

Jiří Vondříčka und Peter Schulze Lammers, Bonn

Mischvorgang in einem Direkteinspeisungssystem

Um die Ansprechzeiten bei Direkteinspeisungssystemen zu reduzieren, muss der Einspeisungsort dicht an die Düsen verlegt werden. Diese Anordnung schränkt die Fähigkeit des Systems für einen vollständigen Mischvorgang zwischen dem Träger (Wasser) und dem Pflanzenschutzmittel durch natürliche Turbulenz stark ein. Der Beitrag befasst sich mit dem Mischvorgang im Düsenträger und den Methoden die Spritzbrühe zu homogenisieren.

Direkteinspeisungssysteme sind dadurch charakterisiert, dass der Träger und das Pflanzenschutzmittel getrennt gehalten und erst vor Eintritt in die Düse gemischt werden. Damit werden Rückstände von vorge-mischten Spritzbrühen im Tank nach dem Einsatz vermieden. Die Möglichkeit die Pflanzenschutzmittel und deren Konzentrationen zu ändern, gestattet eine teilflächenspezifische Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln.

Es werden zwei Betriebsweisen für die teilflächenspezifische Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln unterschieden. Bei der Offline-Methode werden die Herbizide appliziert, nachdem zuvor eine Unkrautkarte mit einem Erkennungssystem erstellt wurde. Dieses System verfügt über ausreichende Zeit zur Vorbereitung der Spritzbrühe, da die Information über die Unkrautverteilung

aus zwei Teilen zusammen, der Einspeisungszeit, gekennzeichnet durch das Ansprechverhalten der Dosierung, und der Transportzeit der Flüssigkeiten zwischen dem Einspeisungsort und der Düse. In dem zweiten Zeitabschnitt muss die Mischung vollständig sein, bevor diese in die Düse eintritt. [5] gibt an, dass eine ausreichend gleichmäßige Homogenität bei höher viskosen Pflanzenschutzmitteln nur mit Mischeinrichtungen erreicht werden kann. [4] berichtet über eine unvollständige Mischung von Farbstoffen und Trägerflüssigkeit bei Einspeisung in die Düse.

Um den Mischvorgang und die Mischkammer zu optimieren, wurde eine Computational Fluid Dynamics (CFD) Software benutzt. Deren Ergebnisse wurden experimentell verifiziert.

Material und Methoden

Der Mischvorgang sollte eine ausreichende Homogenität der Mischung bewirken. Zur Beschreibung der Qualität der Mischung wird der Variationskoeffizient (CoV = standard deviation of concentration/mean deviation) benutzt, der die Standardabweichung der Konzentrationsschwankungen bezogen auf den Konzentrationsmittelwert darstellt. Er wird auch als Intensität der Mischung oder Grad der Segregation angegeben und ist gut nachzuvollziehen. Die Biologische Bundesanstalt (BBA) hat für die Mischung in Tanks von Pflanzenschutzspritzen eine Konzentrationsabweichung an drei unterschiedlichen Stellen im Tank von weniger als 15 % definiert. In einem typischen industriellen Mischprozess wird ein Zusatzstoff bei einem CoV von 5 % als gut eingemischt bezeichnet [2]. Deshalb kann in einem Direkteinspeisungssystem ein Wert von 5 % CoV ebenfalls als Grenze für eine ausreichende Mischqualität angenommen werden. Eine Wasser-Pflanzenschutzmittel-Konzentration mit ausreichender Qualität muss gefordert werden, bevor die Mischung in die Düse eintritt und auf die Zielflächen ausgebracht wird. Der Mischprozess in der Mischkammer muss kontinuierlich sein, so schnell wie möglich ablaufen, insbesondere bei Online-Systemen, und einen hohen Grad der Homo-

Typ	Beschreibung	Photo
KMS	Serie von links- und rechtsdrehenden Spiralelementen. Ein Element entspricht in der Länge dem Durchmesser. (Chemineer, Inc.)	
SMX	Gerüst sich kreuzender Stege, die schräg zur Strömungsrichtung liegen. Jedes Element entspricht in der Länge dem Durchmesser und benachbarte sind um 90° verdreht. (Koch-Glitsch, LP)	
QUADRO	Rechteckige Elemente, die den Flüssigkeitsstrom in jeder Ebene teilen und drehen. Ein Element entspricht in der Länge 0.75 des Durchmessers. (Sulzer Chemtech)	

Übersicht 1: Statische Mischer im Direkteinspeisungssystem

Table 1: Static mixers tested for a direct injection system

vorzeitig bekannt ist. Die Methode erlaubt eine Vormischung mit der gewünschten Konzentration, um eine präzise Ausbringung am Unkrautstandort zu gewährleisten.

Bei einem Online-System wird die Erkennung (Kamera) mit der Applikation (Pflanzenschutzspritze) gekoppelt. Die räumliche Präzision hängt dann von dem Abstand zwischen Kamera und dem Düsenbalken, der Arbeitsgeschwindigkeit und der Reaktionszeit des gesamten Systems ab. Der größte Abstand zwischen der Kamera des Erkennungssystems und dem Spritzbaum wird mit weniger als 1 m angenommen, wenn die Kamera am Spritzbaum mit ausreichender Stabilität angebracht werden soll. Die Arbeitsgeschwindigkeit liegt zwischen 2 und 5 ms⁻¹. Daraus ergibt sich die Forderung für eine Ansprechzeit von weniger als 0,5 s. Um diese in dem Applikationssystem zu minimieren, muss die Einspeisung dicht an der Düse stattfinden [1]. Diese Ansprechzeit setzt sich

Dipl.-Ing. Jiří Vondříčka ist Mitglied des DFG-Graduiertenkollegs 722 und Mitarbeiter der Abteilung Systemtechnik in der Pflanzenproduktion (Leitung: Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze Lammers; e-mail: lammers@uni-bonn.de) am Institut für Landtechnik der Universität Bonn, Nussallee 5, 53115 Bonn

Schlüsselwörter

Mischvorgang, präziser Pflanzenbau, Direkteinspeisung

Keywords

Mixing, site specific application, CFD

Literatur

Literaturhinweise finden sich unter LT 08209 über Internet <http://www.landtechnik-net.de/literatur.htm>.

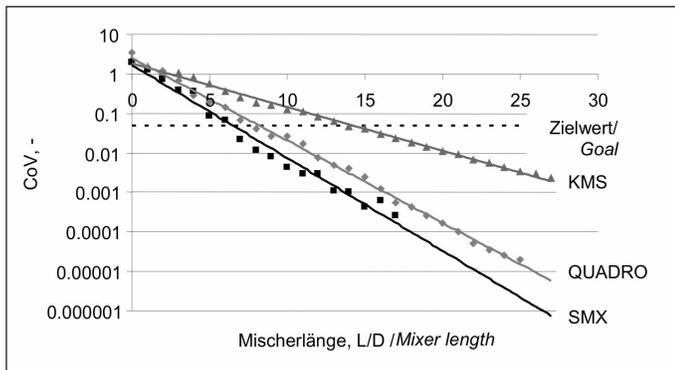


Bild 1: Homogenität, angegeben als Variationskoeffizient (CoV), über der Mischlänge für drei statische Mischer bei laminaren Strömungsverhältnissen

Fig. 1: Homogeneity expressed as coefficient of variation (CoV) versus mixer length for three static mixers operating in laminar flow

genität aufweisen. Um ein schnelles Ansprechverhalten zu erreichen, muss die Mischkammer bei gleich bleibendem Durchfluss klein gehalten werden.

Ein erster Schritt zum Verständnis des kontinuierlichen Mischprozesses ist die Feststellung der Strömungsart, in der der Vorgang stattfindet. Diese wird bestimmt durch die Fließgeschwindigkeit und die physikalischen Eigenschaften des Fluids. Die Strömungsart kann sich mit der Fließgeschwindigkeit und über die Länge der Mischkammer ändern. Die Qualität der Mischung sollte jedoch nicht von der Strömungsart abhängen. Es muss vermieden werden, dass eine toxische Konzentration in einem Teil der Mischung auftritt, die in der Umwelt zur Kontamination führen könnte.

Die Einmischung kann in den Trägerflüssigkeitsstrom radial oder axial vorgenommen werden. Bei turbulenter Strömung findet ein Massenaustausch sowohl in radialer als auch in axialer Richtung statt, hervorgerufen durch Wirbel. In der laminaren Strömung sind die Geschwindigkeitsvektoren parallel und es findet keine radiale Mischung statt. Wenn die Strömung ausschließlich einphasig turbulent ist, steht eine Reihe von Möglichkeiten für den Mischvorgang zur Verfügung; die Mischung kann durch ein leeres Rohr, Ventile, Düsen, T- und Strahlmischer sowie statische Mischer bewerkstelligt werden. Im Falle der laminaren Strömung, entweder ein- oder mehrphasig, kommen nur statische Mischer in Frage. Andere Mischeinrichtungen aus dem Bereich der turbulenten Strömung sind nicht anzuwenden. Die statischen Mischer verursachen durch hintereinander angeordnete Leitkörper eine radiale Strömung. Diese Leitkörper können aus verdrehten Plastik- oder Metallscheibchen, gewölbten oder gewellten Plättchen,

Durchgängen mit geringem Durchmesser oder parallelen Stiften, die aus der Wand ragen, bestehen. Da bei den hier betrachteten Einspeisungsvorgängen mit unterschiedlichen Strömungen und Fluideigenschaften zu rechnen ist, wurden drei statische Mischer (Übersicht 1) untersucht.

Für theoretische Untersuchungen des Mischprozesses wurde die „Computational Fluid Dynamics“ (CFD) Software Comsol Multiphysics eingesetzt. Die Software ermöglicht sowohl die Modellierung der Strömungsverhältnisse als auch der chemischen Reaktionen. Die Ergebnisse wurden mit Literaturwerten verglichen und experimentell verifiziert. Als experimentelle Methode wurde das Verfahren nach Bartels [3] eingesetzt, das eine Beurteilung der Homogenität der Mischung ermöglicht.

Ergebnisse

Die berechnete Mischeffizienz wird in Bild 1 dargestellt. Der statische SMX-Mischer ergibt die besten Ergebnisse. Dieser Mischer ist jedoch kompliziert aufgebaut, was die Modellberechnung erschwert. Er wird aus rostfreiem Stahl hergestellt und seine Fertigung verursacht hohe Kosten. Die beiden anderen statischen Mischer (KMS und QUADRO) sind kostengünstigere Varianten. Der KMS-Mischer erzeugt schlechtere Ergebnisse im Vergleich mit dem QUADRO-Mischer, der eine ähnliche Mischleistung hat wie der SMX-Mischer.

Der Mischvorgang der statischen Mischer wurde unter verschiedenen Bedingungen simuliert. Die Mischkörper wurden verlängert bei großen Mischverhältnissen und wenn die Viskositäten sich beträchtlich unterscheiden, um ähnliche Mischqualitäten zu erreichen. Der Mischprozess wurde experimen-

tell mit der Entfärbungsmethode bewertet. Die gemessenen Werte der Homogenität ohne Mischer sind in Bild 2a aufgeführt. Die Ergebnisse sind über der Zeit dargestellt und haben eine mittlere Homogenität von 91,5 % (schwarze Linie) und eine Standardabweichung von 3,3 % (weiße Linien).

Der Mischvorgang wurde bei einer Konzentration von 1 % des eingespeisten Zusatzstoffes (Viskosität 1 mPas) gemessen. Entsprechend der Gaußverteilung haben 97,5 % der Werte eine Mischungshomogenität besser als $\bar{x} - \sigma = 88,3$ %. Der Mischvorgang wird damit als nicht ausreichend für ein Direkteinspeisungssystem bewertet und eine Mischeinrichtung als erforderlich betrachtet. Zum Vergleich wird in Bild 2 b die Mischungshomogenität mit einem KMS-Mischer mit 16 L/D dargestellt. Die Durchschnittshomogenität beträgt 99,6 % bei einer Standardabweichung von 0,25 %. Damit hatten 97,5 % des Ausgangsvolumens eine bessere Homogenität als 99,4 %.

Zusammenfassung und Folgerungen

Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass bei einer Einspeisung an der Düse eine geeignete Mischkammer für die Homogenisierung des Trägerstoffes mit dem eingespeisten Pflanzenschutzmittel notwendig ist. Die Simulationsberechnungen weisen für den statischen SMX-Mischer die besten Ergebnisse aus, jedoch ist dieser Mischer mit seiner anspruchsvollen Geometrie sehr teuer. Es wurden deshalb zwei kostengünstigere Mischer (KMS und QUADRO) untersucht, die eine gute Alternative für die verschiedenen Einsatzbedingungen bei laminarer Strömung darstellen. Der KMS ist einfach vom Aufbau, der QUADRO-Mischer bietet jedoch eine bessere Mischleistung.

Der Mischvorgang ist von den Eingangsbedingungen abhängig. Deshalb kann eine Mischkammer nicht universell gestaltet werden, sondern die Mischeinrichtung muss individuell ausgelegt werden. Da die Modellrechnungen für solche Auslegungen keine ausreichend genaue Bewertung liefern, wurden die Mischeinrichtungen experimentell getestet. Als Testmethode für die Online-Bewertung der Mischungsqualität wurde eine Entfärbungsmethode erfolgreich eingesetzt.

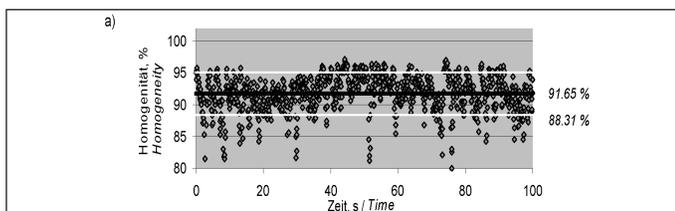


Bild 2 a, b: Homogenität der Mischung über der Zeit bei einer Direkteinspeisung an der Düse ohne (a) und mit KMS-Mischer (b) mit 16 L/D

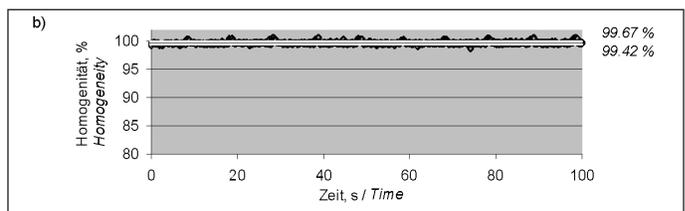


Fig. 2 a, b: Homogeneity as function of time in direct injection system without mixing device (a) and with 16L/D static mixer (b)