

# Untersuchung der Verzögerungszeiten von Direkteinspeisungssystemen für die teilflächenspezifische Applikation von Herbiziden

Peter Hlobeň, Markus Sökefeld und Peter Schulze Lammers \*

Universität Bonn, Institut für Landtechnik

## Kurzfassung - Abstract

Die fortgeschrittene Entwicklung von Unkrautererkennungssystemen erfordert gleichermaßen eine Entwicklung von Applikationstechniken für eine präzise Ausbringung von Herbiziden. Direkteinspeisungssysteme ermöglichen eine selektive Herbizidausbringung in Bezug auf die Wirkstoffwahl und die exakte Ausbringung am Standort der Unkräuter. Auf einem Versuchstand wurden verschiedene Einspeisungssysteme bezüglich ihres Zeitverhaltens untersucht. In einer Variante wurde der Tracer als Ersatzstoff für das Herbizid in die Zuleitung einer Teilbreite eingeleitet. Eine zweite Variante stellte die Einspeisung an jeder Einzeldüse dar, die in zwei verschiedenen Arten durchgeführt wurde. Einmal wurde die Einspeisung mit einem zentralen Ventil in der Zuleitung für den Tracer zu jeder Düse gesteuert und als weitere Variante wurden Ventile vor jeder Düse platziert. Die Verzögerungszeiten, die einen Anstieg der Tracerkonzentration im Trägerstoff von 10 auf 95 % repräsentieren, lagen bei der Einspeisung an der Teilbreite zwischen 1,8 und 7,5 s. Bei der Direkteinspeisung an der Düse wurden Verzögerungszeiten von unter 1 s erreicht. Wird die Verzögerungszeit in Fahrstrecke bei der Ausbringung umgerechnet, so ergibt sich für eine Arbeitsgeschwindigkeit von 11 km h<sup>-1</sup> (ca. 3 m s<sup>-1</sup>) für die Einspeisung an der Düse eine maximale Anpassungsstrecke von 22,5 m und für die Einspeisung an der Düse von weniger als 3 m.

**Schlüsselwörter:** Direkteinspeisung, teilflächenspezifische Applikation, Reaktionszeit, Pflanzenschutz, Herbizide

## Study on lag time of direct injection systems for variable rate application of herbicides

Progress in the technology of weed detection using cameras combined with image processing leads to improvements in spray technology. Spraying systems of current design distribute herbicides uniformly across the field. Applying the chemical agents only at locations with weeds will reduce costs significantly and contribute to environmentally friendly crop farming. Direct injection systems add the chemical agents in the hydraulic system of the sprayer in a manner that allows the rate and type of herbicide to be varied during field operation. The study presents results concerning the time analysis of direct injection systems with different injection locations. The course of concentration of a tracer detected by a conductivity sensor was employed to measure the lag time. In the experiments the flow rates of carrier and tracer were modified, as well as tubing sizes. When the tracer is injected in a boom section, the lag time is between 1.8 and 7.5 s. Injecting the tracer near a nozzle can reduce the lag time to less than 1 s under optimal conditions. If the regular operating speed of field sprayers (11 km h<sup>-1</sup> ~ 3 m s<sup>-1</sup>) is taken into account, application can be adjusted to a distance of less than 3 m.

**Keywords:** Direct injection, variable rate field spraying, response time, precision farming, plant protection, herbicides

## 1 Einleitung

In den letzten Jahren war die sensorische Erkennung und Unterscheidung von Unkräutern Gegenstand zahlreicher Forschungs- und Entwicklungsarbeiten (Stafford 1997, Perez et al. 2000, Gerhards & Sökefeld 2002, Phillip et al. 2002, Wartenberg & Dammer 2002). Da abzusehen ist, dass solche Systeme zur Anwendung kommen, ergibt sich die Notwendigkeit für die Herbizidausbringung Techniken zu entwickeln, die einen schnellen Wechsel der Aufwandmengen und der verwendeten Wirkstoffe während der Applikation ermöglichen. Damit kann die Ausbringung auf Flächen ohne Unkrautbesatz vermieden und erhebliche Einsparung an Herbiziden erreicht werden. Neben dem ökonomischen Effekt spielt auch der Aspekt der Umweltschonung eine Rolle, der in der Minderung der Ausbringung von bodenfremden Stoffen zu sehen ist. Stand der Technik bei heute verwendeten Pflanzenschutzspritzen ist das Mischen von Trägerflüssigkeit und Wirkstoff in einem großen Vorratsbehälter und das gleichmäßige Ausbringen auf der gesamten Zielfläche.

Unter Direkteinspeisung wird die Ausrüstung einer Pflanzenschutzspritze in der Art verstanden, dass die auszubringenden Wirkstoffe an einer definierten Stelle in den Wasserstrom des hydraulischen Systems eingespeist werden und die Variation des Wirkstoffes und dessen Menge während der Überfahrt möglich ist (Kifferle & Stahl 2001, Schmidt 1983, Landers 1998). Direkteinspeisungssysteme sind hinsichtlich der präzisen Ausbringung, die sich durch Verzögerungszeiten bemessen lässt, Gegenstand von Untersuchungen mit unterschiedlichen Versuchsbedingungen gewesen (Rockwell & Ayers 1996, Zhu et al. 1998).

Ziel der Forschungsarbeiten war die Bewertung der Dynamik des Konzentrationsaufbaus während der Einspeisung, um daraus die Verzögerungszeiten zu bestimmen, die sich bei der Anpassung der Herbizidmenge nach Vorliegen der Information über den Ort des Unkrautbesatzes ergibt. Zur Untersuchung des Einflusses der hydraulischen Größen und der Viskosität der Wirkstoffe auf die Mischbarkeit und Verteilgenauigkeit sowie des Ortes der

\* Corresponding author. Tel.: ++49 (0)228 732389; Fax: ++49 (0)228 739644; E-mail: [lammers@uni-bonn.de](mailto:lammers@uni-bonn.de)

Einspeisung (Teilbreite, Düse etc.) auf den Konzentrationsaufbau wurden an der Universität Bonn Messmethoden entwickelt und ein Versuchsstand aufgebaut (Sökefeld et al. 2005). In der vorliegenden Publikation werden Ergebnisse zum Zeitverhalten von Direkteinspeisungssystemen vorgestellt.

## 2 Methoden

### 2.1 Einspeisung an der Düse

Die Versuche zur Direkteinspeisung an der Düse wurden für folgende Varianten durchgeführt:

- Einspeisung an sechs Düsen einer Teilbreite mit einer Wirkstoffleitung ( $D = 4$  mm). Die Einspeisung der Herbizide in den Wasserstrom fand jeweils an der Düse statt. Um eine gleichmäßige Durchflussmenge der Herbizide (hier gleichbedeutend mit Tracer als Wirkstoffersatz oder Herbizidersatz oder Pflanzenschutzmittel = PSM) an allen sechs Düsen zu erreichen, wurden Dosierscheiben in die Tracerzuleitungen vor jeder Düse eingefügt. Für das Ein- und Ausschalten der Einspeisung wurde ein zentrales Proportionalventil verwendet, das den Differenzdruck (Wasser-/Tracer-Flüssigkeitsdruck) einheitlich für die Zuleitung an allen Düsen regelt.
- Einspeisung an Einzeldüsen mit Ventilen an jeder Düse. Die Einspeisung des Tracers erfolgte über ein Proportionalventil unmittelbar an einem T-Stück der Düse bzw. Messzelle (entspricht Leitfähigkeitssensor zur Messung der Konzentration des Tracers in der Trägerflüssigkeit).

Der Unterschied dieser Direkteinspeisungssysteme liegt in der unterschiedlichen Transportentfernung, über die der Druckaufbau des Tracers nach Öffnen des Ventils stattfinden muss. Für den Fall a mit einem zentralen Ventil beträgt die Entfernung zu der äußeren Düse einer Teilbreite 1,5 m.

Beide Varianten wurden bezüglich der hydraulischen Parameter unter gleichen Bedingungen untersucht. Der Systemdruck wurde stufenweise von 1 über 3 bis 5 bar erhöht. Durch die Verwendung unterschiedlicher Flachstrahldüsen (XR 80015, 8003, 8005) wurde der Wasserdurchfluss durch die Messzelle konstant gehalten. Die tatsächliche Durchflussmenge an der Düse betrug zwischen  $0,34$  und  $3,2$   $\text{l min}^{-1}$  und erreichte somit Werte, die einer Applikationsmenge bei der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle von  $50 - 450$   $\text{l ha}^{-1}$  entsprechen.

Im ersten Teil wurden die Möglichkeiten der variablen Dosierung untersucht, hierzu wurde die Menge des eingespeisten Tracers schrittweise von  $10$  auf  $100$   $\text{ml min}^{-1}$  erhöht. Während der Messungen wurde eine konstante Wasserdurchflussmenge beibehalten. Die Einspeisung des Tracers erfolgte unmittelbar an den Düsen. Das zentrale Proportionalventil wurde in der Mitte der Teilbreite platziert. Die unterschiedlichen Tracer-Durchflussmengen wurden über den Differenzdruck zwischen der Wasser- und Wirkstoffleitung und die passende Größe der Dosierscheiben eingestellt.

Im zweiten Teil der Versuche wurde mit einem konstanten Volumenstrom der Tracerflüssigkeit gearbeitet und somit das Verhalten des hydraulischen Systems bei Änderung der Durchflussmenge für den Trägerstoff entsprechend der Ausbringung pro ha bei konstanter Einspeisemenge von PSM-Ersatzstoffen untersucht.

Eine ausführliche Erläuterung der Versuchsmethodik findet sich bei Sökefeld et al. (2005).

### 2.2 Einspeisung an der Teilbreite

Zur Bestimmung des Reaktionsverhaltens wurde die Messzelle (Leitfähigkeitssensor) an der äußeren Düsenposition angebracht. Um die Verzögerungszeit bei unterschiedlichen Durchmessern der Teilbreitenleitungen zu untersuchen, wurden Schlauchleitungen mit den Durchmessern von  $6$ ,  $8$  und  $12,7$  mm verwendet. In diesem Teil der Versuche wurde die maximale Durchflussmenge des Proportionalventils ermittelt. In Abhängigkeit von der Charakteristik des Ventils wurden Durchflussraten des Tracers von  $270$  bis  $515$   $\text{ml min}^{-1}$  erreicht. Bei Systemdrücken von  $1$ ,  $3$  und  $5$  bar lag die Durchflussmenge der XR 8005 Düse zwischen  $1,14$  und  $2,54$   $\text{l min}^{-1}$ . Die Reynoldszahlen zwischen  $4000$  und  $20000$  innerhalb des Systems gewährleisteten eine gute Durchmischung von Trägerflüssigkeit und Tracer.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 Einspeisung an der Düse

- Einspeisung an sechs Düsen einer Teilbreite

Bild 1 zeigt die Verzögerungszeiten bei schrittweiser Veränderung der Tracerzufuhr von  $10$  bis  $100$   $\text{ml min}^{-1}$ . Die Messungen der Verzögerungszeiten zeigten eine gute Reproduzierbarkeit. Bei fünf Wiederholungen wurden Standardabweichungen von maximal  $0,35$  s ermittelt. Die dargestellten Ergebnisse sind Durchschnittswerte von Messungen an jeder der sechs verschiedenen Düsenpositionen.

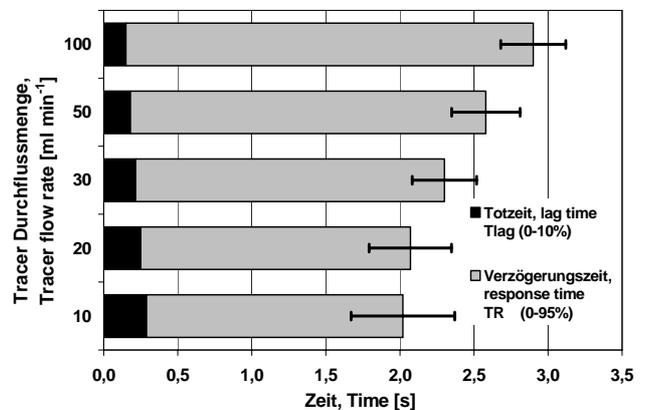


Bild 1: Anteil der Totzeit ( $T_{\text{lag}}$ ) an der Verzögerungszeit ( $T_R$ ) für eine konstante Durchflussmenge des Trägerstoffes von  $1,14$   $\text{l min}^{-1}$  bei Erhöhung der Tracerdurchflussmenge an der Düse

Aus Bild 1 geht hervor, dass mit Verringerung der Einspeiserate eine Reduzierung der Verzögerungszeit ( $T_r$ ) verbunden ist. Die längste Verzögerungszeit von 2,9 s (bei 95 % der Höchstkonzentration im Trägerstoff) wurde bei einer konstanten Durchflussmenge des Trägerstoffes an einer Düse von  $1,14 \text{ l min}^{-1}$  und der Tracerdurchflussmenge von  $100 \text{ ml min}^{-1}$  ermittelt. Die geringste Verzögerungszeit von 2,02 s wurde bei einer Einspeisemenge des Tracers von  $10 \text{ ml min}^{-1}$  festgestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Einspeisemenge des Tracers an der Düse ein entscheidender Parameter für die Verzögerungszeit ist. Geringere Einspeisungsmengen des Tracers in den konstanten Trägerstofffluss führen zu einem schnelleren Stofftransport innerhalb des hydraulischen Systems durch ein höheres Konzentrationsgefälle.

Die Totzeit (Zeit bis zum Erreichen der Konzentration von 10 % des Tracers im Trägerstoff), die auch als Transportzeit vom Proportionalregelventil zur Düse bzw. zur Messzelle bezeichnet werden kann, nimmt nur einen geringen Anteil an der gesamten Verzögerungszeit von 0,16 s bis 0,2 s ein und fällt geringfügig mit steigender Tracerdurchflussmenge. Diese kleinen Werte der Totzeit sind auf die geringe Distanz zwischen dem Mittelpunkt des T-Stücks, an dem die Einspeisung in den Wasserstrom erfolgte, und den beiden Elektroden des Leitfähigkeitssensors (Messzelle) von 40 mm zurückzuführen. Den größeren Anteil an der Verzögerungszeit nimmt der Bereich ein, der für die Durchmischung von Wasser und Tracer steht und der durch die Steigerung der Durchflussmenge und somit durch einen schnelleren Stofftransport erheblich gesteigert werden kann.

In Bild 2 werden die Totzeiten und die Verzögerungszeiten für unterschiedliche Trägerstoffdurchflussmengen dargestellt. Bei Erhöhen der Trägerstoffdurchflussmenge von  $0,34$  auf  $3,2 \text{ l min}^{-1}$  ändert sich die Verzögerungszeit von 2,28 s auf 0,6 s. Diese Zeitspanne ergibt innerhalb des geänderten Durchflussmengenbereiches für den Trägerstoff einen insgesamt größeren Einfluss auf die Verzögerungszeit als die Änderungen der Durchflussmengen des Tracers. In diesem Fall ändert sich die Totzeit ebenfalls nur unerheblich zwischen 0,16 s bis 0,4 s.

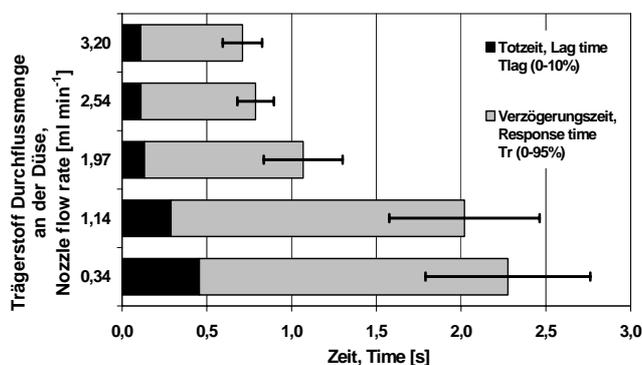


Bild 2: Anteil der Totzeit ( $T_{lag}$ ) an der Verzögerungszeit ( $T_r$ ) mit Direkteinspeisung an der Düse, bei unterschiedlichen Durchflussmengen an der Düse mit einer konstanten Tracerdurchflussmenge von  $10 \text{ ml min}^{-1}$

### b) Einspeisung an der Einzeldüse

Eine deutliche Verkürzung der Verzögerungszeit ergibt sich bei Einspeisung in die Einzeldüse mit der Ausstattung eines Ventils an jeder Düse. Für diesen Fall tritt die längste Verzögerungszeit von 1,39 s bei einer konstanten Durchflussrate des Trägerstoffes an einer Düse von  $1,14 \text{ l min}^{-1}$  und einer Tracerdurchflussmenge von  $100 \text{ ml min}^{-1}$  ein (Bild 3). Die geringste Verzögerungszeit von 0,77 s wurde bei einer Einspeisemenge des PSM-Ersatzstoffes von  $10 \text{ ml min}^{-1}$  ermittelt. Rockwell und Ayers (1996) geben die Verzögerungszeit für die Direkteinspeisung an der Düse bei ähnlichen Versuchsbedingungen mit 2,5 s an.

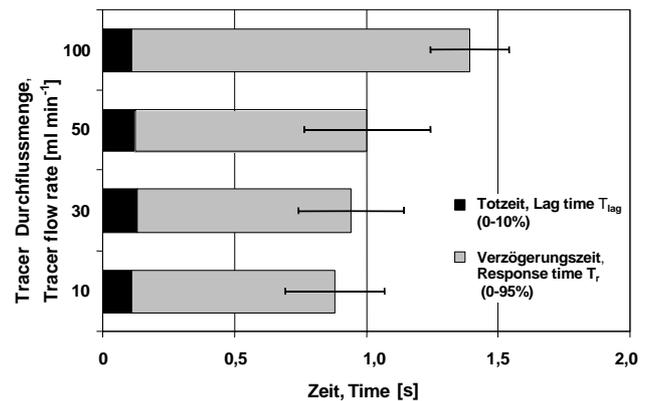


Bild 3: Anteil der Totzeit ( $T_{lag}$ ) an der Verzögerungszeit ( $T_r$ ) für eine konstante Durchflussmenge des Trägerstoffes von  $1,14 \text{ l min}^{-1}$  bei Erhöhung der Tracerdurchflussmenge an der Einzeldüse

Die Ergebnisse zeigen auch, dass der Anteil der Totzeit bei allen untersuchten Einspeisemengen nahezu konstant war und sich auf etwa die Hälfte der Totzeiten bei System a reduzierte.

Die Anstiegs- und Abfallzeiten ( $T_{rise} = \text{Zeit zwischen } 10\% \text{ und } 90\% \text{ der Konzentration}$ ,  $T_{fall}$  entsprechend) bei der Direkteinspeisung an der Einzeldüse sind in Abhängigkeit von der Einspeisungsmenge und für eine konstante Durchflussmenge des Trägerstoffes ( $1,14 \text{ l min}^{-1}$ ) in Bild 4 dargestellt. Mit sinkender Einspeisemenge vermindert sich sowohl die Anstiegszeit als auch die Abfallzeit. Die minimale Anstiegszeit betrug bei einer Tracerdurchflussmenge von  $10 \text{ ml min}^{-1}$  0,59 s. Die maximale Anstiegszeit von 0,86 s wurde bei einer Düsendurchflussrate von  $100 \text{ ml min}^{-1}$  ermittelt. Die Abfallzeiten sind im Vergleich zu den Anstiegszeiten durch wesentlich niedrigere Werte gekennzeichnet. Hier betragen die Minimal- und Maximalzeit bei analogen Durchflussraten 0,2 s und 0,31 s. Die annähernde Verdopplung der Anstiegszeit gegenüber der Abfallzeit ist zum Teil auf das Totvolumen zwischen dem Proportionalventil und dem Verbindungsstück von Wasser- und Wirkstoffleitung sowie auf die Geometrie dieses T-Stücks zurückzuführen. Maßgeblich für die große Diskrepanz zwischen der Anstiegs- und der Abfallzeit sind die Dynamik und die Leistung der Zahnradpumpe, die für einen schnellen Druckanstieg in der Wirkstoffleitung unmittelbar nach Öffnen des Ventils

verantwortlich sind. Diese Zeitspanne zeigt sich deutlicher in dem System a, bei dem die Leitungslänge und damit das Flüssigkeitsvolumen in der Leitung größer ist als bei dem System b. Hier sind weiterführende Untersuchungen zur Optimierung der Einspeisungsgeometrie und der Regelglieder notwendig, um den Vorgang des Aufbaus der Tracerkonzentration zu beschleunigen.

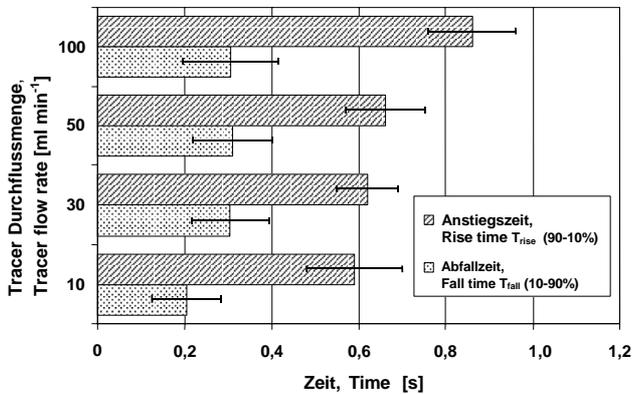


Bild 4: Anstiegszeiten ( $T_{rise}$ ) und Abfallzeiten ( $T_{fall}$ ) in Abhängigkeit von der Tracerdurchflussmenge bei konstanter Düsendurchflussmenge von  $1,14 \text{ l min}^{-1}$

Wenn die beiden Einspeisevarianten an der Düse verglichen werden, ergeben sich bei einer Vorfahrtsgeschwindigkeit von  $8 \text{ km h}^{-1}$  und konstanter Trägerstoffdurchflussmenge pro Düse von  $1,14 \text{ l min}^{-1}$  Fahrstrecken zwischen  $4,4 \text{ m}$  und  $6,4 \text{ m}$  für System a mit einem zentralen Ventil für das Pflanzenschutzmittel. Für das System b ergibt sich eine Fahrstrecke zwischen  $1,7 \text{ m}$  und  $3,0 \text{ m}$ , die innerhalb der Verzögerungszeit zurückgelegt würde.

### 3.2 Einspeisung an der Teilbreite

Der Anteil der Totzeit bzw. der Transportzeit des Tracers bis zum Leitfähigkeitssensor an der totalen Verzögerungszeit ist in Bild 5 gezeigt. Die Einspeisung wurde bei unterschiedlichen Düsendurchflussmengen zentral an der Teilbreite durchgeführt. Die Verzögerungszeit variierte je nach Düsendurchflussmenge zwischen  $3,84 \text{ s}$  und  $6,97 \text{ s}$ . Die Totzeit betrug  $2,68 \text{ s}$  bzw.  $4,83 \text{ s}$  und nahm damit einen größeren Anteil an der Verzögerungszeit ein als der eigentliche Mischvorgang beansprucht hat. Zhu et al. (1998) geben Verzögerungszeiten für Direkteinspeisesysteme mit sechs Düsen bei unterschiedlichen Durchflussmengen und Viskositäten des PSM zwischen  $17,9$  und  $21 \text{ s}$  an.

Diese Ergebnisse unterscheiden sich sehr deutlich von den Werten, die bei der Direkteinspeisung an der Düse ermittelt wurden und sind auf den langen Transportweg von ca.  $1,5 \text{ m}$  vom Einspeisungsort bis zum Leitfähigkeitssensor an der äußeren Düse zurückzuführen. Aufgrund des langen Transportweges und des größeren Leitungsdurchmessers macht sich bei dieser Konfiguration die verminderte Durchflussmenge durch einen Anstieg der Totzeit deutlich bemerkbar.

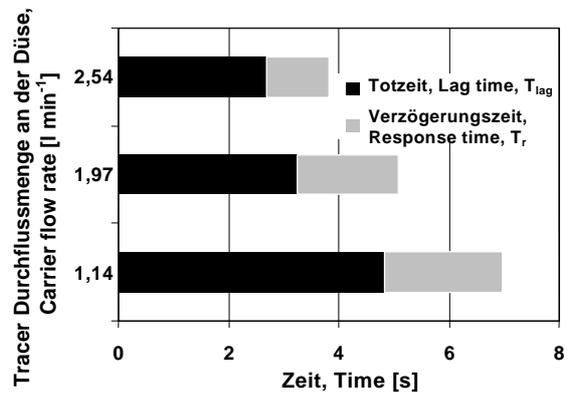


Bild 5: Anteil der Totzeit ( $T_{lag}$ ) an der Verzögerungszeit ( $T_r$ ) bei Direkteinspeisung an der Teilbreite mit unterschiedlichen Durchflussmengen an der Düse und konstanter Tracerdurchflussmenge von  $10 \text{ ml min}^{-1}$

Weiterhin wurde der Einfluss des Leitungsdurchmessers auf die Verzögerungszeit bei unterschiedlichen Düsendurchflussmengen untersucht. Die Innendurchmesser der Schlauchleitungen betragen  $6, 8$  und  $12,7 \text{ mm}$  (Bild 6). In Abhängigkeit von der Charakteristik des Ventils wurden Durchflussmengen des Tracers von  $270$  bis  $515 \text{ ml min}^{-1}$  erreicht. Die geringste Verzögerungszeit wurde mit einem Wert von  $1,77 \text{ s}$  bei einem Leitungsdurchmesser von  $6 \text{ mm}$  und einer Düsendurchflussmenge von  $2,54 \text{ l min}^{-1}$  ermittelt. Die größte Verzögerungszeit von  $7,53 \text{ s}$  stellte sich bei einem Leitungsdurchmesser von  $12,7 \text{ mm}$  und einer Düsendurchflussrate von  $1,14 \text{ l min}^{-1}$  ein. Der Leitungsdurchmesser ist damit erwartungsgemäß ein Parameter mit dem die Verzögerungszeit wesentlich beeinflusst werden kann. Dennoch wurden bei der Direkteinspeisung an der Teilbreite Verzögerungszeiten erreicht, die eine Entkopplung von Kamera des Unkrautfassungssystems und Spritzbalken erforderlich machen. Bei einer Fahrgeschwindigkeit von  $8 \text{ km h}^{-1}$  würde bei den oben genannten Verzögerungszeiten eine Strecke zwischen  $3,9 \text{ m}$  und  $16,7 \text{ m}$  zurückgelegt. Diese Strecke, die bei der Einstellung der Ausbringmenge zurückgelegt würde, ermöglicht die Umsetzung der teilschlagspezifischen Unkrautkontrolle nur nach dem Prinzip des *mapping concept*. Der dadurch erforderliche zusätzliche Arbeitsschritt macht die Unkrautkontrolle im Vergleich zum Online-Verfahren jedoch kostenintensiver.

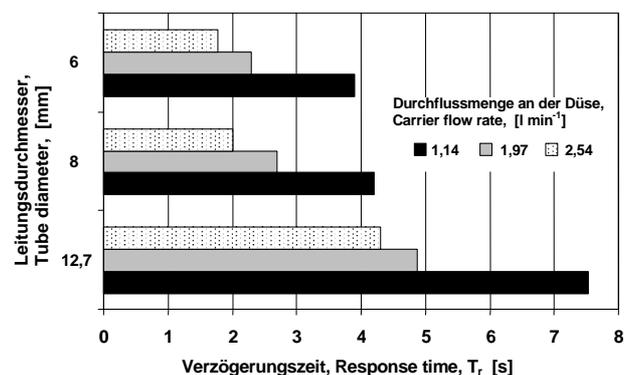


Bild 6: Vergleich der Verzögerungszeiten ( $T_r$ ) bei der Direkteinspeisung an der Teilbreite für verschiedene Leitungsdurchmesser und Düsendurchflussmengen

#### 4 Diskussion

Der Laborprüfstand zur Direkteinspeisung von Pflanzenschutzmitteln, der in einer vorausgegangenen Veröffentlichung beschrieben wurde (Sökefeld et al. 2005), wurde für die Ermittlung von Reaktionszeiten bei unterschiedlichen Versuchsbedingungen eingesetzt. Aus den Untersuchungen zur Ermittlung der zeitlichen Parameter bei unterschiedlichen Rahmenbedingungen ergibt sich, dass die Verzögerungszeiten bei einer Einspeisung an Teilbreiten nicht den Ansprüchen an eine Online-teilflächenspezifische Applikation genügen. Auch hat die Düsendurchflussmenge bei der Teilbreiteneinspeisung für die vollständige Durchmischung des Wasser-Pflanzenschutzmittelgemisches nur eine geringe Bedeutung. Aber auch bei der Einspeisung an der Düse ist ein verstärktes Augenmerk auf die Minimierung der Transportzeit durch eine Reduktion des Transportweges zu richten.

Eine weitere wesentliche Aussage ist, dass die Anforderungen an die Auswahl und Spezifikation der Pumpen und Einspeisungsventile für sehr geringe Durchsatzmengen ein wesentlicher Entwicklungsschritt bei der Realisierung von Systemen zur Direkteinspeisung an einer Einzeldüse sein werden.

Auch wird aufgrund der Notwendigkeit der präzisen Dosierung an Einzeldüsen durch Ventile eine Vereinheitlichung der Viskosität der Pflanzenschutzmittel erforderlich sein. Der vorhandene funktionsfähige Prüfstand bietet die Möglichkeit, weitere Aspekte der Direkteinspeisung zu untersuchen. Hierzu gehören die Qualität der Mischung unter Berücksichtigung von Viskosität, Polarität und Temperatur des Wirkstoffes. Ein spezielles Augenmerk ist hierbei auf die Gestaltung der Mischkammer zu richten. Ebenso zu untersuchen ist die Qualität des Sprühstrahles hinsichtlich Wirkstoff- und Tröpfchenverteilung. Bei einer Einspeisung an der Düse ist es erforderlich, die Leitungen mit konzentrierten Wirkstoffen bis an jede Düse zu verlegen. Hieraus ergeben sich Sicherheitsfragen hinsichtlich Anwender- und Umweltschutz. Durch die Verwendung geeigneter Schutzvorrichtungen kann diesen Risiken entgegengewirkt werden.

Letztendlich ist weiterhin die Kombination von Unkrauterkennung und Direkteinspeisung zu verfolgen. Nur die Kombination der beiden Systeme führt zu dem Ziel der teilschlagspezifischen Herbizidapplikation im Online-Verfahren, mit der Möglichkeit der schnellen Variation von Wirkstoff und Wirkstoffmenge in einem breiten Spektrum ohne Beeinträchtigung der Applikationsqualität.

#### Literaturverzeichnis

- Gerhards R., Sökefeld M. (2002): Sensor systems for automatic weed detection. Proceedings of the Brighton Crop Protection Conference – Weeds, p. 827-834.
- Kifferle G., Stahl W. (2001): Spritz- und Sprühverfahren in Pflanzenschutz und Flüssigdüngung bei Flächenkulturen. Books on Demand GmbH, Norderstedt, 229.

- Landers A. (1998): The theory and constituent parts of a direct injection sprayer. Proceedings of the National Association of Agricultural Contractors Direct Injection Spraying Seminar, Silsoe Research Institute, UK, 14 January 1998, 5.
- Perez A.J., Lopez F., Benlloch J.V., Christensen S. (2000): Colour and Shape Analysis Techniques for Weed Detection in Cereal Fields. Computers and Electronics in Agriculture 25, 197-212.
- Phillip I., Rath T., Nordmeyer H. (2002): Computerbildanalytische Unkrautkartierung in Zuckerrübenbeständen. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVIII, 429-436.
- Rockwell A.D., Ayers P.D. (1996): A variable rate, direct nozzle injection field sprayer. Applied Engineering in Agriculture 12 (5), 531-538.
- Schmidt M. (1983): Direkteinspeisung von flüssigen Pflanzenbehandlungsmitteln. Dissertation, TU-Berlin, 186 pp.
- Sökefeld M., Hlobeň P., Schulze Lammers P. (2005): Direkteinspeisung von Pflanzenschutzmitteln - Entwicklung einer Versuchseinrichtung zur Untersuchung der Verzögerungszeiten von Direkteinspeisungssystemen für die teilflächenspezifische Applikation von Herbiziden. Agrartechnische Forschung 11 (5), 145-154.
- Stafford J.V. (1997): Machine-Assisted Detection of Weeds and Weed Patches. Precision Agriculture II, 511-518.
- Wartenberg G., Dammer K.-H. (2002): Erfahrungen bei der Verfahrensentwicklung zur teilschlagspezifischen Herbizid-anwendung in Echtzeit. Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz, Sonderheft XVIII, 443-450.
- Zhu H., Fox R.D., Brazee R.D., Derksen R.C. (1998): Time delay for injection sprayers. Transactions of ASAE 41 (3), 525-530.