen Quer- oder Längsverteilung resultieren ausgeschlossen werden. Allerdings treten auch zwischen einzelnen Applikationen mit dem gleichen Verfahren große Unterschiede auf (WOLF, 2002). OOMS et al. führen aus diesem Grund wiederholte Applikationen unter Laborbedingungen durch, um einen repräsentativen Standard zu erhalten (OOMS et al., 2003).

#### Durchführung der Versuche

Bei der Applikation unter Feldbedingungen kann die tatsächliche Fahrgeschwindigkeit von der Geschwindigkeit bei der Standardisierung abweichen. Die Einstellung über die Motordrehzahl am Tachometer ist nicht sehr genau. Die Messung der Fahrgeschwindigkeit während jeder Applikation kann zur Vergleichbarkeit von verschiedenen Applikationsreihen beitragen (OOMS et al., 2003).

Auch das Beschleunigungs- und Lenkverhalten beeinflusst die Belagsbildung (WOLF, 2002). Bei den durchgeführten Versuchen wurde eine gleichmäßige Fahrt erschwert, da Lenkung, Kontrolle der Applikationsparameter und Bedienung der Spritze durch eine Person durchgeführt werden mussten. Bei seitlich versetzten Überfahrten mit Geräten zur Unterblattbehandlungen treten zusätzlich Probleme mit der Querverteilung der einzelnen Spritzeinheiten auf (KUHLMANN und BORM, 1991). Bei Applikationen mit den „Lechler Droplegs“ beeinträchtigten auch Pendelbewegungen quer zur Reihe die Verteilungsqualität. Durch die Aufhängung des Spritzgestänges in der Fronthydraulik wurden diese zusätzlich verstärkt. Automatische Lenksysteme könnten sowohl die Applikationsqualität (HOLPP, 2010) als auch die Qualität der Auswertung verbessern.

Für die Kontrolle und Dokumentation des Spritzdrucks wäre eine elektronische Druckregelung besser geeignet als die Einstellung des Drucks an einem einfachen Stellrad. Bei den in den Versuchen eingesetzten Düsen beeinflusst der Druck die Durchflussmenge aber kaum (LECHLER, 2011).

Bei Applikationen im Unterblattbereich sind eine konstante Spritzhöhe und die Einhaltung eines bestimmten Spritzwinkels von großer Bedeutung. Bedingt durch die unebene Struktur der Fahrbahn konnte dieser Faktor nicht ausreichend berücksichtigt werden: Bedeckungsgrad und Verteilungsqualität schwankten zwischen den einzelnen Messungen. Dies betrifft besonders Applikationen in einer sehr geringen Spritzhöhe. Da bei den Unterblattspritzgeräten die Tasträder entfernt wurden, konnte auch bei diesem Verfahren eine konstante Spritzhöhe nicht eingehalten werden.

## **Digitalisierung**

Die Verwendung eines Aufsichtscanners ermöglichte die schnelle und einfache Digitalisierung des Trägermaterials. Allerdings lieferte das Gerät nur eine Auflösung von 300 ppi in der Ausgabedatei. Bezogen auf das Trägermaterial entspricht dies einer Auflösung von 132 ppi. ZHU et al. weisen darauf hin, dass die Auflösung die Möglichkeit zur Analyse einzelner Tropfen begrenzt. Sie empfehlen eine Auflösung von 600 ppi (ZHU et al., 2011). Diese wurde nur bei Aufnahmen mit einem Flachbettscanner realisiert. Für die Auswertung der Zielflächenverteilung nutzten ENFÄLT et al. den Grauwert von 5 x 5 cm großen Messeinheiten und erzielten gute Ergebnisse (ENFÄLT et al., 1997a). Diese Auflösung wurde auch beim Einsatz des Aufsichtscanners bereits deutlich überschritten.

Effekte einer ungleichmäßigen Belichtung (DERKSEN und JIANG, 1995) des Trägermaterials konnten weitestgehend ausgeschlossen werden, da stets in einer dunklen Umgebung gearbeitet wurde. Der Aufsichtscanner verfügte über eine eigene Lichtquelle. Nur am Rand des Messbereichs traten dunklere Bereiche auf, die vermuten lassen, dass die Ausleuchtung nicht ganz vollständig war.

## **Bildbearbeitung**

Die Bearbeitung mit Adobe Photoshop Extended CS 6 Version 13.0 erfolgte nach bekannten Methoden. Probleme bei der Bedienung konnten nach einigen Versuchen behoben werden. Da viele Arbeitsschritte manuell vorgenommen wurden, erforderte die Auswertung von über 200 Spritzbildern viel Zeit. Mit entsprechender Software ist eine halbautomatische Bearbeitung vorstellbar.

Die Bestimmung der Zielflächenverteilung erfolgte über ein Raster von 2,5 x 2,5 cm, wie es auch von OOMS et al. verwendet wurde. Bei höherer Auflösung ist eine geringere Verteilungsqualität zu erwarten, da einzelne Belagsflecken den Variationskoeffizienten erhöhen (OOMS et al., 2003). Die Ausrichtung des Rasters am Trägermaterial ermöglichte eine Anpassung an die Zielfläche.

Mit sehr hohem Aufwand war die Freistellung des Blattapparats verbunden, die auf Grundlage der durchgeführten Fotografien manuell erfolgte. Dieser Aufwand ließe sich durch die Verwendung von Filtern an der Kamera umgehen. Für die Auswertung wurden Methoden verwendet, die sich bei der Analyse von Blattflächen bewährt haben (ZHANG und CHAISATTAPAGON, 1995). Zu bemerken ist, dass sich die Blattverteilung bereits in kurzen Zeiträumen verändern kann. Die Erfassung des Blattdeckungsgrads während der Fahrt könnte mit Videos erfolgen (PETRY und KÜHLBAUCH, 1988).

## **Datenauswertung**

Die Auswertung mit Microsoft Excel erfolgte über ein definiertes Muster. Die Ermittlung des relativen Belagsdeckungsgrads unter Nutzung eines Standards hat sich bewährt (OOMS et al., 2003) und ist bei jeder Untersuchung verschiedener Applikationsverfahren erforderlich (GÖHLICH, 1977). Die Berechnung des optimierten Belagsdeckungsgrads stellt die konsequente Fortsetzung dieses Verfahrens dar. Damit wird die Auswertung bei ungleichmäßiger Querverteilung erleichtert, wenn die Verteilungsqualität im Bestand von größerer Bedeutung ist als die Strahlgeometrie der Düsen.

## **7.2 Flächenapplikation mit Flachstrahldüsen (SF)**

### **7.2.1 Applikationsqualität per se**

Bei der Standardisierung der Flächenapplikation mit Flachstrahldüsen liegt der Variationskoeffizient bei  $rGVK_{50} = 8,78\%$ . Dies entspricht etwa der Verteilungsqualität, die auch in anderen Untersuchungen von Feldspritzgeräten ermittelt werden kann. LARDOUX et al. erfassen für den dynamischen Variationskoeffizient vieler Feldspritzgeräte einen rGVK von 10-14% (LARDOUX et al., 2007a). Untersuchungen von WOLF bestätigen, dass bei Anbaugeräten mit hoher Verteilungsqualität ein rGVK von 9% erreicht werden kann. Mit Zunahme der vertikalen und horizontalen Schwingungen erhöht sich dieser auf 30% (ENFÄLT et al., 1997a; WOLF, 2002; LARDOUX et al., 2007a). Die Ergebnisse der Applikationen im Bestand bestätigen, dass sich das Versuchsgerät im Einsatz stabil verhält: Der rLVK<sub>40</sub> im Feld beträgt etwa 10% gegenüber einem rLVK<sub>50</sub> von 5% bei der Standardisierung. LARDOUX et al. beobachten, dass die Qualität der Querverteilung bei korrekter Einstellung der Düsen größer als die Qualität der Gesamtverteilung. Bei der Standardisierung der Applikation mit Flachstrahldüsen liegt der rQVK<sub>50</sub> bei 2,18%. Die starke Überlappung der Düsen bei der gewählten Spritzhöhe von 60 cm trägt zur Verbesserung der Verteilungsqualität bei (LARDOUX et al., 2007a).

Die höhere Abdrift gegenüber Unterblattspritzungen lässt sich auf die Spritzhöhe zurückführen. Gegenüber IDKT-Düsen wird die Abdrift leicht reduziert. Dies begründet sich durch das gröbere Tropfenspektrum und die höhere Tropfengeschwindigkeit (KIFFERLE und STAHLI, 2001).

### **7.2.2 Bekämpfung der Restverunkrautung in Zuckerrüben**

Die Deposition von Pflanzenschutzmitteln auf dem Boden ist abhängig vom Blattdeckungsgrad der Kultur. SCHENKE et al. (2004) stellen in Kartoffeln eine fast lineare Abnahme des Bodensediments bei steigendem Blattdeckungsgrad fest. Auch in Zuckerrüben lässt sich für den relativen Belagsdeckungsgrad im Messbereich ( $rSDG_{40}$ ) eine lineare Funktion ansetzen. Aus den Ergebnissen der Versuche ergibt sich in Abhängigkeit vom Blattdeckungsgrad ( $BDG_{40}$ ):

$$rSDG_{40} = -0.837 \times BDG_{40} + 0.845 \quad (R^2 = 0.889)$$

Der Verlauf dieser Funktion entspricht in etwa der von BECKER et al. (1999) erwarteten Deposition von Pflanzenschutzmitteln in einem Zuckerrübenbestand. Dieser Zusammenhang wird in Abbildung 16 dargestellt. Der Bezug zum Blattdeckungsgrad ist offensichtlich, da oberhalb der Blätter applizierte Spritztropfen nur dann die Zielfläche erreichen, wenn sich kein Hindernis zwischen der Düse und der Zielfläche befindet. Das gilt sowohl für senkrecht applizierte, als auch für schräg einfallende Spritzstrahlen. Abweichungen vom Verlauf können auf eine zu gering eingeschätzte Standardisierung oder auf versuchsbedingte Unterschiede bei der Festlegung und Auswertung der Zielfläche zurückzuführen: Blattdeckungsgrad und Belagsbildung in den Reihen werden bei dem angewandten Messverfahren nicht berücksichtigt, beeinflussen aber die Belagsbildung am Boden. Ein direkter Einfluss der Blattdichte des Pflanzenbestands auf die Veränderung des durchschnittlichen Belagsdeckungsgrads (BECKER et al., 1999) konnte nicht festgestellt werden.

Mit dem Blattdeckungsgrad erhöht sich der Anteil stark unterdosierter Bereiche. Diese liegen meist unter den Blättern und sind in der Praxis als Spritzschatten bekannt (KEES et al., 1993; KOBUSCH, 2003; BROCKERHOFF und EBER, 2008; WAGNER, 2009). Die Empfehlung, späte Applikationen bei einer möglichst steilen Blattstellung durchzuführen, um den Spritzschatten zu verringern (BAUER, 2007), kann durch die Ergebnisse unterstützt werden. Allerdings werden selbst bei steiler Blattstellung weniger als 10% des Blattschattens mit der vollen Aufwandmenge bedeckt. Die Abnahme des Belagsdeckungsgrads und der Tropfendichte erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass Unkräuter unter den Blättern nicht ausreichend bekämpft werden (BROCKERHOFF und EBER, 2008).

ENFÄLT et al. ermitteln, dass bei einer geringen Verteilungsqualität der Applikation höhere Wirkstoffmengen erforderlich sind, um den gleichen Wirkungsgrad zu erreichen (ENFÄLT et al., 1997b). Dieses Ergebnis kann aber nur bedingt auf die Situation übertragen werden: Entscheidend ist nicht nur der Variationskoeffizient, sondern auch der Anteil unterdosierter Bereiche an der Zielfläche (KOCH und KNEWITZ, 2010). Selbst bei einer stark erhöhten Wirkstoffmenge können Unkräuter nur erfasst werden, wenn sie vom Spritzstrahl erfasst werden. Erhöhte Wasseraufwandmengen (TREIBER et al., 2000; FRIESSLEBEN et al., 2000) oder ein größerer Spritzdruck (BAUER, 2007) scheinen in Bereichen mit ausreichender Verteilungsqualität aber dazu geeignet, die Wirkung einer Herbizidapplikation zu verbessern. Belagsdeckungsgrad und Tropfendichte zwischen den Blättern könnten deutlich erhöht werden. Diese Möglichkeit wird durch den erforderlichen Wirkstoffgehalt in der Spritzlösung begrenzt (NORDEN, 1982; KIFFERLE und STAHLI, 2001). Allerdings kann die Wirkstoffmenge auch nicht unbegrenzt erhöht werden: Dem stehen sowohl die Kulturverträglichkeit (BEIßNER und BÜTTNER, 2000), als auch die Höchstmengenverordnung entgegen (EBER, 2012).

Die Ergebnisse zur Belagsbildung auf Zuckerrüben und die Schätzungen zur Interzeption von BECKER et al. (1999) lassen darauf schließen, dass auch die Belagsbildung auf den Zuckerrüben in einem fast linearen Zusammenhang zum Blattdeckungsgrad der Kultur steht. Damit ist bei steigender Entwicklung der Blattfläche auch eine deutlich höhere Herbizidaufnahme zu erwarten. Besonders das empfindliche Herz der Zuckerrübe (MAIDL, 2012) kann bei Flächenapplikationen nicht vor Schäden durch Herbizide geschützt werden. Dies schränkt den Einsatz von aggressiven Herbizidkombinationen ein. Bei der Bekämpfung einer bereits weit entwickelten Restverunkrautung müssen diese aber eingesetzt werden, um einen ausreichenden Wirkungsgrad zu erreichen (EBER und HEINRICHS, 2012). Schäden an der Kultur, die durch mechanische Belastungen hervorgerufen werden, beschränken sich auf die Reihen an den Fahrspuren und sind daher zu vernachlässigen.

Sowohl der geringere Belagsdeckungsgrad (TREIBER et al., 2000; FRIESSLEBEN et al., 2000), als auch die reduzierte Verteilungsqualität (BALSARI et al., 1994; ENFÄLT et al., 1997b) und der höhere Anteil unterdosierter Bereiche (KOCH und KNEWITZ, 2010), lassen darauf schließen, dass die biologische Wirksamkeit der Unkrautbekämpfung bei steigendem Blattdeckungsgrad der Kultur stark beeinträchtigt wird. Bereits bei geringen Spritzschatten kann eine vollständige Bekämpfung von Unkräutern nicht mehr erreicht werden. Bei höherem Blattdeckungsgrad ist die Anwendung von Flächenapplikationen mit Flachstrahldüsen kaum noch zu realisieren. Die Bekämpfung der Restverunkrautung mit Feldspritzgeräten ist daher nur bis zu einem bestimmten Entwicklungsstand sinnvoll, der individuell und in Abhängigkeit von der Verunkrautungssituation bestimmt werden muss.

### **7.3 Flächenapplikation mit Doppelflachstrahldüsen (DF)**

#### **7.3.1 Applikationsqualität per se**

Die Verteilungsqualität bei den beiden Flächenapplikationen unterscheidet sich nur geringfügig. Mit einem  $rLVK_{50}$  von 7,35% ist der Variationskoeffizient in Fahrtrichtung beim Einsatz von Doppelflachstrahldüsen höher als bei der Verwendung von Flachstrahldüsen. WOLF führt diesen Effekt auf vertikale Schwingungen zurück (WOLF, 2002). Bei dem verwendeten Versuchsgerät können diese aber kaum entscheidend sein. Das Spritzbild der Standardisierung weist darauf hin, dass ein Teil der Variation auf eine ungleichmäßige Belichtung des Trägermaterials bei der Digitalisierung zurückgeführt werden kann (DERKSEN und JIANG, 1995). Die Qualität der Querverteilung liegt mit einem  $rQVK_{50}$  von 1,89% über der Verteilungsqualität der meisten Geräte (LARDOUX et al., 2007a).

Die erhöhte Abdrift gegenüber IDKN-Düsen kann durch einen höheren Feintropfenanteil und eine geringere Austrittsgeschwindigkeit begründet werden (GÖHLICH, 1977; KIFFERLE und STAHLI, 2001).

#### **7.3.2 Bekämpfung der Restverunkrautung in Zuckerrüben**

Bei der Flächenapplikation mit Doppelflachstrahldüsen kann ein linearer Verlauf in Abhängigkeit vom Blattdeckungsgrad beobachtet werden. Dieser lässt sich mit folgender Funktion beschreiben:

$$rSDG_{40} = -0.918 \times BDG_{40} + 0.957 \quad (R^2 = 0.955)$$

Damit bestätigt sich erneut die Annahme, dass die Bodendeposition von Pflanzenschutzmitteln bei Flächenspritzungen vom Blattdeckungsgrad abhängt (BECKER et al., 1999; SCHENKE et al., 2004). Der relative Belagsdeckungsgrad liegt etwa 10% höher als bei der Applikation mit IDKN-Düsen. Da davon auszugehen ist, dass beim Einsatz der Doppelflachstrahldüsen der gleiche Anteil der Spritzflüssigkeit im Bestand zurückgehalten wird, wie bei anderen Flächenspritzungen (KNEWITZ, 2011), lässt sich nicht eindeutig bestimmen auf welchen Faktor dieser Unterschied zurückzuführen ist. Am wahrscheinlichsten scheint eine zu geringe Fahrgeschwindigkeit bei der Standardisierung.

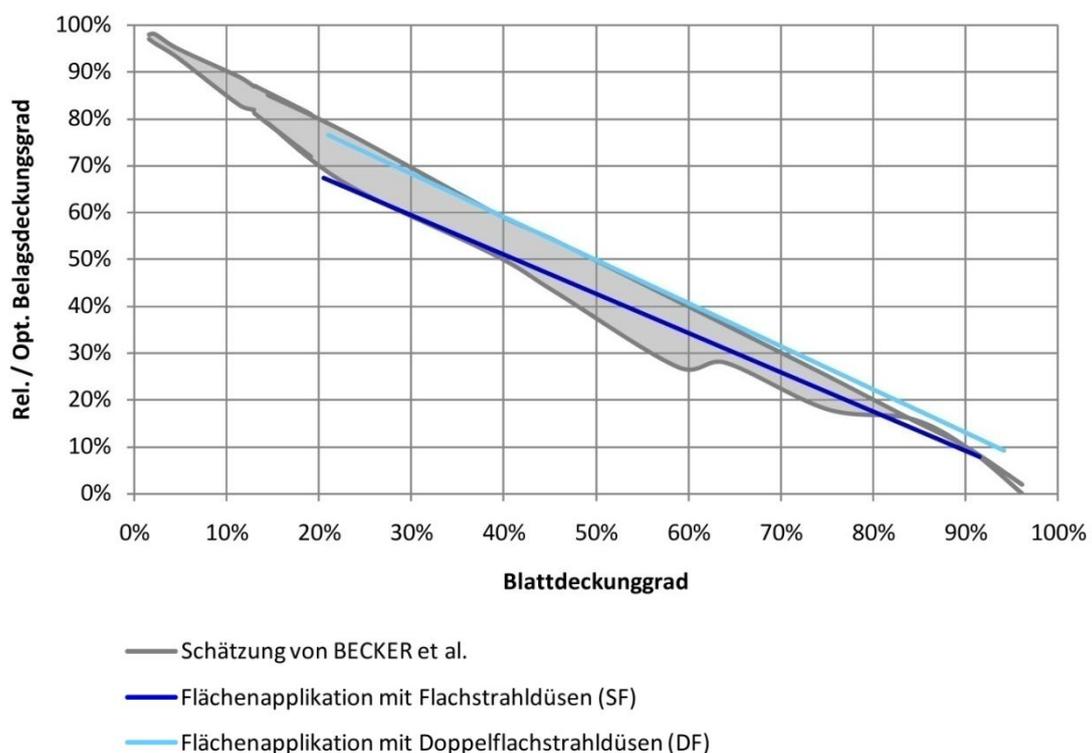
Schräg zur Fahrtrichtung ausgerichtete Spritzstrahlen können den Bestand besser durchdringen. Dies ist für Buschbohnen (RÜEGG, 2002) und Kartoffeln (KNEWITZ, 2011) belegt. Die Erfahrung, dass Doppelflachstrahldüsen auch bei der Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben dazu geeignet sind, den Spritzschatten zu vermeiden (DUCH, 2012; MAIDL, 2012), wird durch diese Untersuchung bestätigt. Zwar ist auch beim Einsatz von Doppelflachstrahldüsen der Belagsdeckungsgrad im Spritzschatten deutlich geringer, dieser Unterschied ist aber schwächer ausgeprägt als bei der Applikation mit Flachstrahldüsen: Der Anteil stark unterdosierter oder nicht behandelter Bereiche unter den Blättern ist etwa 50% geringer. Besonders am Rand des Spritzschattens wird eine höhere Dosis appliziert. Damit erhöht sich auch die Wahrscheinlichkeit, dass Unkräuter ausreichend benetzt werden (BROCKERHOFF und EBER, 2008). Bei einer höheren Blattdichte nimmt die Bestandsdurchdringung ebenso ab (KNEWITZ et al., 2011), wie bei einer flacheren Blattstellung (BAUER, 2007). Dies äußert sich ab einem Blattdeckungsgrad von über 60% in einer deutlichen Zunahme der Spritzschatten.

Auch die insgesamt verbesserte Verteilungsqualität lässt sich auf den geringeren Anteil an stark unterdosierten Bereichen zurückführen. Beides hat Einfluss auf die zu erwartende Applikationsqualität (ENFÄLT et al., 1997b; KOCH und KNEWITZ, 2010). Eine Verbesserung der Bekämpfungsleistung durch hohe Wasseraufwandmengen (TREIBER et al., 2000; FRIESSLEBEN et al., 2000) scheint bei der Verwendung von IDKT-Düsen eher möglich als beim Einsatz von üblichen Flachstrahldüsen: Besonders der Grenzbereich zwischen Spritzschatten und Blattzwischenraum wird besser erreicht.

Die zu erwartende Herbizidbelastung ist bei den beiden untersuchten Flächenapplikationen gleich hoch und folgt in etwa den Schätzungen von BECKER et al. zur Interzeption des Bestandes (BECKER et al., 1999). Somit ist nicht anzunehmen, dass der Einsatz von Doppelflachstrahldüsen dazu beiträgt, den Herbizidstress der Zuckerrüben zu reduzieren.

Die höhere Verteilungsqualität (ENFÄLT et al., 1997b) und der geringere Anteil an unterdosierten Flächen (KOCH und KNEWITZ, 2010) lassen erwarten, dass die Bekämpfungsleistung von Flächenapplikationen durch Doppelflachstrahldüsen verbessert werden kann. Dies unterstützt die Erfahrungen aus der landwirtschaftlichen Praxis beim Einsatz von Doppelflachstrahldüsen zur Unkrautbekämpfung (KNEWITZ et al., 2011; HEINKEL, 2012; MAIDL, 2012). Mit steigender Entwicklung der Zuckerrüben ist eine weitere Anpassung der Applikationsparameter erforderlich (BAUER, 2007). Bei hohem Blattdeckungsgrad kann auch durch Applikationen mit Doppelflachstrahldüsen keine ausreichende Wirkung mehr erzielt werden.

Abb. 17: Vergleich der Flächenapplikationen mit der Schätzung von BECKER et al.



## **7.4 Flächenapplikation mit „Lechler Droplegs“ (DL)**

### **7.4.1 Applikationsqualität per se**

Mit Variationskoeffizienten von 43% in einer Spritzhöhe von 12 cm und 30% bei einem Abstand von 16 cm zur Zielfläche liegt die Verteilungsqualität von Applikationen mit „Lechler Droplegs“ deutlich unter der Verteilungsqualität von Flächenapplikationen (ENFÄLT et al., 1997a; WOLF, 2002; LARDOUX et al., 2007a). Die Qualität der Verteilung in Fahrtrichtung ist mit einem oLVK<sub>50</sub> von 6% vollkommen ausreichend. Der Variationskoeffizient der Querverteilung ist aber deutlich zu hoch. Daraus wird ersichtlich, dass die geringe Verteilungsqualität allein auf die Querverteilung zurückzuführen ist. Diese wird durch die Anordnung und die Strahlgeometrie der Düsen bestimmt.

Aus der Praxis wird berichtet, dass mit Droplegs und Zungendüsen in Mais eine „sehr gute“ Verteilung erreicht werden kann. Dies gilt für eine Spritzhöhe von 20 bis 40 cm und eine theoretische Überlappung von 2,11 bis 4,22 (SCHULZE-ISING, 2012). In Zuckerrüben überlappen die Düsen in einer Spritzhöhe von 12 cm nur um den Faktor 1,5. In einer Höhe von 16 cm wird theoretisch eine doppelte Überlappung erreicht. Bei geringerem Überlappungsgrad steigt die Wahrscheinlichkeit, dass Fehldosierungen auftreten (NORDEN, 1982; LAGERFELT, 1988). Auch LARDOUX et al. ermitteln, dass die Verteilungsqualität bei einer geringen Spritzhöhe reduziert wird (LARDOUX et al., 2007a).

Fehlt die Überlappung, ist die Qualität der Querverteilung allein vom Verteilungsprofil der einzelnen Düsen abhängig (NORDEN, 1982). Die FT-Zungendüsen zeigen eine deutliche Dreieckverteilung. Dadurch entstehen überdosierte Zonen unterhalb der Düsenöffnung und unterdosierte Bereiche am Rand des Spritzstrahls. Im Verband der Spritzrohre beträgt der Variationskoeffizient der Querverteilung etwa 30-40%. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bei dem Messverfahren die Dosierung bei kurzer Distanz zwischen Düse und Zielfläche überschätzt wird, während bei überlagernden Spritzflecken eine Unterschätzung zu erwarten ist (GÖHLICH, 1977; WOLF, 2002; OOMS et al., 2003).

Versuche mit Band- und Weitwinkeldoppelflachstrahldüsen bestätigen, dass auch bei fehlender Überlappung der Düsen ein Variationskoeffizient der Querverteilung von 4-6% erreicht werden kann. Diese speziell entwickelten Düsen verfügen über eine Rechteckverteilung und können auch in einer Spritzhöhe von 15 cm noch gute Ergebnisse für die Verteilungsqualität leisten. Ein höherer Anstellwinkel kann ebenfalls dazu beitragen, die Querverteilung zu verbessern (NORDEN, 1982). Die Anbringung von mehreren Düsen an einem Spritzrohr ist möglich (LECHLER, 2011).

Bereits kleinste Lenkbewegungen können zur Verschiebung des gesamten Düsenverbands führen (KUHLMANN und BORM, 1991). Diese Fehlverteilung wird durch das Pendeln der „Lechler Droplegs“ quer zur Fahrtrichtung noch weiter verstärkt. Die Spritzrohre „mäandrieren“ (RÜEGG et al., 2006). Die Aufhängung des Spritzbalkens in der Fronthydraulik ist daher nicht zu empfehlen.

Bei den Applikationen zur Standardisierung des Verfahrens wird eine reduzierte Abdrift erfasst. Diese ist auf den sehr geringen Abstand zwischen Düse und Zielfläche zurückzuführen. Es ist zu erwarten, dass die Abdrift im Bestand noch weit besser reduziert wird (KIFFERLE und STAHLI, 2001).

### 7.4.2 Bekämpfung der Restverunkrautung

Die bisher durchgeführten Untersuchungen lassen darauf schließen, dass die Querverteilung der Applikation mit „Lechler Droplegs“ durch Anpassung der Düsentechnik verbessert werden kann. Daher ist es zu vertreten, die während der Standardisierung ermittelte Querverteilung zu nutzen, um bei der Auswertung nur den Einfluss des Pflanzenbestandes auf die Belagsbildung zu erfassen.

Eine lineare Abhängigkeit des Belagsdeckungsgrads vom Blattflächenanteil der Zuckerrüben kann bei der Unterblattapplikation mit „Lechler Droplegs“ nicht ermittelt werden. Es ist offensichtlich, dass auch die Blattstellung und die Blattdichte der Kultur die Applikationsqualität beeinflussen (BECKER et al., 1999; BAUER, 2007). Deutlich wird dies am Kurvenverlauf des Belagsdeckungsgrads:

$$rSDG_{40} = -2.617 \times BDG_{40}^2 + 1.823 \times BDG_{40} + 0.538 \quad (R^2 = 0.628)$$

Wenn die Zuckerrüben noch in der Blattentwicklung sind und ältere Blätter flach auf dem Boden liegen, treten auch bei geringem Blattdeckungsgrad deutliche Spritzschatten auf. Allerdings sind nur die Blattflächen von Bedeutung, die sich tatsächlich zwischen Düse und Zielfläche befinden. Bei einer geringeren Spritzhöhe ist der Anteil stark unterdosierter Flächen daher etwas geringer als bei einem höheren Applikationspunkt. Dieser Unterschied ist aber nicht signifikant. Deutlich wird hingegen die Differenz zur Belagsbildung von Flächenbehandlungen, bei denen die gesamte Blattfläche der Zuckerrüben als Hindernis zu bewerten ist. Bei der Applikation mit Spritzrohren werden ein höherer Belagsdeckungsgrad und eine bessere Verteilungsqualität erreicht.

Besonders geeignet scheinen die „Lechler Droplegs“ für den Einsatz bis und während des beginnenden Bestandesschlusses. Bei einem Blattdeckungsgrad von etwa 30 bis 60% treten, besonders bei steiler Blattstellung, fast gar keine Spritzschatten auf. Der hohe Belagsdeckungsgrad lässt darauf schließen, dass fast die gesamte Aufwandmenge die Zielfläche erreicht. Bei einem Variationskoeffizient von unter 40% und stark unterdosierten Bereichen von 10% kann davon ausgegangen werden, dass eine ausreichende Bekämpfung von Unkräutern möglich ist (KOCH und KNEWITZ, 2010). Auch die Wirkung von Maßnahmen zur Verbesserung der Bekämpfungsleistung (TREIBER et al., 2000; FRIESSLEBEN et al., 2000; BAUER, 2007) werden durch Spritzschatten kaum eingeschränkt.

Bei fortgeschrittenem Bestandesschluss, ab einem  $BDG_{40}$  von 60%, nimmt die Bestandsdurchdringung der „Lechler Droplegs“ ab. Dies ist an erster Stelle auf den zunehmenden Blattflächenindex und den höhere Anteil an flach liegenden Blättern zurückzuführen. Spritzschatten können nicht mehr vermieden werden und auch die Verteilungsqualität sinkt. An zweiter Stelle sind Bewegungen der Droplegs im Bestand zu nennen. Bereits RÜEGG et al. weisen darauf hin, dass die Spritzbeine durch den Bestand „mäandrieren“ (RÜEGG et al., 2006). Dieser Effekt nimmt mit der Entwicklung des Bestandes zu und kann zu deutlichen Pendelbewegungen führen. Diese äußern sich in einer Verschiebung des gesamten Spritzbildes nach rechts oder links, wie sie auch bei der Lenkung einer Unterblattspritze (KUHLMANN und BORM, 1991) oder bei vertikalen Schwingungen des Spritzgestänges beobachtet werden können (WOLF, 2002; LARDOUX et al., 2007a). Auch der veränderte Winkel zwischen Düse und Boden kann die Querverteilung beeinträchtigen (KNEWITZ et al., 2011).

Neben den Bewegungen quer zur Fahrtrichtung treten bei hohem Blattdeckungsgrad auch schwankende Bewegungen in Fahrtrichtung auf. Diese sind auf den Kontakt der Spritzrohre mit dem Blattapparat der Zuckerrüben zurückzuführen und resultieren aus dem Wechsel von „hängen bleiben im Bestand“ und „frei nach vorne schnellen“. Die daraus hervorgehende Beeinträchtigung der Längsverteilung kann mit dem Effekt von horizontalen Schwingungen an Spritzgestängen verglichen werden: Überdosierungen treten auf, wenn die Düse sich langsamer bewegt als das Gerät. Darauf folgen unterdosierte Bereiche bei erhöhter Fahrgeschwindigkeit (WOLF, 2002; LARDOUX et al., 2007a). Der Effekt einer Auslenkung nach hinten kann vernachlässigt werden (NORDEN, 1982).

Die Versuche zum Farbstoffbelag belegen, dass späte Applikationen mit Droplegs den Belag auf den Zuckerrüben reduzieren können. Dies tritt auch bei anderen Unterblattspritzverfahren auf (HABERLAND, 1983). Da bei der Applikation mit „Lechler Droplegs“ die Spritzschirme fehlen gelangt aber weiterhin ein hoher Anteil der Applikationsmenge auf die Blätter. Dies betrifft überwiegend flach liegende und ältere Blattteile, die weniger empfindlich sind als das Rübenherz (MAIDL, 2012).

Erfahrungen aus anderen Kulturen zeigen, dass mit Spritzrohren eine sehr gute Anlagerung an schwer zu erreichenden Zielflächen erzielt werden kann (RÜEGG, 2002; WELCHES und LAUN, 2010). Neben der Unkrautbekämpfung in Mais (SCHULZE-ISING, 2012) scheint auch die Bekämpfung der Restverunkrautung in Zuckerrüben mit Droplegs gut möglich. Der beste Wirkungsgrad wird in der Zeitspanne zwischen Blattentwicklung und beginnendem Bestandesschluss erreicht. Der Belagsdeckungsgrad (TREIBER et al., 2000; FRIESSLEBEN et al., 2000), die Verteilungsqualität (BALSARI et al., 1994; ENFÄLT et al., 1997b) und der geringe Anteil unterdosierter Flächen (KOCH und KNEWITZ, 2010) lassen erwarten, dass bei der Bekämpfung eine hohe biologische Wirkung erzielt werden kann. Automatische Lenksysteme können zur Seitenführung im Bestand beitragen (HOLPP, 2010).

#### **7.4.3 Anbringung von Schleifkufen an die „Lechler Droplegs“**

Die Höhenführung der „Lechler Droplegs“ erfolgt über die Feldspritze. Bewegungen des Spritzgestänges führen können zu Problemen (SCHULZE-ISING, 2012). Nach WOLF schwankt die Spritzhöhe, abhängig von der Arbeitsbreite und Qualität der Pendeleinrichtung um 5 bis 40 cm (WOLF, 2002). Bei einem Zielflächenabstand von 12 bis 16 cm kann die für eine ausreichende Querverteilung erforderliche Spritzhöhe leicht unterschritten werden. Durch Schleifkufen wird eine zu starke Veränderung der Spritzhöhe verhindert. Allerdings führt die Reibung über die Bodenoberfläche dazu, dass sich die Geschwindigkeit der Droplegs verändert. Das zeigt sich, wie oben beschrieben wird, in einem Wechsel von über- und unterdosierten Bereichen (WOLF, 2002; LARDOUX et al., 2007a).

Entscheidend dafür ist vermutlich nicht die Konstruktion der Schleifkufen, sondern die Befestigung der Droplegs am Spritzgestänge. Diese können zwar quer zur Reihe pendeln, sind aber in Fahrtrichtung stabil (LECHLER, 2011). Somit schwankt, abhängig von der Entfernung zur Zielfläche, die Biegung des Spritzrohrs, der Druck der Schleifkufe auf die Bodenoberfläche, und somit auch der Reibungswiderstand. Versuche mit Schlepshaltern bestätigen (IRLA, 1976), dass eine Höhenführung über Schleifkufen grundsätzlich möglich ist. Entscheidend für eine gleichmäßige Bewegung in Fahrtrichtung ist, dass die verwendete Aufhängung in Fahrtrichtung flexibel ist.

## **7.5 Unterblattapplikation mit „Schmotzer Unterblattspritze“ (UB)**

### **7.5.1 Applikationsqualität per se**

Auch bei der „Schmotzer Unterblattspritze“ mit zwei Schrägstrahldüsen liegt der Variationskoeffizient deutlich über den Werten, die in einem Düsenverband mit mehrfacher Überlappung erreicht werden können (ENFÄLT et al., 1997a; WOLF, 2002; LARDOUX et al., 2007a). Die Qualität der Längsverteilung bestätigt, dass auch bei diesem Verfahren allein die Querverteilung die Applikationsqualität beschränkt: Diese ist von der Wahl und Einstellung der Düsen abhängig (NORDEN, 1982).

Die Qualität der Querverteilung liegt mit  $rQVK_{50} = 27,43\%$  in einem Bereich, der auch in anderen Untersuchungen mit Schrägstrahldüsen ermittelt wird. Auch bei einer horizontalen Verschränkung von  $30^\circ$  und einem Abspritzwinkel von  $15^\circ$  wird beim Einsatz von IDKS-Düsen keine Rechteckverteilung erreicht. Dies bestätigen Versuche mit exzentrischen Düsen (KNEWITZ et al., 2011). Die etwas höhere Dosierung im äußeren Randbereich lässt sich durch eine theoretische Überlappung von 25 cm zwischen den Spritzeinheiten bei einer Applikationshöhe von 20 cm begründen. Bei der Standardisierung wurden die Blattheber entfernt. Andernfalls werden einzelne Spritztropfen auf die Bleche appliziert. Diese laufen zusammen und fallen als große Tropfen zu Boden.

Versuche mit OC-Schrägstrahldüsen und angewinkelten TVI-Hohlkegeldüsen bestätigen, dass bei Anpassung der Düsentechnik ein rQVK von 16-18% erreicht werden kann (KNEWITZ et al., 2011). Beim Einsatz von Banddüsen und Doppelflachstrahlweitwinkeldüsen wird ebenfalls eine deutlich bessere Qualität der Querverteilung ermittelt. Diese verfügen über ein Rechteckprofil und erreichen bei optimaler Einstellung einen rQVK von 4-6% (NORDEN, 1982).

KUHLMANN und BORM (1991) beschreiben, dass bei der Applikation mit Unterblattspritzgeräten, die an der Fronthydraulik angebracht werden, schon kleine Lenkbewegungen zu einer Verschiebung des gesamten Düsenverbands führen können. Durch die Aufhängung der Spritze im Zwischenachsbereich wird dieses Problem verringert. Allerdings beeinträchtigt auch eine seitlich verschobene Applikation die Qualität der Querverteilung zwischen den Reihen. Daher werden für die Unterblattapplikation in Reihenkulturen automatische Lenksysteme empfohlen (HOLPP, 2010).

Die exzentrischen Luftinjektordüsen besitzen ein geringeres Abdriffrisiko als die meisten anderen Düsen, die bei Unterblattbehandlungen eingesetzt werden (KNEWITZ, 2006). Dies wird auch vom Julius-Kühn-Institut anerkannt (JKI, 2012). Bereits im Abstand von 125 cm zur äußersten Spritzeinheit konnte bei den Versuchen kein Belag festgestellt werden, der auf Abdrift hindeuten würde. Damit ist auch eine geringere Herbizidbelastung der Kulturpflanzen zu erwarten. Dies ist besonders bei der Applikation von nicht pflanzenverträglichen Wirkstoffen von Bedeutung.

Die Möglichkeit einer Bandspritzung ist bei bodengeführten Unterblattspritzgeräten gegeben. Trotz geringerer Randschärfe von IDKS-Düsen gegenüber Bandspritzdüsen (KNEWITZ et al., 2011) kann der Bedeckungsgrad in der Reihe durch einfache Verschränkung der Düsen auf unter 1% der zu erwartenden Aufwandmenge reduziert werden. Voraussetzung ist eine stabile Höhenführung.

### 7.5.2 Bekämpfung der Restverunkrautung

Auch bei Applikationen mit der „Schmotzer Unterblattspritze“ scheint es angebracht, von einer optimierten Berechnung auszugehen. Defizite in der Querverteilung sind meist auf die eingesetzte Düsenteknik zurückzuführen. Bewertet wird aber die Qualität der gesamten Applikationstechnik.

Im Gegensatz zu den anderen Applikationsverfahren wird die Applikationsqualität der „Schmotzer Unterblattspritze“ kaum durch die Entwicklung der Kultur beeinflusst. Selbst bei Bestandesschluss wird eine vergleichsweise gute Benetzung der Zielfläche erreicht. Die geringe Abnahme der Belagsbildung lässt sich auf die geringe Spritzhöhe und die Funktion der Blattheber zurückführen: Diese unterfahren den Pflanzenbestand und leiten die Blattspreiten an den Düsen vorbei. Damit können die meisten Spritzstrahlen der Schrägstrahldüsen ungehindert auf die Zielfläche treffen.

Der fast fehlende Spritzschatten äußert sich auch in einer vergleichsweise guten Belagsverteilung. Der optimierte Variationskoeffizient liegt selbst bei einem hohen Blattdeckungsgrad unter 30%. Die Verteilungsqualität ist besser als bei allen untersuchten Applikationsverfahren. Nur unter optimalen Bedingungen werden ähnliche Ergebnisse erzielt. Der Anteil stark unterdosierter Flächen, die sonst als Spritzschatten auftreten, ist bei der von Blatthebern unterstützten Applikation gering.

Schwankungen die zwischen den einzelnen Messungen auftreten, lassen sich auch durch die Anpassung des Gerätes an das Messverfahren begründen: Die fehlenden Tasträder verringern die Qualität der Höhenführung und durch die angestellten Blattheber wurden flach liegende Blätter teilweise nicht erfasst. Daher treten, besonders bei hoher Blattdichte, kleinere Spritzschatten auf. Es ist zu erwarten, dass diese durch korrekte Einstellung vermieden werden können (MAIDL, 2012).

Auch die Ergebnisse zum Farbstoffbelag werden durch die Anpassung des Geräts beeinträchtigt. Gleichwohl zeigen die Versuche, dass die Herbizidbelastung durch Applikationen mit einem Unterblattspritzgerät deutlich verringert werden kann (HABERLAND, 1983; EBER und HEINRICHS, 2012). Der Belag beträgt bei einzelnen Proben nur 3% der erwarteten Menge. Luftinjektordüsen tragen dazu bei, die Abdrift zu reduzieren. Insgesamt sind somit geringere Kulturschäden zu erwarten (KNEWITZ, 2006). Bei einer Bandapplikation zwischen den Reihen und angepasster Einstellung von Gerät und Düsen, scheint sowohl der Einsatz von aggressiven Herbizidkombinationen (EBER, 2012), als auch die Anwendung von nicht rübenverträglichen Wirkstoffen möglich (HABERLAND, 1983). Somit können auch weit entwickelte Unkräuter und viele Problemunkräuter bekämpft werden.

Der hohe Belagsdeckungsgrad (TREIBER et al., 2000; STADLER et al., 2000), die gute Verteilungsqualität (GÖHLICH, 1985; ENFÄLT et al., 1997b) und der geringe Anteil unterdosierter Bereiche lassen darauf schließen, dass mit der „Schmotzer Unterblattspritze“ eine gute Bekämpfungsleistung erreicht werden kann. Diese ist fast unabhängig vom Blattdeckungsgrad der Zuckerrüben. Applikationen bei fortgeschrittenem Bestandesschluss sind möglich. Wachstumsdepressionen durch Herbizide, einschließlich nicht verträglicher Wirkstoffe, werden verringert. Damit bestätigen sich Erfahrungen zum Einsatz von Unterblattspritzgeräten zur Bekämpfung der Restverunkrautung in Zuckerrüben (JOHNSON und LAW, 1967; HABERLAND, 1983; EBER und HEINRICHS, 2012; MAIDL, 2012).

## **8 Weiterführende Arbeiten**

Die vorliegende Arbeit ermittelt die Zielflächenverteilung verschiedener Applikationsverfahren und liefert ein Maß für die zu erwartende Bekämpfungsleistung. Während Feldspritzgeräte und spezielle Unterblattspritzgeräte bereits in der Praxis eingesetzt werden, bestehen zur Applikation mit „Lechler Droplegs“ keine Erfahrungen. Auch das Messverfahren befindet sich in der Entwicklung. Daraus wird ersichtlich, dass viele Möglichkeiten für weiterführende Arbeiten bestehen:

An erster Stelle ist die Überprüfung der Ergebnisse durch Anwendung der Applikationstechnik zu nennen. Die biologische Wirksamkeit der verschiedenen Applikationsverfahren sollte im Bestand untersucht werden, um die tatsächliche Bekämpfungsleistung besser abschätzen zu können. Diese darf nicht nur im Bezug auf den Entwicklungsstand der Kultur, sondern muss auch im Zusammenhang zum Artenspektrum und Entwicklungsstadium der Verunkrautung betrachtet werden. Unterschiedliche Applikationsparameter und Herbizidstrategien könnten Bestandteil von Leistungsprüfungen sein. Neben dem Wirkungsgrad sollte die Herbizidbelastung der Verfahren untersucht werden. Dies betrifft besonders aggressive Spritzmischungen gegen die Restverunkrautung.

Die Applikation von nicht rübenverträglichen Herbiziden mit Unterblattspritzgeräten, die über Spritzschirme verfügen, könnte in weiteren Arbeiten untersucht werden. Dabei sollten besonders die Möglichkeiten zur Bekämpfung von Problemunkräutern in Zuckerrüben bewertet werden.

Um das Potential der „Lechler Droplegs“ in vollem Umfang nutzen zu können muss die bestehende Applikationstechnik weiterentwickelt werden. Die Seitenführung könnte durch federnde Elemente, die Höhenführung durch Schleifkufen und eine neue Aufhängung verbessert werden. Die Anpassung der Konstruktion und der Vergleich mit anderen Unterblattspritzrohren oder -beinen könnten in technischen Versuchen bestimmt werden. Parallel wäre zu prüfen, ob durch die Verbesserung des Pendelausgleichs die Höhenführung des Spritzgestänges so optimiert werden kann, dass auf bodengeführte Vorrichtungen vollständig verzichtet werden kann.

Die Qualität der Querverteilung von Unterblattapplikationen kann durch die Düsenteknik verbessert werden. Dies wird an erster Stelle durch die Anpassung und Einstellung der verfügbaren Düsen erfolgen. Auch neue Düsen wären für die Unterblattapplikation in Zuckerrüben interessant: Schrägstrahl- und Weitwinkeldüsen mit Rechteck- oder Trapezverteilung gehören ebenso zum Bedarf, wie die Kombination der bestehenden Banddüsen mit dem Venturi-Prinzip.

Diese weiterführenden Arbeiten sind nicht der wissenschaftlichen Untersuchung vorbehalten. Nur in der landwirtschaftlichen und -technischen Anwendung ist eine Verfahrensbewertung möglich. Besonders bei Unterblattspritzen zeigt sich, dass die besten Lösungen aus der Praxis stammen.

Die weitere Entwicklung des hier angewandten Messverfahrens von ENFÄLT et al. ist hingegen Bestandteil der wissenschaftlichen Forschung. Möglichkeiten zur Verbesserung bestehen sowohl bei der Wahl des Farbstoffes und Trägermaterials, als auch bei der Analyse des Tropfenspektrums. Die Auswertung und Bearbeitung der Grafiken könnte weiter automatisiert werden.

## **9 Zusammenfassung**

Die Zuckerrübe zählt zu den Kulturen, die auf Konkurrenz durch Unkräuter empfindlich reagieren. Der Erfolg des Anbaus steht im Zusammenhang zur Wirkung der Bekämpfungsmaßnahmen. Bei trockener Witterung oder bei Besatz mit Problemunkräutern wird mit den üblichen 3 NAKs keine ausreichende Unkrautbekämpfung mehr erreicht. Applikationen nach dem 6-Blatt-Stadium der Zuckerrüben werden durch Spritzschatten der Kultur beeinträchtigt (BROCKERHOFF und EBER, 2008).

Die Applikationstechnik kann dazu beitragen, diesen Effekt zu verringern. Flächenapplikationen in Zuckerrüben werden daher vermehrt mit Doppelflachstrahldüsen durchgeführt (KNEWITZ, 2011). Bereits in den 1960er Jahren wurden spezielle Unterblattspritzgeräte zur Bekämpfung der Restverunkrautung entwickelt (JOHNSON und LAW, 1967). Der Einsatz von Droplegs liefert in anderen Kulturen sehr gute Ergebnisse (IRLA, 1976; HEINKEL, 2012). Belagsbildung und Verteilungsqualität in Zuckerrüben und der Effekt des Spritzschattens wurden bisher kaum untersucht (KOBUSCH, 2003).

Die bekannten Messverfahren zur Bestimmung der Zielflächenverteilung im Bestand sind arbeits- und kostenintensiv und daher nicht für diese Untersuchung geeignet. Eine geeignete Methode, die Belagsbildung auf sehr großen Zielflächen zu untersuchen, entwickelten ENFÄLT et al. (1997a). Dabei wird 0,3%ige Nigrosinlösung auf vorgeleimte Tapete appliziert und das erzeugte Verteilungsmuster bildanalytisch ausgewertet. Im Bestand wurde dieses Verfahren bisher nicht erprobt.

Die vorliegende Arbeit verfolgt zwei verschiedene Ansätze: Zunächst soll ermittelt werden, ob das Messverfahren von ENFÄLT et al. (1997a) grundsätzlich dazu geeignet ist, den Belagsdeckungsgrad, die Belagsverteilung und das Tropfenspektrum auf einer Zielfläche im Pflanzenbestand zu messen. Ziel der Versuche ist der Vergleich der Verteilungsqualität von vier Applikationsverfahren bei steigendem Blattdeckungsgrad der Zuckerrüben. Es soll festgestellt werden, inwiefern verschiedene pflanzenschutztechnische Entwicklungen zur Bekämpfung der Restverunkrautung in Zuckerrüben beitragen können. Dabei soll die Vermeidung von Spritzschatten besonders bewertet werden.

Untersucht wurden die folgenden Verfahren:

- Flächenapplikation mit Flachstrahldüsen
- Flächenapplikation mit Doppelflachstrahldüsen
- Unterblattapplikation mit „Lechler Droplegs“
- Unterblattapplikation mit „Schmotzer Unterblattspritze“

Die Versuche wurden im Zeitraum vom 29.05.12 bis 07.07.12 am Lehr- und Versuchsgut Roggenstein der Technischen Universität München durchgeführt. Bei allen Applikationsverfahren betrug die Wasseraufwandmenge 250 l/ha und die Fahrgeschwindigkeit 6 km/h. Die Spritzhöhe bei Flächenapplikationen lag bei 60 cm. Die „Lechler Droplegs“ mit Zungendüsen wurden in einer Höhe von 12 und 16 cm geführt. Die Spritzhöhe bei den paarweise angebrachten Schrägstrahldüsen der „Schmotzer Unterblattspritze“ war 20 cm. Auf der Versuchsfläche stand die Sorte „Sabrina KWS“. Der Blattdeckungsgrad stieg im Verlauf der Applikationsreihen von etwa 20% auf über 90% an.

Zur Erzeugung der Spritzbilder wurde die Spritzflüssigkeit mit 30 g/l Nigrosin gefärbt. Als Trägermaterial dienten 45 x 60 cm und 40 x 60 cm große Stücke vorgeleimter Tapete, die zwischen den Reihen ausgelegt wurden. Die Erfassung der Blattverteilung erfolgte durch Fotografie. Die Spritzbilder wurden digitalisiert und mit entsprechender Software manuell ausgewertet. Zur Bestimmung des Belagsdeckungsgrads wurde ein Raster von 2,5 x 2,5 cm verwendet. Als Vergleich dienten Standardapplikationen, die außerhalb des Bestandes durchgeführt wurden. Die Belagsbildung zwischen den Blättern und im Blattschatten, Gesamt-, Längs- und Querverteilung wurden erfasst.

Zusätzliche Versuche dienten der Bestimmung der Zielflächenverteilung in den Reihen, des Tropfenspektrums bei Flächenapplikationen, des Farbstoffbelags auf den Blättern der Zuckerrüben und der Abdrift. Bei einigen Messungen der „Lechler Droplegs“ wurden Schleifkufen zur Höhenführung angebracht. Bei der „Schmotzer Unterblattspritze“ wurde die Düsenstellung verändert.

Ermittelt wurden die folgenden Ergebnisse:

Die Versuchsmethode von ENFÄLT et al. hat sich zur Bestimmung der Belagsbildung auf größeren Zielflächen bewährt. Der Einsatz in Zuckerrüben ist möglich, wenn entsprechende Hilfsträger verwendet werden und der Bestand ausreichend abgetrocknet ist. Nach der Digitalisierung können mit einfacher bildanalytischer Software der Belagsdeckungsgrad und die Verteilungsqualität ermittelt werden. Auch Möglichkeiten zur Messung von einzelnen Bereichen und zur Analyse von Verteilungsintervallen bestehen. Bei der Beurteilung verschiedener Applikationsverfahren muss der relative Belagsdeckungsgrad berechnet werden, um Messfehler aufgrund von unterschiedlichen Applikationsparametern auszuschließen. Erfolgt der Vergleich über Standardisierung, sollte diese mehrfach durchgeführt werden. Die Tropfengrößenanalyse mit DepositScan überschätzt den MVD um den Faktor 1,19 bis 2,93 und liefert nicht die erwartete Tropfengrößenverteilung.

Flächenapplikationen scheinen, unabhängig von den verwendeten Düsen für eine späte Bekämpfung der Restverunkrautung nicht geeignet. Mit jedem Prozentpunkt, um den der Blattdeckungsgrad ansteigt, sinkt der Anteil der Aufwandmenge, der die Zielfläche erreicht um das gleiche Maß. Dieser Verlauf entspricht etwa den Schätzungen von BECKER et al. (1999) zum Rückhaltevermögen eines Zuckerrübenbestandes. Deutlich kann zwischen dem Bereich zwischen und unter den Blättern unterschieden werden: Schon im frühen Entwicklungsstadium der Zuckerrüben treten Spritzschatten auf, in denen weniger als 30% der ausgebrachten Aufwandmenge die Zielfläche erreicht. Die Verteilungsqualität nimmt mit steigendem Blattdeckungsgrad der Kultur ab. Der Variationskoeffizient steigt von 5% außerhalb des Bestandes über 40% im Bestand und auf bis zu 80% zum Reihenschluss an. Der Anteil der Spritzbrühe, der nicht die Zielfläche erreicht, wird durch die Zuckerrüben zurückgehalten. Daher steigt der Farbstoffbelag auf den Zuckerrübenblättern linear mit dem Blattdeckungsgrad an. Der Herbizidstress wird bei Flächenapplikationen nicht verringert.

Mit IDKT-Doppelflachstrahldüsen wird eine etwas bessere Verteilungsqualität erreicht, als mit den üblichen Flachstrahldüsen. Auch der Spritzschatten kann reduziert werden: Bei geringem Blattdeckungsgrad erreichen bis zu 50% der ausgebrachten Spritzlösung den Bereich unter den Blättern. Die Strahlgeometrie leistet einen Beitrag zur Vermeidung von Spritzschatten.

Unterblattapplikationen mit „Lechler Droplegs“ sind auch für die späte Applikation von Herbiziden in Zuckerrüben geeignet. Voraussetzung ist eine möglichst aufrechte Blattstellung. Der Bedeckungsgrad der Zielfläche und das Auftreten von Spritzschatten sind abhängig vom Anteil flach liegender Blätter. Auch bei einem Blattdeckungsgrad von 60% kann unter optimalen Bedingungen eine gleichmäßige Belagsbildung auf der Zielfläche erfolgen. Befinden sich die Zuckerrüben noch in der Jugendentwicklung oder sterben bereits die ersten Blätter ab, treten auch bei diesem Verfahren vermehrt Bereiche auf, die stark unterdosiert werden. Bedarf zur Anpassung der Applikation besteht bei den Düsen: Mit den eingesetzten Zungendüsen wird keine befriedigende Querverteilung erreicht. Eingeschränkt wird die Verteilungsqualität auch durch die Bewegung der Spritzbeine im Bestand. Die Droplegs pendeln quer, bei zunehmender Blattdichte auch längs zur Fahrtrichtung. Schleifkufen am Ende der Droplegs verbessern zwar die Höhenführung, verhindern aber eine gleichmäßige Fortbewegung im Bestand. Die Belagsbildung auf den Blättern der Zuckerrüben wird gegenüber den Flächenapplikationen etwa halbiert. Auch die Abdrift kann reduziert werden.

Speziell für den Einsatz in Zuckerrüben entwickelte Unterblattspritzgeräte lassen auch bei fortgeschrittener Entwicklung des Bestandes eine hohe Bekämpfungsleistung erwarten. Selbst bei fast vollständiger vertikaler Bedeckung der Zielfläche mit Blättern erreichen über 60% der Aufwandmenge die Zielfläche. Die Blattheber tragen dazu bei, Spritzschatten zu vermeiden und eine hohe Verteilungsqualität zu gewährleisten. Die Querverteilung durch die IDKS-Schrägstrahldüsen kann als verbesserungswürdig bezeichnet werden kann. Die durchschnittliche Anlagerung der Spritzflüssigkeit auf den Zuckerrübenblättern wird um bis zu 80% reduziert, obwohl die Einstellung der Unterblattspritze bei der Versuchsdurchführung nicht optimal war. Der Belag befindet sich fast ausschließlich an unteren Blättern und Blattstielen. Daher scheint bei späten Applikationen mit der „Schmotzer Unterblattspritze“ auch der Einsatz von aggressiven oder unverträglichen Pflanzenschutzmitteln zur Bekämpfung der Restverunkrautung möglich. Abdrift wurde im Abstand von 125 cm zu den Spritzeinheiten nicht festgestellt.

Die Ergebnisse bestätigen die Erfahrungen zum Einsatz von Flächen- und Unterblattspritzgeräten in der Praxis. Dennoch wird deutlich, dass weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht. Dies betrifft besonders die Unterblattapplikation mit den „Lechler Droplegs“. Diese Technik wurde bisher nicht zur Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben eingesetzt, besitzt aber ein hohes Potential.

*Schlüsselwörter: Zuckerrüben, Restverunkrautung, Unkrautbekämpfung, Zielflächenverteilung, Applikationsverfahren, Applikationstechnik, Doppelflachstrahldüsen, Unterblattspritzung, Dropleg*

## **10 Summary**

Sugar beets are very susceptible to weed competition. Therefore the success of cultivation depends on the effort of control measures. Under dry conditions or when problem weeds appear on a field it is often not possible to reach a sufficient performance with only three postemergence herbicide applications. If applications are realized after the 6 leaf stage of the sugar beets, the spray shadow of the crop reduces the efficiency of the treatments (BROCKERHOFF und EBER, 2008).

Special application techniques can make a distinct contribute to reduce this negative effect. Broadcast applications can be improved by using double flat fan nozzles (KNEWITZ, 2011). In the 1960s special underleaf sprayers for the control of remaining weeds in sugar beets were developed (JOHNSON und LAW, 1967). Treatments with droplegs and related techniques provide good results in other crops (IRLA, 1976; HEINKEL, 2012). So far the distribution of herbicides in a sugar beet field and the effect of spray shadows have not been examined (KOBUSCH, 2003).

The established procedures for the measurement of spray distribution in a plant stand are very labourious and expensive making them not suitable for this examination. ENFÄLT et al. (1997a) developed a technique to measure high numbers of large-scaled samples by the use of image analysis. To generate spray patterns of application systems a 0.3 percent nigrosine solution is applied on pre-glued wallpaper. After digitization the graphics of the target material can be evaluated by picture analysis. The procedure has not been used under field conditions till now.

Two objectives are pursued in this work: At first shall be determined, whether the measurement procedure of ENFÄLT et al. (1997a) can be used to analyze spray coverage degree, spray distribution and droplet spectrum on a target material laying out in a sugar beet field. Immediate object of the tests is to compare the application quality of four different application systems at increasing leaf coverage degree of the sugar beets. The usability of underleaf spraying techniques for the control of remaining weeds shall be identified. Particular the effect of spray shadows shall be observed.

The following systems were examined:

- broadcast application with flat fan nozzles
- broadcast application with double flat fan nozzles
- underleaf application with „Lechler Droplegs“
- underleaf application with „Schmotzer Underleaf Sprayer“

The tests were realized in a period from 29.05.12 to 07.07.12 at the teaching and research estate Roggenstein of the Technical University of Munich. For all deployed application systems a water volume of 250 l/ha and a driving speed of 6 km/h were chosen. The spray height for broadcast applications was 60 cm. The „Lechler Droplegs“ were equipped with flood nozzles and conducted in a height of 12 cm and 16 cm. Pairs of two off-center nozzles were used with the „Schmotzer

Underleaf Sprayer". During the application series the sugar beet variety "Sabrina KWS" sown in the testing field were increasing their degree of beet leaf coverage from 20 to 90 percent.

To generate spray patterns, the splash water was dyed with 30 g/l nigrosine. Several pieces of pre-glued wallpaper with a size of 45 x 60 cm and 40 x 60 cm were used as spray targets and laid out between the sugar beets. The recording of the leaf distribution was realized by photography. After the application the spray patterns were digitized and evaluated with appropriate software. A grid was used to determinate the average degree of spray coverage in squares of 2.5 x 2.5 cm. Standard applications outside the plant stand were arranged for comparison with the field measurements. It was possible to differentiate the spray patterns between the leaves and in the leaves shadows. The distribution quality was analyzed over the entire area, length- and crossways.

Additional tests were made to measure the spray distribution in the rows, the droplet spectrum of broadcast applications, the spray coverage of the sugar beet leaves and the drift potential. In some tests the "Lechler Droplegs" were adapted by adding different guiding skirts to keep the spray height constant. Another nozzle position was tested for the "Schmotzer underleaf sprayer".

The following results were found:

The test method of ENFÄLT et al. is suitable for the determination of spray patterns on large targets. The use in sugar beets is possible, if corresponding plates are used and the crop is dry. After digitalization of the spray patterns the degree of spray coverage and the distribution quality can be analyzed with simple image editing software. It is also possible to measure particular areas and define distribution intervals. To evaluate the quality of different application systems the relative degree of spray coverage has to be calculated to exclude observational errors due to the different application parameters. If standardizations are used for the comparison, repeated applications should be carried out for each system examined. The drop size analysis with DepositScan overestimates the MVD about 1.19 to 2.93 and does not deliver the expected drop size distribution.

Broadcast applications are not suitable for late applications against remaining weeds no matter which nozzle types are used. For each percentage point the leaf coverage degree of the sugar beets increases, the amount of application volume reaching the target diminishes by the same extent. These measurements correspond to the estimates of BECKER et al. (1999). It can be distinguished between the spray coverage under the leaves and in the areas between: Even in the early development stages of the sugar beets spray shadows with less than 30% of the applied volume appear on the wallpapers. Also the distribution quality decreases with the gain of leaf coverage degree. The coefficient of variation rises from 5% outside the plant stand up to 80% when the crops meet between the rows. The amount of the spray volume not reaching the ground is intercepted by the crop. As a result the spray coverage of the sugar beets rises linear with the leaf coverage degree. It is not possible to reduce the herbicide stress with broadcast applications.

With double flat fan nozzles a slightly improved distribution quality can be achieved. The spray shadow is less distinctive than the one of usual flat fan nozzles: When the leaf coverage degree is low, up to 50% of the applied dose can reach the area under the leaves. At higher stages of devel-

opment the advantage of double flat fan nozzles declines. Nevertheless the specific nozzle geometry contributes to avoid spray shadows in broadcast applications.

Underleaf applications with “Lechler Droplegs” are suitable for the late application of herbicides in sugar beets. As a precondition the leaf orientation should be as upright as possible. The spray coverage degree on the target and the appearance of spray shadows depend on the amount of low lying sugar beet leaves. At optimal conditions a uniform distribution can be achieved up to a leaf coverage degree of 60%. If the sugar beets are in youth stage or older leaves are resting on the ground, the relative amount of underdosed areas increases. There is need to customize the nozzle types: With the used flood nozzles the lateral distribution cannot be qualified as satisfying. The distribution quality is limited by the movements of the droplegs appearing in the plant stand: Particular at high leaf densities the drag hoses weave crossways and swing back and forth too. Guiding skirts at the end of the droplegs improve the height guidance but inhibit an even movement in driving direction. The spray coverage on the sugar beet leaves is divided in half compared with the interception of broadcast applications. Moreover the drift can be reduced.

Special underleaf sprayers for applications in sugar beets ensure a high performance in all stages of crop development. Even if the horizontal view is entirely covered with leaves, about 60% of the application volume is able to reach the target area. The leaf lifters contribute to avoid spray shadows and ensure a high distribution quality. The lateral distribution of the paired off-centre nozzles is not satisfying at the chosen adjustment. The average spray coverage on the sugar beet leaves can be reduced by 80% at later development stages, although the leaf lifters were hung up to high. Most of the spray is attached at older leaves and leafstalks. Therefore the application of aggressive herbicide mixtures seems to be possible. Drift has not been detected.

The results verify the previous studies and experiences on applications with different broadcast and underleaf spraying techniques. Nevertheless it is obvious that further research and development is needed to improve the application quality. Particular the “Lechler Droplges”, which have not been used in sugar beets so far, show a high potential for controlling remaining weeds.

*Keywords: sugar beets, remaining weeds, weed control, distribution quality, application systems, application techniques, double flat fan nozzles, underleaf application, dropleg*

**Literaturverzeichnis**

- AHLERS, G. (1986):** Unkrautunterdrückung durch Untersaaten sowie Konkurrenzwirkung von Unkraut und Untersaaten auf die Zuckerrübe in Abhängigkeit der Konkurrenzdauer und N-Düngung. Dissertation. Bonn: Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität.
- BAEUMER, K. (1992):** Allgemeiner Pflanzenbau, 3. Auflage. Stuttgart: Ulmer-Verlag. ISBN 3-8252-0018-3.
- BALSARI, P., AIROLDI, G. und TAMAGNONE, M. (1994):** Boom sprayer transverse distribution uniformity (as CV) and treatment effectiveness: first results. in *Proceeding of the XII International Conference on Agricultural Engineering*, 94-D-154. Milano (I): 29. August - 1. September 1994.
- BAUER, H. (2007):** Strategien gegen Spätverunkrautung. *dzz* 43(3): 11.
- BAUER, H. und FIEST, J. (2007):** Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben. *dzz* 43(2): 14.
- BAUER, T. A. und MORTENSEN, D. A. (1992):** A comparison of economic and economic optimum threshold for two annual weeds in soybeans. *Weed Technology* 6: 228-235.
- BAUR, P. (2000):** Wirkstoffaufnahme während und nach dem Auftrocknen der Spritzflüssigkeit und der Einfluß von Temperatur und Luftfeuchte. *Mitteilungen der Deutschen Phytomedizinischen Gesellschaft* 30(2): 65-66.
- BECKER, F. A., KLEIN, A. W., WINKLER, R., JUNG, B., BLEIHOLDER, H. und SCHMIDER, F. (1999):** The degree of ground coverage by arable crops as a help in estimating the amount of spray solution intercepted by the plants. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* 51(9): 237-242.
- BEIßNER, L. und BÜTTNER, G. (2000):** Herbizidstress bei Zuckerrüben: Physiologie, Symptomatik und Schadrelevanz. in *Proceedings of the 63rd IIRB Congress*, 149-162. Interlaken (CH): 9.-10. Februar 2000.
- BLUMENBERG, E. und HEITEFUß, R. (1988):** Höhe und Bedeutung der Restverunkrautung. *Zuckerrübe* 37 (3): 166-168.
- BRANDES, A. (2000):** Ertrag und Qualität von Zuckerrüben in Abhängigkeit von Restverunkrautung und Standort. Dissertation. Göttingen: Georg-August-Universität.
- BRÄUTIGAM, H. (1998):** Untersuchungen zur Konkurrenz zwischen Unkraut und Zuckerrüben - Auftreten, Ursachen und Konsequenzen für die Unkrautregulierung. Dissertation. Göttingen: Georg-August-Universität.
- BRÄUTIGAM, H. und SCHÄUFELE, W. R. (1994):** Einfluss der Stickstoffdüngung auf die Verunkrautung in Zuckerrüben. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft XIV*: 467-476.
- BRÄUTIGAM, V. (1990):** Einfluss langjährig reduzierter Bodenbearbeitung auf die Unkrautentwicklung und -bekämpfung. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft XII*: 219-227.
- BROCKERHOFF, H. (2010):** Tipps zum Herbizideinsatz 2010. *Zuckerrübenjournal* 1: 16-18.
- BROCKERHOFF, H. (2011):** Rückblick auf ein Ausnahmejahr. *Zuckerrübenjournal* 3: 15.
- BROCKERHOFF, H. und EBER, C. (2008):** Unkrautbekämpfung - Reserven konsequenter nutzen. *Zuckerrübenjournal* 1: 12-13.
- BUHRE, C., FECKE, F., SCHLINKER, G. und LADEWIG, E. (2011):** Entwicklungen im Pflanzenschutz in Zuckerrüben aus der Umfrage Produktionstechnik im Vergleich zur Erhebung NEPTUN. *Sugar Industry Sonderheft 10*: 13-20.

- BUSCHE, S. (2008):** Reduktion des Pflanzenschutzmitteleinsatzes - Konsequenzen für das Schaderregerauftreten und die Wirtschaftlichkeit in Getreide-Zuckerrüben-Fruchtfolgen. Dissertation. Göttingen: Georg-August-Universität.
- BYERS, R. E., LYONES, C. G., YODER, K. S., HORSBURGH, R. L., BARDEN, J. A. und BONOUE, S. J. (1984):** Effect of apple tree size and canopy density on spray chemical deposit. *Horticultural Science* 19(1): 93-94.
- CARLTON, J. B. (1967):** Continuous recording of H<sub>2</sub>O spray spot images across the sprayed swath on 35 mm film. *Journal of Economical Entomology* 60(3): 744-748.
- COONS, G. H., KOTILA, J. E. und BOCKSTAHLER, H. W. (1946):** Black root of sugar beets and possibilities for its control. *Proceedings of the American Society of Sugar Beet Technology* 4: 364-380.
- DAWSON, J. H. (1977):** Competition of late-emerging weeds with sugarbeets. *Weed Science* 25(2): 168-170.
- DAWSON, J. H. (1986):** The concept of period thresholds. in *Proceedings of the 5th EWRS Symposium on Economic Weed Control*, 327-331. Stuttgart-Hohenheim: 12.-14. März 1986.
- DERKSEN, R. C. und JIANG, C. (1995):** Automated Detection of Fluorescent Spray Deposits with a Computer Vision System. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 38(6): 1647-1653.
- DEWAR, A. M., HAYLOCK, L. A., MAY, M. J., BEANE, J. und PERRY, R. N. (2000):** Glyphosate applied to genetically modified herbicide-tolerant sugarbeet and volunteer potatoes reduced populations of potato cyst nematodes and the number and size of daughter tubers. *Annals of Applied Biology* 136: 179-187.
- DIELEMAN, J. A., MORTENSEN, D. A. und MARTIN, A. R. (1999):** Influence of velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) and common sunflower (*Helianthus annuus*) density variation on weed management outcomes. *Weed Science* 47(1): 81-89.
- DOLLINGER, M. und KEMMER, A. (1992):** Schadwirkung und Bekämpfung von Hundspetersilie (*Anethusa cynapium* L.) in verschiedenen Kulturen. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft XIII*: 197-204.
- DUCH, H. J. (2012):** Konkurrenten nachhaltig ausschalten. *dzz* 48(3): 25-27.
- DUMBAULD, K. und RAFFERTY, J. (1978):** Spectral Counts of Deposits on Cards. in *Methods for Sampling and Assessing Deposits of Insecticidal Sprays Released Over Forests*, 50-58. Washington: United States Government Printing Office.
- ENFÄLT, P., ENGGVIST, A. und ALNESS, K. (1997):** Assessment of the dynamic spray distribution on a flat surface using image analysis. *Aspects of applied biology* 48: 17-24.
- ENFÄLT, P., ENGGVIST, A. und BENGTTSSON, P. (1997):** The Influence of Spray Distribution and Drop Size on the Dose Response of Herbicides. in *Proceedings of the Brighton Crop Conference, Weeds*, 281-289. Brighton (GB): 17-20 November 1997.
- ENGELKE, T., SÖCHTING, H. P. und ZWERGER, P. (2010):** Entwicklung und Konkurrenzkraft wärmeliebender Unkrautarten. *Julius-Kühn-Archiv* 428: 473.
- ERIKSSON, P. (1988):** Image processing for analysing spray deposits. Rapport 128. Uppsala (S): Swedish University of Agricultural Sciences. ISBN 91-576-3382-7.
- EßER, C. (2012):** *persönliche Mitteilung*. Landwirtschaftlicher Informationsdienst Zuckerrübe.
- EßER, C. und HEINRICHS, C. (2012):** Wenn noch Unkraut übrig bleibt. *Zuckerrübenjournal* 2: 8-10.

- FIEDLER, H. (2011):** Mit Unterblattspritzung gegen späte Unkräuter. *Zuckerrübenjournal* 2: 19-20.
- FOX, R. D., DERKSEN, R. C., COOPER, J. A., KRAUSE, C. R. und OZKAN, H. E. (2003):** Visual and image system measurement of spray deposits using water sensitive paper. *Applied Engineering in Agriculture* 19(5): 549-552.
- FRIESSLEBEN, R., RIPKE, F. O., SCHMIDT, K. und STADLER, R. (2000):** Zum Einfluss von Düsenteknik und Wasseraufwandmengen auf die biologische Wirkung von Pflanzenschutzmitteln in verschiedenen Indikationen im Feldbau. *Mitteilungen der biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft* 376: 242.
- GEHRING, K. (2012):** Clearfield-Raps: Neue Herausforderungen. *dzz* 48(3): 28-29.
- GEHRING, K., THYSSEN, S. und FESTNER, T. (2006):** Einfluss der Applikation mit abdriftreduzierten Düsen auf die Wirksamkeit von Herbizidbehandlungen. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft XX*: 233-240.
- GEISSL, W. und BACHTHALER, G. (1986):** Einfluss von Ackerunkräutern als Nebenwirte auf die Populationsdichte des Rübenzystenälchens *Heterodera schachtii* Schm. unter verschiedenen Fruchtfolgesystemen. in *Proceedings of the 5th EWRS Symposium on Economic Weed Control*, 217-224. Stuttgart-Hohenheim: 12.-14. März 1986.
- GÖHLICH, H. (1977):** Einfluß technologischer Faktoren auf Zerstäubung und Ablagerung. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft XIII*: 337-343.
- GÖHLICH, H. (1985):** Deposition and penetration of sprays. in *BCPC Monogram No 28, Symposium on Application and Biology, "Studies with Alternative Glyphosat"*, 172-182. Berkshire (GB): 7.-9. Januar 1985.
- GRUBER, S., PEKRUN, C. und CLAUPEIN, W. (2005):** Life cycle and potential gene flow of volunteer oilseed rape in different tillage systems. *Weed Research* 45: 83-93.
- GUMMERT, A., LADEWIG, E. und MÄRLANDER, B. (2012):** Leitlinien für den integrierten Pflanzenschutz im Zuckerrübenbau: Aspekte der Unkrautregulierung. *Julius-Kühn-Archiv* 434: 345-352.
- HABERLAND, R. (1980):** Erste Erfahrungen zur chemischen Bekämpfung der Restverunkrautung in Zuckerrüben. in *182. Tagungsbericht der Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der Deutschen Demokratischen Republik*, 129-136. Leipzig: 19.-20. Juni 1980.
- HABERLAND, R. (1983):** Einsatz eines Unterblattspritzgerätes zur Beseitigung der Spätverunkrautung in Zuckerrüben. *Nachrichtenblatt für den Pflanzenschutz in der DDR* 37(9): 180-183.
- HABERLAND, R. (1994):** Auftreten und Auswirkungen der Restverunkrautung in Zuckerrüben. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft XIV*: 477-486.
- HABERLAND, R. (1998):** Untersuchungen zur mechanischen Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft XVI*: 587-593.
- HANF, M. (1938):** Pflanzengesellschaften des Ackerbodens. *Pflanzenbau* 13: 449-476.
- HANF, M. (1999):** Ackerunkräuter Europas, 4. Auflage. Stuttgart: Ulmer-Verlag. ISBN 3-4051-4118-4.
- HEINKEL, R. (2012):** *persönliche Mitteilung*. Lechler GmbH.
- HERBST, A. und WYGODA, H. J. (2006):** Pyranin - ein fluoreszierender Farbstoff für applikationstechnische Versuche. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* 58(3): 79-85.

- HIMEL, C. M. (1969):** The Fluorecent Particle Spray Droplet Tracer Method. *Journal of Economic Entomology* 62(4): 912-916.
- HOFFMANN, W. C. und HEWITT, A. J. (2005):** Comparison of Three Imaging Systems for Water-Sensitive Papers. *Applied Engineering in Agriculture* 21(6): 961-964.
- HOLPP, M. (2010):** Von Hand oder automatisch lenken? *eilbote* 3: 18-19.
- IMA, Information Medien Agrar. (2005):** Landwirtschaft in Deutschland. Bonn: Information Medien Agrar.
- IRLA, E. (1976):** Geräte und Verfahren für die Unkrautbekämpfung in Mais. Blätter für Landtechnik 107. Tänikon (CH): Eidgenössische Forschungsanstalt für Betriebswirtschaft und Landtechnik.
- JACOBSEN, B. J. (2006):** Root rot diseases of sugar beet. *Zbornik Matice Srpske za Prirodne Nauke (Proceedings for Natural Sciences)* 110: 9-19.
- JEGATHEESWARAN, P. (1977):** Zur Tropfenanlagerung und Belagsstruktur bei verringertem Aufwandvolumen. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft VIII*: 345-352.
- JKI, Julius-Kühn-Institut. (2012):** Offizielles Verzeichnis verlustmindernder Geräte. Braunschweig: Julius-Kühn-Institut. unter [http://www.jki.bund.de/fileadmin/dam\\_uploads/\\_AT/geraetelisten/verlustmindernd\\_abdrift/Offizielles%20Verzeichnis%20Verlustmindernde%20Geraete%2018-Juni-2012.xlsx](http://www.jki.bund.de/fileadmin/dam_uploads/_AT/geraetelisten/verlustmindernd_abdrift/Offizielles%20Verzeichnis%20Verlustmindernde%20Geraete%2018-Juni-2012.xlsx). aufgerufen am: 15.07.12.
- JOHNSON, R. C. und LAW, J. B. (1967):** Results of Applying Herbicides at Time of Last Cultivation. *Journal of the American Society of Sugar Beet Technologists* 14: 637-641.
- KAUL, P., WYGODA, H. J. und GANZELMEIER, H. (1994):** Beurteilung des Spritzbildes von Flachstrahldüsen im Pflanzenschutz. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* 46(3): 45-52.
- KEES, H., BEER, E., BÖTGER, H., GARBURG, W., MEINERT, G. und MEYER, E. (1993):** Unkrautbekämpfung im integrierten Pflanzenschutz, 5. Auflage. Frankfurt am Main: DLG-Verlag. ISBN 3-7690-0507-4.
- KIFFERLE, G. und STAHLI, W. (2001):** Spritz- und Sprühverfahren in Pflanzenschutz und Flüssigdüngung bei Flächenkulturen. Norderstedt: Selbstverlag. ISBN 3-8311-2538-4.
- KNEWITZ, H. (2006):** Herbiziddüsen für den Obstbau. *Monatsschrift (Magazin für den Gartenbau-Profi)* 12: 18-25.
- KNEWITZ, H. (2011):** Doppelflachstrahldüsen als Standardausrüstung im Ackerbau? in *Tagungsband zur 55. Kreuznacher Wintertagung*, 57-62. Bad Kreuznach: 2.-4. Februar 2011.
- KNEWITZ, H., STRUB, O. und KOCH, H. (2011):** Düsen im Test. *das deutsche weinmagazin* 7/9: 49-51.
- KNOTT, L. (1973):** Das Eindringen von Spritzstrahlen und die Tropfenablagerung in Flächenkulturen und Raumkulturen. Dissertation. Berlin: Technische Universität Berlin.
- KOBUSCH, H. (2003):** Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben - Ermittlung der Kritischen Periode. Dissertation. Hohenheim: Universität Hohenheim.
- KOCH, H. (1992):** Über die Bedeutung von gerätetechnisch determinierten und stochastisch ablaufenden Prozessen des Applikationsvorganges für Dosierung und Verteilung von Pflanzenschutzmitteln. *Gesunde Pflanzen* 44(10): 350-360.
- KOCH, H. und KNEWITZ, H. (2010):** Belagsmessungen - was messen und wie interpretieren? *Julius-Kühn-Archiv* 428: 163-164.

- KROHMANN, P. (2003):** Effizienz teilschlagspezifischer Unkrautkontrolle und räumlich-zeitlicher Dynamik der Unkrautpopulation in einer Felderfolge und Monokultur. Dissertation. Bonn: Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität.
- KROPFF, M. J., LOTZ, L. A. P., WEAVER, S. E., BOSS, H. J., WALLINGO, J. und MINGO, T. (1995):** A two parameter model for prediction of crop loss by weed competition from early observations of relative area of the weeds. *Annals of Applied Biology* 126: 329-346.
- KUCKENBERG, J. (2012):** *persönliche Mitteilung*. KWS Saat AG.
- KÜHLBAUCH, W., BESTAJOWSKY, J. und HUBER-REINHARD, M. (1984):** Erfassung des Unkrautdeckungsgrades in landwirtschaftlichen Kulturen mit Hilfe eines bildanalytischen Verfahrens. *Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau* 153: 32-39.
- KUHLMANN, J. und BORM, T. (1991):** Bandspritze: Vor allem auf die Düsen kommt es an. *top agrar* 4: 122-124.
- LADEWIG, E., BRUNS, C., LEIPERTZ, H., SANDER, G. und WETZLER, H. (2006):** Expertenbefragung zum Pflanzenschutz 1994-2005. *Zuckerindustrie* 131(9): 80-85.
- LAGERFELT, P. (1988):** Deposit determinations in horizontal and vertical direction in a dense plant stand with the image analyser and the fluorimeter method. Rapport 128. Uppsala (S): Swedish University of Agricultural Sciences. ISBN 91-576-3382-7.
- LARDOUX, Y., SINFORT, C., ENFÄLT, P. und SEVILA, F. (2007a):** Test Method for Boom Suspension Influence in Spray Distribution, Part I: Experimental Study of Pesticide Application under a Moving Boom. *Biosystems Engineering* 96(1): 29-39.
- LARDOUX, Y., SINFORT, C., ENFÄLT, P. und SEVILA, F. (2007b):** Test Method for Boom Suspension Influence in Spray Distribution, Part II: Validation and Use of a Spray Distribution Model. *Biosystems Engineering* 96(2): 161-168.
- LARSOLE, A., WRETLAD, P. und WESTBERG, C. (2002):** A comparison of biological effect and spray liquid distribution and deposition for different spray application techniques in different crops. Rapport 250. Uppsala (S): Swedish University of Agricultural Sciences. ISSN 00283-0086.
- LAST, A. J. und PARKIN, C. S. (1987):** The measurement of spray deposits on natural surfaces by image analysis. *Aspects of applied biology* 14: 85-96.
- LECHLER. (2011):** Agrardüsen und Zubehör. Metzingen: Eigenverlag.
- LOTZ, L. A. P., GROENEVELD, R. M. W. und DE GROOT, N. A. M. A. (1991):** Potential for reducing herbicide inputs in sugar beet by selecting early closing cultivars. in *Proceedings of the Brighton Crop Conference, Weeds*, 1124-1131. Brighton (GB): 18.-21. November 1991.
- MADSEN, K. H. und JENSEN, J. E. (1995):** Weed control in glyphosat-tolerant sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Weed Research* 35: 105-111.
- MAIDL, F. X. (2012):** *persönliche Mitteilung*. Technische Universität München, Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme.
- MARKIN, G. P. (1978):** Deposit Cards and Collection Plates. in *Methods for Sampling and Assessing Deposits of Insecticidal Sprays Released Over Forests*, 5-7. Washington: United States Government Printing Office.
- MÄRLANDER, B. und BRÄUTIGAM, H. (1994):** Bestandesdichte von Zuckerrüben und Intensität der Verunkrautung - erster Ansatz integrierter Unkrautregulierung. *Gesunde Pflanzen* 46(4): 117-122.
- MAYNARD, R. A., WOMAC, A. R. und KIRK, I. W. (1996):** Nozzle Classification Factors for Ground Applications. Paper 961074. St. Joseph (USA): American Society of Agricultural Engineers.

- MECHANT, E. und BULCKE, R. (2006):** Cross-resistance of metamilon-resistant *Chenopodium album* L. biotypes from sugar beet. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft XX*: 147-153.
- MERKES, R., COENEN, H., HESSE, F. und SCHÜTZ, G. (2003):** Stand der Produktionstechnik zu Zuckerrüben - Ergebnisse der Umfrage 2002. *Zuckerindustrie* 128 (6): 425-433.
- MEYER, H., WIDMER, U. und AMMON, H. U. (1986):** Konkurrenz der Unkräuter und Einfluß auf die Unkrautbekämpfungssysteme im Zuckerrübenanbau. in *Proceedings of the 49th IIRB Congress*, 263-275. Brüssel (B): 12.-13. Februar 1986.
- NEURURER, H. (1976):** Geringe Verunkrautung schadet nicht. *Zuckerrübe* 25(3): 14-15.
- NIEMANN, P. (1988):** Ein Ansatz zur Bewertung von Ackerunkräutern. *Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft* 247: 115-128.
- NORDBY, A., Steenberg, K. (1959):** Application of Radioactive Plant Protection Chemicals for Illustration and Quantitative Evaluation of Spray Deposits. *Journal of Agricultural Engineering Research* 4: 174-180.
- NORDEN, J. (1982):** Spritztechnik in Pflanzenschutz und Düngung. Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag. ISBN 3-7843-1124-5.
- NORRIS, R. F. (1992):** Case History for Weed Competition/Population Ecology: Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in Sugarbeets (*Beta vulgaris*). *Weed Technology* 6: 220-227.
- NORRIS, R. F. (1999):** Ecological implications of using thresholds for weed management. *Journal of Crop Production* 2(1): 31-58.
- OOMS, D., RUTER, R., LEBEAU, F. und DESTAIN, M. F. (2003):** Impact of the horizontal movements of a sprayer boom on the longitudinal spray distribution in field conditions. *Crop Protection* 22: 813-820.
- OSTERHILD, H. (1985):** Wie Feldspritz-Tropfbilder beurteilen? *dlz* 36 (8): 1220-1221.
- PALLADINI, L. A., RAETANO, C. G. und VELINI, E. D. (2005):** Choice of Tracers for the Evaluation of Spray Deposits. *Scientia agricola* 62(5): 440-445.
- PEKRUN, V. und CLAUPEIN, W. (2002):** The effect of soil cultivation after sunflowers on seed persistence and establishment of volunteers. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft XVIII*: 329-334.
- PETERSEN, J. (2003):** Sensitivität verschiedener Herkünfte von *Matricaria inodora* und *Matricaria chamomilla* gegenüber Metamilon. *Gesunde Pflanzen* 55(7): 205-209.
- PETRY, W. und KÜHLBAUCH, W. (1988):** Messung des Unkrautdeckungsgrades durch echtfarbentüchtige quantitative Bildanalyse auf Personalcomputer. *Journal of Agronomy and Crop Science* 19: 345-351.
- RAMON, H. und LANGENAKENS, J. (1996):** Model-based improvements of spray distribution by optimal positioning of spray nozzle. *Crop Protection* 12(2): 153-158.
- REICHARD, D. I. (1990):** A system for producing various sizes, numbers and frequencies of uniform-size drops. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 33(6): 1767-1770.
- RIPKE, F. O. (2000):** Abtriftminderung, Wirkstoffbelagsverteilung und biologischer Wirkungsgrad von Luftinjektordüsen im Ackerbau. *Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft* 376: 242-243.
- RÖDELSPRENGER, F. (2002):** Problem-Unkräuter in der Fruchtfolge bekämpfen. *dzz* 38(3): 8.

- ROßBERG, D., VASEL, E. H. und LADEWIG, E. (2010):** NEPTUN 2009 - Zuckerrübe. *Berichte aus dem Julius-Kühn-Institut* 152: 45.
- RÜEGG, J. (2002):** Verbesserung der Spritztechnik in Buschbohnen. Bericht 583. Tänikon (CH): Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik.
- RÜEGG, J. und EDER, R. (2005):** Fortschritte im Pflanzenschutz für den Feldgemüsebau. *Der Gemüsebau* 1: 6-11.
- RÜEGG, J., EDER, R. und ANERAU, V. (2006):** Improved application techniques: Ways to higher efficacy of fungicides and insecticides in field grown vegetables. *Outlooks on Pest Management* 17(2): 80-84.
- SALYANI, M. (1999b):** A Technique for Stabilizing Droplet Spots on Oil-sensitive Paper. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 42(1): 45-48.
- SALYANI, M. und FOX, R. D. (1994):** Performance of Image Analysis for Assessment of Simulated Spray Droplet Distribution. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 37(4): 1083-1089.
- SALYANI, M. und FOX, R. D. (1999a):** Evaluation of Spray Quality by Oil- and Water-sensitive Papers. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 42(1): 37-43.
- SALYANI, M. und WHITNEY, J. D. (1988):** Evaluation of Methodologies for Field Studies of Spray Deposition. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 31(2): 390-394.
- SCHÄUFELE, W. R. (1986):** Einfluß hochwachsenden Unkrautes (*Chenopodium album*) auf Entwicklung und Ertrag der Zuckerrübe. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 93(2): 125-135.
- SCHÄUFELE, W. R. (1991):** Einfluß niedrigwachsender Unkräuter zwischen den Reihen auf den Ertrag von Zuckerrüben. *Gesunde Pflanzen* 43(6): 175-179.
- SCHÄUFELE, W. R. und BAUER, H. (1996):** Derzeitige Strategie der Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben und mögliche Entwicklungen. *Zuckerindustrie* 121(8): 590-594.
- SCHÄUFELE, W. R. und WINNER, C. (1986):** Einfluß abgestufter, anhaltender Verunkrautung auf Ertrag und Qualität der Zuckerrübe. in *Proceedings of the 49th IIRB-Congress*, 277-285. Brüssel (B): 12.-13. Februar 1986.
- SCHÄUFELE, W. R., Harms, H., Pfeleiderer, U. E. (1998):** Modellversuche zum Einsatz des nichtselektiven Herbizids BASTA in Zuckerrüben. *Zuckerindustrie* 123(12): 947-949.
- SCHENKE, D., KAUL, P., KUNDE, B., GEBAUER, S. und WYGODA, H. J. (2004):** Bestimmung der Bodenbelastung durch Pflanzenschutzmittel bei Einsatz unterschiedlicher Düsen in Abhängigkeit vom Wachstumsstadium der Kultur - Beispiel Kartoffeln. *Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft* 396: 611.
- SCHMITZ, P. H. (1984):** Der Einfluß von Unkrautbekämpfungssystemen auf Unkrautpopulationen und Ertragsstruktur in einer Fruchtfolge mit Zuckerrüben, Winterweizen und Wintergerste. Dissertation. Bonn: Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität.
- SCHMOTZER. (2008):** Hacktechnik. Bad Windsheim: Eigenverlag.
- SCHULZE-ISING, A. (2012):** Weniger Stress im Mais. *eilbote* 6: 18-19.
- SCHWEIZER, A., TURGUT, C. und HURLE, K. (2000):** Untersuchungen zur Verflüchtigung von Pflanzenschutzmitteln von Pflanzenoberflächen in Abhängigkeit von Temperatur und relativer Luftfeuchte. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft XVII*: 791-798.

- SCHWEIZER, E. E. und BRIDGE, L. D. (1982):** Sunflower (*Helianthus annuus*) and velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) interference in sugarbeets. *Weed Science* 30(5): 518-520.
- SCHWEIZER, E. E. und LAURIDSON, T. C. (1985):** Powell amaranth (*Amaranthus powellii*) interference in sugarbeet (*Beta vulgaris*). *Weed Science* 33(4): 518-520.
- SCOTT, R. K. und MOISEY, F. R. (1972):** The effect of weeds on the sugar beet crops. in *Proceedings of the 11th British Weed Control Conference*, 491-497. Brighton (GB): 13.-16. November 1972.
- SINFORT, C., LARDOUX, Y., MIRALLES, A., ENFÄLT, P., ALNESS, K. und ANDERSSON, S. (1997):** Comparison between measurements and modelisation of spray pattern from a riding boom sprayer. *Aspects of applied biology* 48: 1-8.
- SMITH, H. G. (1989):** Distribution and infectivity of yellowing viruses in field-grown sugar-beet plants. *Annals of Applied Biology* 114: 481-487.
- SOUKUP, J. und HORAK, L. (1998):** Auswirkungen reduzierter Bodenbearbeitung auf Unkrautflora und Ertrag in Zuckerrüben. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderheft XVI*: 581-586.
- SOUTHCOMBE, E. S. E., MILLER, P. C. H., GANZELMEIER, H., VAN DER ZANDE, J. C., MIRALLES, A. und HEWITT, A. J. (1997):** The international (BCPC) spray classification system including a drift potential factor. in *Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference, Weeds*, 371-380. Brighton (GB): 17.-20. November 1997.
- SPENCER, N. R. (1984):** Velvetleaf, *Abutilon theophrasti* (Malvaceae), History and Economic impact in the United States. *Economic Botany* 38: 407-416.
- STADLER, R., STRATHMANN, S., SAUR, S., LANDFRIED, M. und KOCH, H. (2000):** Qualitätsbeurteilung der Applikation - Vergleich biologischer und analytischer Auswertungsmethoden. *Phytomedizin* 30(2): 71-72.
- STEINGRÖVER, P. (2012):** Bekämpfung von Durchwuchskartoffeln. *Kartoffelbau* 63(4): 13-15.
- STURHAN, D., HALLMANN, J. und NIERRE, B. (2008):** Ein nematologisches Jubiläum: 150 Jahre *Ditylenchus dispaci*. *Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes* 60(12): 261-266.
- TOEWS, R. B., FRIESSLEBEN, R. und NAUNHEIM, P. (2012):** Mehrjährige Versuchsergebnisse zum Einfluss verschiedener Applikationstechniken auf die selektive Gräserkontrolle im Getreide. *Julius-Kühn-Archiv* 434: 223-227.
- TREIBER, S., GERBER, M. und STADLER, R. (2000):** Einfluss von Wasseraufwandmenge und Düsentyp auf die Belagsbildung und die herbizide Wirkung von LOTUS. *Mitteilungen der biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft* 376: 415-416.
- VAN DER WEIDE, R. Y., BLEEKER, P. O., ACHTEN, V. T. J. M., LOTZ, L. A. P., FOGELBERG, F. und MELANDER, B. (2008):** Innovation in mechanical weed control in crop rows. *Weed Research* 48: 215-224.
- VASEL, E. H. und LADEWIG, E. (2010):** Ermittlung von Strategien zum Herbizideinsatz in Zuckerrüben (Projekt Leitlinien des Integrierten Pflanzenschutzes in Zuckerrüben). *Julius-Kühn-Archiv* 428: 310.
- VESELY, D. (1970):** Beziehungen zwischen der Verbreitung des Rübennematoden (*Heterodera schachtii* Schmidt) und dem Vorkommen von Wirtsunkräutern beim Nacheinanderanbau der Zuckerrübe. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz* 77: 525-530.
- WAGNER, G. (2009):** Strategien gegen Spätverunkrautung. *dzz* 45(3): 11.
- WAITE, R. A. (1978):** Spread Factor of Pesticide Spray Formulations on Cards. in *Methods for Sampling and Assessing Deposits of Insecticidal Sprays Released Over Forests*, 74-79. Washington: United States Government Printing Office.

- WELCHES, H. G. und LAUN, N. (2010):** Droplegs für höhere Wirkungsgrade. *Gemüse 2*: 22-24.
- WELLMANN, A. (1999):** Konkurrenzbeziehungen und Schadensprognose in Zuckerrüben bei variiertem zeitlichen Auftreten von *Chenopodium album* L. und *Chamomilla recutita* (L.) Rauschert. Dissertation. Göttingen: Georg-August-Universität.
- WETZLER, H. (2005):** Die Minimierung hat Grenzen. *dzz* 41(3): 9.
- WEVERS, J. D. A. (1998):** The environmental contamination of weed control in transgenic herbicide resistant sugar beet. in *Proceedings of the 61st IIRB Congress*, 365-368. Brüssel (B): 11.-12. Februar.
- WIESNER, K. (1967):** Die Unkrautflora in Beta-Rüben-Beständen der Börde und einiger anderer Standorte. *Albrecht-Thaer-Archiv* 11: 883-893.
- WIESNER, K. und HABERLAND, R. (1979):** Auswirkungen der Restverunkrautung auf Ertrag, Qualität, Erntbarkeit und Besatz der Zuckerrüben. *Feldwirtschaft* 20: 371-374.
- WIESNER, K. und HABERLAND, R. (1980):** Besatzdichte und Artenspektrum der Restverunkrautung in Zuckerrübenbeständen. *Archiv für Phytopathologie und Pflanzenschutz* 16(3): 217-226.
- WILSON, R., MILLER, S. und WESTRA, P. (2004):** Risks of Weed Spectrum Shifts and Herbicide Resistance in Glyphosat Tolerant Cropping Systems. in *Proceedings of the 67th IIRB Congress*, 130-134. Brüssel (B): 11.-12. Februar 2004.
- WINDELS, C. E. und LAMEY, H. A. (1998):** Identification and control of seedling diseases, root rot and rizomania on sugarbeet. Minnesota: NDSU Extension Service.
- WINNER, C. (1981):** Zuckerrübenbau. Frankfurt: VUA. ISBN 3-7690-0377-2.
- WOHLHAUSER, R. (2003):** Wassersensitives Papier - Nur nutzbar als Möglichkeit zur visuellen Kontrolle bei Applikationen?. Braunschweig: Deutsche Phytomedizinische Gesellschaft. unter: [http://p11631.typo3server.info/fileadmin/alte\\_Webseiten/ak/09/Tagung2003/Tagung2003.htm](http://p11631.typo3server.info/fileadmin/alte_Webseiten/ak/09/Tagung2003/Tagung2003.htm). aufgerufen am: 22.07.12.
- WOLF, P. (2002):** Verteilungsqualität von Feldspritzgeräten. Dissertation. Braunschweig: Technische Universität Braunschweig. ISBN 3-8322-0237-4.
- WVZ, Wirtschaftliche Vereinigung Zucker. (2011):** Zucker in Zahlen. Bonn: Wirtschaftliche Vereinigung Zucker.
- WYGODA, H. J., GANZELMEIER, H., KAUL, P. und MOLL, E. (2010):** Hohe Fahrgeschwindigkeiten bei der Applikation von Pflanzenschutzmitteln im Ackerbau. *Julius-Kühn-Archiv* 428: 508-509.
- YATES, W. E., AKESSON, N. B. und COWDEN, R. E. (1974):** Criteria for minimizing drift residues on crops downwind from aerial applications. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 17(4): 627-632.
- ZHANG, N. und CHAISATTAPAGON, C. (1995):** Effective criteria for weed identification in wheat field using machine vision. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 38(3): 965-974.
- ZHU, H., SALYANI, M. und FOX, R. D. (2011):** A portable scanning system for evaluation of spray deposit distribution. *Computers and Electronics in Agriculture* 76: 38-43.
- ZWERGER, P. und AMMON, U. (2002):** Unkraut - Ökologie und Bekämpfung. Stuttgart: Ulmer-Verlag. ISBN 3-8001-3846-8.

***Anhang***

Abb. A1: Standardisierung der Flächenapplikation mit Flachstrahldüsen

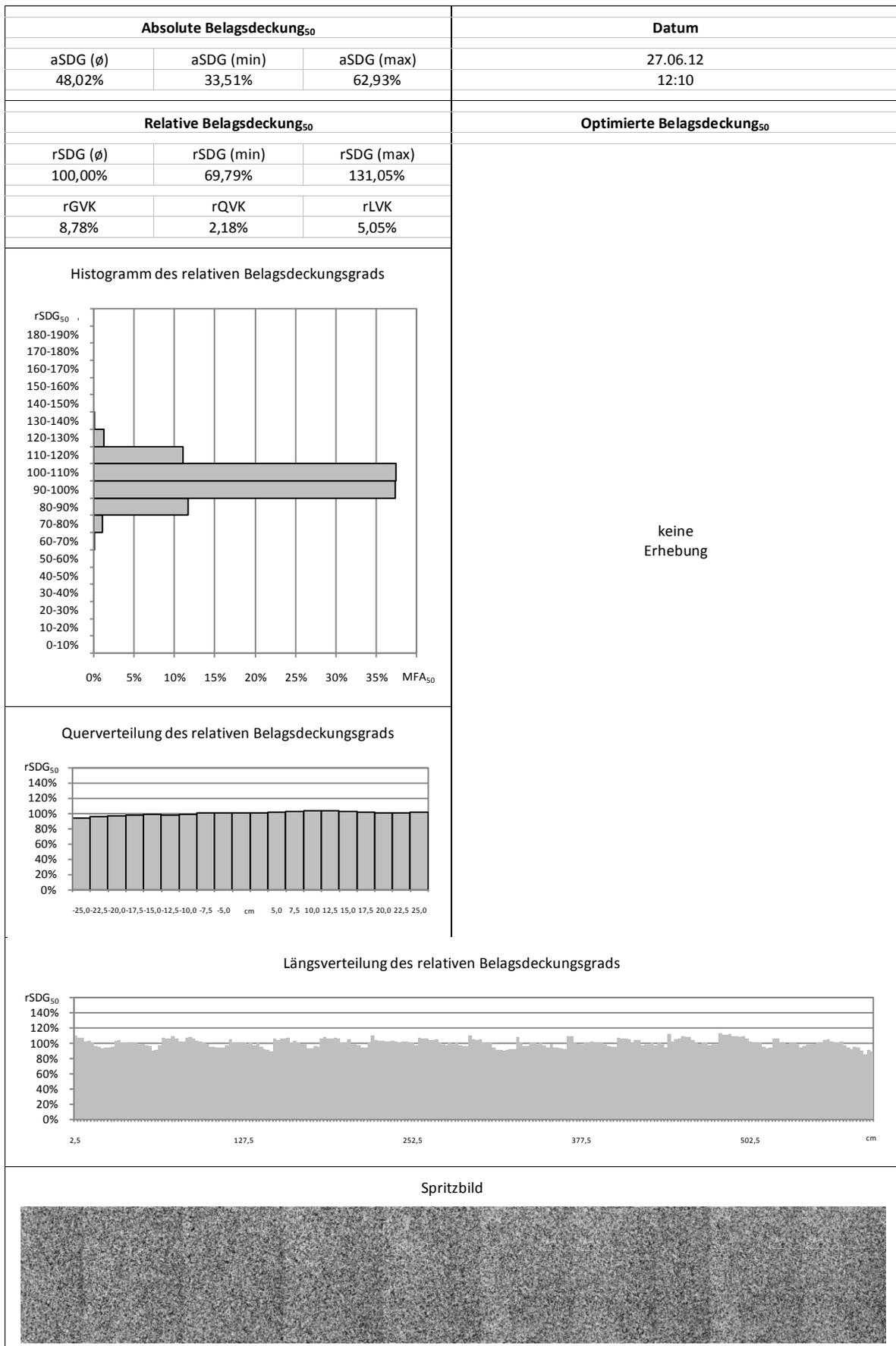


Abb. A2: Standardisierung der Flächenapplikation mit Doppelflachstrahldüsen

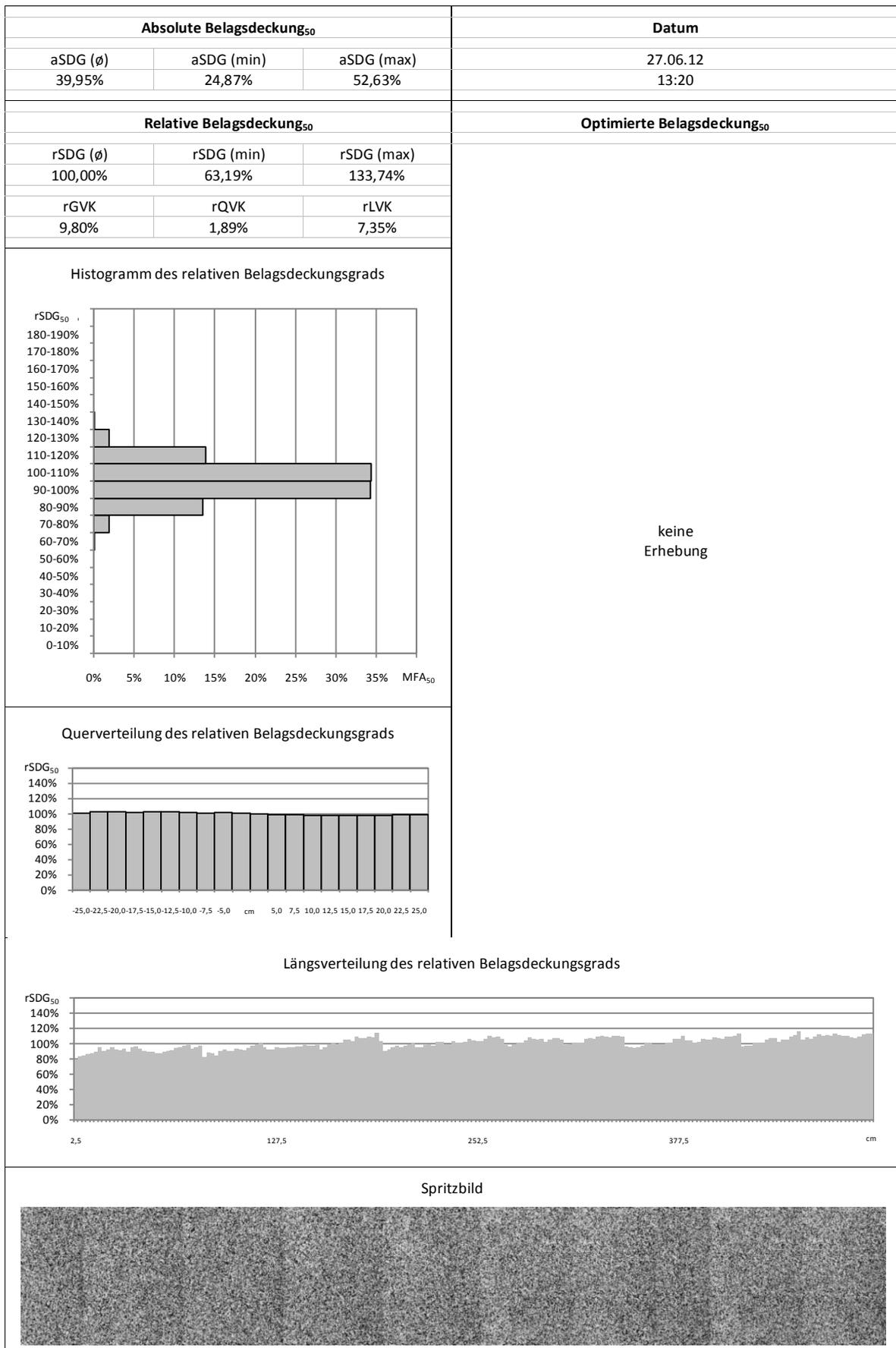


Abb. A3: Standardisierung der Unterblattapplikation mit „Lechler Droplegs“ in 12 cm

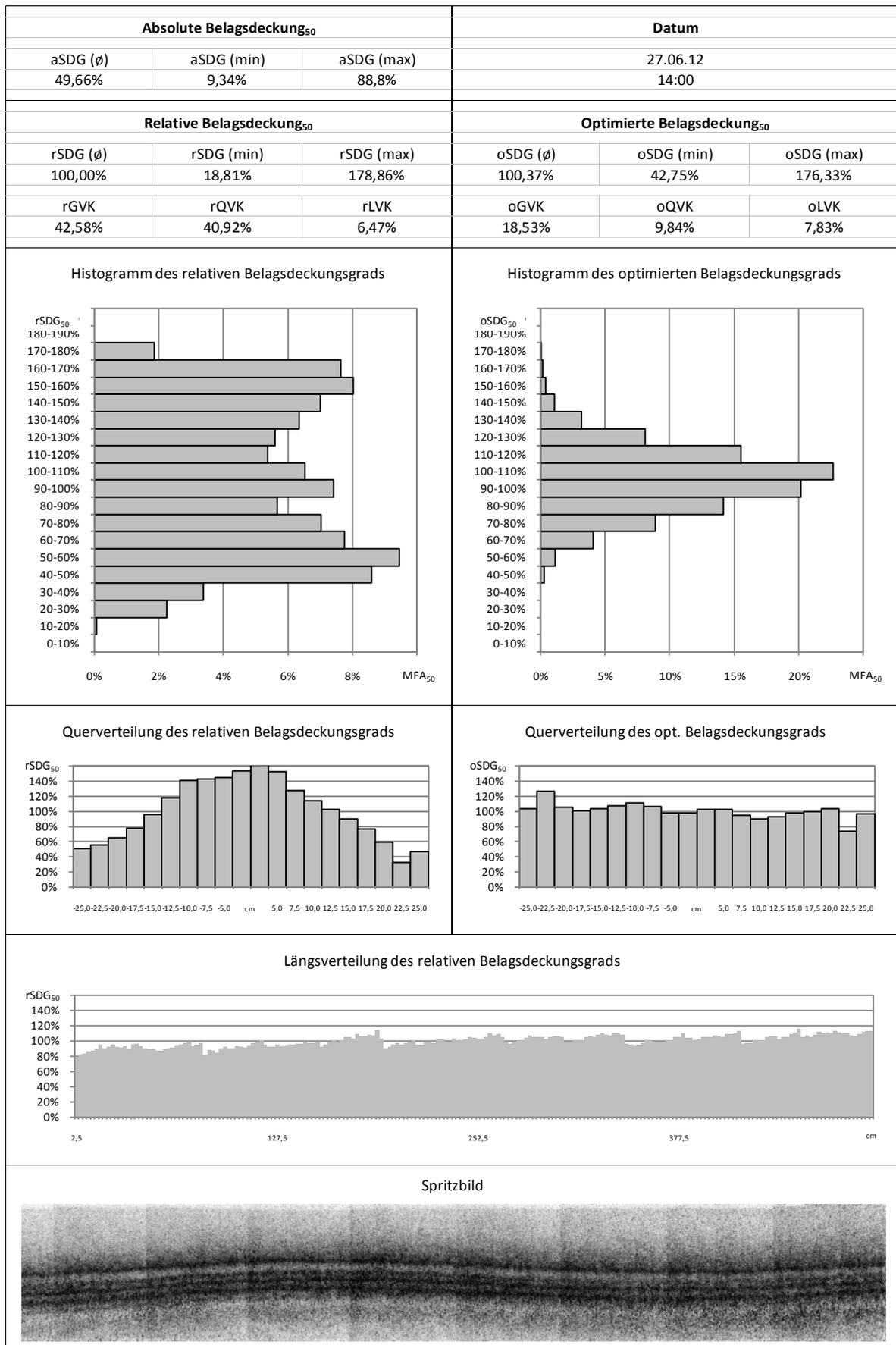


Abb. A4: Standardisierung der Unterblattapplikation mit „Lechler Droplegs“ in 16 cm

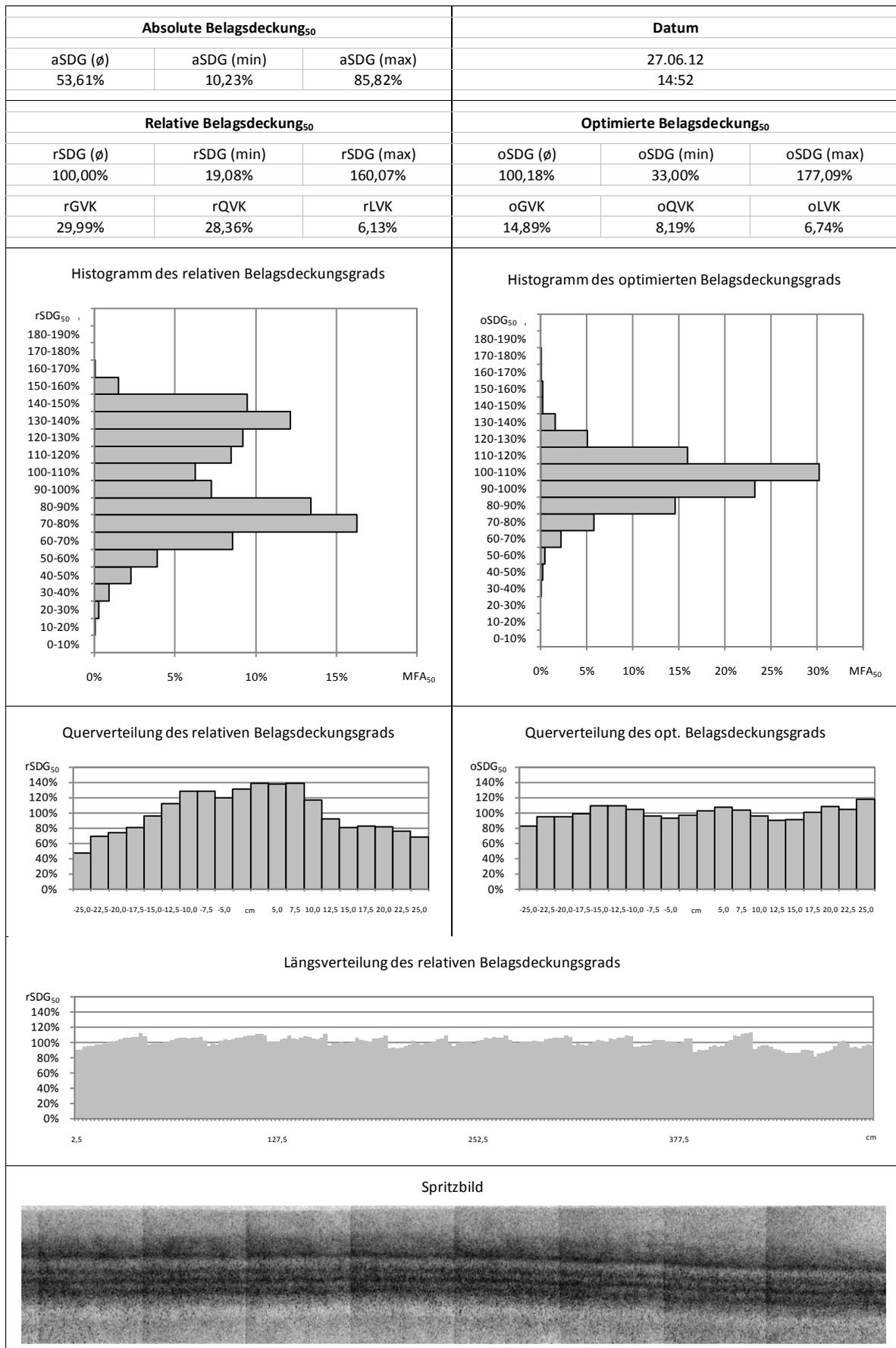


Abb. A5: Standardisierung der Unterblattapplikation mit „Schmotzer Unterblattspritze“

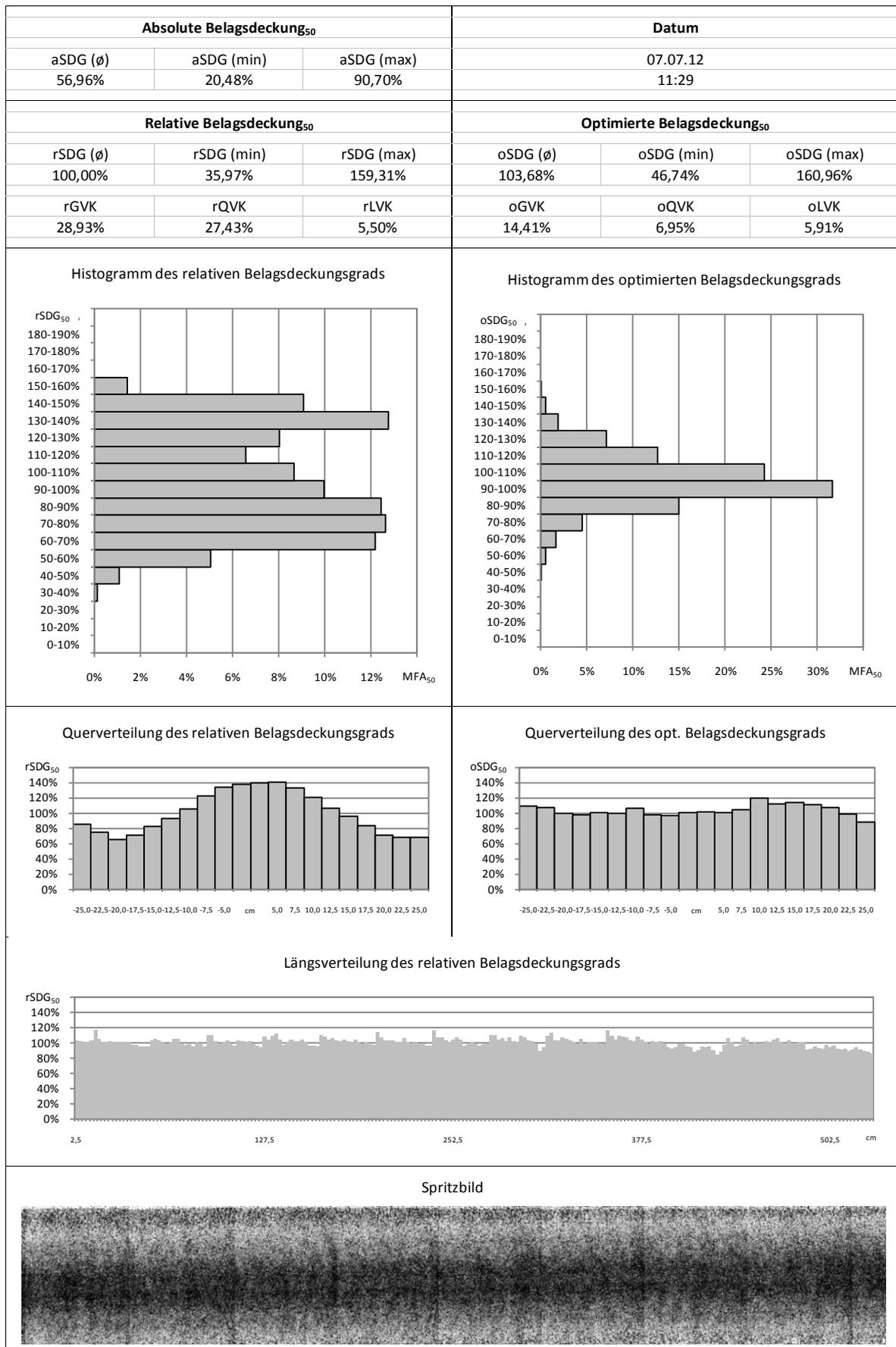


Abb. A6: Ergebnisse der Flächenapplikation mit Flachstrahldüsen (SF)

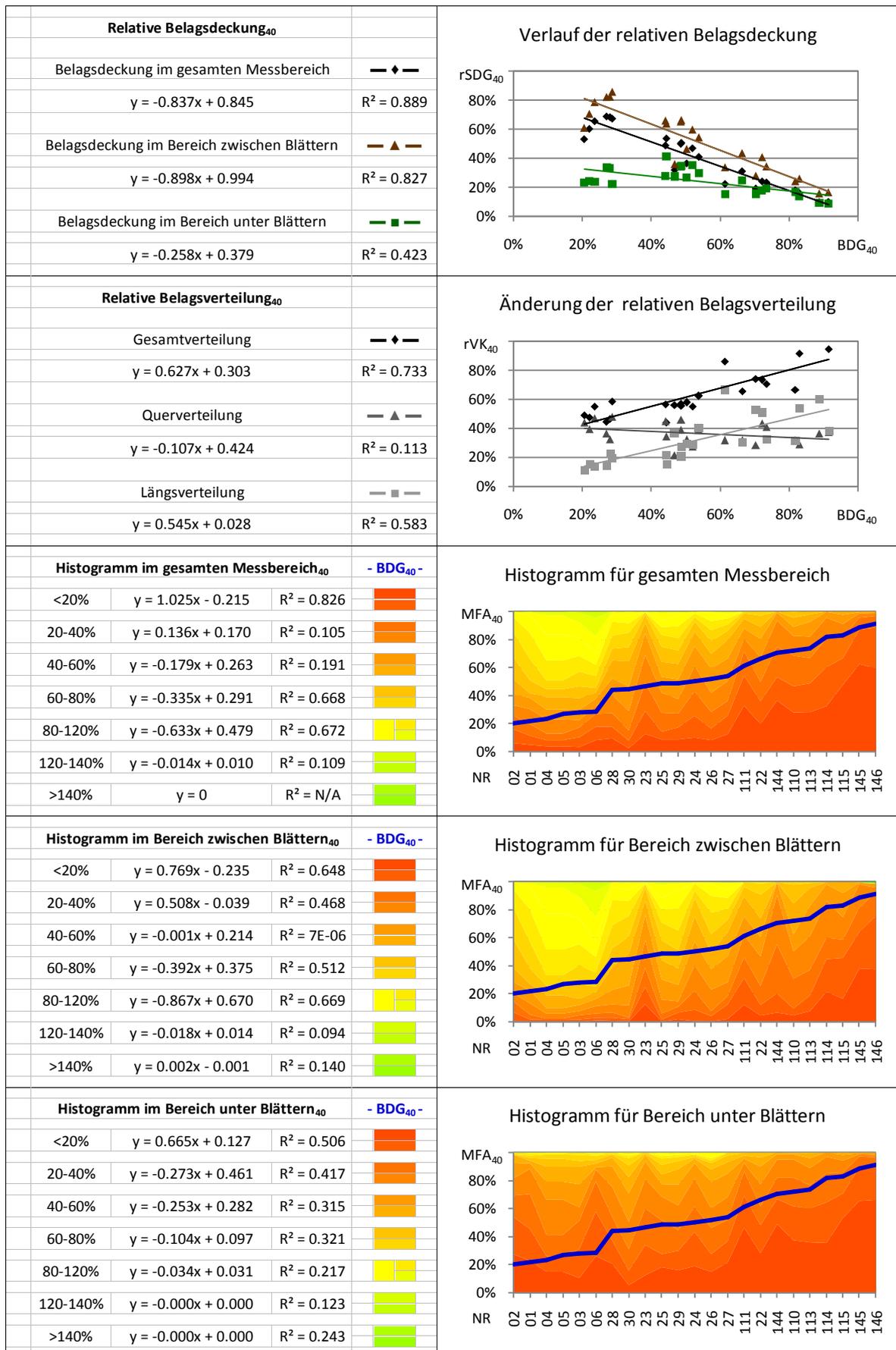
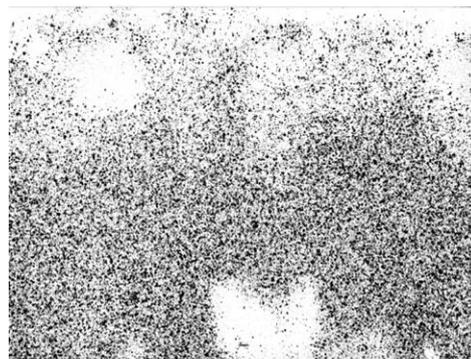


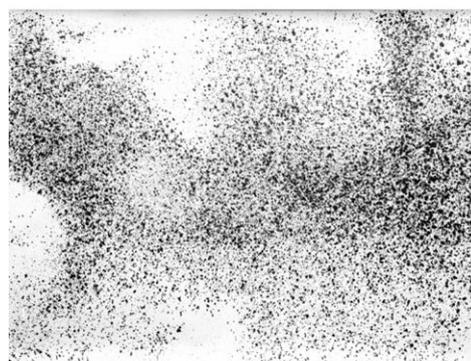
Abb. A7: Beispiele der Flächenapplikation mit Flachstrahldüsen (SF)



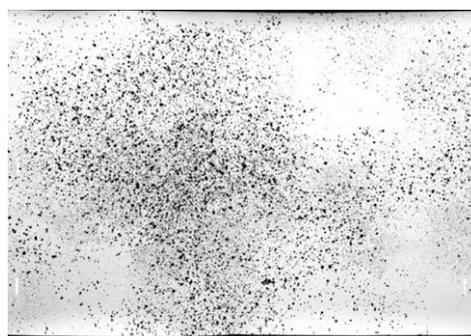
01

**BDG<sub>40</sub>**  
22,03%**rSDG<sub>40</sub>**  
60,37%**rGVK<sub>40</sub>**  
47,74%

25

**BDG<sub>40</sub>**  
48,63%**rSDG<sub>40</sub>**  
49,98%**rGVK<sub>40</sub>**  
56,97%

110

**BDG<sub>40</sub>**  
72,27%**rSDG<sub>40</sub>**  
23,96%**rGVK<sub>40</sub>**  
73,42%

145

**BDG<sub>40</sub>**  
88,87%**rSDG<sub>40</sub>**  
9,60%**rGVK<sub>40</sub>**  
100,30%

Abb. A8: Ergebnisse der Flächenapplikation mit Doppelflachstrahl Düsen (DF)

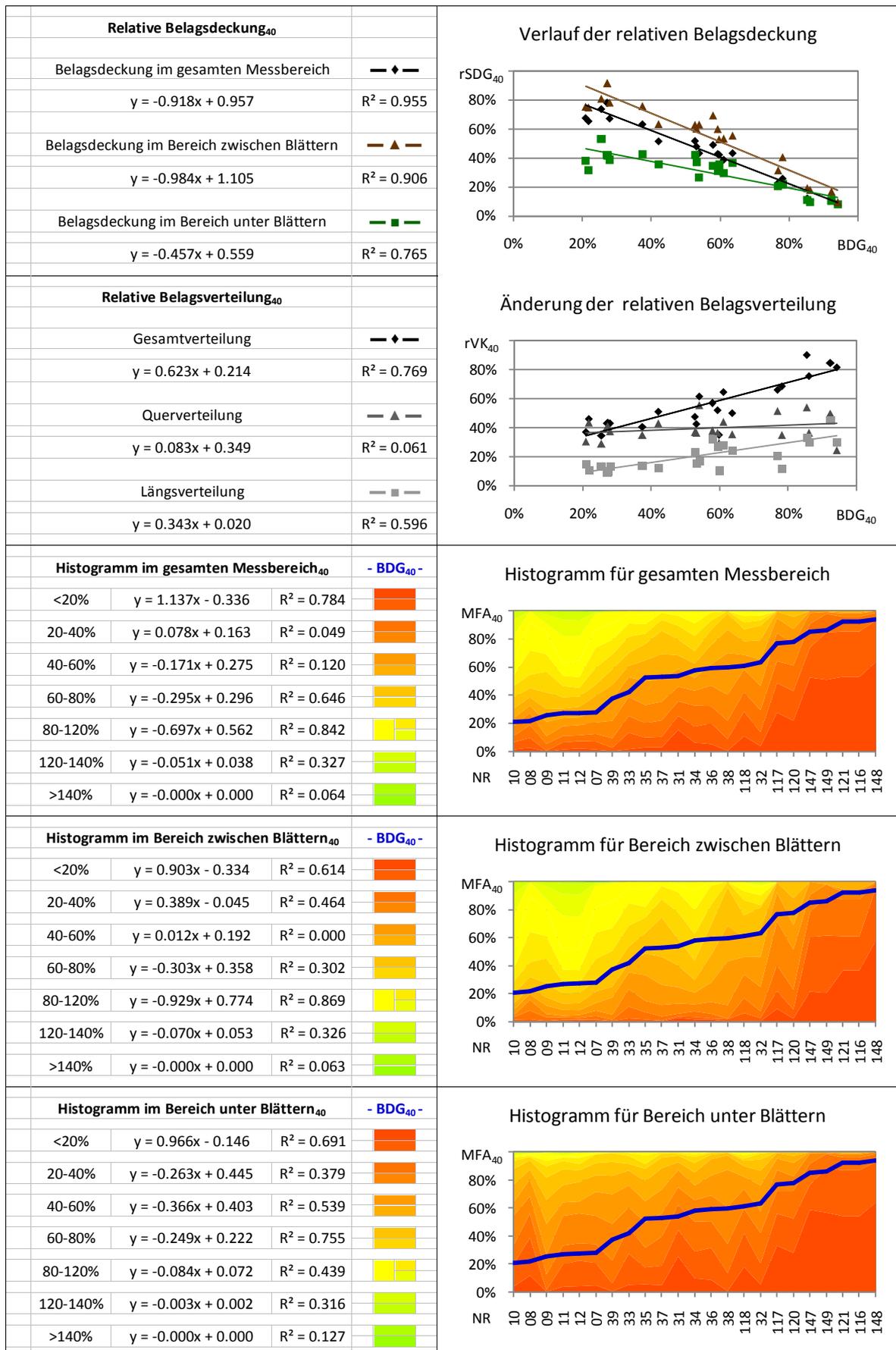
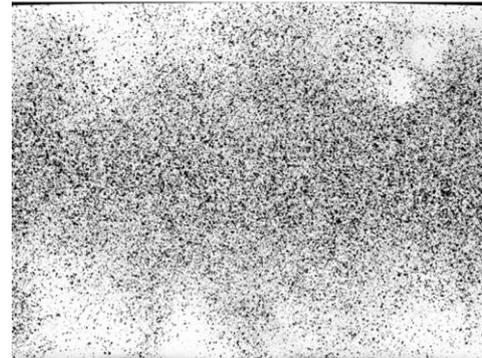


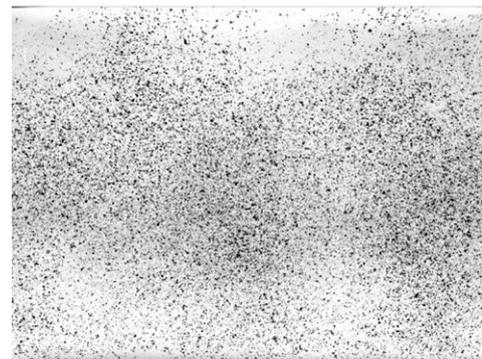
Abb. A9: Beispiele der Flächenapplikation mit Doppelflachstrahldüsen (DF)



07

BDG<sub>40</sub>  
27,95%rSDG<sub>40</sub>  
67,42%rGVK<sub>40</sub>  
42,86%

37

BDG<sub>40</sub>  
53,13%rSDG<sub>40</sub>  
48,14%rGVK<sub>40</sub>  
42,38%

117

BDG<sub>40</sub>  
76,84%rSDG<sub>40</sub>  
23,09%rGVK<sub>40</sub>  
66,24%

148

BDG<sub>40</sub>  
94,16%rSDG<sub>40</sub>  
8,38%rGVK<sub>40</sub>  
81,60%

Abb. A10: Ergebnisse der Unterblattapplikation mit „Lechler Droplegs“ in 12 cm (DL1)

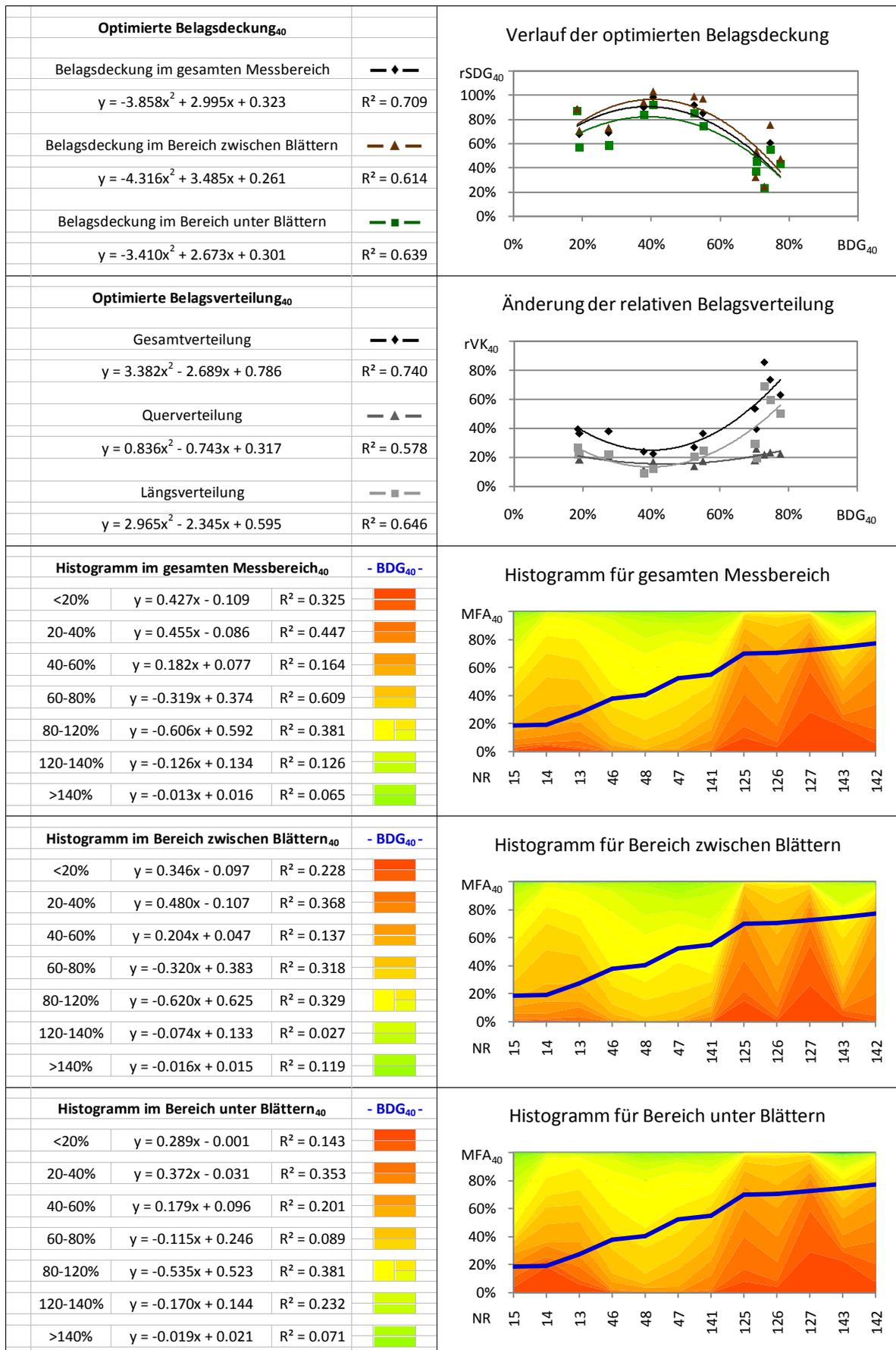
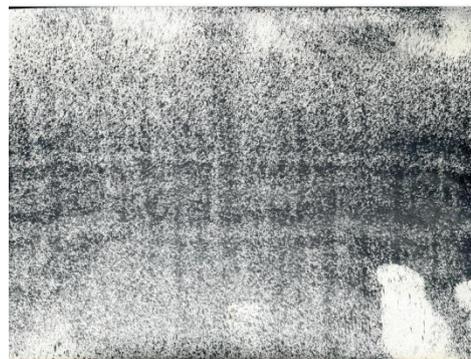


Abb. A11: Beispiele der Unterblattapplikation mit „Lechler Droplegs“ in 12 cm (DL1)



13

**BDG<sub>40</sub>**  
33,36%**oSDG<sub>40</sub>**  
72,19%**oGVK<sub>40</sub>**  
46,20%

46

**BDG<sub>40</sub>**  
37,78%**oSDG<sub>40</sub>**  
90,52%**oGVK<sub>40</sub>**  
24,13%

127

**BDG<sub>40</sub>**  
55,02%**oSDG<sub>40</sub>**  
85,07%**oGVK<sub>40</sub>**  
36,45%

142

**BDG<sub>40</sub>**  
77,57%**oSDG<sub>40</sub>**  
44,07%**oGVK<sub>40</sub>**  
63,23%

Abb. A12: Ergebnisse der Unterblattapplikation mit „Lechler Droplegs“ in 16 cm (DL2)

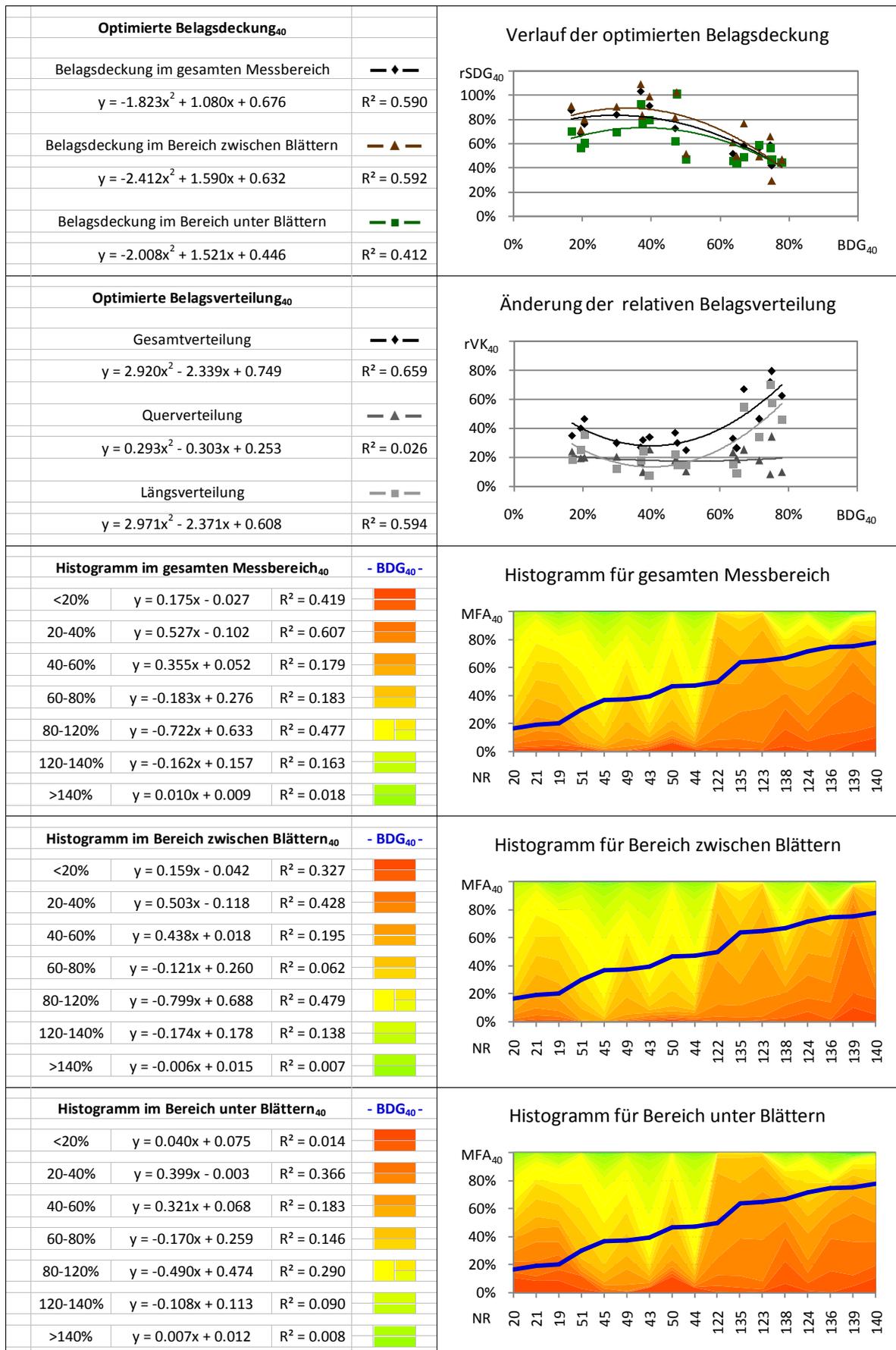
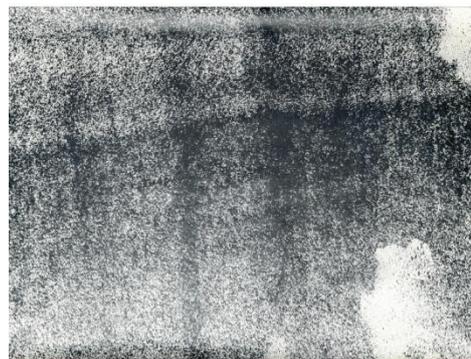


Abb. A13: Beispiele der Unterblattapplikation mit „Lechler Droplegs“ in 16 cm (DL2)



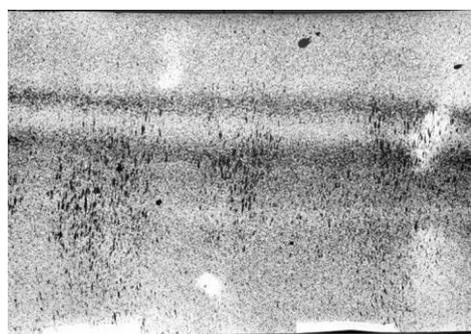
20

BDG<sub>40</sub>  
16,86%oSDG<sub>40</sub>  
87,64%oGVK<sub>40</sub>  
35,07%

43

BDG<sub>40</sub>  
39,56%oSDG<sub>40</sub>  
91,39%oGVK<sub>40</sub>  
34,22%

124

BDG<sub>40</sub>  
63,69%oSDG<sub>40</sub>  
51,55%oGVK<sub>40</sub>  
32,85%

135

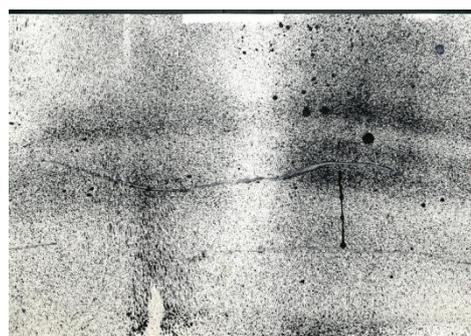
BDG<sub>40</sub>  
71,46%oSDG<sub>40</sub>  
56,57%oGVK<sub>40</sub>  
46,29%

Abb. A14: Ergebnisse der Unterblattapplikation mit „Schmotzer Unterblattspritze“ (UB)

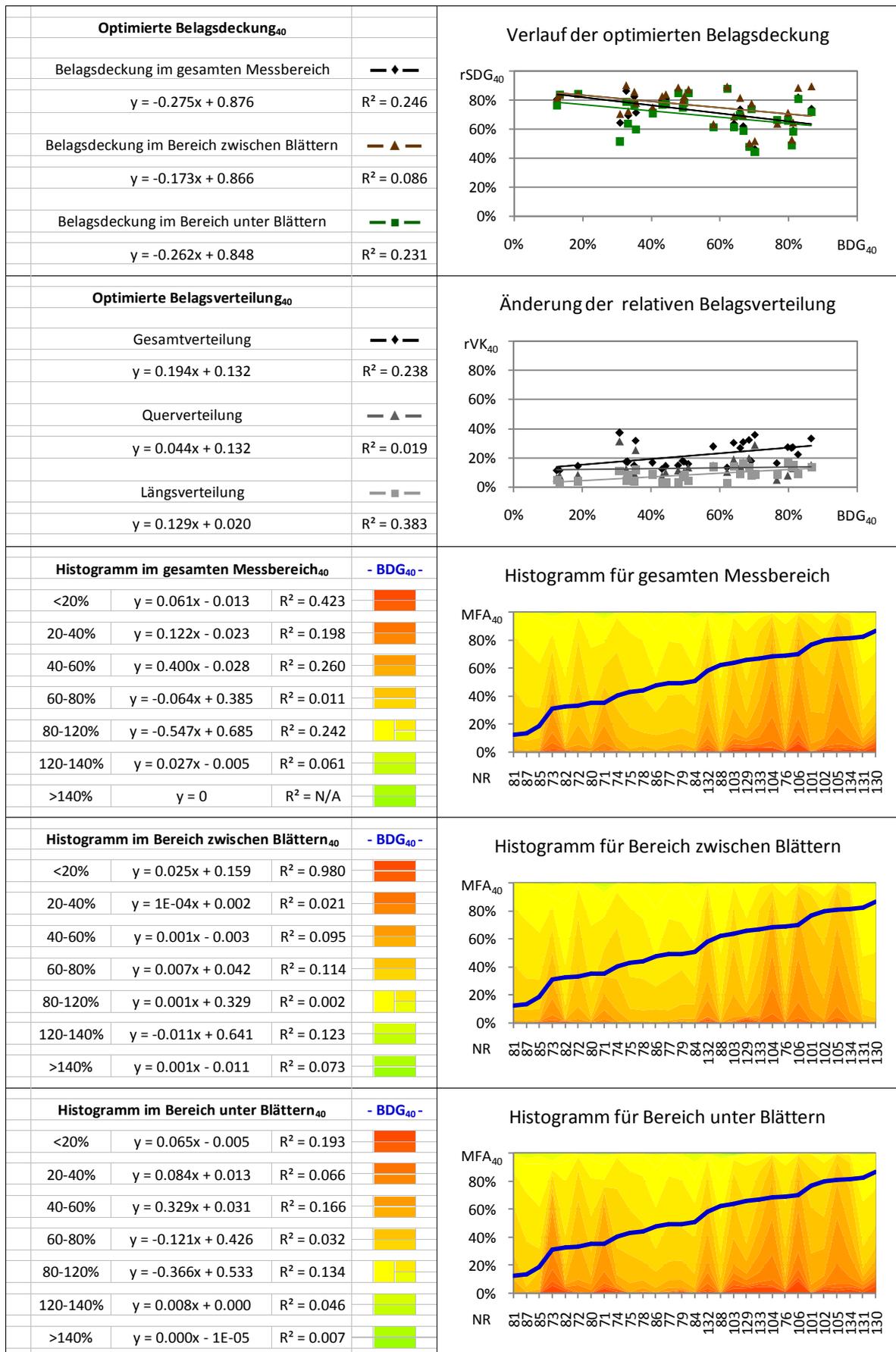
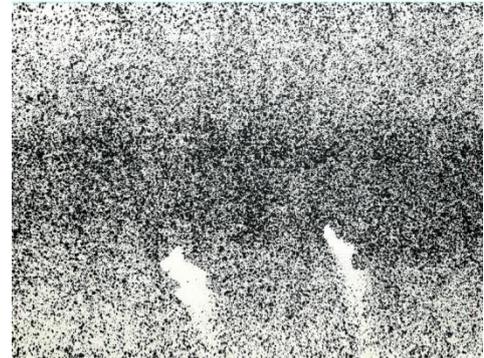


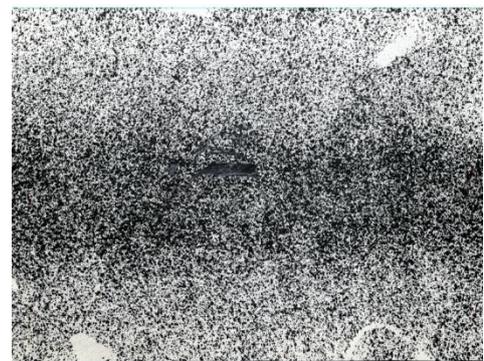
Abb. A15: Beispiele der Unterblattapplikation mit „Schmotzer Unterblattspritze“ (UB)



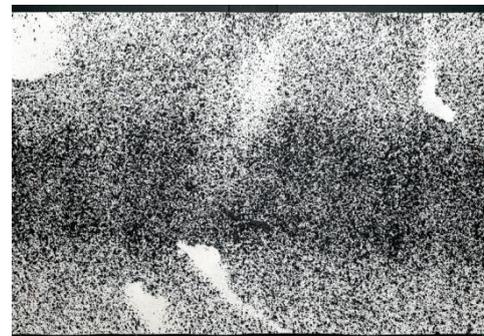
72

BDG<sub>40</sub>  
35,58%oSDG<sub>40</sub>  
71,57%oGVK<sub>40</sub>  
32,16%

75

BDG<sub>40</sub>  
44,26%oSDG<sub>40</sub>  
81,61%oGVK<sub>40</sub>  
17,28%

129

BDG<sub>40</sub>  
65,88%oSDG<sub>40</sub>  
74,87%oGVK<sub>40</sub>  
30,57%

131

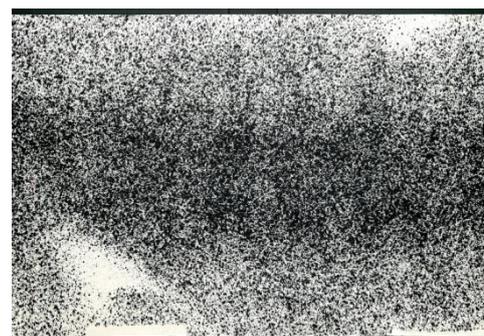
BDG<sub>40</sub>  
82,78%oSDG<sub>40</sub>  
81,99%oGVK<sub>40</sub>  
22,41%

Abb. A16: Anbringung von einfachen Schleifkufen an „Lechler Droplegs“

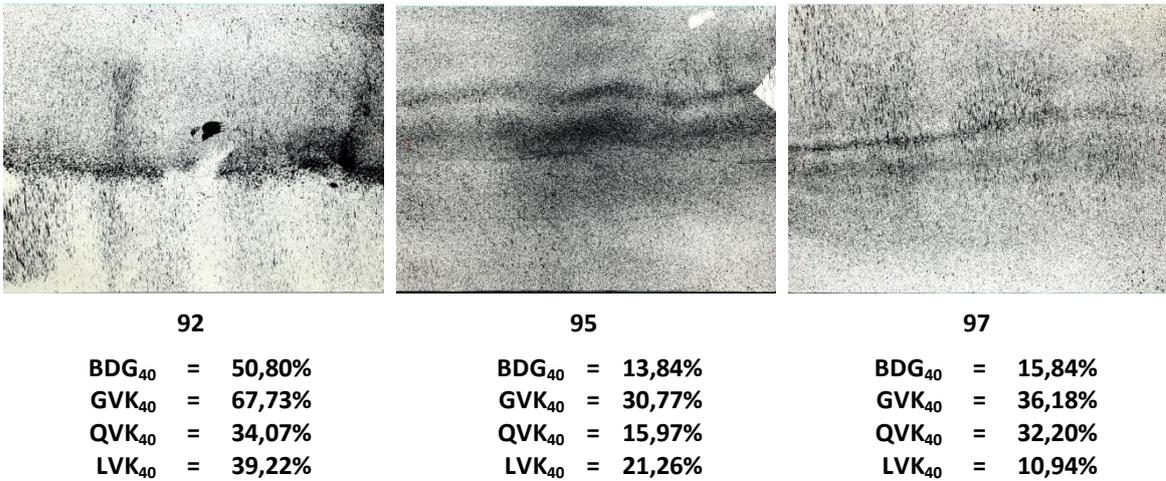


Abb. A17: Anbringung von doppelten Schleifkufen an „Lechler Droplegs“

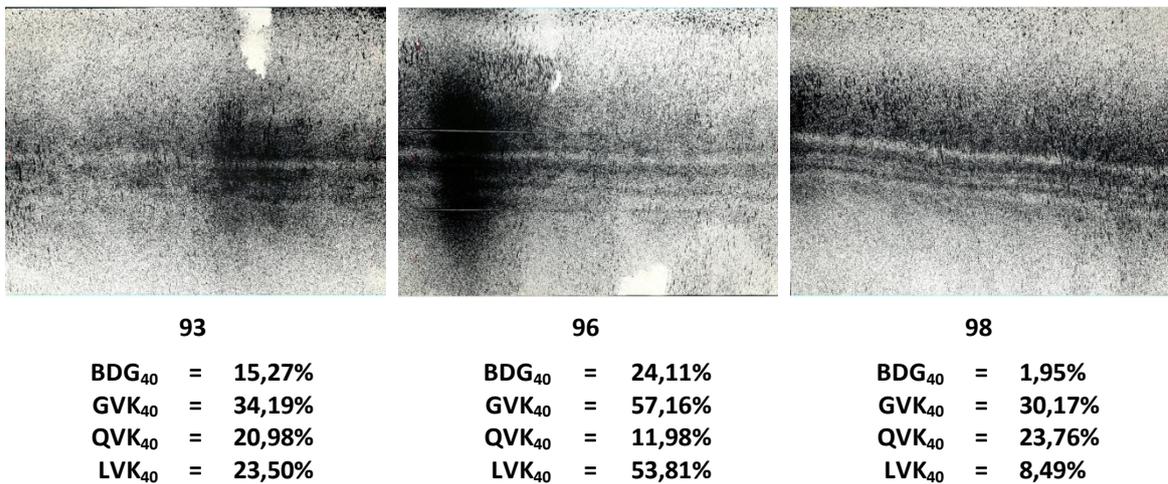


Abb. A18: Einstellung der Düsen an „Schmotzer Unterblattspritze“

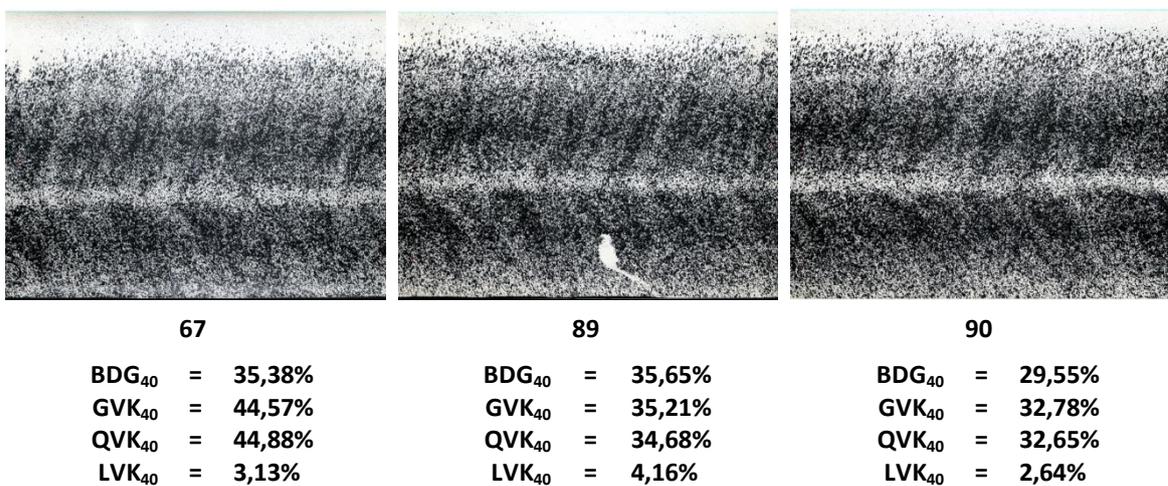


Abb. A19: Wetterdaten zu den Versuchen

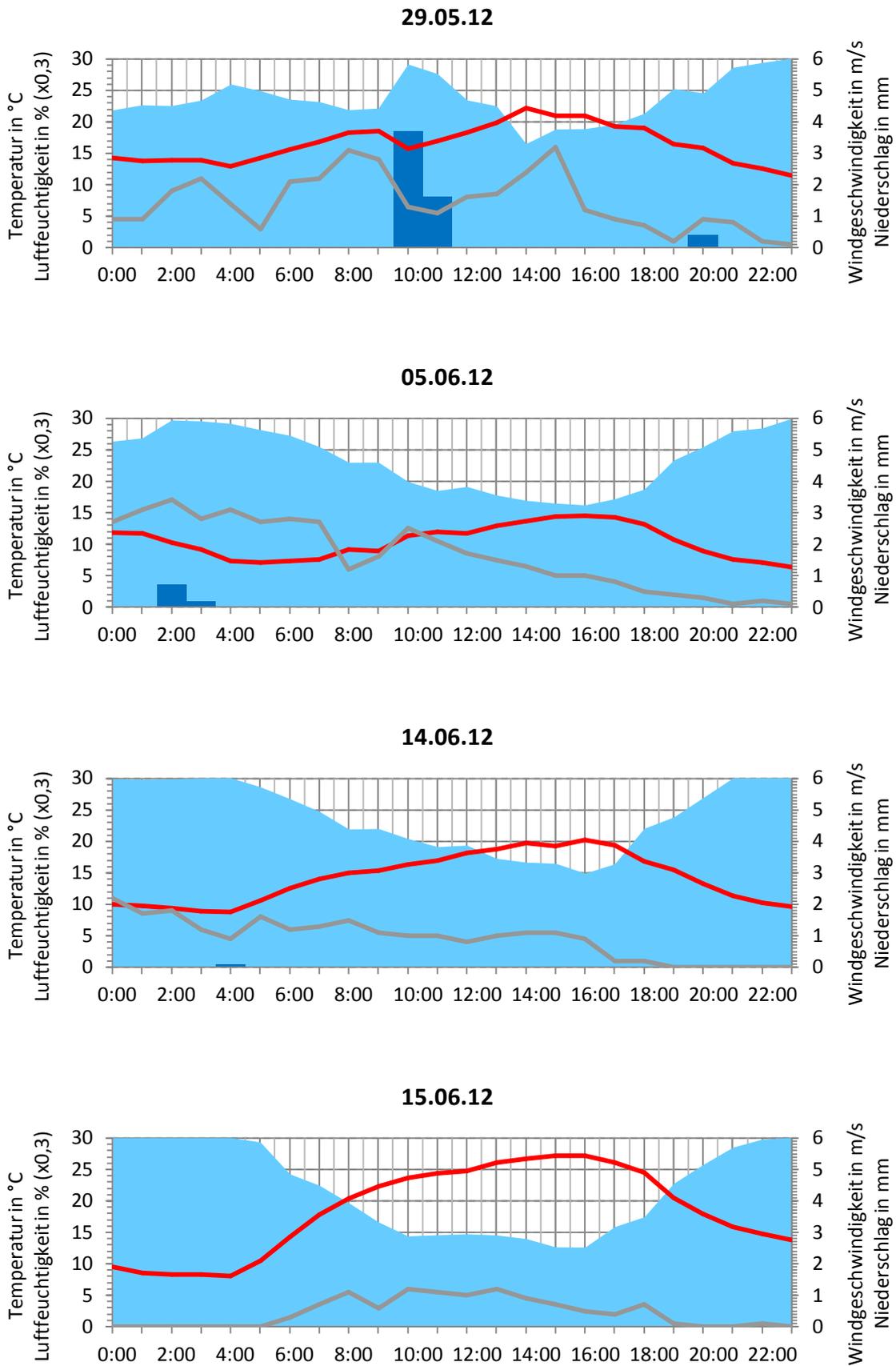
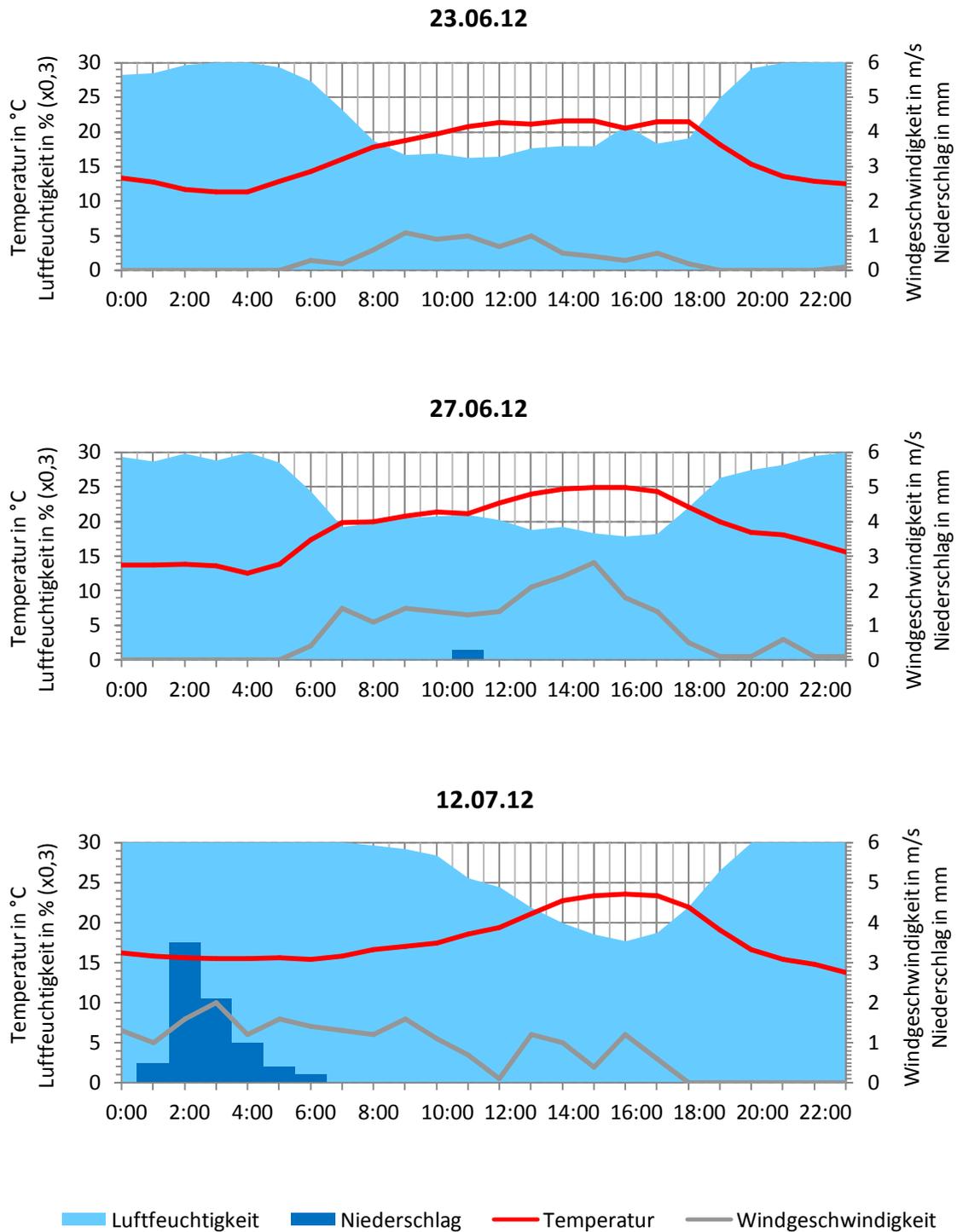


Abb. A19: Wetterdaten zu den Versuchen (Fortsetzung)



**Tab. A1:**  
**Flächenapplikation mit Flachstrahldüsen**  
**(Bereich 40 x 60 cm)**

NR	TAG	STD	BDG	aSDG	rSDG			uB	zB	GVK	QVK	LVK
			∅	∅	gB ∅	min	max	∅	∅			
01	29.05.12	16:48	0.220	0.290	0.604	0.008	1.148	0.706	0.242	0.477	0.395	0.156
02	29.05.12	16:48	0.205	0.256	0.532	0.006	1.034	0.610	0.232	0.489	0.441	0.113
03	29.05.12	16:48	0.280	0.329	0.685	0.028	1.232	0.824	0.333	0.467	0.325	0.228
04	29.05.12	17:04	0.236	0.315	0.657	0.012	1.293	0.787	0.236	0.549	0.471	0.141
05	29.05.12	17:04	0.270	0.331	0.690	0.002	1.207	0.822	0.334	0.444	0.363	0.145
06	29.05.12	17:04	0.287	0.324	0.675	0.003	1.327	0.858	0.222	0.587	0.481	0.194
22	05.06.12	15:20	0.664	0.149	0.310	0.000	0.804	0.436	0.247	0.656	0.318	0.306
23	05.06.12	15:20	0.469	0.153	0.319	0.018	0.916	0.360	0.273	0.561	0.215	0.368
24	05.06.12	15:20	0.503	0.175	0.364	0.012	1.036	0.464	0.267	0.579	0.325	0.293
25	05.06.12	15:46	0.486	0.240	0.500	0.003	1.235	0.654	0.339	0.570	0.391	0.273
26	05.06.12	15:46	0.520	0.225	0.469	0.002	1.095	0.598	0.352	0.551	0.273	0.288
27	05.06.12	15:46	0.539	0.197	0.409	0.007	1.131	0.544	0.295	0.624	0.392	0.406
28	05.06.12	16:14	0.442	0.235	0.489	0.004	1.074	0.660	0.274	0.566	0.452	0.218
29	05.06.12	16:14	0.488	0.244	0.507	0.019	1.226	0.663	0.345	0.555	0.460	0.207
30	05.06.12	16:14	0.444	0.258	0.537	0.040	1.153	0.639	0.411	0.438	0.344	0.154
110	15.06.12	16:20	0.723	0.115	0.240	0.000	0.765	0.408	0.175	0.734	0.434	0.508
111	15.06.12	16:20	0.615	0.107	0.222	0.000	0.771	0.338	0.150	0.864	0.318	0.664
113	15.06.12	16:20	0.735	0.112	0.232	0.001	0.680	0.345	0.192	0.708	0.410	0.325
114	15.06.12	16:46	0.819	0.085	0.178	0.002	0.509	0.242	0.164	0.668	0.319	0.316
115	15.06.12	16:46	0.831	0.076	0.158	0.000	0.633	0.260	0.138	0.918	0.290	0.540
144	23.06.12	19:50	0.704	0.091	0.190	0.000	0.569	0.280	0.153	0.741	0.283	0.529
145	23.06.12	19:50	0.889	0.046	0.096	0.000	0.588	0.158	0.088	1.003	0.366	0.607
146	23.06.12	19:50	0.915	0.047	0.098	0.000	0.578	0.166	0.086	0.945	0.375	0.384

**Tab. A2:**  
**Flächenapplikation mit Flachstrahldüsen**  
**(Bereich 45 x 60 cm)**

01	29.05.12	16:48	0.270	0.277	0.578	0.008	1.148	0.707	0.231	0.528	0.439	0.159
02	29.05.12	16:48	0.265	0.239	0.497	0.006	1.034	0.595	0.224	0.539	0.49	0.112
03	29.05.12	16:48	0.331	0.306	0.637	0.028	1.232	0.806	0.298	0.527	0.395	0.228
04	29.05.12	17:04	0.304	0.292	0.608	0.012	1.293	0.773	0.232	0.607	0.531	0.138
05	29.05.12	17:04	0.335	0.310	0.645	0.002	1.207	0.809	0.322	0.496	0.417	0.148
06	29.05.12	17:04	0.350	0.301	0.626	0.001	1.327	0.848	0.216	0.647	0.538	0.202
22	05.06.12	15:20	0.691	0.142	0.297	0.000	0.804	0.435	0.236	0.673	0.341	0.296
23	05.06.12	15:20	0.512	0.144	0.300	0.003	0.916	0.351	0.253	0.607	0.298	0.367
24	05.06.12	15:20	0.546	0.169	0.351	0.001	1.036	0.466	0.256	0.611	0.356	0.269
25	05.06.12	15:46	0.531	0.222	0.463	0.003	1.235	0.645	0.304	0.632	0.46	0.286
26	05.06.12	15:46	0.561	0.212	0.440	0.002	1.095	0.592	0.323	0.602	0.338	0.283
27	05.06.12	15:46	0.564	0.183	0.381	0.007	1.131	0.528	0.269	0.676	0.454	0.401
28	05.06.12	16:14	0.493	0.217	0.452	0.003	1.074	0.652	0.247	0.632	0.520	0.232
29	05.06.12	16:14	0.537	0.234	0.488	0.019	1.226	0.656	0.344	0.564	0.464	0.200
30	05.06.12	16:14	0.498	0.239	0.497	0.004	1.153	0.629	0.365	0.508	0.422	0.158

**Tab. A3:**  
**Flächenapplikation mit Doppelflachstrahldüsen**  
**(Bereich 40 x 60 cm)**

NR	TAG	STD	BDG	aSDG	rSDG			zB	uB	GVK	QVK	LVK
				ø	gB ø	min	max	ø	ø			
07	29.05.12	17:16	0.279	0.265	0.674	0.041	1.906	0.785	0.390	0.429	0.374	0.133
08	29.05.12	17:16	0.218	0.258	0.656	0.016	1.109	0.751	0.318	0.460	0.434	0.107
09	29.05.12	17:16	0.255	0.291	0.740	0.180	1.276	0.812	0.532	0.344	0.291	0.135
10	29.05.12	17:30	0.210	0.267	0.678	0.010	1.173	0.757	0.383	0.372	0.304	0.147
11	29.05.12	17:30	0.272	0.308	0.784	0.024	1.362	0.920	0.422	0.428	0.406	0.096
12	29.05.12	17:30	0.273	0.307	0.781	0.038	1.390	0.918	0.419	0.435	0.412	0.096
31	05.06.12	16:48	0.539	0.171	0.436	0.008	1.112	0.633	0.268	0.617	0.555	0.168
32	05.06.12	16:48	0.636	0.172	0.436	0.045	1.253	0.556	0.368	0.501	0.355	0.243
33	05.06.12	16:48	0.421	0.204	0.518	0.049	1.064	0.636	0.358	0.510	0.431	0.123
34	05.06.12	17:12	0.579	0.194	0.493	0.016	1.168	0.696	0.346	0.568	0.378	0.321
35	05.06.12	17:12	0.527	0.205	0.520	0.031	1.157	0.631	0.422	0.474	0.370	0.236
36	05.06.12	17:12	0.593	0.169	0.430	0.040	0.981	0.602	0.314	0.523	0.364	0.267
37	05.06.12	17:34	0.531	0.189	0.481	0.034	0.998	0.604	0.375	0.424	0.364	0.154
38	05.06.12	17:34	0.597	0.167	0.425	0.070	0.781	0.531	0.355	0.349	0.292	0.102
39	05.06.12	17:34	0.375	0.250	0.635	0.088	1.240	0.761	0.428	0.403	0.348	0.141
116	15.06.12	17:06	0.923	0.044	0.113	0.000	0.577	0.167	0.109	0.848	0.495	0.454
117	15.06.12	17:06	0.768	0.091	0.231	0.000	0.633	0.316	0.206	0.662	0.516	0.210
118	15.06.12	17:06	0.610	0.154	0.390	0.000	1.100	0.536	0.299	0.648	0.440	0.280
120	15.06.12	17:28	0.781	0.103	0.261	0.000	0.712	0.407	0.220	0.687	0.351	0.120
121	15.06.12	17:28	0.923	0.044	0.113	0.000	0.577	0.167	0.109	0.848	0.495	0.454
147	23.06.12	20:18	0.853	0.049	0.124	0.000	0.447	0.193	0.113	0.901	0.542	0.334
148	23.06.12	20:18	0.942	0.033	0.084	0.000	0.368	0.095	0.083	0.816	0.246	0.299
149	23.06.12	20:18	0.861	0.043	0.110	0.000	0.504	0.180	0.098	0.756	0.364	0.302

**Tab. A4:**  
**Flächenapplikation mit Doppelflachstrahldüsen**  
**(Bereich 45 x 60 cm)**

07	29.05.12	17:16	0.340	0.244	0.620	0.006	1.906	0.767	0.336	0.510	0.460	0.139
08	29.05.12	17:16	0.277	0.242	0.615	0.016	1.109	0.740	0.291	0.510	0.482	0.109
09	29.05.12	17:16	0.315	0.274	0.696	0.076	1.276	0.799	0.475	0.400	0.348	0.138
10	29.05.12	17:30	0.273	0.251	0.637	0.010	1.173	0.740	0.364	0.428	0.360	0.156
11	29.05.12	17:30	0.335	0.290	0.738	0.024	1.362	0.906	0.407	0.476	0.454	0.092
12	29.05.12	17:30	0.336	0.289	0.734	0.038	1.390	0.905	0.400	0.484	0.462	0.096
31	05.06.12	16:48	0.584	0.157	0.400	0.002	1.112	0.626	0.240	0.685	0.625	0.162
32	05.06.12	16:48	0.668	0.157	0.400	0.003	1.253	0.545	0.329	0.578	0.448	0.239
33	05.06.12	16:48	0.466	0.189	0.480	0.049	1.064	0.621	0.321	0.567	0.493	0.124
34	05.06.12	17:12	0.609	0.181	0.459	0.016	1.168	0.679	0.319	0.618	0.438	0.320
35	05.06.12	17:12	0.573	0.187	0.475	0.000	1.157	0.624	0.367	0.558	0.468	0.240
36	05.06.12	17:12	0.624	0.159	0.403	0.027	0.981	0.590	0.292	0.568	0.416	0.270
37	05.06.12	17:34	0.575	0.176	0.447	0.026	0.998	0.596	0.339	0.485	0.432	0.152
38	05.06.12	17:34	0.637	0.155	0.394	0.042	0.781	0.526	0.320	0.425	0.377	0.102
39	05.06.12	17:34	0.436	0.231	0.588	0.058	1.240	0.751	0.378	0.471	0.423	0.140

**Tab. A5: Unterblattppplikation mit „Lechler Dropleg“ in 12 cm (Bereich 40 x 60 cm)**

NR	TAG	STD	BDG	aSDG		rSDG		oSDG												
				φ	φ	gB	min	max	zB		uB		gB		min	max	zB	uB		
									φ	φ	φ	φ	φ	φ				φ	φ	φ
13	29.05.12	17:48	0.276	0.408	0.821	0.011	1.785	0.942	0.509	0.512	0.438	0.215	0.692	0.014	1.696	0.735	0.586	0.381	0.205	0.225
14	29.05.12	17:48	0.191	0.393	0.393	0.792	0.004	1.788	0.869	0.465	0.213	0.491	0.682	0.004	1.378	0.709	0.570	0.365	0.184	0.224
15	29.05.12	17:48	0.185	0.516	0.516	1.039	0.051	1.977	1.101	0.766	0.263	0.496	0.884	0.066	1.965	0.888	0.871	0.396	0.222	0.271
46	05.06.12	18:56	0.378	0.521	0.521	1.048	0.094	1.802	1.237	0.739	0.089	0.406	0.902	0.153	1.576	0.943	0.839	0.241	0.115	0.095
47	05.06.12	18:56	0.525	0.526	0.526	1.060	0.290	1.990	1.311	0.837	0.193	0.416	0.917	0.462	1.683	0.994	0.851	0.271	0.141	0.205
48	05.06.12	18:56	0.406	0.564	0.564	1.135	0.227	2.010	1.323	0.864	0.119	0.386	0.987	0.369	1.625	1.032	0.925	0.224	0.169	0.122
125	15.06.12	18:20	0.703	0.200	0.200	0.404	0.011	1.423	0.414	0.401	0.296	0.606	0.358	0.008	1.065	0.324	0.373	0.535	0.179	0.297
126	15.06.12	18:20	0.706	0.283	0.283	0.569	0.020	1.461	0.694	0.519	0.200	0.614	0.478	0.015	1.044	0.535	0.456	0.397	0.261	0.195
127	15.06.12	18:20	0.550	0.491	0.491	0.989	0.110	2.009	1.244	0.783	0.255	0.503	0.851	0.179	1.618	0.973	0.753	0.365	0.175	0.252
141	23.06.12	19:00	0.728	0.127	0.127	0.256	0.004	1.050	0.307	0.238	0.713	0.823	0.238	0.004	1.151	0.248	0.235	0.856	0.218	0.693
142	23.06.12	19:00	0.776	0.222	0.222	0.447	0.015	1.361	0.432	0.453	0.502	0.615	0.441	0.010	1.629	0.472	0.433	0.632	0.223	0.505
143	23.06.12	19:00	0.745	0.333	0.333	0.671	0.000	2.014	1.053	0.542	0.610	0.841	0.605	0.000	2.863	0.760	0.553	0.735	0.235	0.603

**Tab. A6: Unterblattppplikation mit „Lechler Dropleg“ in 12 cm (Bereich 45 x 60 cm)**

13	29.05.12	17:48	0.334	0.386	0.776	0.011	1.785	0.927	0.480	0.548	0.467	0.211	0.722	0.014	2.305	0.751	0.670	0.462	0.236	0.218
14	29.05.12	17:48	0.243	0.371	0.747	0.004	1.788	0.846	0.442	0.530	0.437	0.218	0.705	0.004	2.039	0.719	0.666	0.433	0.210	0.241
15	29.05.12	17:48	0.227	0.482	0.970	0.036	1.977	1.057	0.678	0.546	0.462	0.265	0.892	0.066	1.989	0.887	0.912	0.430	0.248	0.276
46	05.06.12	18:56	0.438	0.494	0.995	0.094	1.802	1.229	0.697	0.434	0.397	0.091	0.946	0.153	1.883	0.952	0.941	0.280	0.180	0.099
47	05.06.12	18:56	0.568	0.507	1.020	0.290	1.990	1.294	0.815	0.427	0.377	0.191	0.993	0.462	2.571	1.002	0.990	0.352	0.269	0.200
48	05.06.12	18:56	0.468	0.530	1.067	0.008	2.010	1.318	0.784	0.437	0.420	0.122	1.009	0.019	2.371	1.035	0.982	0.311	0.260	0.129

**Tab. A7: Unterblattppplikation mit „Lechler Dropleg“ in 16 cm (Bereich 40 x 60 cm)**

NR	TAG	STD	BDG	oS DG																				
				aSDG			rSDG			zB			uB			gB			zB			uB		
				$\phi$	max	$\phi$	$\phi$	min	max	$\phi$	LVK	QVK	GVK	$\phi$	min	max	$\phi$	LVK	QVK	GVK	$\phi$	min	max	$\phi$
19	29.05.12	18:22	0.205	0.452	0.842	0.004	1.852	0.905	0.603	0.536	0.341	0.370	0.761	0.007	1.872	0.803	0.603	0.467	0.358	0.201				
20	29.05.12	18:22	0.169	0.524	0.977	0.013	1.747	1.040	0.669	0.452	0.171	0.397	0.876	0.018	1.766	0.912	0.704	0.351	0.182	0.237				
21	29.05.12	18:22	0.195	0.406	0.758	0.012	1.586	0.830	0.465	0.498	0.262	0.372	0.686	0.010	1.587	0.717	0.562	0.402	0.256	0.197				
43	05.06.12	18:34	0.396	0.549	1.024	0.002	1.725	1.159	0.822	0.454	0.069	0.414	0.914	0.003	1.586	0.992	0.799	0.342	0.074	0.254				
44	05.06.12	18:34	0.475	0.598	1.115	0.005	1.817	1.150	1.081	0.398	0.121	0.351	1.015	0.006	1.675	1.026	1.008	0.302	0.150	0.168				
45	05.06.12	18:34	0.369	0.607	1.132	0.150	1.865	1.323	0.808	0.390	0.161	0.346	1.034	0.220	2.101	1.097	0.931	0.271	0.177	0.162				
49	05.06.12	19:12	0.374	0.473	0.882	0.160	1.804	0.993	0.701	0.394	0.244	0.260	0.807	0.131	1.400	0.832	0.767	0.319	0.242	0.097				
50	05.06.12	19:12	0.469	0.434	0.810	0.002	1.504	1.001	0.597	0.454	0.208	0.352	0.727	0.002	1.321	0.818	0.627	0.368	0.223	0.181				
51	05.06.12	19:12	0.299	0.504	0.940	0.021	1.833	1.051	0.685	0.411	0.117	0.364	0.844	0.027	1.357	0.908	0.697	0.297	0.124	0.204				
122	15.06.12	17:58	0.501	0.289	0.540	0.079	1.031	0.640	0.441	0.341	0.155	0.265	0.494	0.110	0.832	0.516	0.473	0.250	0.148	0.102				
123	15.06.12	17:58	0.649	0.275	0.513	0.044	1.209	0.617	0.458	0.377	0.099	0.339	0.462	0.054	0.921	0.500	0.443	0.262	0.096	0.187				
124	15.06.12	17:58	0.637	0.308	0.574	0.129	1.461	0.736	0.483	0.455	0.146	0.398	0.516	0.128	1.082	0.610	0.463	0.329	0.152	0.233				
135	23.06.12	18:00	0.715	0.322	0.600	0.086	1.570	0.562	0.617	0.515	0.354	0.288	0.566	0.064	1.595	0.496	0.595	0.463	0.347	0.179				
136	23.06.12	18:00	0.746	0.342	0.638	0.076	1.865	0.846	0.568	0.756	0.679	0.298	0.588	0.106	1.740	0.663	0.564	0.723	0.702	0.084				
138	23.06.12	18:28	0.669	0.347	0.647	0.036	1.820	0.978	0.486	0.746	0.525	0.440	0.580	0.040	1.730	0.767	0.490	0.670	0.543	0.252				
139	23.06.12	18:28	0.751	0.234	0.436	0.020	1.815	0.327	0.474	0.688	0.547	0.258	0.422	0.024	2.221	0.296	0.465	0.795	0.578	0.342				
140	23.06.12	18:28	0.781	0.253	0.471	0.003	1.395	0.548	0.451	0.674	0.472	0.270	0.452	0.002	1.661	0.465	0.449	0.624	0.464	0.098				

**Tab. A8: Unterblattppplikation mit „Lechler Dropleg“ in 16 cm (Bereich 45 x 60 cm)**

19	29.05.12	18:22	0.264	0.421	0.785	0.004	1.852	0.890	0.493	0.595	0.353	0.432	0.732	0.007	2.095	0.806	0.529	0.526	0.378	0.249
20	29.05.12	18:22	0.238	0.502	0.937	0.013	1.747	1.028	0.648	0.471	0.171	0.409	0.877	0.018	1.813	0.913	0.767	0.361	0.179	0.224
21	29.05.12	18:22	0.241	0.390	0.727	0.012	1.586	0.810	0.471	0.518	0.262	0.384	0.688	0.010	1.587	0.714	0.610	0.420	0.254	0.193
43	05.06.12	18:34	0.455	0.523	0.976	0.001	1.725	1.152	0.769	0.480	0.070	0.436	0.905	0.001	1.586	0.993	0.803	0.354	0.079	0.246
44	05.06.12	18:34	0.517	0.570	1.062	0.005	1.817	1.128	1.005	0.428	0.136	0.376	1.005	0.006	1.690	1.016	0.998	0.322	0.172	0.163
45	05.06.12	18:34	0.430	0.585	1.091	0.073	1.865	1.316	0.795	0.412	0.174	0.362	1.038	0.125	2.231	1.097	0.962	0.294	0.196	0.158
49	05.06.12	19:12	0.434	0.450	0.840	0.160	1.804	0.984	0.655	0.423	0.239	0.299	0.794	0.131	1.400	0.829	0.750	0.328	0.235	0.117
50	05.06.12	19:12	0.518	0.415	0.775	0.002	1.504	0.990	0.578	0.476	0.213	0.372	0.721	0.002	1.613	0.814	0.638	0.381	0.230	0.181
51	05.06.12	19:12	0.360	0.478	0.892	0.021	1.833	1.040	0.631	0.444	0.118	0.396	0.827	0.027	1.357	0.908	0.688	0.315	0.128	0.214

**Tab. A9: Unterblattppplikation mit „Schmotzer Unterblattspritze“ (Bereich 40 x 60 cm)**

NR	TAG	STD	BDG	aSDG		rSDG		oSDG												
				$\phi$	$\phi$	$\phi$	$\phi$	min	max	zB $\phi$	uB $\phi$	GVK	QVK	LVK	$\phi$	min	max	zB $\phi$	uB $\phi$	GVK
71	23.06.12	0.618	0.309	0.382	0.670	0.011	1.189	0.743	0.511	0.366	0.320	0.111	0.645	0.010	1.214	0.704	0.517	0.373	0.316	0.118
72	23.06.12	0.618	0.356	0.431	0.757	0.025	1.310	0.882	0.532	0.360	0.329	0.100	0.716	0.037	1.309	0.782	0.598	0.322	0.255	0.118
73	23.06.12	0.618	0.333	0.429	0.753	0.230	1.288	0.825	0.611	0.333	0.316	0.082	0.695	0.297	1.137	0.699	0.719	0.232	0.190	0.084
74	23.06.12	0.631	0.492	0.475	0.835	0.002	1.324	0.970	0.699	0.325	0.294	0.069	0.774	0.002	1.228	0.812	0.753	0.228	0.146	0.076
75	23.06.12	0.631	0.443	0.500	0.879	0.141	1.482	0.962	0.777	0.321	0.315	0.037	0.810	0.205	1.144	0.848	0.779	0.173	0.143	0.038
76	23.06.12	0.631	0.432	0.492	0.864	0.342	1.366	1.001	0.687	0.302	0.295	0.034	0.801	0.499	1.206	0.836	0.767	0.142	0.099	0.036
77	23.06.12	0.643	0.692	0.458	0.804	0.030	1.293	0.875	0.775	0.309	0.290	0.076	0.748	0.044	1.089	0.776	0.739	0.181	0.102	0.080
78	23.06.12	0.643	0.496	0.496	0.871	0.005	1.390	0.986	0.758	0.335	0.321	0.076	0.804	0.008	1.159	0.826	0.783	0.177	0.104	0.084
79	23.06.12	0.643	0.404	0.452	0.794	0.023	1.311	0.853	0.710	0.327	0.310	0.081	0.733	0.030	1.153	0.761	0.706	0.194	0.127	0.091
80	23.06.12	0.656	0.351	0.507	0.890	0.234	1.391	1.021	0.651	0.302	0.293	0.035	0.825	0.332	1.347	0.895	0.720	0.192	0.153	0.040
81	23.06.12	0.656	0.327	0.536	0.941	0.042	1.458	1.076	0.666	0.331	0.325	0.037	0.864	0.061	1.258	0.925	0.762	0.201	0.162	0.043
82	23.06.12	0.656	0.126	0.496	0.871	0.302	1.377	0.907	0.629	0.304	0.300	0.050	0.808	0.441	1.030	0.815	0.763	0.118	0.067	0.053
84	23.06.12	0.671	0.187	0.518	0.911	0.117	1.418	0.962	0.689	0.319	0.313	0.030	0.843	0.117	1.205	0.843	0.845	0.143	0.087	0.039
85	23.06.12	0.671	0.134	0.508	0.893	0.382	1.331	0.927	0.682	0.276	0.273	0.029	0.836	0.545	1.125	0.836	0.841	0.114	0.080	0.029
86	23.06.12	0.683	0.509	0.524	0.920	0.298	1.417	1.071	0.779	0.296	0.292	0.043	0.861	0.434	1.233	0.874	0.851	0.163	0.134	0.047
87	23.06.12	0.683	0.479	0.536	0.942	0.264	1.498	1.065	0.811	0.331	0.330	0.034	0.868	0.384	1.216	0.887	0.850	0.150	0.116	0.037
88	23.06.12	0.683	0.621	0.539	0.946	0.351	1.436	1.062	0.878	0.284	0.281	0.031	0.884	0.512	1.280	0.894	0.880	0.135	0.106	0.032
101	14.06.12	0.683	0.767	0.397	0.698	0.004	1.189	0.751	0.683	0.288	0.249	0.090	0.656	0.005	0.935	0.637	0.663	0.167	0.052	0.085
102	14.06.12	0.683	0.798	0.406	0.713	0.010	1.336	0.929	0.661	0.374	0.269	0.177	0.670	0.007	1.217	0.712	0.660	0.273	0.081	0.170
103	14.06.12	0.683	0.641	0.393	0.690	0.001	1.252	0.889	0.580	0.381	0.324	0.134	0.640	0.001	1.558	0.743	0.588	0.330	0.212	0.149
104	14.06.12	0.719	0.686	0.294	0.516	0.000	1.017	0.574	0.491	0.371	0.295	0.134	0.484	0.000	1.156	0.501	0.477	0.327	0.199	0.140
105	14.06.12	0.719	0.809	0.307	0.540	0.001	1.041	0.643	0.516	0.383	0.331	0.131	0.497	0.001	0.816	0.526	0.491	0.268	0.140	0.139
106	14.06.12	0.719	0.701	0.288	0.506	0.002	0.980	0.618	0.459	0.417	0.370	0.086	0.465	0.003	0.929	0.517	0.444	0.361	0.290	0.089
129	23.06.12	0.701	0.659	0.461	0.810	0.003	1.433	0.959	0.735	0.403	0.362	0.093	0.738	0.004	1.264	0.881	0.683	0.306	0.213	0.095
130	23.06.12	0.701	0.866	0.461	0.811	0.003	1.435	1.119	0.765	0.463	0.356	0.143	0.742	0.002	1.308	1.014	0.719	0.399	0.249	0.134
131	23.06.12	0.701	0.828	0.507	0.891	0.045	1.445	1.128	0.844	0.361	0.327	0.086	0.820	0.045	1.217	0.885	0.808	0.224	0.104	0.095
132	23.06.12	0.725	0.581	0.383	0.673	0.016	1.185	0.744	0.625	0.389	0.321	0.141	0.620	0.014	1.233	0.629	0.632	0.324	0.219	0.140
133	23.06.12	0.725	0.668	0.391	0.686	0.001	1.440	0.877	0.594	0.437	0.383	0.143	0.622	0.001	1.201	0.712	0.592	0.353	0.228	0.165
134	23.06.12	0.725	0.813	0.369	0.649	0.005	1.245	0.801	0.615	0.399	0.337	0.150	0.593	0.006	0.957	0.672	0.583	0.285	0.167	0.151

**Tab. A10: Unterblattpplikation mit „Schmotzer Unterblattspritze“ (Bereich 45 x 60 cm)**

NR	TAG	STD	BDG	aSDG		rSDG		oSDG													
				$\phi$	$\phi$	gB	$\phi$	min	max	zB	uB	$\phi$	min	max	zB	uB	$\phi$	GVK	QVK	LVK	
71	23.06.12	14:50	0.346	0.362	0.636	0.636	0.011	1.189	0.722	0.476	0.398	0.352	0.113	0.626	0.010	1.214	0.693	0.502	0.380	0.319	0.123
72	23.06.12	14:50	0.421	0.413	0.725	0.725	0.025	1.310	0.877	0.518	0.377	0.347	0.099	0.705	0.037	1.309	0.780	0.602	0.315	0.248	0.115
73	23.06.12	14:50	0.391	0.408	0.716	0.716	0.093	1.288	0.816	0.563	0.365	0.345	0.082	0.692	0.130	1.137	0.698	0.686	0.245	0.189	0.086
74	23.06.12	15:08	0.539	0.455	0.799	0.799	0.002	1.324	0.960	0.664	0.349	0.317	0.067	0.774	0.002	1.228	0.809	0.747	0.231	0.142	0.074
75	23.06.12	15:08	0.475	0.476	0.837	0.837	0.114	1.482	0.940	0.726	0.353	0.344	0.039	0.804	0.160	1.144	0.846	0.761	0.191	0.145	0.044
76	23.06.12	15:08	0.472	0.462	0.811	0.811	0.020	1.366	0.976	0.629	0.360	0.354	0.033	0.775	0.028	1.206	0.825	0.722	0.193	0.154	0.035
77	23.06.12	15:26	0.705	0.435	0.764	0.764	0.030	1.293	0.845	0.732	0.343	0.326	0.073	0.734	0.044	1.089	0.767	0.723	0.190	0.116	0.077
78	23.06.12	15:26	0.530	0.474	0.833	0.833	0.005	1.390	0.965	0.719	0.361	0.345	0.077	0.797	0.008	1.159	0.824	0.776	0.195	0.118	0.086
79	23.06.12	15:26	0.433	0.431	0.757	0.757	0.023	1.311	0.828	0.670	0.356	0.335	0.085	0.728	0.030	1.153	0.753	0.700	0.213	0.129	0.095
80	23.06.12	15:44	0.405	0.485	0.852	0.852	0.145	1.391	1.008	0.624	0.330	0.319	0.032	0.824	0.203	1.347	0.893	0.727	0.203	0.154	0.037
81	23.06.12	15:44	0.385	0.512	0.899	0.899	0.011	1.458	1.066	0.635	0.363	0.353	0.044	0.861	0.016	1.323	0.926	0.760	0.232	0.181	0.054
82	23.06.12	15:44	0.180	0.471	0.828	0.828	0.209	1.377	0.891	0.545	0.343	0.338	0.052	0.792	0.294	1.137	0.816	0.691	0.155	0.113	0.056
84	23.06.12	16:06	0.239	0.495	0.870	0.870	0.117	1.418	0.941	0.646	0.343	0.336	0.030	0.834	0.117	1.205	0.839	0.822	0.149	0.089	0.040
85	23.06.12	16:06	0.186	0.484	0.850	0.850	0.379	1.331	0.904	0.618	0.310	0.308	0.029	0.822	0.532	1.125	0.830	0.793	0.127	0.093	0.030
86	23.06.12	16:24	0.551	0.500	0.877	0.877	0.140	1.417	1.058	0.733	0.328	0.321	0.046	0.848	0.197	1.233	0.873	0.831	0.177	0.136	0.052
87	23.06.12	16:24	0.522	0.512	0.900	0.900	0.220	1.498	1.053	0.763	0.356	0.352	0.035	0.859	0.309	1.216	0.888	0.836	0.160	0.117	0.039
88	23.06.12	16:24	0.646	0.512	0.900	0.900	0.072	1.436	1.032	0.829	0.324	0.317	0.038	0.868	0.101	1.280	0.880	0.863	0.167	0.118	0.045

Tab. A11: Tropfenspektrum von Flächenapplikationen

Proben	Verfahren	DV <sub>0,1</sub> (µm)	DV <sub>0,5</sub> (µm)	DV <sub>0,9</sub> (µm)	aSDG <sub>Proben</sub> ø (%)	Mess- fläche (cm <sup>2</sup> )	Tropfen- dichte (1/cm <sup>2</sup> )
--------	-----------	---------------------------	---------------------------	---------------------------	------------------------------------	---------------------------------------	--

**Applikationen zur Standardisierung**

ST1	SF	1497	3903	6813	46.19	630	81.65
ST2	DF	837	2123	3518	41.11	631	77.60
ST3	DL1	7724	26797	45868	49.75	632	144.60
ST4	DL2	8499	27210	43924	55.42	625	113.80
ST5	UB	6304	24492	37348	52.72	632	76.15

**Flächenapplikationen mit Flachstrahldüsen**

9	SF	464	1042	1622	6.74	126	19.10
10	SF	586	1151	1991	4.76	121	12.30
11	SF	297	891	2095	2.51	119	29.50
12	SF	631	1326	2084	4.21	121	7.70
13	SF	509	978	1768	3.82	122	13.10
14	SF	-----keine Auswertung möglich-----					
15	SF	598	1194	1861	9.60	122	24.30
16	SF	592	1226	1848	6.27	124	13.70
49	SF	571	1311	1793	4.43	120	16.30
50	SF	396	957	1618	8.50	124	41.70
51	SF	404	1034	2361	6.26	120	25.10
52	SF	-----keine Auswertung möglich-----					

**Flächenapplikation mit Doppelflachstrahldüsen**

17	DF	419	746	1245	2.13	121	9.00
18	DF	191	459	1052	2.01	120	18.60
19	DF	369	751	1107	3.36	122	12.50
20	DF	367	895	1490	7.02	125	26.80
21	DF	307	721	1230	2.09	125	11.00
22	DF	338	653	1031	2.40	120	9.90
23	DF	415	782	1156	4.75	122	27.70
24	DF	327	778	1385	2.96	119	19.30
53	DF	510	923	1728	1.88	112	6.00
54	DF	475	815	1579	4.50	112	13.80
55	DF	408	836	1186	1.99	124	9.90
56	DF	472	931	1795	7.93	125	20.20

Tab. A12: Farbstoffbelag auf den Zuckerrüben

Pro- be	Verfah- ren	Blattmasse (frisch) g	Verd.- faktor	Extink- tion	Konzen- tration µg/ml	abs. Farb- stoffbelag mg	rel. Farb- stoffbelag mg/100 g Blattmasse
------------	----------------	-----------------------------	------------------	-----------------	-----------------------------	--------------------------------	--

**Applikationen am 15.06.12**

1	<b>UB</b>	348	1	0.317	12.85	<b>6.43</b>	<b>1.85</b>
2	"	404	1	0.789	31.97	<b>15.99</b>	<b>3.96</b>
3	"	280	1	0.482	19.52	<b>9.76</b>	<b>3.49</b>
4	"	234	1	0.800	32.41	<b>16.21</b>	<b>6.93</b>
5	<b>SF</b>	-----keine Auswertung möglich-----					
6	"	-----keine Auswertung möglich-----					
7	"	230	2	1.015	82.25	<b>41.13</b>	<b>17.88</b>
8	"	384	4	1.150	186.30	<b>93.15</b>	<b>24.26</b>
9	<b>DF</b>	351	2	1.224	99.18	<b>49.59</b>	<b>14.13</b>
10	"	400	2	1.838	148.87	<b>74.44</b>	<b>18.61</b>
11	"	402	4	1.040	168.42	<b>84.21</b>	<b>20.95</b>
12	"	230	2	1.407	114.00	<b>57.00</b>	<b>24.78</b>
13	<b>DL1</b>	257	1	0.874	35.42	<b>17.71</b>	<b>6.89</b>
14	"	235	2	1.078	87.36	<b>43.68</b>	<b>18.59</b>
15	<b>DL2</b>	227	1	0.658	26.66	<b>13.33</b>	<b>5.87</b>
16	"	328	1	1.101	44.58	<b>22.29</b>	<b>6.80</b>
		ø 316					

**Applikationen am 23.06.12**

17	<b>UB</b>	320	1	0.338	13.64	<b>6.82</b>	<b>2.13</b>
18	"	226	1	0.091	3.67	<b>1.84</b>	<b>0.81</b>
19	"	251	1	0.113	4.55	<b>2.27</b>	<b>0.91</b>
20	"	337	1	0.659	26.62	<b>13.31</b>	<b>3.95</b>
21	<b>DL2</b>	334	1	0.778	31.42	<b>15.71</b>	<b>4.70</b>
22	"	345	1	1.829	73.87	<b>36.94</b>	<b>10.71</b>
23	<b>DL1</b>	389	1	1.828	73.80	<b>36.90</b>	<b>9.49</b>
24	"	343	1	1.009	40.74	<b>20.37</b>	<b>5.94</b>
25	<b>SF</b>	482	2	2.132	172.21	<b>86.10</b>	<b>17.86</b>
26	"	390	2	1.138	91.95	<b>45.98</b>	<b>11.79</b>
27	"	410	2	1.605	129.66	<b>64.83</b>	<b>15.81</b>
28	"	573	2	2.272	183.48	<b>91.74</b>	<b>16.01</b>
29	<b>DF</b>	300	2	1.396	112.76	<b>56.38</b>	<b>18.79</b>
30	"	426	2	1.733	139.97	<b>69.98</b>	<b>16.43</b>
31	"	620	2	2.399	193.77	<b>96.89</b>	<b>15.63</b>
32	"	299	2	1.289	104.11	<b>52.06</b>	<b>17.41</b>
		ø 378					

***Selbstständigkeitserklärung***

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Quellen erstellt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Stellen sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher nicht veröffentlicht.

Jülich, den 24.02.2013

Johannes Roeb

***Einverständniserklärung***

Hiermit erkläre ich mein Einverständnis für die öffentliche Ausstellung einer Kopie der vorliegenden Bachelorarbeit in der Teilbibliothek Weihenstephan an der Technischen Universität München.

Johannes Roeb

Jülich, den 24.02.2013

### **Danksagung**

An erster Stelle danke ich Herrn Prof. Dr. Heinz Bernhardt, der sich von Beginn an für mein Thema begeistern konnte und die Arbeit trotz einer Reihe von Schwierigkeiten gefördert und betreut hat.

Auch bedanke ich mich bei den technischen Mitarbeitern des Lehrstuhls für Agrarsystemtechnik, namentlich Herrn Berchthold, Herrn Dallinger und Herrn Huber sowie bei Frau Vogl.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. Robert Heinkel vom Unternehmen Lechler GmbH aus Metzingen. Er stellte nicht nur die gesamte Düsenteknik, einschließlich der „Lechler Droplegs“ zur Verfügung, sondern beriet mich auch bei Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Versuche. Bestandteil der Kooperation war eine Vielzahl interessanter und förderlicher Diskussionen.

Herrn Dr. Franz-Xaver Maidl vom Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme danke ich für die Bereitstellung der „Schmotzer Unterblattspritze“ und für anregende Gespräche zum Einsatz verschiedener Applikationsverfahren bei der Unkrautbekämpfung in Zuckerrüben.

Bei der photometrischen Auswertung des Farbstoffbelags auf den Zuckerrübenblättern unterstützen mich Herr Dr. Johann Hausladen und Herr Dr. Harald „Harry“ Schempp vom Lehrstuhl für Phytopathologie. Auch dafür möchte ich mich an dieser Stelle bedanken.

Die Durchführung der Versuche wäre ohne die Unterstützung, die ich am Lehr- und Versuchsgut Roggenstein der Technischen Universität München erhalten habe, nicht möglich gewesen. Daher gilt mein besonderer Dank dem Betriebsleiter Herrn Schmid und Herrn Otten, dem Mechaniker. Sie stellten nicht nur, oft unter hohem Zeitdruck, die Versuchsflächen und -geräte zur Verfügung, sondern halfen auch bei der Durchführung der ersten Applikationsreihen.

Auch meine beiden Kommilitonen Felix Grenzmann und Valentin Isert unterstützen mich bei den Versuchen. Bei ihnen möchte ich mich besonders für die Anfertigung von zahlreichen Foto- und Videoaufnahmen der Applikationen bedanken. Diese hätte ich alleine nicht durchführen können.

Darüber hinaus möchte ich mich bei allen Personen und Institutionen bedanken, die mir das erforderliche Material und Informationen zur Verfügung gestellt haben. Besonders erwähnt seien Herr Dr. Thomas Sommermann von Lanxess Colorants und Herr Leßmann von Schäfer Tapeten, Herr Bockerhoff und Herr Eßer vom Landwirtschaftlichen Informationsdienst Zuckerrübe sowie Herr Dr. Walther Schröder vom Forschungszentrum Jülich. Ebenfalls danke ich den Mitarbeitern der Landesanstalt für Landwirtschaft Bayern, der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, des Instituts für Zuckerrübenforschung Göttingen und des Julius-Kühn-Instituts.

Mein besonderer Dank gilt auch meiner Familie, die mich während meiner gesamten Ausbildung unterstützt hat, und besonders meinem Vater Dr. Gerhard Roeb. Er begeisterte mich nicht nur für das Studium der Agrar- und Gartenbauwissenschaft, sondern ermöglichte es mir auch, praktische Erfahrungen in der Landwirtschaft und speziell im Zuckerrübenbau zu sammeln.