

# Strömungstechnische Untersuchungen zur Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln im Wein- und Obstbau

ALOIS F. GEYRHOFFER, KAREL HANAK, BERNHARD SCHMUCKENSCHLAGER und  
MANFRED KICKENWEIZ

Lehr- und Forschungszentrum für Wein- und Obstbau  
A-3400 Klosterneuburg, Wiener Straße 74  
E-Mail: Alois.Geyrhofer@weinobst.at

*Eine wesentliche Voraussetzung für eine Verbesserung der Applikationstechnik im Wein- und Obstbau ist das Verstehen von grundlegenden applikationstechnischen Zusammenhängen beziehungsweise Kenngrößen. Die Untersuchungen zu den dafür relevanten Parametern Strömungsgeschwindigkeit, Strömungsrichtung und Bedeckungsgrad führten zu der Erkenntnis, dass in den Wein- und Obstkulturen die Tropfengeschwindigkeit mit zunehmender Raumtiefe abnimmt, die mehrdimensionale Strömung sehr komplex ist und der Bedeckungsgrad weit hinter den Qualitätsanforderungen zurückbleibt. Bei der Geschwindigkeitsmessung mit dem Laser-Doppler-Anemometer konnte gezeigt werden, dass auf Grund der Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit das Penetrationsvermögen der Tropfen in die Kulturen stark reduziert wurde. Hinsichtlich der Sichtbarmachung der Strömungsverhältnisse mit Hilfe von Heliumluftgemisch-Blasen konnte demonstriert werden, dass die Tropfen dreidimensional und in alle Richtungen strömen. Neben diesen beiden Strömungskenngrößen konnte aus den Auswertungen des wasserempfindlichen Papiers geschlossen werden, dass die Applikationsgröße Bedeckungsgrad vor allem im Kulturinneren minimal ist. Als Konsequenz der erhaltenen Ergebnisse ergibt sich, dass eine Verbesserung sowohl bei der Konstruktion als auch bei der Handhabung von Wein- und Obstbaupflanzenschutzgeräten im Vordergrund stehen sollte.*  
**Schlagwörter:** Pflanzenschutzgeräte, Applikation, Strömungsverhältnisse, Bedeckungsgrad, Sprühdüsen

*Fluid mechanics investigations into the application of plant protection agents in viticulture and pomiculture. For an improvement of the application of spraying agents in viticulture and pomiculture the understanding of basic parameters and technical interrelations is an essential precondition. The presented studies into the relevant parameters flow velocity, flow direction and coverage showed that with grapevine and fruit cultures, droplet velocity decreases with increasing depth, that the multi-dimensional flow is very complex and that the degree of coverage is by far lower than required for quality production. For the velocity measurement by means of Laser Doppler Anemometry it was shown that penetration capacity was significantly reduced due to the decrease in flow velocity of the droplets in the cultures. Visualization of the flow by means of helium bubbles showed that the droplets flow in three dimensions and all directions. Analysis of the coverage using water-sensitive paper showed that the degree of coverage is minimal especially on the inside of the cultures. As a consequence of the obtained results it can be concluded that construction as well as employment of plant protection equipment should be improved.*

**Keywords:** plant protection devices, application, flow parameters, coverage, spray nozzles

*Essais relatifs à la pulvérisation de produits phytosanitaires dans la viticulture et dans la culture fruitière basés sur la technique des fluides. Une des conditions essentielles d'une amélioration de la technique d'application dans la viticulture et dans la culture fruitière est la compréhension des relations fondamentales et/ou des paramètres caractéristiques de la technique d'application. Les analyses des paramètres pertinents - vitesse d'écoulement, sens d'écoulement et degré de couverture - ont permis d'arriver à la conclusion que, dans les cultures de la vigne et fruitières, la vitesse des gouttes décroît dans la mesure où la profondeur augmente, que l'écoulement pluridimen-*

sionnel est très complexe et le degré de couverture reste largement en arrière des exigences de qualité. La mesure de la vitesse au moyen d'un anémomètre à laser à effet Doppler a permis de démontrer que la capacité de pénétration des gouttes dans les cultures a fortement baissé suite à la décroissance de la vitesse d'écoulement. Quant à la visualisation des conditions d'écoulement à l'aide de bulles d'un mélange hélium-oxygène, on a pu montrer que les gouttes s'écoulaient de manière tridimensionnelle dans toutes les directions. En plus de ces deux paramètres d'écoulement, les analyses du papier hydrosensible ont permis de conclure que le degré de couverture est minimal, surtout à l'intérieur des cultures. Il découle des résultats obtenus qu'une plus grande importance devrait être attachée à l'amélioration tant de la construction que de la manipulation des appareils phytosanitaires utilisés dans la viticulture et dans la culture fruitière.

**Mots clés :** Appareils phytosanitaires, application, conditions d'écoulement, degré de couverture, pulverisateurs

Der moderne Pflanzenschutz bei den Raumkulturen Wein und Obst ist durch eine konstruktiv aufwändige und kostspielige Technik gekennzeichnet. Trotz hochentwickelter Gerätetechnik verfehlt aber ein mehr oder weniger hoher Pflanzenschutzmittelanteil die Zielfläche und schlägt einerseits als erhöhter Spritzmittelaufwand, andererseits als Umweltbelastung für Atmosphäre, Boden und Wasser zu Buche (UHL, 1998). Von großer Bedeutung ist daher eine Optimierung und Neuausrichtung der Applikationstechnik, da nur so der hohe Qualitätsanspruch im Wein- und Obstbau erfüllt werden kann. Um diese zielgerichtet verwirklichen zu können, ist eine entsprechende Sachkenntnis über die Applikation von Pflanzenschutzmitteln erforderlich. Die heutige Applikationstechnik im Wein- und Obstbau steht in einem Spannungsfeld zwischen hoher pflanzenschützerischer Effektivität und niedriger negativer Umweltbeeinflussung. Ein sinnvoller Einsatz von Pflanzenschutzmitteln lässt sich daher nur mit einer zielobjektorientierten Applikation erreichen. Wird eine zu geringe Pflanzenschutzmenge appliziert, besteht die Gefahr einer unzureichenden Bedeckung auf der Rebe beziehungsweise auf dem Obstbaum verbunden mit entsprechenden Ertrags- und Qualitätseinbußen. Wird hingegen mehr ausgebracht, als für eine ausreichende Pflanzenschutzwirkung nötig ist, so geht dies mit der Gefahr der Abdrift und somit Beeinflussung der Umwelt einher. Ein erster Schritt zu einer zielobjektorientierten Applikation besteht in der Optimierung der applikationstechnischen Parameter. Der zweite Schritt ist dann die Überprüfung der Applikationsqualität, sprich der Bedeckung der Rebe und des Obstbaumes mit dem Pflanzenschutzmittel.

Die vorrangige Entwicklungsaufgabe ist eine zielobjektorientierte Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln, das heißt, die eingesetzten Wirkstofftropfen sollen sich an die Zielflächen der Objekte anlagern. Bei der Behandlung von Wein- und Obstkulturen stellt

die morphologische Struktur ein Problem dar, beispielsweise die Blattgröße bzw. Blattanordnung, da diese die Penetration der Sprühtropfen in den Raum wesentlich reduzieren können. Dabei ist hinsichtlich Pflanzenschutzmittelanlagerung gerade das schwer zugängliche Rauminnere relevant, da sich hier viele pathologische Zielflächenbereiche befinden (ZHU et al., 2006). In der modernen Applikationstechnik hat deshalb die Verbesserung des Penetrationsverhaltens hohe Priorität. Eine Grundvoraussetzung zur Erreichung dieser Forderung ist die Auseinandersetzung mit applikationstechnischen Zusammenhängen und Kenngrößen. Da in Raumkulturen die Pflanzenschutzmittelapplikation heute fast ausschließlich mit Luftunterstützung erfolgt, sind die Strömungsgeschwindigkeit und die Strömungsrichtung der Luftmoleküle bzw. der Pflanzenschutzmitteltropfen wesentliche applikationstechnische Parameter (VIGNEAULT und DE CASTRO, 2006). Dazu sollen mit Hilfe der Strömungsmechanik Erkenntnisse gewonnen werden, welche das Verständnis der Strömungsverhältnisse in den Raumkulturen verbessern und die Basis für eine zielobjektorientierte Applikation liefern. Ob sich die eingesetzten Pflanzenschutzmittel an den Zielflächen auch anlagern, lässt sich im Wesentlichen mit dem Applikationsparameter Bedeckungsgrad messen.

Vor diesem Hintergrund wurden strömungstechnische Untersuchungen in Kulturen des Wein- und Obstbaus durchgeführt. Den unmittelbaren Zielen der wissenschaftlichen Tätigkeit lassen sich drei Ebenen zuordnen: Zuerst wurde die Strömungsgeschwindigkeit mit einem Laser-Doppler-Anemometer gemessen, anschließend die Strömungsrichtung mittels eines Helium-Blasen-Generators visualisiert und schließlich die Applikationsqualität durch wasserempfindliches Papier überprüft. Das vordergründigste Ziel bei diesen Versuchen ist es, einen besseren Einblick in die Raumströmungsverhältnisse bei Reb- und Obstkulturen zu bekommen.

Tab. 1: Raumdaten zu den Versuchsobjekten der Versuchsanlage Agneshof

Sorten	Abstand in der Reihe	Abstand zwischen den Reihen	Stammhöhe	Alter
Cabernet Sauvignon	1,2 m	2,4 m	1,0 m	12 Jahre
Grüner Veltliner	1,0 m	2,4 m	1,0 m	14 Jahre
Roesler	1,0 m	2,0 m	0,8 m	20 Jahre
Scheurebe	1,2 m	3,0 m	1,2 m	25 Jahre

Tab. 2: Raumdaten zu den Versuchsobjekten der Versuchsanlage Haschhof

Sorten	Abstand in der Reihe	Abstand zwischen den Reihen	Baumhöhe	Alter
Golden Delicious	1,2 m	3,5 m	4,0 m	10 Jahre
Klosterneuburger Marille	3,0 m	5,0 m	3,5 m	6 Jahre
Titania	1,0 m	3,0 m	1,2 m	7 Jahre

## Material und Methoden

Als Versuchsobjekte wurden im Weinbau vier verschiedene Rebsorten der Versuchsanlage Agneshof des LFZ Klosterneuburg verwendet: 'Cabernet Sauvignon' mit seinen kreisförmigen Blättern auf den Unterlagen '1103 P', 'Aripa' und '1616 C', 'Grüner Veltliner' mit fünfeckigen bis kreisförmigen Blättern auf den Unterlagen 'R 26', 'G 26' und '41 B', 'Roesler' mit fünfeckigen Blättern auf der Unterlage 'Kober 5 BB', sowie 'Scheurebe' mit kreisförmigen Blättern auf der Unterlage 'Kober 5 BB' (REGNER et al., 2008). Hinsichtlich Kulturmaßnahmen wurden die Cabernet Sauvignon-Reben, die Grüner Veltliner-Reben und die Roesler-Reben am Drahtrahmen mit exakt formierter (streng geometrischer) Laubwand erzogen, bei 'Scheurebe' wurde die offene Lyra-Erziehung beziehungsweise der Minimalchnitt angewendet. Die Raumdaten zu den vier verwendeten Versuchsobjekten der Versuchsanlage Agneshof sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Das Versuchsmaterial im Obstbau stammte von der Versuchsanlage Haschhof des LFZ Klosterneuburg. Es bestand aus der Apfelsorte 'Golden Delicious' auf der Unterlage 'M9' (Spindel), der Marillensorte 'Klosterneuburger Marille' auf der Unterlage 'WaxWa' (Hohlkrone) sowie der Schwarzen Johannisbeersorte 'Titania' (Strauch). Die Raumdaten der drei verwendeten Versuchsanlagen können Tabelle 2 entnommen werden.

Der Versuchszeitraum für die Messungen der Strömungsgeschwindigkeit mit dem Laser-Doppler-Anemometer erstreckte sich vom 16. bis zum 20. Juli 2007. Im selben Zeitraum erfolgte ein Jahr später die Sichtbarmachung der Strömungsrichtungen mit dem Helium-Blasen-Generator. Die Überprüfung des Benet-

zungsgrades mittels wasserempfindlichen Papiers wurde während der Versuchszeit parallel durchgeführt.

### Laser-Doppler-Anemometer (LDA)

Das LDA stellt ein optisches Messverfahren zur mehrdimensionalen Messung lokaler Geschwindigkeiten in Fluidströmungen dar. Bei dieser Technik kommen das Laserprinzip und der Dopplereffekt zur Anwendung. Für den berührungslosen Messvorgang beim LDA (Typ FlowExplorer Mini LDA, Dantec Dynamics, Skovlunde, Dänemark) sind keine eventuell die Strömung beeinflussenden Sensoren erforderlich. Bei diesem Messverfahren bleiben die Messfehler infolge von Temperatur-, Dichte- oder chemischen Änderungen der Pflanzenschutzmitteltröpfchen relativ klein. Da der Messpunkt eine sehr geringe räumliche Ausdehnung besitzt, sind auch Grenzschichtmessungen in unmittelbarer Nähe von Flächen, wie beispielsweise Reb- oder Obstbaumblättern, möglich. Es ist hierbei trotz mannigfaltiger Messmöglichkeiten zu beachten, dass das Medium in der Raumkultur lichtdurchlässig und die Anzahl der enthaltenen Kleinpartikel gering ist (SCHANZ, 2004).

### Helium-Blasen-Generator (HBG)

Für die Visualisierung der Strömungsverhältnisse in den Raumkulturen wurde ein HBG (Typ SAI<sup>TM</sup>, Sage Action, Freeville, USA) verwendet. Der HBG produziert mit Hilfe koaxialer Düsen eine ausreichende Anzahl von Blasen (Durchmesser: 1,2 bis 3,8 mm), welche mit einem Heliumluftgemisch gefüllt sind und mit Hilfe einer Druckflasche aus dem Gerät ausgestoßen werden. Bei der Generierung der Blasen wird das Heliumluftgemisch so weit variiert, bis die Gewichtskraft der Blasen-

hülle sich mit der Auftriebskraft des Heliums im Gleichgewicht befindet. Mit der exakten Einstellung der Blasengröße wird neben dem spezifischen Gewicht auch die Blasenmenge an die erforderlichen Verhältnisse angepasst. Die frei schwebenden Blasen verharren in ihrer Position oder folgen den laminaren wie auch komplexen turbulenten Luftströmungen von 0 bis 80 km/h. Über einen speziellen Trichter werden die Heliumluftgemisch-Blasen in die Raumkulturen appliziert (PRAGER, 2008). Ein Nachteil der Heliumluftgemisch-Blasen-Technik ist einerseits der relativ große Druck, der für den Ausstoß der Blasen aus der Düse erforderlich ist. Dadurch wird das Strömungsverhalten der Blasen unmittelbar beeinflusst und verändert die Daten der Strömungsanalyse. Außerdem ist die Lebensdauer der Blasen mit maximal 2 bis 3 Minuten relativ kurz, weshalb die Analysezeit der Strömung sehr begrenzt ist. Die Bewegung der Heliumluftgemisch-Blasen wurde mit einer Handycam (Typ DCR-SR35E, Sony, Tokyo, Japan) verfolgt und aufgezeichnet. Während des Aufzeichnungsvorgangs war eine entsprechend starke Ausleuchtung der Raumkultur mittels natürlichen Sonnenlichts vorhanden.

### Wasserempfindliches Papier (WSP)

Zu Beginn der 1980er-Jahre wurde das wasserempfindliche Papier (WSP - Water-Sensitive-Paper) entwickelt, um die Qualität der Applikation bei niedrigen Ausbringungsmengen visuell und quantitativ beurteilen zu können. Dabei handelt es sich um ein Papier mit einer speziell beschichteten Ummantelung, deren gelbe Oberfläche sich beim Kontakt mit wässrigen Tropfen (der Tropfendurchmesser muss größer als 30  $\mu\text{m}$  sein) dunkelblau verfärbt. Eine quantitative Auswertung kann durch Auszählen der Tropfen oder mit automatisierten Bildanalyse-Systemen erfolgen. Ab einer Tropfendichte von ca. 400 Tropfen/cm<sup>2</sup> treten bei der Auszählmethode allerdings Probleme auf, da sich die Tropfen überlappen. Vorteilhaft bei der WSP-Methode ist deren rasche, ohne aufwändige Analytik und ohne Farbstoffzusatz durchführbare Überprüfung der Applikationsqualität. Zu beachten sind die Einsatzgrenzen des wasserempfindlichen Papiers: Bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von > 70 %, bei Tau und bei nassen Rebkulturen beginnt sich das wasserempfindliche Papier leicht bläulich zu verfärben; bei Temperaturen < 8 °C beginnen die Tropfen abzulaufen. Zudem besitzt das wasserempfindliche Papier ein begrenztes Retentionsvolumen (MARCAL et al., 2008). Das wasserempfindliche Papier (Typ 76 x 26 mm) für die Versuche wurde von Quanti-

foil Instruments (Jena, Deutschland) inklusive manueller Tropfenzählhilfe bzw. Bedeckungsmuster von Syngenta (Basel, Schweiz) bezogen. Die Tropfenquantifizierung kann einerseits durch Zählen der Tropfen innerhalb eines 1 cm<sup>2</sup> großen Fensters auf der Tropfenzählhilfe oder andererseits durch eine prozentuale Abschätzung in Form eines Vergleichs mit Benetzungsmustern vorgenommen werden.

### Pflanzenschutzgeräte

Die Pflanzenschutzmittelapplikation erfolgte im Weinbau mit einem Aufsattelnebelsprühergerät (Hardi, Wedemark, Deutschland). Bei dem Typ Maxi-SPV handelt es sich um ein Pflanzenschutzgerät, welches mit einem Radialgebläse und 10 Luftleiterschläuchen, an deren Enden sich die Düsen befinden, ausgestattet ist. An jeder einzelnen Düse hat die Luft ein gleichartiges zirkulares und konisches Strömungsmuster, wodurch eine stabile und ideale Luftverteilung über den ganzen Spritzbereich erreicht wird. Das im Obstbau eingesetzte Pflanzenschutzgerät (Typ DA 32/500) wurde von der Firma Wanner (Wangen im Allgäu, Deutschland) produziert. Vom Konzept her stellt es ein Drei-Punkt-Anbaugerät dar, zu dessen Bauteilen ein Axil-Querstromgebläse und 16 Myers-Einzeldüsen gehören. Jene besitzen einen Tropf-Stopp und sind außerhalb vom Luftstrom schwenk- und abstellbar. Durch die gezielte Luftführung (Luftleitbleche) werden Abdrift und Spritzmittelverlust reduziert.

### Düsen

Den Standard bei Pflanzenschutzgeräten im Wein- und Obstbau stellt die Hohlkegeldüse dar. Die Spritzmittelflüssigkeit wird durch einen Drallkörper in Rotation versetzt und nach dem Austritt aus der Düse zerstäubt. Es resultiert ein hohlkegelförmiges Spritzbild bei einem Spritzdruck von 7 bis 15 bar. Im Vergleich zur Antidriftdüse haben die erzeugten Tropfen einen kleineren Durchmesser und damit ein höheres Abdriftpotenzial. Bei der Antidriftdüse bedingen besondere Konstruktionsmerkmale des Düsenkanals einen Druckabbau. Dies hat zur Folge, dass der Anteil an Feintropfen beim Zerstäubungsprozess kleiner wird und die Abdrift auf Grund der größeren Tropfendurchmesser reduziert wird (WALG, 2007). Im Zuge der strömungstechnischen Untersuchungen wurden für die Versuche mit dem Laser-Doppler-Anemometer Hohlkegeldüsen und Antidriftdüsen (Injektor-Flachstrahldüsen) zur Tropfenausbringung in den Reb- und Obstkulturen eingesetzt. Jene Versuche mit dem wasserempfindlichen Papier

wurden nur mit der Hohlkegeldüse durchgeführt. Für die Applikation im Weinbau wurden die Hohlkegeldüse Albuz<sup>®</sup> ATR grün und die Antidriftdüse Albuz<sup>®</sup> AVI 80-015 grün, für jene im Obstbau die Hohlkegeldüse Albuz<sup>®</sup> ATR braun und die Antidriftdüse Albuz<sup>®</sup> AVI 80-02 gelb eingesetzt; alle vier Düsen stammen von der Firma Agrotop (Obertraubling, Deutschland).

### Versuchsdurchführung

**Laser-Doppler-Anemometer.** Unter Berücksichtigung der gegebenen technischen Rahmenbedingungen sollten die erhaltenen Messdaten ein möglichst der Realität entsprechendes Strömungsbild liefern. Dazu wurden das LDA 50 cm vor, in der Mitte und 50 cm hinter der Raumkultur sowie in unterschiedlichen Messhöhen positioniert und anschließend die Tropfengeschwindigkeiten einmal gemessen und gespeichert. Als Messhöhen wurden in der Rebkultur 100 cm und 125 cm über dem Boden gewählt; in der Obstkultur betragen die Messhöhen 100 cm und 150 cm bei Apfel und Marille bzw. 50 cm und 100 cm bei Schwarzer Johannisbeere. Die einzelnen Messungen in den entsprechenden Positionen wurden jeweils mit der Hohlkegel- und Antidriftdüse bei jeder Reb- und Obstsorte durchgeführt. Bei der Applikation wurde ein Betriebsdruck von 5 bar im Weinbau und 8 bar im Obstbau eingestellt. Während der Messvorgänge waren die klimatischen Verhältnisse durch eine hohe Lufttemperatur (zum Teil höher als 40 °C) und niedrige Luftfeuchtigkeit gekennzeichnet, wodurch eine eventuelle Beeinflussung des Messgerätes nicht ausgeschlossen werden kann. Hingegen hatten der bestehende Wind mit einer Geschwindigkeit < 1 m/s sowie andere Faktoren, wie beispielsweise die Hangneigung, keinen Einfluss auf die Messergebnisse.

**Helium-Blasen-Generator.** Für die optische Erfassung der Raumströmung wurden der HBG im Wein- und Obstgarten aufgestellt und die kleinen mit Helium und Luft gefüllten Blasen in die Raumkulturen eingeblasen. Das Durchströmen der Raumkulturen wurde unter dreimaliger Wiederholung mit der Digitalkamera aufgezeichnet und gespeichert, anschließend wurden die Aufnahmen dahingehend analysiert, wie sich unter strömungsmechanischen Gesichtspunkten die Heliumluftgemisch-Blasen in der Reb- und Obstkultur verhalten.

**Wasserempfindliches Papier.** In den Reb- und Obstkulturen wurden die Streifen aus wasserempfindlichem Papier (WSP) im Abstand von jeweils 40 cm in der Mitte der Kulturen, sowie an der Vorder- bzw. Hinterseite der Kulturen deponiert. Die applikationstechnischen Kenngrößen bei den dreimal wiederholten Versuchen je Reb- und Obstsorte waren: Fahrgeschwindigkeit des Traktors zwischen 1 und 4 km/h, Spritzdruck von 3 bis 5 bar; für die Zerstäubung wurde die Hohlkegeldüse verwendet. Nach erfolgter Applikation der Tropfen mit Luftunterstützung (Radialgebläse) wurden die Papierstreifen abgenommen und anschließend quantitativ ausgewertet. Aufgrund der größtenteils starken Überlappung der einzelnen Tropfen auf dem WSP wurde die Bedeckung unter Zuhilfenahme der Vergleichsmuster (Bedeckung von 0 bis 100 %) auf ihre Prozente hin geschätzt.

## Ergebnisse und Diskussion

### Strömungsgeschwindigkeiten

In Tabelle 3 sind die in der Rebkultur gemessenen Geschwindigkeiten der Strömung unter Verwendung einer Hohlkegel- beziehungsweise Antidriftdüse bei den Sor-

Tab. 3: Strömungsgeschwindigkeiten (m/s) in der Laubwand (HD = Hohlkegeldüse, AD = Antidriftdüse)

Sorten	Messhöhe	50 cm vor der Laubwand		Mitte der Laubwand		50 cm nach der Laubwand	
		HD	AD	HD	AD	HD	AD
Cabernet Sauvignon	100 cm	25,6	23,4	16,4	14,8	7,3	6,0
	125 cm	25,0	23,8	14,7	12,7	4,2	2,9
Grüner Veltliner	100 cm	25,3	23,2	23,4	21,5	22,1	20,3
	125 cm	24,9	22,1	20,3	19,2	17,6	15,8
Roesler	100 cm	26,2	24,4	21,0	18,3	15,5	13,9
	125 cm	25,6	23,6	17,7	15,2	11,3	10,7
Scheurebe	100 cm	24,9	22,5	23,7	22,3	20,0	18,5
	125 cm	24,2	22,0	21,7	20,8	17,8	14,6

Tab. 4: Strömungsgeschwindigkeiten (m/s) in den Kronen (HD = Hohlkegeldüse, AD = Antidriftdüse)

Sorten	Messhöhe	50 cm vor der Krone		Mitte der Krone		50 cm nach der Krone	
		HD	AD	HD	AD	HD	AD
Golden Delicious	100 cm	20,5	17,5	12,1	9,7	4,3	1,9
	150 cm	21,0	18,0	11,7	8,5	2,8	1,1
Klosterneuburger Marille	100 cm	19,9	16,7	14,5	12,3	8,3	6,2
	150 cm	20,7	17,2	13,1	10,1	7,2	4,6
Titania	50 cm	20,4	18,4	18,6	15,3	16,1	14,1
	100 cm	20,2	18,0	17,3	14,9	14,3	12,0

ten 'Cabernet Sauvignon', 'Grüner Veltliner', 'Roesler' und 'Scheurebe' in Meter pro Sekunde (m/s) angeführt. Wie aus Tabelle 3 ersichtlich, nahm die Geschwindigkeit der Tropfen bei allen vier Rebsorten sowohl bei der Hohlkegeldüse als auch bei der Antidriftdüse mit zunehmender Raumtiefe ab. Dabei war die Geschwindigkeitsabnahme zwischen der Distanz 50 cm vor und 50 cm nach der Rebkultur bei der Rebsorte 'Cabernet Sauvignon' mit 20,9 m/s (AD, Messhöhe 125 cm) am größten und bei der Rebsorte 'Grüner Veltliner' mit 2,9 m/s (AD, Messhöhe 100 cm) am kleinsten. Die Differenzen der Geschwindigkeitsabnahmen zwischen den einzelnen Rebsorten beruhten auf der unterschiedlichen Laubwandstruktur. Diese wurden im Zuge der Strömungsgeschwindigkeitsmessungen mit dem LDA nur visuell erfasst. So lässt sich erkennen, dass beginnend mit der Sorte 'Cabernet Sauvignon' über die Sorte 'Roesler' bis hin zu den beiden Sorten 'Grüner Veltliner' und 'Scheurebe' die Strömungsgeschwindigkeit der Tropfen eine geringere Abnahme erfuhren. Das heißt, dass die Laubwandstruktur auf die Strömung einen Einfluss ausübte. Dies wird auch dadurch bestätigt, dass bei allen durchgeführten Messungen die Geschwindigkeitsabnahme im oberen Laubzonenbereich (Messhöhe 125 cm) gegenüber dem tiefer liegenden Traubenzonenbereich (Messhöhe 100 cm) größer war. Des Weiteren kann Tabelle 3 entnommen werden, dass die Strömungsgeschwindigkeit bei der Antidriftdüse im Vergleich zur Hohlkegeldüse immer kleinere Messwerte aufwies. Erklären lässt sich dieses Messresultat in der Form, dass die Antidriftdüse grobe Tropfen mit einem großen Durchmesser erzeugte und dadurch die Tropfengeschwindigkeit stärker reduziert wurde. Das vorliegende Ergebnis der Strömungsgeschwindigkeitsmessungen zeigt eindeutig die Problematik bei der Applikation von Pflanzenschutzmitteln im Weinbau. Die Strömungsgeschwindigkeit der Tropfen nimmt mit zunehmender Tiefe der Rebkultur ab. Daraus kann der

Schluss gezogen werden, dass mit größerer Raumtiefe immer weniger Tropfen in die Rebkultur penetrieren und deshalb auch die Zielfläche nicht erreichen.

Ähnliche Verhältnisse wie in der Rebkultur fanden sich bei der Reduzierung der Strömungsgeschwindigkeit von Tropfen auch in den Obstkulturen wieder. Die Werte für die Strömungsgeschwindigkeiten (in m/s) bei den Sorten 'Golden Delicious', 'Klosterneuburger Marille' und 'Titania' sind aus Tabelle 4 ablesbar. Auch hier wurden die Messungen sowohl mit einer Hohlkegel- als auch einer Antidriftdüse durchgeführt.

Auch bei der Obstkultur nahm die Geschwindigkeit der strömenden Tropfen bei der Apfelsorte 'Golden Delicious', der Marillensorte 'Klosterneuburger Marille' und der Schwarzen Johannisbeersorte 'Titania' mit größer werdendem Abstand von der Hohlkegelbeziehungsweise Antidriftdüse ab. So wurde die höchste Geschwindigkeitsabnahme innerhalb der Strecke 50 cm vor und 50 cm nach der Obstkultur mit 18,2 m/s (HD, Messhöhe 150 cm) bei der Apfelsorte 'Golden Delicious' gemessen, die niedrigste mit 4,3 m/s (HD und AD, Messhöhe 100 cm) bei der Marillensorte 'Klosterneuburger Marille'. Die zahlenmäßigen Unterschiede in der Geschwindigkeitsabnahme bei den verschiedenen Obstsorten lassen sich dahingehend interpretieren, dass bei Apfel- und Marille die Wuchsstruktur auf die Raumströmung einen Einfluss hatte. Diese Wuchsstruktur der Obstkulturen wurde visuell beurteilt. So konnte bei der Sorte 'Golden Delicious' der dichtere Wuchs beziehungsweise die dichtere Belaubung im Vergleich zur Sorte 'Klosterneuburger Marille' für die höhere Geschwindigkeitsabnahme verantwortlich gemacht werden. Unterstützt wird diese Interpretation auch durch die Tatsache, dass die Geschwindigkeitsreduktion in der Messposition mit der Höhe 150 cm (hohe Laubwanddichte) gegenüber jener mit 100 cm (niedrige Laubwanddichte) deutlich größer war. Hingegen waren bei der Schwarzen Johannisbeersorte

'Titania' einerseits die geringeren Raumabmessungen, und andererseits der nicht so sperrige Wuchs der Strauchkultur und damit verbunden der kleinere Widerstand gegen das Eindringen von Tropfen der Grund für die niedrige Abnahme der Strömungsgeschwindigkeit. Zu vergleichbaren Erkenntnissen bei der obstbaulichen Pflanzenschutzmittelapplikation gelangten auch DERKSEN et al. (2007).

### Strömungsrichtungen

Um die Tropfenströmung verstehen zu lernen und damit die Grundlage für eine zielorientierte Applikation zu schaffen, wurde versucht, die Strömung sichtbar zu machen. In Reb- und Obstkulturen konnten Strömungen in vielfältiger Weise beobachtet werden. Nachfolgend sind exemplarisch Bilder von verschiedenen Aufnahmen der mittels Koaxialdüsen des Helium-Blasen-Generators erzeugten Heliumluftgemisch-Blasen dargestellt.

Wie in Abbildung 1 ersichtlich, strömten die Heliumluftgemisch-Blasen aus dem Trichter des Generators in Richtung der Rebkultur 'Cabernet Sauvignon'. Innerhalb der Reben wurden die Blätter von den Heliumluftgemisch-Blasen umströmt. Es konnte beobachtet werden, dass die Geschwindigkeit der Heliumluftgemisch-Blasen beim Umströmen der Blätter anstieg, das heißt, laut Bernoulligleichung entstand ein Unterdruck. Das heißt, anstelle einer Anlagerung an den Zielflächen erfuhren die Tropfen eine Beschleunigung und strömten größtenteils an diesen vorbei. Diese Beobachtungen der Strömungsverhältnisse sind auch in Übereinstim-



Abb. 1: Heliumluftgemisch-Blasen umströmen Blätter der Rebsorte 'Cabernet Sauvignon'

mung mit den theoretischen Abhandlungen von OERTEL und BÖHLE (2002) zur Strömungslehre.

Vergleichbar mit dem Strömungsbild in der Rebkultur ist jenes in der Obstkultur 'Klosterneuburger Marille' (Abb. 2). Auch hier penetrierten nach dem Verlassen des Generatortrichters die Heliumluftgemisch-Blasen zwischen den Blättern durch, erfuhren verschiedene Beschleunigungen und damit Änderungen der Strömungsgeschwindigkeiten und traten an der gegenüberliegenden Seite des Trichters wieder aus. Es wurde hier ebenfalls nur eine geringe Anlagerung der Heliumluftgemisch-Blasen beobachtet, somit war eine zielobjektorientierte Applikation nicht gegeben.



Abb. 2: Applikation der Heliumluftgemisch-Blasen bei 'Klosterneuburger Marille'

Bei der Sichtbarmachung der Strömung bei der Schwarzen Johannisbeerkultur 'Titania' (Abb. 3), konnte mit der Digitalkamera festgehalten werden, dass sich in der Kultur mehrere verschiedene Strömungsfelder im Raum ausbildeten. Die Bewegung der Heliumluftgemisch-Blasen folgte, nachdem sie aus dem Trichter des Gerätes ausgetreten waren, verschiedenen Richtungen. Es ließ sich dabei erkennen, dass die Blasen die Blätter zum Teil umströmten, sich jedoch auch teilweise an diese anlagerten. Somit war im Vergleich zur Strömungssituation bei 'Cabernet Sauvignon' bzw. 'Klosterneuburger Marille' bei 'Titania' eine, wenn auch prozentual geringe, Applikation an den Zielflächen gegeben.

Als Erklärung für die beobachteten Strömungsfelder konnte die geringere Sperrigkeit des Pflanzenmaterials herangezogen werden, deshalb befanden sich die Pflanzenteile in ständiger Bewegung. Deshalb konnten bei



Abb. 3: Visualisierung der Raumströmung mit Heliumluftgemisch-Blasen bei 'Titania'

den Heliumluftgemisch-Blasen keine Beobachtungen hinsichtlich Änderung der Geschwindigkeit beim Blattumströmen wahrgenommen werden. Das Resultat war, dass neben dem Blasenanteil, der durch die Kultur penetrierte, ein Teil abgelenkt wurde und somit wieder in Richtung der Blätter strömte, womit sich die Teilanlagerung an diesen erklären lässt.

### Bedeckungsgrad

Die Ergebnisse der visuellen Beurteilung der Applikation, angegeben durch den Bedeckungsgrad in Prozent, sind in den Tabellen 5 und 6 angeführt. Zur Ausbringung der Tropfen wurde sowohl im Wein- als auch im Obstbau die Hohlkegeldüse benutzt. In Tabelle 5 sind die Zahlenwerte für die in der Rebkultur verwendeten

Tab. 5: Bedeckungsgrad (%) in der Laubwand

Sorten	Vorderseite der Laubwand	Mitte der Laubwand	Hinterseite der Laubwand
Cabernet Sauvignon	80	30	10
Grüner Veltliner	75	50	40
Roesler	80	45	20
Scheurebe	85	50	35

Reben der Sorten 'Cabernet Sauvignon', 'Grüner Veltliner', 'Roesler' und 'Scheurebe' eingetragen.

Bei allen vier Rebsorten nahm der Bedeckungsgrad mit steigender Entfernung von der Düse ab. Die größte Bedeckungsabnahme (70 %) zwischen Rebkulturvorderseite und -hinterseite wies die Sorte 'Cabernet Sauvignon' auf, die kleinste (35 %) die Sorte 'Grüner Veltli-

ner'. Diese Resultate bestätigten die bereits bei der Strömungsgeschwindigkeitsmessung gewonnene Erkenntnis hinsichtlich der Tropfenpenetration. Bezüglich Laubwand kann festgehalten werden, dass die Zahlenwerte für die Bedeckung aufgrund der visuell wahrnehmbaren unterschiedlichen Struktur der Rebsorten entsprechend different waren. So nahm der Prozentsatz der Bedeckung beginnend bei der Sorte 'Cabernet Sauvignon' über die Sorte 'Roesler' bis hin zu den Sorten 'Grüner Veltliner' und 'Scheurebe' zu. Diese Werte spiegelten die Laubwandstruktur wider, da diese bezüglich ihrer Dichtheit in derselben Reihenfolge diametral abnahm und so besser von den Tropfen penetriert werden konnte. Ein weiteres Faktum ist, dass auch die Beschattung durch die Rebblätter einen Einfluss auf den Benetzungsgrad ausübte, wobei hier aber keine spezifischen Unterschiede in Bezug auf die Laubwandstruktur festgestellt werden konnten. Diese Beschattung manifestierte sich in Form von Spritzschatten, welche deutlich an den wasserempfindlichen Papiersteifen als „kein Farbumschlag“ erkennbar waren.

Die in den Obstkulturen erzielten Ergebnisse der Bedeckung für die Apfelsorte 'Golden Delicious', die Ma-

Tab. 6: Bedeckungsgrad (%) in den Kronen

Sorten	Vorderseite der Krone	Mitte der Krone	Hinterseite der Krone
Golden Delicious	75	40	15
Klosterneuburger Marille	80	45	20
Titania	80	70	60

rillensorte 'Klosterneuburger Marille' und die Schwarze Johannisbeersorte 'Titania' sind in Tabelle 6 angeführt. Wie bei den Reben zeigte sich auch beim Obst eine Abnahme des Bedeckungsgrads mit zunehmendem Abstand von der Düse. Mit einer Abnahme von 60 Prozent zwischen Vorder- und Hinterseite der Obstkultur bei 'Golden Delicious' und 'Klosterneuburger Marille' war diese größer als bei 'Titania' (20 %). Hier ließ sich im Vergleich zu 'Golden Delicious' und 'Klosterneuburger Marille' die gute Tropfenpenetration bei 'Titania' erstens auf die geringere Raumbreite und zweitens auf den weniger sperrigen Wuchs der Stauden zurückführen.

Die Ergebnisse zeigen, dass eine Verbesserung sowohl bei der Konstruktion als auch bei der Handhabung von Wein- und Obstbaupflanzenschutzgeräten im Vordergrund stehen sollte. Im Konkreten könnte das be-

deuten, dass beispielsweise mit Hilfe der Robotik die Düsen der Pflanzenschutzgeräte näher an bzw. auch in die Raumkultur gebracht werden. Die vorliegenden Erkenntnisse sind als Basisdaten für zukünftige Forschungsaktivitäten hinsichtlich einer Verbesserung des applikationstechnischen Wirkungsgrades zu sehen. Unter diesem Gesichtspunkt kommt dem Faktor Pflanzenschutzmittelabdrift eine immense Bedeutung zu, dies bestätigen auch die neuesten Forschungsergebnisse von NUYTENS et al. (2010). Abschließend kann festgehalten werden, dass bis zum Erreichen einer zielobjektorientierten Applikation noch viel Entwicklungsarbeit nötig ist und deshalb dieses Thema auch in Zukunft eine Herausforderung für Wein- und Obstbautechniker darstellen wird.

## Literatur

- DERKSEN, R.C., ZHU, H., FOX, R.D., BRAZEE, R.D. and KRAUSE, C.R. 2007: Coverage and drift produced by air induction and conventional hydraulic nozzles used for orchard applications. *Amer. Soc. Agric. Biol. Eng.* 50(5): 1493-1501
- MARCAL, A.R.S. and CUNHA, M. 2008: Image processing of artificial targets for automatic evaluation of spray quality. *Amer. Soc. Agric. Biol. Eng.* 51(3): 811-821
- NUYTENS, D., DE SCHAMPHELEIRE, M., VERBOVEN, P. and SONCK, B. 2010: Comparison between indirect and direct spray drift assessment methods. *Biosystems Engineering* 105: 2-12
- OERTEL, H. und BOHLE, M. (2002): Prandtl - Führer durch die Strömungslehre. Grundlagen und Phänomene. 11. Aufl. - Braunschweig: Vieweg, 2002
- PRAGER, E. (2008): Bubblegenerator. Firmenschrift. - A-2120 Wolkersdorf: Ing. Prager Elektronik Handels GmbH., 2008
- REGNER, F., HANAK, K., EISENHELD, C., KASERER, H., KÜHRER, E., RÖHRICH, T. und BLAHOUS, D. (2008): Verzeichnis der österreichischen Qualitätsweinrebsorten und deren Klone. - Klosterneuburg: Lehr- und Forschungszentrum für Wein- und Obstbau, 2008
- SCHANZ, G.W. (2004): Sensoren. Sensortechnik für den Praktiker. 3. Aufl. - Heidelberg: Hüthig, 2004
- UHL, W. 1998: Sparen lautet die Devise. Neue Technik der Herbizidanwendung. *Dt. Weinmagazin* (9): 30-35
- VIGNEAULT, C. and DE CASTRO, L.R. 2006: Indirect measurement method for laminar to turbulent airflow through horticultural produce simulators. *Amer. Soc. Agric. Biol. Eng.* 49(5): 1455-1461
- WALG, O. (2007): Taschenbuch der Weinbautechnik. 2. Aufl. - Mainz: Fraund, 2007
- ZHU, H., DERKSEN, R.C., GULER, H., KRAUSE, C.R. and OZKAN, H.E. 2006: Foliar deposition and off-target loss with different spray techniques in nursery applications. *Amer. Soc. Agric. Biol. Eng.* 49(2): 325-334

Manuskript eingelangt am 19.März 2010