

Heinz Ganzelmeier

## Sensorik zur Pflanzenschutzmittelreduzierung im Obstbau\*

Sensor system for reducing plant protection products in fruit growing

### Zusammenfassung

Ein beträchtliches Potential an Pflanzenschutzmittel (PSM) kann eingespart werden, wenn der Pflanzenschutzmittelaufwand an die Dichte der Belaubung der Obstbäume und an die gerätetechnischen Parameter der Sprühgeräte angepasst wird. Dies haben das Institut für Anwendungstechnik des Julius Kühn-Instituts und das ESTEBURG Obstbauzentrum Jork in mehrjährigen Untersuchungen nachgewiesen. Hierzu wurden zunächst durch Analyse vorhandener Apfelbaum-Bestände des „Alten Landes“ vier Kennzahlen zu deren Charakterisierung abgeleitet. Auf dieser Grundlage wurde durch Auswertung umfangreicher Spritzbelagsmessungen ein Modell zur Berechnung von Durchdringung und Anlagerung von PSM entwickelt. Hierbei wurden auch die wesentlichen Geräteparameter mit in Betracht gezogen und deren Einfluss auf die Durchdringung bestimmt. Unter der Voraussetzung, dass die Sprühverluste (gegenüberliegende Baumseite) vermindert und möglichst gleiche Spritzbeläge erzeugt werden, kann anhand des Rechenmodells die optimale PSM-Aufwandmenge in Abhängigkeit der Laubdichte und Geräteparameter bestimmt werden. Mit Hilfe einer Einstellanleitung/Handzettel wird gezeigt, wie die Aufwandmengenreduzierung in der obstbaulichen Praxis genutzt werden kann. Das Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz hat weitere Projektmittel akquiriert, die eine sensorgestützte Anpassung der Aufwandmenge zum Ziel haben.

Bei Feldspritzgeräten sind GPS-gestützte Teilbreitenschaltungen die wichtigsten Assistenzsysteme der letzten Jahre. Das Institut für Anwendungstechnik im Pflanzen-

schutz hat ein Prüfverfahren für solche Systeme entwickelt und festgestellt, dass die derzeit marktverfügbaren Systeme recht ordentlich arbeiten.

**Stichwörter:** Durchdringung, Belaubungsdichte, Spritzbelagsmessungen, Sensor für Lückenschaltung, Multiple Regressionsanalyse, Reduzierung Pflanzenschutzmittelmengen, Teilbreitenschaltung

### Abstract

A considerable amount of plant protection products can be saved if plant protection product doses are adjusted to the foliage density of fruit trees and to the technical equipment parameters of air-assisted sprayers. The Institute for Application Techniques in Plant Protection at the Julius Kühn-Institute and the ESTEBURG – Fruit-Growing Centre in Jork were able to confirm this after carrying out studies over several years. For this purpose, following their analysis, four parameters were derived to characterise existing apple tree plantations in the 'Altes Land' (south of the Elbe in the counties of Hamburg and Lower Saxony). Using this as a basis, a model was developed for calculating the penetration and deposition of PPPs by evaluating extensive spray deposit measurements. At the same time, the main equipment parameters were also taken into consideration and their influence on penetration was determined. Assuming that spray loss (other side

\* Der Artikel basiert auf einem Vortrag anlässlich des 1. Julius-Kühn-Symposiums „Sensorik im Pflanzenbau“.

### Institut

ehemals Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz, Braunschweig

### Kontaktanschrift

Dr.-Ing. Heinz Ganzelmeier, Julius Kühn-Institut – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig, E-Mail: heinz.ganzelmeier@jki.bund.de

### Zur Veröffentlichung angenommen

15. November 2013

of the tree) is reduced and that equal spray deposits are generated where possible, the optimum PPP dose can be determined on the basis of the calculation model according to foliage density and equipment parameters. Instructions for adjustment show how reduced doses can be used in fruit growing. The Institute for Application Techniques in Plant Protection has acquired further project resources with the aim of adjusting dosages using a sensor system.

GPS-aided section switching systems have been the most significant assisting systems over the last few years as far as field sprayers are concerned. The Institute for Application Techniques in Plant Protection has developed a test method for such systems and has come to the conclusion that the systems available on the market at the moment work very precisely.

**Key words:** Penetration, foliage density, spray deposit measurements, sensor for gap switching, multiple regression analysis, reducing the amount of plant protection products, boom section switching system

## Einleitung

Eine wesentliche Aufgabe des modernen Pflanzenschutzes im Obstbau ist die Ausschöpfung aller Möglichkeiten zur Reduzierung des Aufwandes an Pflanzenschutzmitteln (PSM) und des Schutzes der Umwelt vor Belastungen bei Aufrechterhaltung des erreichten hohen Niveaus der Schaderregerbekämpfung (GANZELMEIER et al., 2012). Neben den praktisch bereits verfügbaren Möglichkeiten der Lückenschaltung und des Recyclens von nicht angelagerter Sprühflüssigkeit werden in Deutschland und auch international Anstrengungen unternommen, den Pflanzenschutzmittelaufwand an die Gegebenheiten der Belaubung der Apfelbäume und in Abhängigkeit von den Leistungsparametern des Sprühgerätes anzupassen (ROSSELL und SANZ, 2012). Diese PSM-Aufwandmengenanpassung wird über den jahreszeitlichen Verlauf zu einer durchschnittlichen Verringerung des Aufwandes an Pflanzenschutzmitteln, Kosteneinsparung und Verringerung der Umweltbelastung führen.

Bevor dieses Verfahren jedoch breiten Eingang in die obstbauliche Praxis finden kann, sind die Zusammenhänge zwischen Laubdichte, Geräteparametern und den auf den Zielflächen angelagerten Pflanzenschutzmittelmengen zu erarbeiten (SCHMIDT und KOCH, 1995; KAUL et al., 2002; CROSS et al., 2001; CROSS et al., 1997; DEKEYSER et al., 2011; HENDRICKX et al., 2011; ENDALEW et al., 2011). Daraus sind Vorgaben für die Berechnung der Anpassung bzw. Reduzierung der Aufwandmenge abzuleiten. Als überaus wichtig ist zudem die Erprobung des Verfahrens durch die Anlage von Wirkungsversuchen im Vergleich mit dem herkömmlichen Verfahren anzusehen.

In Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Anwendungstechnik des Julius Kühn-Instituts und dem ESTEBURG Obstbauzentrum Jork wurden umfangreiche Messungen zur Pflanzenschutzmittelablagerung auf den Zielflächen als Grundlage für die Entwicklung dieses

Verfahrens durchgeführt und statistisch ausgewertet. In einem ersten Ergebnis wurde 2007 ein erstes Berechnungsmodell für die Pflanzenschutzmittelanlagerung aus den Daten abgeleitet. Auf dieser Grundlage konnten Wirkungsversuche mit ausgewählten Schaderregern über drei Jahre angelegt und ausgewertet werden. Im Ergebnis des Vergleichs mit der herkömmlichen Aufwandmenge wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt. Daraus kann die Sinnfälligkeit der Weiterführung und der Ausdehnung der Versuche abgeleitet werden.

Bei Feldspritzgeräten hat in jüngster Zeit die GPS-gestützte Teilbreitenschaltung große Resonanz in der landwirtschaftlichen Praxis gefunden. Erste Prüfungsergebnisse marktverfügbarer Schaltungen werden vorgestellt.

## Voraussetzungen für die Anwendung des Verfahrens

Gleichmäßigkeit bei der Anlagerung der Pflanzenschutzmittel auf den Zielflächen ist ein wesentliches Qualitätskriterium bei der Applikation. Im Obstbau kann dieses Qualitätskriterium durch die Einstellung des Sprühgerätes erreicht werden (KAUL et al., 1998). Zu unterscheiden ist dabei zwischen der Gleichmäßigkeit über der Vertikalen und über der Horizontalen. Während es zur Gleichmäßigkeit der Verteilung über die Vertikale umfangreiche Untersuchungen und Einstellungsvorgaben für das Pflanzenschutzgerät gibt (z.B. Einstellanleitung des Julius Kühn-Instituts – Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen (JKI), Vertikalverteilungsprüfstand), ist die horizontale Verteilungsqualität oder auch die Durchdringung (Abb. 1) noch zu wenig untersucht (KAUL et al., 2003; SCHMIDT und KOCH, 1995). Einfluss auf die Vertikalverteilung haben vor allem die Luftführung (die Richtung und Stärke der Luftströmung am Pflanzenschutzgerät) und die Ausrichtung der Düsen (Abb. 2).

Als Bearbeitungsmethode wurde die statistische Auswertung mit Hilfe der multiplen Regressionsanalyse gewählt. Voraussetzung für die statistische Auswertung von Messdaten ist die Beschreibung aller Einfluss nehmenden Parameter als Zahlenwert. So lassen sich beispielsweise Düsen ohne Probleme durch die Angabe von Tropfen-

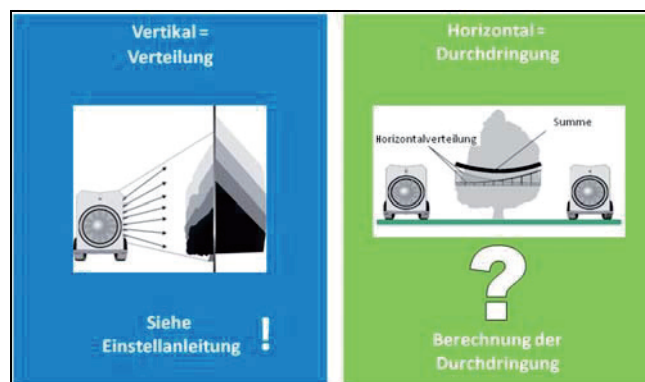


Abb. 1. Geräteeinstellung – Voraussetzung für Effizienz und Qualität der Applikation.



Abb. 2. Durchdringung der Laubwand bei unterschiedlicher Laubdichte.

größe, Spritzwinkel usw. charakterisieren. Schwieriger wird das für die Charakterisierung der zu behandelnden Laubwand. Dazu gibt es einige Ansätze. Der hier gewählte Ansatz basiert auf einer Fotogalerie von Apfelbäumen, die die gesamte auftretende Palette an Baumtypen über den jahreszeitlichen Verlauf aus applikationstechnischer Sicht charakterisieren soll (WALKLATE et al., 2002). Durch Vergleich der realen Apfelanlage mit der Fotogalerie kann die zu behandelnde Obstanlage durch die Zahlenwerte in der Fotogalerie charakterisiert werden (Abb. 3).

Die dort angegebenen Zahlen kennzeichnen den durch Laub bzw. Äste bedeckten Bildanteil. Dazu wurden drei Bildausschnitte verwendet, nämlich der maximale Wert

auf einer Fläche von 30 cm \* 30 cm als maximale Laubdichte, ein Streifen von etwa 20 cm neben dem Stamm 30 cm Breite in einem Bereich von 1 m bis in etwa 1,80 m Höhe als Laubdichte in Stammnähe (in diesem Bereich wurden die Ablagerungswerte bei den Durchdringungsversuchen ermittelt) und die gesamte Kronenfläche zwischen zwei Stämmen als mittlere Laubdichte. Die mittlere Laubdichte könnte zukünftig für eine automatisierte Anpassung der Aufwandmenge Bedeutung haben.

Durch zusätzliche Angabe der Baumtiefe in Applikationsrichtung sind dann vier Zahlenwerte zur Beschreibung der Laubdichte verfügbar, wobei die Kombination dieser Werte zusätzliche Informationen über die Größe der Lücken liefert (Abb. 4).

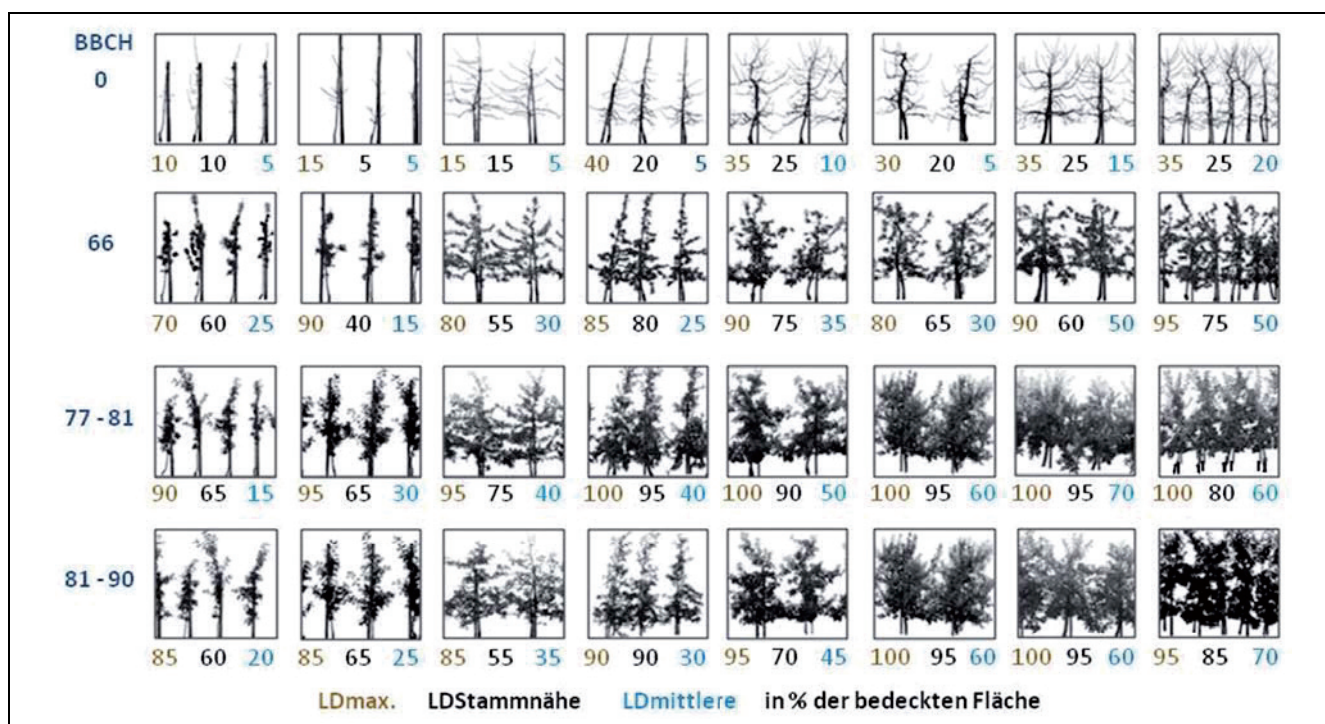


Abb. 3. Kennzeichnung typischer Apfelbäume und deren Laubdichten (LD) durch Angabe der baumbedeckten Flächenanteile in Prozent.

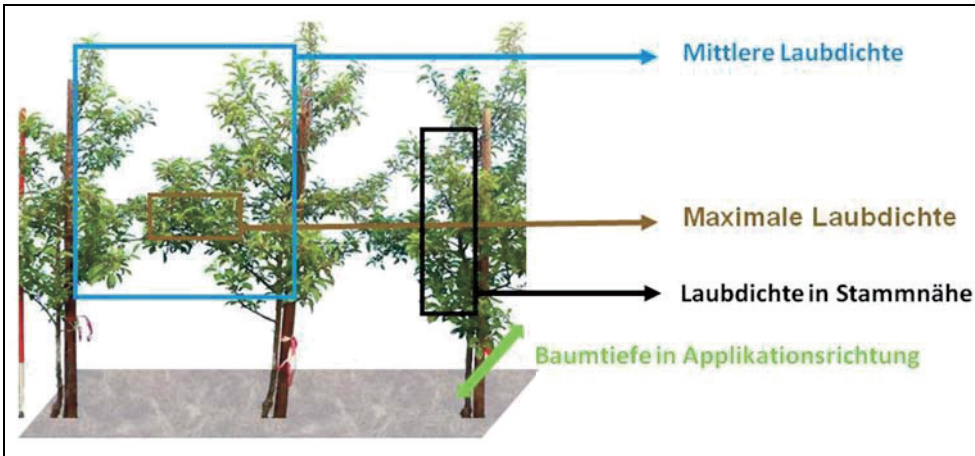


Abb. 4. Beschreibung der Belaubung durch vier Kennwerte.

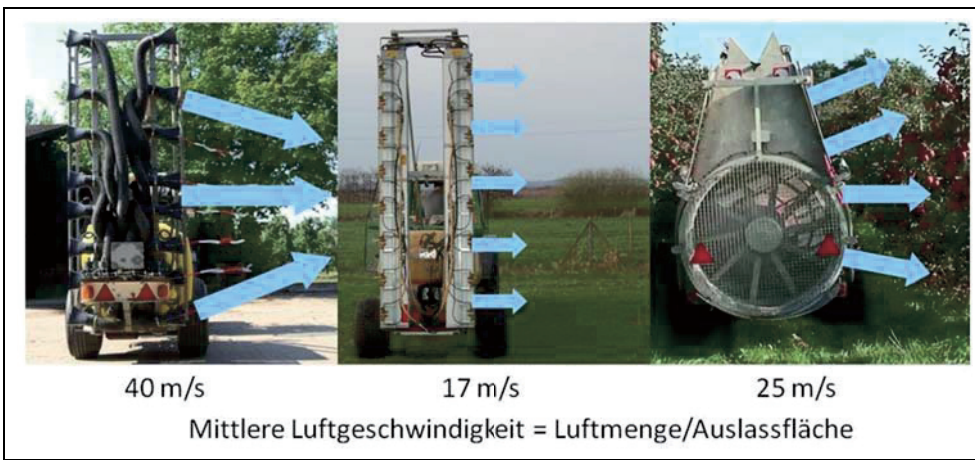


Abb. 5. Herstellerangaben – Mittlere Luftgeschwindigkeit am Gebläseauslass.

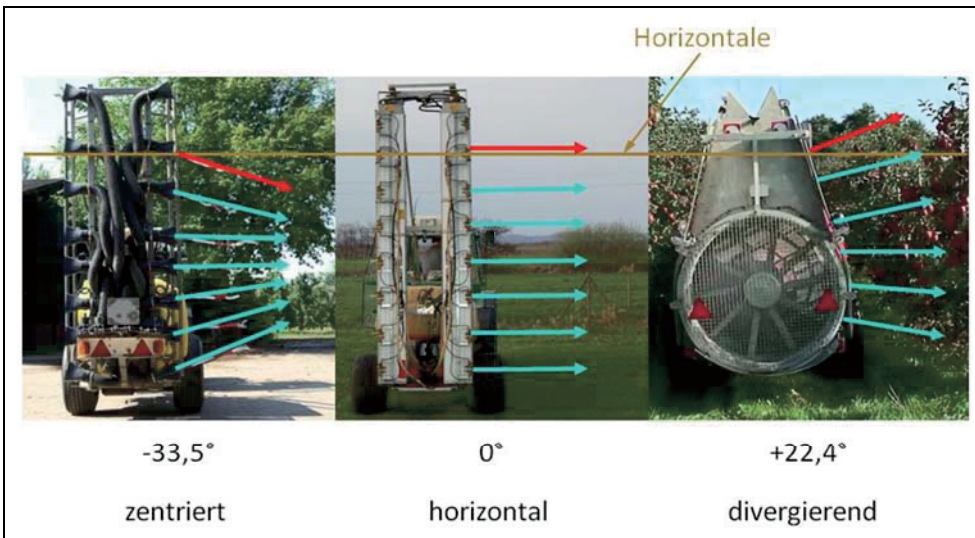


Abb. 6. Geräteeinstellung – Winkel der obersten Düse zur Horizontalen.

Die ebenfalls wichtige Kennzeichnung des Sprühgerätes erfolgte durch die zahlenmäßige Angabe der mittleren Luftströmungsgeschwindigkeit am Gebläseauslass (Abb. 5).

Die ebenfalls als wichtig für die Ablagerungsmenge einzuschätzende Luftströmungsrichtung wurde durch den

Winkel der oberen Luftströmungsgrenze beschrieben. Diese kennzeichnet eindeutig den Grad von Konvergenz bzw. Divergenz der Luftströmung am Sprühgerät (Abb. 6).

Anmerkungen zur Lückenschaltung: Das Ziel der Lückenschaltung besteht darin, mittels Sensoren Lücken

in der Belaubung zu erkennen und die relevanten Düsen des Sprühgerätes entsprechend aus- und einzuschalten (KAUL et al., 2010). Die Realisierung dieser Forderung gestaltet sich jedoch besonders schwierig, da der abgetastete und besprühte Bereich bei den üblichen Sensoren und Düsen nicht in Übereinstimmung gebracht werden kann. Außerdem besprühen die Düsen in vertikaler Richtung das 5- bis 8-Fache des abgetasteten Bereiches. Dadurch entstehen Düsenüberlappungen, die eine Behandlung der Lücke zur Folge haben, obwohl der entsprechende Sensor die ihm zugehörige Düse abgeschaltet hat. Umgekehrt können Minderdosierungen in der Nähe der Lücken auftreten (Abb. 7).

### Messungen und ihre Auswertung

Die Messanordnung wurde entsprechend Abb. 8 gewählt. Die Messung der Ablagerungsmenge und damit der Durchdringung der Laubwand erfolgte mit Hilfe von künstlichen Messflächen in Form von Filterpapierröllchen von ca. 10 cm Länge und 0,5 cm Durchmesser. Als Messflüssigkeit wurde Brillantsulfoblaulin-Lösung verwendet. 18 Messflächen wurden 50 cm vor den Düsen, in der Mitte des Baumes und hinter dem Baum in einer Ebene nahe dem Stamm als Bereich mit dem dichtesten Laubwerk angeordnet. Zusätzlich wurden 12 Messträger in einer Baumücke befestigt, um den Unterschied in der Ablagerungsmenge zwischen belaubtem und unbelaubtem Bereich erfassen zu können. Die zusätzlich auf einem Filterpapierstreifen gemessene Vertikalverteilung diente lediglich der Kontrolle der Gleichmäßigkeit der Flüssigkeitsverteilung über die Vertikale und wurde nicht in die Auswertung einbezogen.

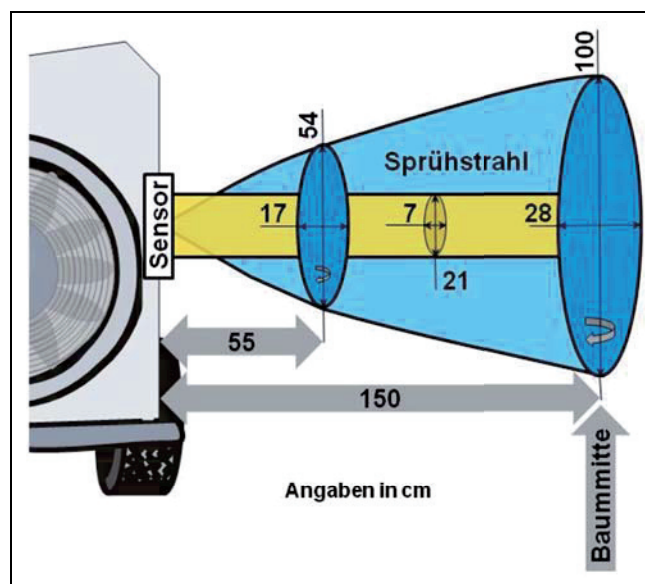


Abb. 7. Vergleich von Sprühstrahl und Sichtfenster der Sensorabstastung.

Neben der Ablagerungsmenge auf den künstlichen Messträgern wurden alle denkbaren gerätetechnischen, wetterbedingten und laubwandspezifischen Einflussparameter bei jedem Versuch erfasst. Beeinflussbare Geräte- und Laubwandparameter wurden größtmöglich variiert (Abb. 9).

Die gemessenen Werte wurden in einer Matrix zusammengefasst. Das Ziel war, diese Daten zur Berechnung der Ablagerungsmenge der Messflüssigkeit in Abhängigkeit von wichtigen Parametern zu nutzen. Dafür wurde die multiple Regressionsanalyse des Softwarepakets SAS

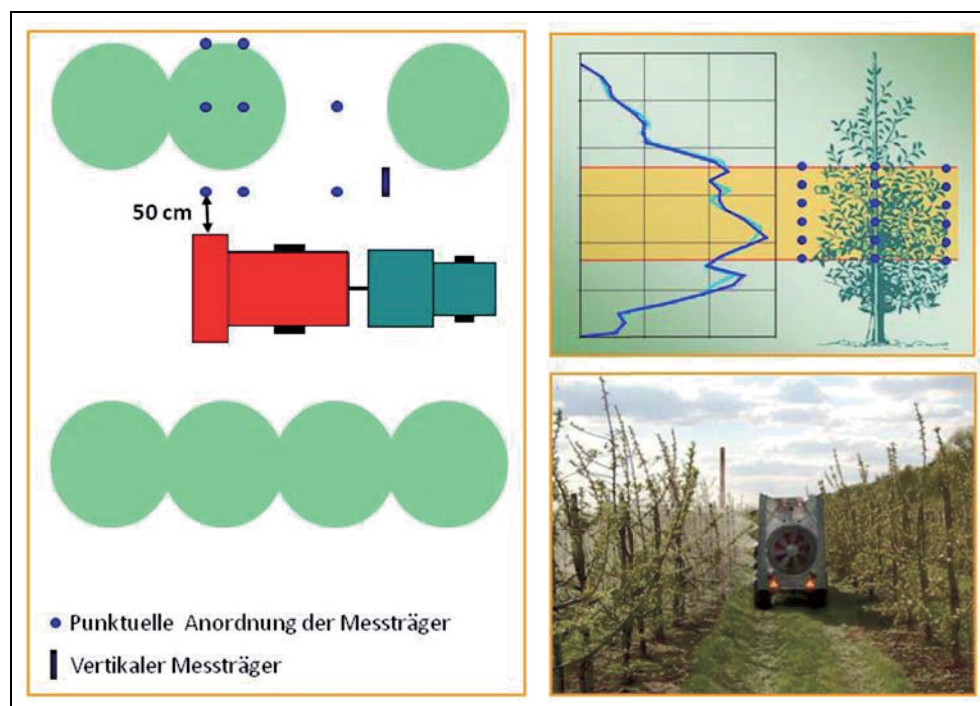


Abb. 8. Messaufbau als Grundlage zur Berechnung der Durchdringung.

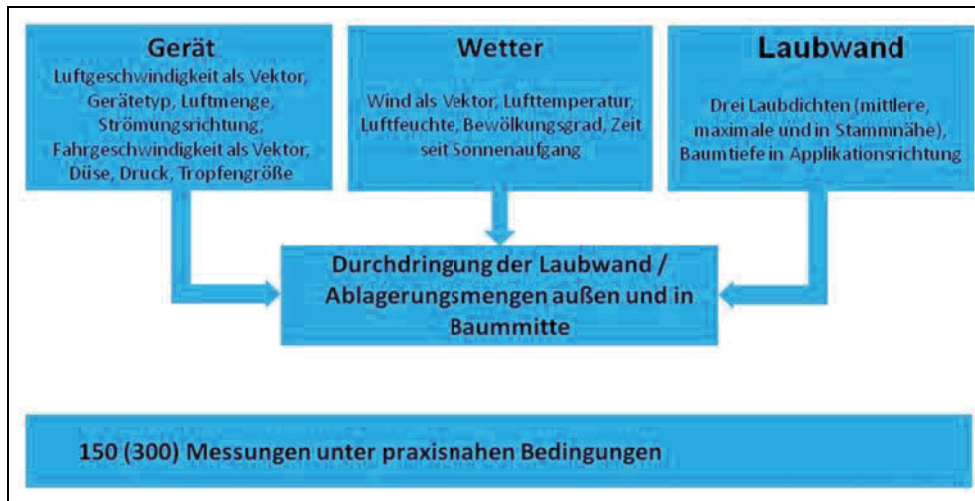


Abb. 9. Bei den Versuchen gemessene Werte.

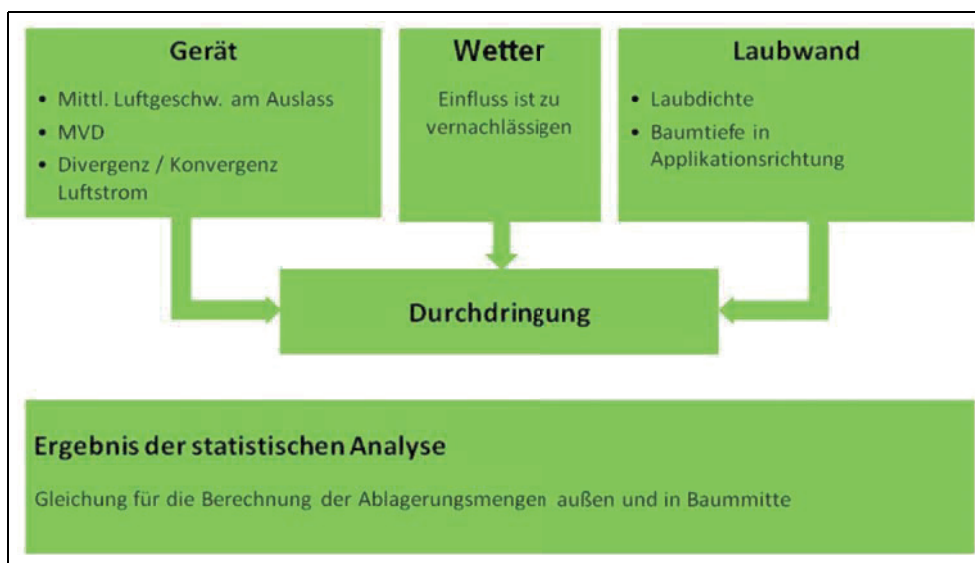


Abb. 10. Berechnung der Durchdringung, Ergebnis der statistischen Auswertung der Messungen durch multiple Regressionsanalyse.

verwendet. Als Modellkriterium diente das Akaike-Kriterium, um Einflussfaktoren mit geringer Auswirkung auf das Ablagerungsergebnis von denen mit relevantem Einfluss zu trennen. Die Abhängigkeiten der Ablagerungsmenge der Messflüssigkeit von den als relevant anzusehenden Parametern sind in Abb. 10 dargestellt.

Auf dieser Basis wurde die Regressionsgleichung für die Baummitte und den Laubwandrand auf der vom Sprühgerät abgewandten Seite berechnet. Diese ermöglicht die Bestimmung der Ablagerungsmenge an den Außenseiten der Baumreihe und in Baummitte sowohl für einseitige und mit Hilfe der Summenbildung auch für beidseitige Applikation.

### Ansatz für die Anpassung der Aufwandmenge

Als Ansatz für die Berechnung der PSM-Aufwandmengen-anpassung, d.h. die Reduzierung der Pflanzenschutzmittelmenge, wird die Beurteilung der geräte- und anlagen-spezifischen Horizontalverteilung der Anlagerungsmenge

genutzt. Dabei treten bei einseitiger Applikation zwei grundlegende Situationen auf. Erstens kann bei vollständiger Durchdringung auf der Rückseite der Baumreihe (vom Sprühgerät aus gesehen) eine bestimmte Ablagerungsmenge austreten. Zweitens kann die Durchdringung nicht vollständig sein und somit keine Ablagerungsmenge auf der Rückseite der Baumreihe gemessen werden (Abb. 11). Wenn bei vollständiger Durchdringung auf der Baumrückseite eine Ablagerungsmenge gemessen wird, so ist dies der „mögliche Überschuss“, der nicht erforderlich ist.

Dieser ist nicht unbedingt erforderlich, um den Bekämpfungserfolg zu sichern. Die Berechnung einer möglichen Aufwandmengenreduzierung basiert damit auf dem Wert der Durchdringung der Bäume. Sie kann als objektiv und vom Obstbaugbiet unabhängig angesehen werden.

Abb. 11 zeigt das daraus resultierende mögliche Einsparungspotential. Unter praktischen Bedingungen wird dabei eine Reduzierung der Aufwandmenge auf maximal bis zu 70% der Soll-Aufwandmenge erreicht.

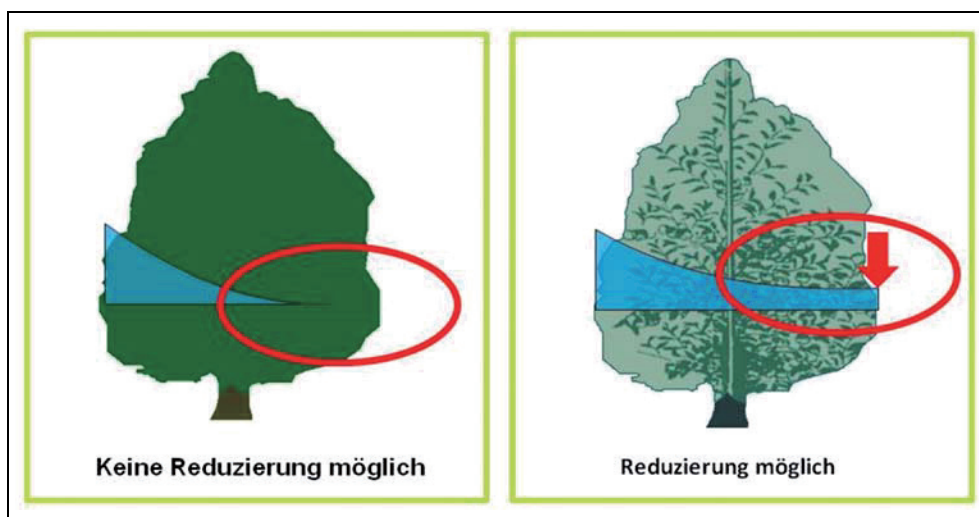


Abb. 11. Ansatz für die Reduzierung der Pflanzenschutzmittelmenge.

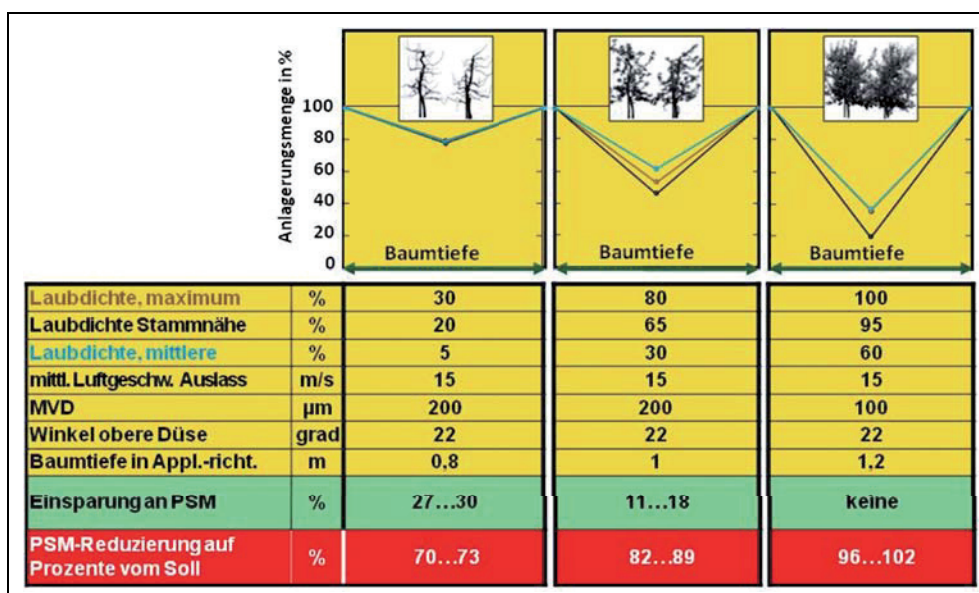


Abb. 12. Berechnung der Pflanzenschutzmittelaufwandmenge im Jahresverlauf.

### Berechnungsbeispiel

Zur Darstellung der Reduzierungsmöglichkeiten über den jahreszeitlichen Verlauf wurde ein Berechnungsbeispiel für einen bestimmten Baumtyp gewählt (Abb. 12).

Entsprechend dem Berechnungsergebnis (rote Felder) zur PSM-Aufwandmengenanpassung ist der dominierende Einfluss der Belaubungsdichte erkennbar. Das Einsparpotential wird im Frühjahr als am größten ausgewiesen. Zu diesem Zeitpunkt beginnt die Laubentwicklung. Bei voller Belaubung ist keine Einsparung möglich, die volle Aufwandmenge ist anzuwenden.

### Wirkungsversuche

Zur Absicherung der vorgeschlagenen Verfahrensweise wurden Wirkungsversuche über den Zeitraum von drei Jahren zu Apfelschorf, Obstbaumspinnmilbe und Apfel-

mehltau in Verantwortung des ESTEBURG Obstbauzentrums Jork durchgeführt. Die Ergebnisse der Wirkungsversuche rechtfertigen eine Ausdehnung des Versuchsumfangs und eine vorerst begrenzte Einführung in die Praxis.

### Anwendung des Verfahrens

Um das vorgeschlagene Verfahren anwenden zu können, sind leicht verständliche Vorgaben für den Anwender erforderlich. Dies kann im gegenwärtigen Stadium der Entwicklung durch gerätespezifische Einstellanleitung/Handzettel verwirklicht werden (Abb. 13). Auf diesen ist das eingesetzte Pflanzenschutzgerät mit seinen Einsatzparametern charakterisiert. Daneben wird eine vereinfachte Baumgalerie angegeben, bei der die PSM-Aufwandmengenanpassung durch die Farbe des Rahmens gekennzeichnet wird.

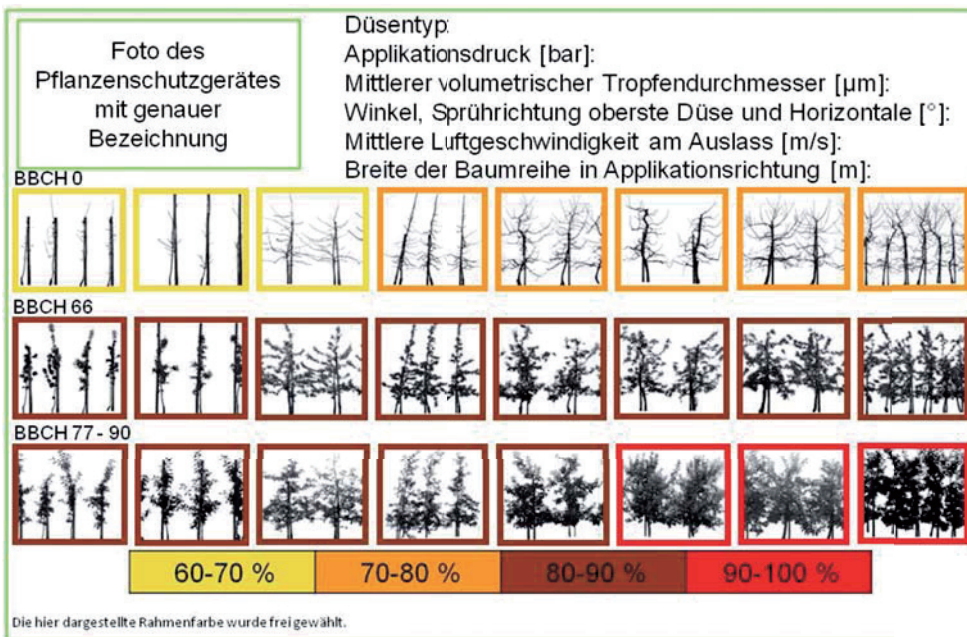


Abb. 13. Einstellanleitung (Handzettel) zur PSM-Aufwandmengen-anpassung Holder.

Durch Vergleich und Auswahl des beim Obstbauern vorhandenen Baumtyps mit den Bäumen in der Galerie und Ablesen der möglichen Aufwandmengenreduzierung über die Rahmenfarbe werden die notwendigen Informationen zur PSM-Aufwandmengen-anpassung gewonnen. Für die praktische Anwendung kann die Aufwandmengenreduzierung durch geringere Zugabe von Pflanzenschutzmittel in den Behälter (insbesondere zur Durchführung von Versuchen), durch schnelleres Fahren oder durch Verringerung der applizierten Flüssigkeitsmenge erreicht werden. Letztere beiden Verfahren eignen sich für die praktische Anwendung. Das hier beschriebene Verfahren basiert auf der Durchdringung der Bäume und kann deshalb als objektiv und vom Obstanbaugebiet unabhängig angesehen werden.

Es konnte gezeigt werden, dass bei Anpassung der relevanten gerätetechnischen Parameter an die jeweilige Obstanlage, die hinsichtlich Laubdichte und Baumtiefe stark variieren, beträchtliche Pflanzenschutzmitteleinsparungen möglich sind. Dies sollte Forscher und Entwickler von Sprühgeräten motivieren, sensorgestützte Lösungen auch für Sprühgeräte des Obstbaus zu entwickeln, die technisch anspruchsvoll sind und zuverlässig funktionieren.

Das Institut für Anwendungstechnik des Julius Kühn-Instituts hat weitere Forschungsmittel akquiriert, um mit Herstellern von Sensoren und Sprühgeräten diese Entwicklungen voranzubringen.

### Assistenzsysteme bei Feldspritzgeräten

GPS-unterstützte Teilbreitenschaltungen und automatische Reinigungssysteme sind die wichtigsten Assistenzsysteme der letzten Jahre für Feldspritzgeräte (HERBST et al., 2012a; HERBST et al., 2012b).

Das Institut für Anwendungstechnik hat 6 Anhängergeräte (4000 bis 6000 l und 27/28 m), die mit diesen Systemen ausgestattet waren, untersucht, um sich ein Bild über deren Arbeitsweise und Gebrauchstauglichkeit zu verschaffen.

Automatische Teilbreitenschaltungen (ATS) sollen bei abnehmender bzw. zunehmender Spritzbreite (z.B. bei Keilen) Teilbreiten des Spritzgestänges automatisch ab- und anschalten, so dass möglichst Fehlstellen oder Doppelbehandlungen unterbleiben. Die ATS arbeiten GPS-gestützt und ohne Zutun des Fahrers. Untersucht wurde, welche Schaltgenauigkeit diese Systeme aufweisen und ob die möglichen Einstellungen (0%, 50%, 100% Überlappung) auch eingehalten werden. Dazu wurde ein spezieller Messaufbau gewählt, um die Schaltzeitpunkte exakt und mit hoher Reproduzierbarkeit bestimmen zu können (Abb. 14).

Die Ergebnisse zeigen, dass nach Justierung des Gesamtsystems (Hydraulik und Elektrik) alle 6 Systeme recht

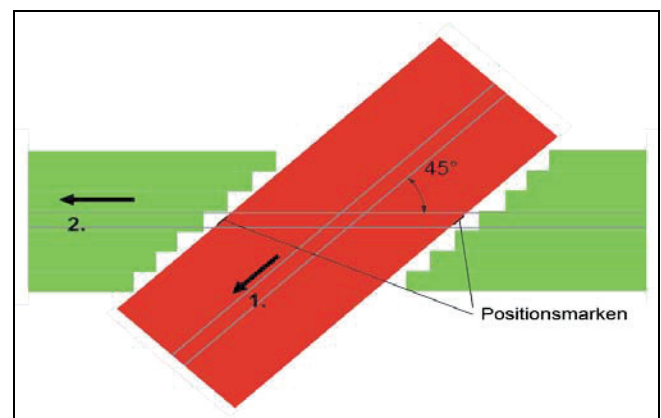


Abb. 14. Versuchsanordnung zur Bestimmung der Schaltgenauigkeit von automatischen Teilbreitenschaltungen.



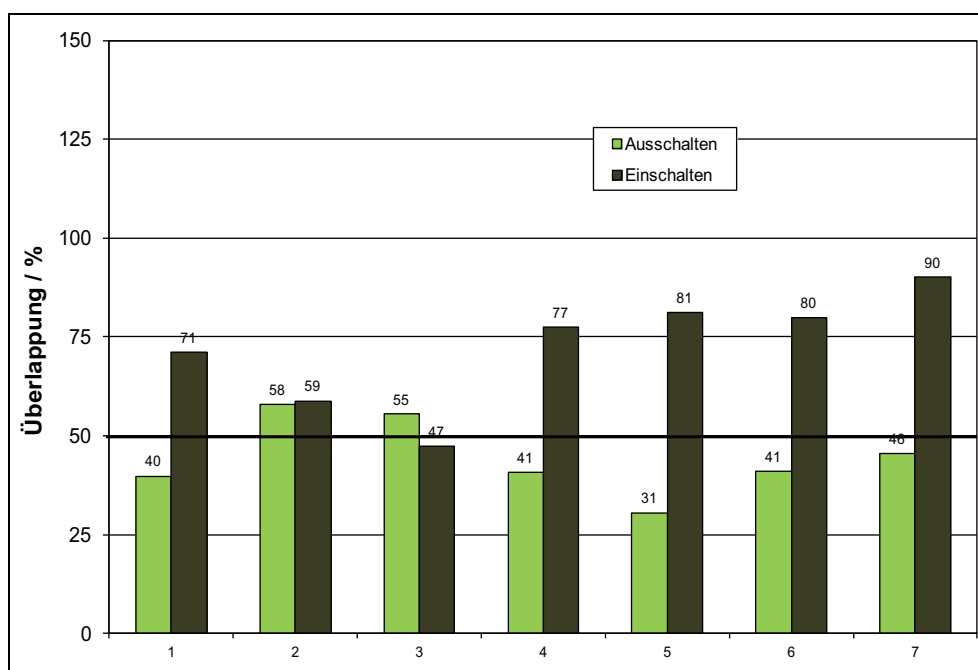


Abb. 15. Gemessene Überlappungen bei einer Solleinstellung von 50% und einer Fahrgeschwindigkeit von 8 km/h.

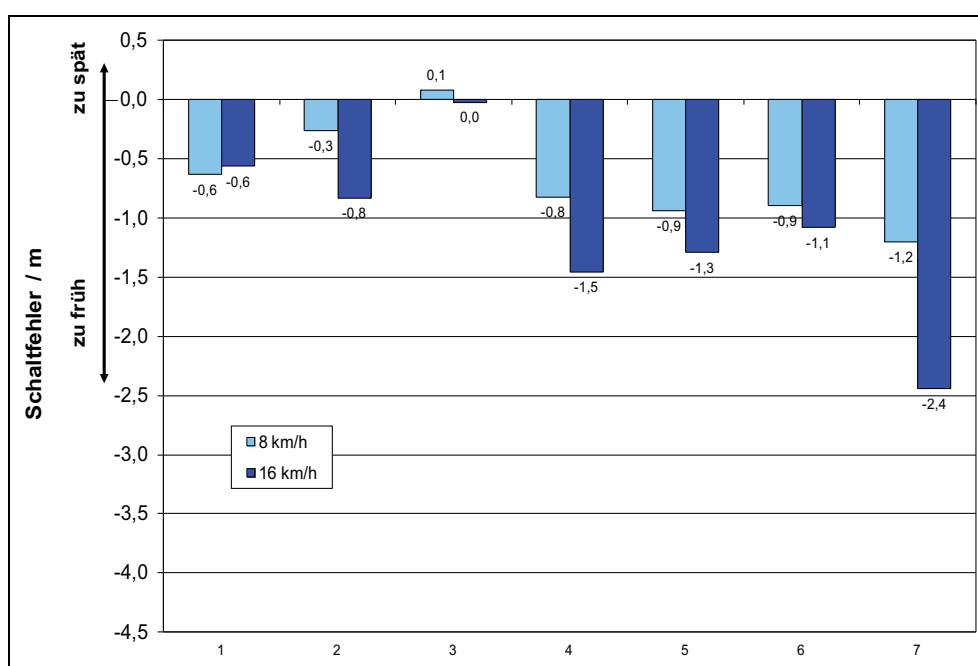


Abb. 16. Schaltfehler beim Ausfahren aus dem Vorgewende.

ordentlich arbeiten. Bei einer Einstellung von 50% Überlappung werden tatsächliche Überlappungen von 31% bis max. 90% erzielt (Abb. 15).

Außerdem wurde festgestellt, dass die Systeme insgesamt zu früh schalten, dies gilt sowohl für Fahrgeschwindigkeiten von 8 km/h als auch für 16 km/h (Abb. 16).

### Danksagung

Den Kollegen, Dr.-Ing. Peter KAUL und Dr.-Ing. Andreas HERBST, die diese Forschungsprojekte verantwortlich geleitet haben, sei für die Bereitstellung der Ergebnisse gedankt.

### Literatur

- CROSS, J.V., P.J. WALKLATE, R.A. MURRAY, G.M. RICHARDSON, 2001: Spray deposits and losses in different size apple trees from an axial fan orchard sprayer: 1. Effects of spray liquid flow rate. *Crop Protection* **20**, 13-30.
- CROSS, J.V., R.A. MURRAY, M.S. RIDOUT, P.J. WALKLATE, 1997: Quantification of spray deposits and their variability on apple trees. *Aspects of Applied Biology* **48**, 217-224.
- DEKEYSER, D., T. GOOSSENS, A.M. ENDALEW, P. VERBOVEN, N. HENDRICKX, D. NUYTENS, 2011: Performance assessment of orchard sprayers, Part 1: Machine characterisation. *SuProFruit 2011, 11<sup>th</sup> Workshop, 8<sup>th</sup>, 9<sup>th</sup> and 10<sup>th</sup> June, 2011, Ctifl Lanxade, France, Book of Abstracts*, 34-35.
- ENDALEW, A.M., D. DEKEYSER, T. GOOSSENS, N. HENDRICKX, D. NUYTENS, B.M. NICOLAI, P. VERBOVEN, 2011: Performance assessment of orchard sprayers, Part 3: Computational Fluid Dynamics modelling.

- SuProFruit 2011, 11<sup>th</sup> Workshop, 8<sup>th</sup>, 9<sup>th</sup> and 10<sup>th</sup> Juni, 2011, Ctifl Lanxade, France, Book of Abstracts, 38-39.
- GANZELMEIER, H., K. SCHMIDT, K. DRÖGE, S. LAMPRECHT, A. SÜSS, G. BISCHOFF, 2012: Gewässerschonender Pflanzenschutz zur Erhaltung gewachsener Obstbaulandschaften in Deutschland. *Journal für Kulturpflanzen* **64** (2), 41-61.
- HENDRICKX, N., T. GOOSSENS, A.M. ENDALEW, D. DEKEYSER, D. NUYTENS, P. VERBOVEN, 2011: Performance assessment of orchard sprayers, Part 2: Field Trials. SuProFruit 2011, 11<sup>th</sup> Workshop, 8<sup>th</sup>, 9<sup>th</sup> and 10<sup>th</sup> Juni, 2011, Ctifl Lanxade, France, Book of Abstracts, 36-37.
- HERBST, A., H.-J. OSTEROTH, M. SPRANGER, H.-J. WEHMANN, J. GARRELTS, H. KRAMER, M. KNUIVERS, F. BERNING, G. HÖNER, 2012a: Reinigen und schalten: Was die moderne Automatik leistet. *Top Agrar*, H. 3-2012, 124-137.
- HERBST, A., H.-J. OSTEROTH, M. SPRANGER, 2012b: A new method for testing GPS based boom section switching systems. *Aspects of Applied Biology* **114**, International Advances in Pesticide Application, 137-142.
- KAUL, P., H. HENNING†, S. GEBAUER, 2003: Nutzung von Vertikalverteilungs-Prüfständen zur Beurteilung von Sprühgeräten im Obstbau. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* **55** (5), 101-109.
- KAUL, P., H. KOCH, H. KNEWITZ, A. MOJE, K. SCHMIDT, H. GANZELMEIER, 1998: Einstellung von Sprühgeräten im Obstbau **23** (5), 251-254.
- KAUL, P., S. GEBAUER, K. DRÖGE, E. MOLL, J.-P. RALFS, T. CHRISTOPHLIEMKE, 2010: Anforderungen an die Lückenschaltung beim Sprühen im Obstbau - Aspekte der Einsparung von Pflanzenschutzmitteln. *Landtechniktagung 2010*, VDI-Berichte Nr. 2111, 111-117.
- KAUL, P., S. GEBAUER, S. RIETZ, H. HENNING†, 2002: Pflanzenschutzmittel-Verteilungsvorgänge beim Sprühen im Obstbau. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* **54** (5), 110-117.
- ROSSELL, J.R., R. SANZ, 2012: A review of methods and applications of the geometric characterization of tree crops in agricultural activities. *Computers and Electronics in Agriculture* **81**, 124-141.
- SCHMIDT, K., H. KOCH, 1995: Einstellung von Sprühgeräten und Verteilung von Pflanzenschutzmittelbelägen in Obstanlagen. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* **47** (7), 161-167.
- WALKLATE, P.J., J.V. CROSS, G.M. RICHARDSON, R.A. MURRAY, D.E. BAKER, 2002: Comparison of different spray volume deposition models using LIDAR measurements of apple orchards. *Biosystems Engineering* **82** (3), 253-267.