

Radarsensorik und Systemlösung zur Erfassung und Überwachung der Arbeitsqualität von Düsen

Radar Sensor technology and Systems Solution for measurement and monitoring of the working quality of nozzles

Dr. agr. **Peter Hien**, MSO Meßtechnik und Ortung GmbH, Bad Münstereifel
Veröffentlicht im Manuskript der Konferenz: Agricultural Engineering VDI-MEG Land.Technik 2018

Kurzfassung

Ein neues radarbasiertes Verfahren zur Echtzeit Messung der Arbeitsqualität von Düsen im Sprühprozess sowie dessen Implementierung in einem Überwachungssystem wird vorgestellt.

Abstract

A new Radar based method for real-time measurement of the working quality of nozzles and its implementation in a monitoring systems is presented.

1. Hintergrund

Die Düse ist das zentrale Funktionselement, welches die auf ein Ziel aufzubringende Flüssigkeit in landwirtschaftlichen und industriellen Sprühprozessen zerstäubt. In komplexen Sprühsystemen wie beispielsweise einem Pflanzenschutzgerät bestimmt eine Vielzahl von Düsen die Arbeitsqualität. Verstopfung, Teilblockade, Anbackungen und Abnutzung sowie externe Faktoren wie falsch eingestellter Druck, Druckschwankungen, verstopfte Filter, falsche Auswahl der Düse, Wind, Gestängebewegung und Turbulenzen können die Arbeitsqualität der Düse erheblich verschlechtern. Dies wirkt sich unmittelbar negativ auf die Effektivität und die Präzision von Pflanzenschutz und Flüssigdüngerausbringung aus mit erheblichem ökonomischem und ökologischem Schaden.

Die aktuelle Arbeitsqualität jeder einzelnen Düse des Systems „Pflanzenschutzgerät“ kann bisher im Prozess in Echtzeit messtechnisch nicht erfasst und damit nicht präzise, automatisiert und zuverlässig überwacht werden. Dieser Mangel wird mit dem neuen Sensor MSO SprayRay, integriert im Überwachungssystem MSO SprayMon behoben.

2. Radarsensorik zur Erfassung des Sprühs

Das MSO SprayRay Verfahren verdichtet hierzu die Informationen über wesentliche Qualitätsparameter eines Sprühs in einer Radarsignatur des Sprühs, nämlich dessen Leistungsdichtespektrum PSD (Power Spectral Density).

Das Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass das gesendete und das empfangene Radarsignal mittels eines Mischers gemischt und das dabei entstehende und mittels analog-digital Umsetzung in einer bestimmten Rate abgetastete, niederfrequente Dopplerschwebungssignal $f_s = |f_o - f_d|$ in einem Datenarray mit dem Index $[0,1,2,\dots,N]$ gespeichert und aus dem Zeitbereich in einen Frequenzbereich transformiert wird.



Ein Dauerstrichradar CW (Continuous Wave) System (s. Bild 1) bestehend aus Sender, Empfänger, Antenne und Mischer sendet kontinuierlich ein auf den Sprüh gerichtetes Radarsignal. Aufgrund des Dopplereffektes ist das am in Bewegung befindlichen Messobjekt reflektierte und wieder empfangene Signal f_d frequenzverschoben entsprechend

$$f_s = |f_o - f_d|$$

$$f_d = 2 \cdot f_o \cdot \frac{v}{c_o} \cdot \cos(\alpha)$$

Das Dauerstrichradar weist einen Mischer auf, der das gesendete f_o und das empfangene Signal f_d mischt und das entstehende niederfrequente Schwebungssignal f_s ausgibt.

Bild 1: gekapseltes CW Radarmodul, angeordnet am Sprüh

Die Frequenz $f_s = |f_o - f_s|$ der Schwebung aus der Mischung von gesendetem Signal f_o und empfangenem Signal f_d ist proportional zur Geschwindigkeit V des bewegten Reflektors beziehungsweise des bewegten Radars bei ortsfestem Reflektor. Konstant sind die Lichtgeschwindigkeit c_o und in der gegebenen Anwendung der Anstellwinkel α des Radars zum Messobjekt.

Des Weiteren ist die Amplitude dieses Schwebungssignals f_s proportional zur reflektierten Leistung entsprechend der so genannten Radargleichung

$$\frac{P_e}{P_s} = \frac{g^2 \cdot \lambda^2 \cdot \sigma}{(4\pi) \cdot D^4}$$

mit P_e Leistung des empfangenen Signals, P_s Sendeleistung, λ Wellenlänge, des Sendesignals, σ Rückstreuquerschnitt des reflektierenden Objekts / der reflektierenden Objekte, D Abstand Radarsensor zum Objekt, g Antennengewinn bei gleicher Sende-/Empfangsantenne.

Im SprayRay Messaufbau sind die Sendeleistung P_s , die Wellenlänge λ des Sendesignals, der Abstand D des Radarsensors zum Objekt und der Antennengewinn g konstant. Die Leistung P_e des empfangenen Signals und damit des Schwebungssignals aus der Mischung des gesendeten und empfangenen Signals, d.h. die Amplitude des Dopplersignals f_s , ist also proportional zum aufgrund der Teilchengrößenverteilung und des Volumenstroms des Sprühs veränderlichen Rückstreuquerschnitts σ (RCS Radar Cross Section).

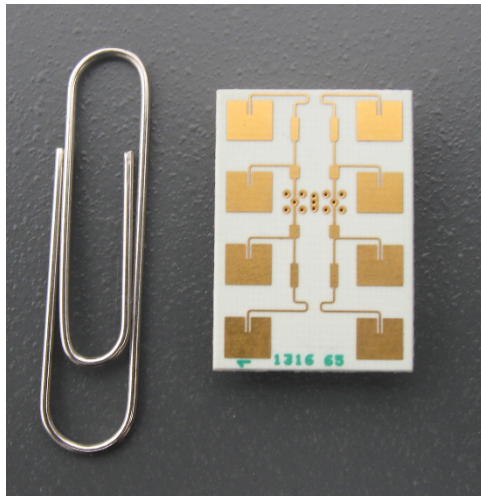
Des Weiteren wird das mittels analog–digital Umsetzung in einer bestimmten Rate abgetastete Doppler Schwebungssignal f_s in einem Datenarray mit dem Index $n = [0,1,2, \dots, N]$ gespeichert und aus dem Zeitbereich in den Frequenzbereich transformiert.

Dieses Leistungsdichtespektrum des Dopplerradarsignals verdichtet integrierend die Information sowohl der auftretenden Geschwindigkeiten der Tröpfchen als auch über die der Geschwindigkeit zugeordnete Reflektionssignalamplitude und somit eines Mengenbezuges zu einer, die Qualität des Sprühs kennzeichnenden Radarsignatur. Das Leistungsdichtespektrum des Dopplerradarsignals bildet die wesentlichen Qualitätsparameter des Sprühs, nämlich die Größenverteilung der Tröpfchen, diesen zugeordnete Geschwindigkeit und damit deren Auftreffimpulskraft sowie den Volumenstrom integrierend als Radarsignatur des Sprühs ab.

Hierzu wird vorzugsweise ein Dauerstrich-Dopplerradar mit weitem Öffnungswinkel in Azimuth und Elevation des Antennendiagramms der Sende- und Empfangsantenne (s. Bild 3) zur integrierenden Abtastung des vollständigen oder eines weiten Bereichs des Sprühs eingesetzt. Dies bietet keine räumliche Ortsauflösung der Qualitätsparameter des Sprühs sondern vielmehr deren integrierende Gesamterfassung beziehungsweise eine über einen weiten Bereich des Sprühs integrierende Erfassung.

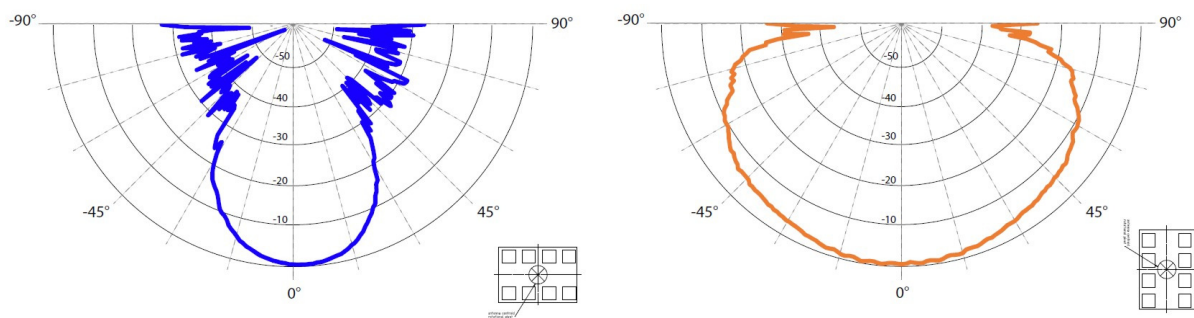
3. SprayRay und SprayRay industrial: Radarsensorik zur Erfassung des Sprühs und der Arbeitsqualität von Düsen

An jeder Düse wird ein mit hoher Frequenz – beispielweise 24 GHz arbeitender Dauerstrich



(CW) Doppler Radar Transmitter (s. Bild 2) angeordnet. Dieser sendet ein breit gefächertes Signal (s. Bild 3) in den Sprüh, welches von diesem reflektiert und empfangen wird.

Bild 2: CW Doppler Radar Transmitter Modul



system pattern (-10dB)	azimuth	system_az		43		°
	elevation	system_el		116		°

Bild 3: Antennendiagramm eines CW Doppler Radar Transmitter Moduls

Die Radarsignatur des Sprühs kennzeichnet die Qualität des Sprühs – hier Qualität entsprechend der Norm ISO 9000 als „Grad, in dem ein Satz inhärenter Merkmale eines Objekts Anforderungen erfüllt“.

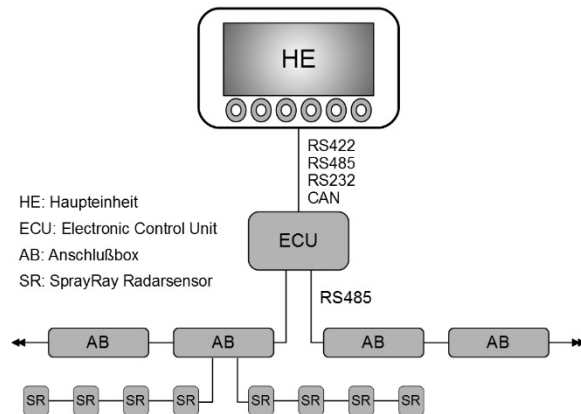
Die SprayRay Radarsensorik mit der dargestellten Methode der Sprüherfassung wird von MSO in zwei Varianten implementiert.

Variante 1. SprayRay industrial : smart Sensor mit integrierter Verarbeitung, teach-in Funktionalität im Prozess und online Echtzeit Bewertung der Signaturabweichung

Variante 2. SprayRay: Radarsensor ohne Eigenintelligenz für komplexe Sprühsysteme z.B. Pflanzenschutzgeräte zur Einbindung mit Komponenten des SprayMon Überwachungssystems

4. SprayMon : Systemlösung zur Überwachung der Arbeitsqualität von Düsen in komplexen Sprühsystemen

SprayMon implementiert eine modulare und flexible Systemlösung zur Überwachung der Arbeitsqualität von Düsen in z.B. Pflanzenschutzgeräten zur Nachrüstung und vereinfachten Integration für Erstausrüster.



Das SprayMon System zur Nachrüstung (s. Bild 4) besteht aus, in einem seriellen Bussystem RS485 verketteten Anschlußboxen an der jeweils acht SprayRay Sensoren fest verdrahtet angeschlossen sind. Die Anschlußboxen sind mit einem linken und einem rechten Zweig an einer ECU Electronic Control Unit angeschlossen.

Bild 4: SprayMon System und Komponenten

Die ECU ist über optional diverse serielle Bussysteme an eine Haupteinheit angeschlossen. Bei der Haupteinheit des MSO SprayMon Nachrüstsystems handelt es sich um einen robusten Linux Bordcomputer, auf dem die eigens entwickelte Überwachungssoftware läuft.

Das MSO SprayMon System zur Nachrüstung wird im Einsatz an einem Pflanzenschutzgerät beim Sprühen kalibriert. Die Radarsignatur aller Düsen des Pflanzenschutzgerätes wird im Betrieb erfasst und eine mittlere Radarsignatur ggf. in definierbaren Düsendgruppen zusammengefasst als Bezugsgröße (Normalsignatur) ermittelt. Die SprayRay Sensoren werden hierauf kalibriert. Die Radarsignatur jeder einzelnen Düse wird im Betrieb mit der aktuellen Normalsignatur verglichen, wobei die Normalsignatur entsprechend der Fahrgeschwindigkeit gefiltert wird. Bei Abweichungen, die über einen vom Benutzer einstellbaren Schwellwert hinausgehen, alarmiert das SprayMon System. Die betreffende(n) Düsennummer(n) werde(n) angezeigt. Der Alarm wird solange angezeigt wie die Alarmbedingung fortbesteht oder bis der Alarm quittiert wurde.

Die MSO SprayMon Software enthält die Funktionalitäten zur Sensor Enumeration, Kalibrierung, Visualisierung, Gruppenbildung, Speichern und Laden von Konfigurationen, Diagnose sowie automatisierte in-field Programm-Updates mittels SD-Card.

Das SprayMon System ist zur vereinfachten Integration in Erstausrüster Systeme vorbereitet.

5. Ergebnisse, Feldeinsatz

Es wurde eine Vielzahl von Tests zur Evaluierung des Lösungsansatzes an Einzeldüsen durchgeführt. Hierzu wurde ein Teststand aufgebaut in dem Düsen eingesetzt und die Erfassung mit SprayRay Sensoren umfangreich erprobt wurde. Exemplarisch werden hier einige Ergebnisse aufgezeigt.

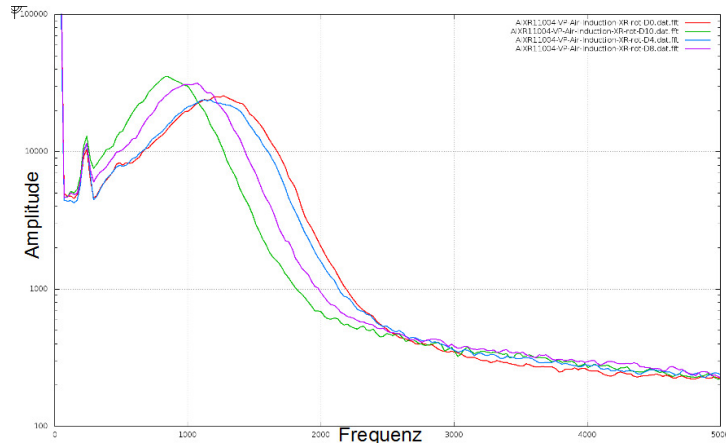


Bild 5 zeigt die Radarsignaturen derselben Flachstrahldüse TeeJet AIXR110025-VP-Air-Induction-XR-rot die bei unterschiedlichen Drücken aufgenommen wurden.

Bild 5: SprayRay Radarsignaturen derselben Flachstrahl Düse bei verschiedenen Drücken

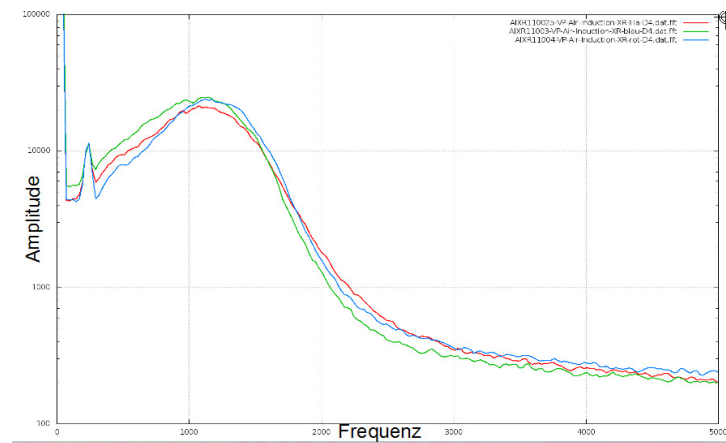


Bild 6 zeigt die Radarsignaturen der gleichen Flachstrahldüsen AIXR 110025-VP-Air-Induction-XR bei demselben Druck, die sich nur in den Durchsatz Farbkodierungen lila, blau und rot unterscheiden.

Bild 6: SprayRay Radarsignaturen der gleichen Flachstrahl Düse mit unterschiedlicher Durchsatzkodierung

Zu Testzwecken wurden von einem Düsenhersteller gleiche Flachstrahldüsen mit unterschiedlichen Abrasionsstufen mittels Sprühen einer Emulsion von feinem Quarzsand bereit gestellt.

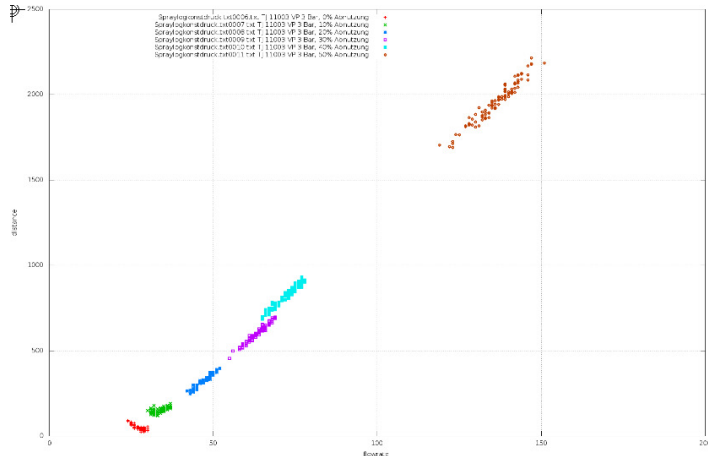


Bild 7 zeigt die ermittelte Distanz der Radarsignaturen an gleichen Düsen unterschiedlichen Verschleißgrades (Abrasionsstufen) im Vergleich zu einer neuen Düse ermittelt im SprayRay industrial smart Sensor.

Bild 7: Distanz bei unterschiedlichen Abrasionsstufen

Das von MSO entwickelte SprayMon Überwachungssystem zur Nachrüstung wurde über eine Saison an einem Pflanzenschutzgerät für Flächenkulturen („Feldspritze“) in der Praxis eingesetzt.



Bild 8: Anbringung der SprayRay Sensoren und des MSO SprayMon Bordcomputers

Mit 32 SprayRay Sensoren wurde die mittige Teilarbeitsbreite von 16 m der Feldspritze mit gesamt 33 m Arbeitsbreite überwacht.

Das Feedback der Benutzer war sehr positiv. Optimierungsvorschläge zur Darstellung und Benutzerschnittstelle wurden umgesetzt.