

## The Development of a Sensor System for the Spraying Area Monitoring of Forging Processes

To guarantee consistent conditions and thus high component quality in hot forging, measurable process parameters must be recorded with precision. In the area of cooling lubrication, lubricants and supply air are currently monitored with the help of pressure sensors before they exit the spray nozzle. To record

possible impairments of the nozzle through dirt or false settings of spray parameters, the Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM – Institute for Forming and Forming Machines) developed a sensor system that reliably monitors the spray mist and detects possible sources such as uneven lubricant application.

# Entwicklung eines Sensorsystems zur Sprühfeldüberwachung von Schmiedeprozessen

Dipl.-Ing. Ingo Lücken, Hannover und Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens

Zur Gewährleistung von konstanten Bedingungen und somit hohen Bauteilqualitäten in der Warmmassivumformung

müssen die messbaren Prozessparameter exakt erfasst werden. Im Bereich der Kühlschmierung werden derzeit das Schmiermittel und die Ausblasluft mit Hilfe von Drucksensoren vor dem Austreten aus dem Sprühkopf überwacht. Um mögliche Beeinträchtigungen der Düse durch Verschmutzung oder falsche Einstellungen der Sprühparameter zu erfassen, wurde am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen Hannover (IFUM) ein Sensorsystem entwickelt, das den Sprühnebel zuverlässig überwacht und mögliche Fehlerquellen, wie beispielsweise eine ungleichmäßige Kühlschmiererausbringung detektiert.

Die in der Warmmassivumformung auftretenden mechanischen und thermischen Belastungen bewirken eine starke Schädigung der Werkzeugoberfläche. Die zur Wärmeabfuhr aus den Schmiedegesenken eingesetzten Sprühsysteme arbeiten zumeist mit einem hohen Überschuss an Kühl- und Schmiermitteln. Aus diesem Grund werden alternativ vermehrt Minimalmengenschmiersysteme eingesetzt. In diesem Fall wird eine teure und aufwendige Aufbereitung beziehungsweise Entsorgung dieser Verbrauchsmittel vermieden.

In der Praxis werden in der Warmmassivumformung bereits unterschiedliche Sensoren eingesetzt, um einen stabilen und reproduzierbaren Prozess zu realisieren. Je nach Anwendungsgebiet unterscheiden

sich die Sensoren in ihrem Aufbau und ihren Eigenschaften. Die Unterteilung und Gruppierung erfolgt entweder nach der zu erfassenden physikalischen Zustandsgröße (Druck, Temperatur, Kraft) oder nach dem Wirkprinzip des Sensorelements (thermisch, optisch, magnetisch).

Im Bereich der Sprühsysteme werden derzeit die Luft- beziehungsweise Kühlschmierdrücke sowie die Sprühzeiten überwacht und geregelt. Grundsätzlich ist eine Erfassung der Tropfengröße und -verteilung im Sprühfeld mit einem Phasen-Doppler-Velozimeter realisierbar. Dessen Prinzip beruht dabei auf dem optischen Dopplereffekt. Darüber hinaus lassen sich der Sprühnebel und dessen Ausbreitung mit Hilfe von Hochgeschwindigkeitskamera-

systemen erfassen und analysieren. Für diese Überwachungssysteme ist eine gute Zugänglichkeit der Presseninnenräume notwendig. Insbesondere in der Industrie ist diese aufgrund der kompakten Bauweise, der Peripherie und bestehender Sicherheitsbestimmungen stark eingeschränkt.

Aus dieser Motivation heraus wurde am IFUM ein deutlich kostengünstigeres Überwachungssystem entwickelt, das die Ausbreitung des Sprühnebels erfasst und direkt auswertet. Ziel dabei war eine Vermeidung der Beeinflussung des Sprühfelds durch das Sensorsystem. Darüber hinaus sollten geometrische Abweichungen in der Sprühfeldausbreitung erfasst werden können und im Sprühfeld ausgewertete Fehler an den Bediener ausgegeben werden.

Sensoren unterschiedlicher Funktionsprinzipien wurden im Labormaßstab umgesetzt und getestet. Im Einzelnen wurden drei verschiedene Konzepte für die Überwachung von Schmierstoffnebeln ausgearbeitet. Zunächst wurde ein auf den Grundprinzipien eines kapazitiven Sensors beruhendes Konzept getestet. Bei diesem System verändert sich das Dielektrikum zwischen den Kondensatorplatten infolge des auftretenden Sprühnebels, sodass eine Änderung der messbaren Kapazität erfasst wird. Weitere untersuchte Konzepte basieren auf der Methode des Stromflusses vom Gesenk zu ins Sprühfeld eingebrachten Sensoren und untereinander. Beispielhaft ist der schematische Versuchsaufbau für die Durchflutungsmessungen in Bild 1 dargestellt.

Zur Auswahl der optimalen Überwachungsmethode von Sprühnebeln wurden die unterschiedlichen Konzepte untersucht. Die Messverläufe wurden auf ihre Charakteristik hin bewertet. Hierbei lieferte die kapazitive Erfassungsmethode kein ausreichendes Auflösungsvermögen der Messverläufe. Da die Messtechnik zudem kostenintensiv ist, wurde die Konstruktion eines kapazitiven Überwachungssystems für Sprühnebeln in der Warmmassivumformung nicht weiter verfolgt.

Demgegenüber stellen die Durchflutungsmessungen ein Prüfverfahren mit einer relativ einfachen und kostengünstigen Sensorik dar. In Bild 2 ist beispielhaft ein Messverlauf der Durchflutungsmessungen dargestellt. Die Messverläufe erlauben eine genaue Analyse der Sprühfeldeigenschaften. Es lassen sich eindeutig die unterschiedlichen Phasen der Nebelausbildung einem bestimmten Abschnitt im Messverlauf zuordnen. Auftretende Störeffekte, wie Verstopfungen der Düse oder Veränderungen der Betriebsparameter der Schmierstoffanlage, lassen sich auf diese Weise bei allen drei Durchflutungsvarianten, die als Längs-, Quer- und Längs-Quer-Durchflutungsmessungen deklariert wurden, zuverlässig detektieren.

Bei der Längsdurchflutung ist die einzusetzende geringe Spannungsquelle als nachteilig zu bewerten, da die Stärke des Messsignals mit zunehmendem Abstand zwischen Düse und Gesenkbereich deutlich abnimmt. Zudem ist eine zuverlässige Flächenerfassung des Sprühfelds mittels der Längsdurchflutung nicht möglich. Hierzu bietet die Querdurchflutung die Möglichkeit, über eine größere Anzahl an Elektroden eine größere Anzahl an Messpunkten in einer Ebene des Sprühfelds zu erfassen. Für die Überwachung von vier unterschiedlichen Messpunkten müssen für diese Methode acht Elektrodenspitzen im Sprühnebel positioniert werden. Die Feldeigenschaften werden hierdurch maßgeblich beeinflusst.

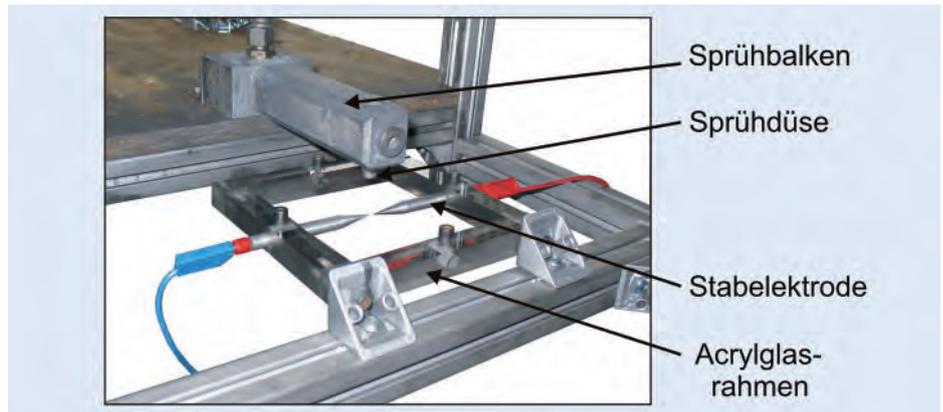


Bild 1: Versuchsaufbau für die Durchflutungsmessungen.

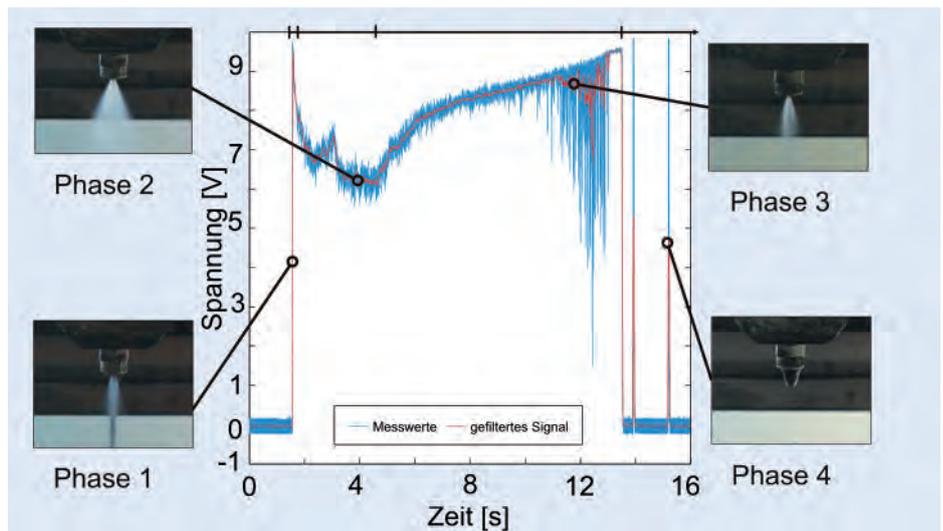


Bild 2: Messverlauf der Durchflutungsmessungen.

Demgegenüber stellt die Längs-Quer-Durchflutung eine Alternative für eine flächendifferenzierte Sprühfeldüberwachung dar. Hier ist pro Messpunkt lediglich eine Elektrode ins Sprühfeld einzubringen, sodass eine Halbierung der einzubringenden Sensoren möglich ist. In diesem Fall erfolgt der Stromfluss von der Düse schräg über die Seitenbereiche des Sprühkegels zu den Elektrodenspitzen. Auf diese Weise lassen sich Störungen wie ein Druckabfall oder die inhomogene Ausbildung des Sprühnebels zuverlässig detektieren. Der für diese Art der Sprühfeldüberwachung schematische Übersichtsplan ist in Bild 3 dargestellt.

Die Spannungspotenziale einer Gleichspannungsquelle werden an den Sprühbalken und an die einzelnen Elektroden angebracht, sodass vier parallel geschaltete Stromkreise entstehen. Mit dem Einsetzen des Sprühvorgangs werden diese Stromkreise über den zerstäubten

Schmierstoffnebel geschlossen und ein Stromfluss zwischen Düse und Elektrode stellt sich ein. Über vier Widerstände in den Stromkreisen lassen sich die charakteristischen Spannungswerte der Elektroden erfassen.

Neben einer symmetrischen Positionierung der Elektroden im Sprühfeld muss eine elektrische Isolierung der einzelnen Elektroden zur Umwelt sowie untereinander zur Vermeidung von Kriechströmen gewährleistet werden. Die Rahmenkonstruktion wurde aus einem Teflonring mit Gewindebohrungen für die Stabelektroden konstruiert. Für eine ausreichend

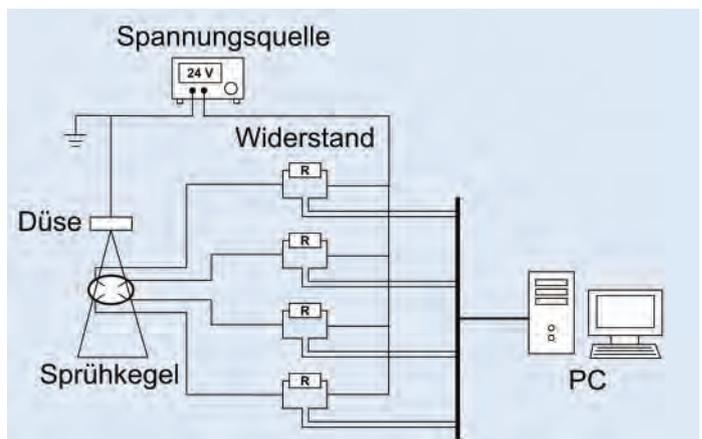


Bild 3: Schematischer Übersichtsplan mit vier Sensoren.

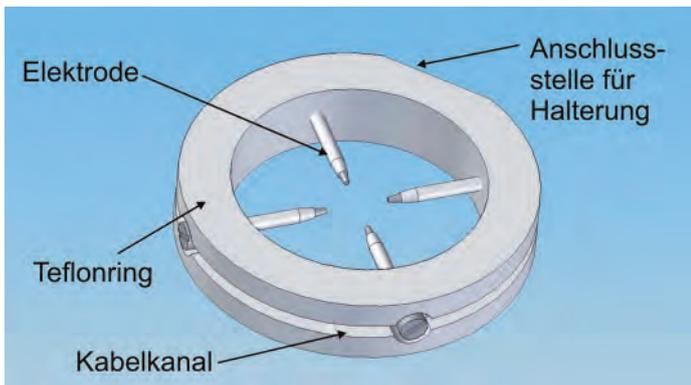


Bild 4: Isolierender Haltering mit vier Elektroden.

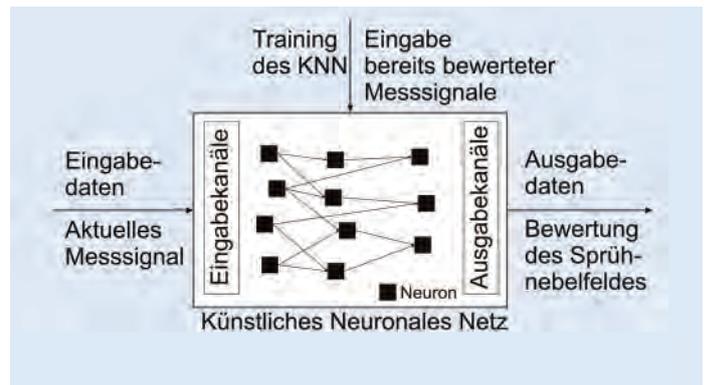


Bild 6: Schematischer Ablaufplan des KNN.

Bilder: Autoren

hohe Flächenerfassung des Sprühnebels wurden vier Elektroden ausgewählt. Der Aufbau der ringförmig angeordneten Sensoren ist in Bild 4 dargestellt.

Zur Führung der Kabel zu den vier Elektroden ist eine Nut in den Teflonring eingebracht, die als Kabelkanal fungiert. Auf diesem Weg werden die Messdaten an die Auswerteeinheit übertragen. Das entwickelte System ist zunächst für die Überwachung von kegelförmigen Sprühfeldern in der Warmmassivumformung konzipiert worden. Neben den kegelförmigen Sprühfeldern lassen sich durch eine Modifikation der Sensorelemente ebenfalls komplexere Sprühfeldgeometrien überwachen.

In Bild 5 ist der schematische Aufbau eines Sprühkopfs mit dem konzipierten System dargestellt. Zur Überwachung der Sprühnebelausbreitung sind zwei Kontrollsysteme vorgesehen. Eine parallele Überwachung der Sprühnebel für das Ober- und für das Untergesenk ist somit möglich.

Eine einfache Halterung in Winkelform ermöglicht die Einbringung der Sensoren in die Sprühfelder oberbeziehungsweise unterhalb der Düse. Eine Veränderung der Entfernung zur Düse wird durch gezielte Einstellung der Abstandplatten zwischen der Halterung und dem Sprühbalken möglich. Die Auswertung der aufgenommenen Messwerte kann aus praktischen Gründen nicht nach jedem Sprühzyklus manuell erfolgen. Insbesondere

für eine Online-Prozessüberwachung würde diese Aufgabe zusätzlich dem Bediener des Schmiedeprozesses zufallen. Zur schnelleren und einfacheren Signalverlaufsanalyse wurde ein Künstliches Neuronales Netz (KNN) mit der Software MATLAB/Simulink erstellt. Der Ablaufplan des KNN ist schematisch in Bild 6 dargestellt. Das KNN ermöglicht es, die Merkmale je nach eingebrachter Störung anhand der unterschiedlichen Signalverläufe zu bestimmen und diese bezüglich auftretender Fehlerursachen einzuordnen.

Zunächst wurden bereits erfasste Prozessdaten zum Trainieren des KNN verwendet. Auf dieser Grundlage kann das Kühlschmierüberwachungssystem autonom entscheiden, ob die Signalverläufe des aktuell gemessenen Prozesses einen korrekten oder fehlerbehafteten Sprühzyklus widerspiegeln. Um die Informationsausgabe weitestgehend bedienerfreundlich zu gestalten, gibt das

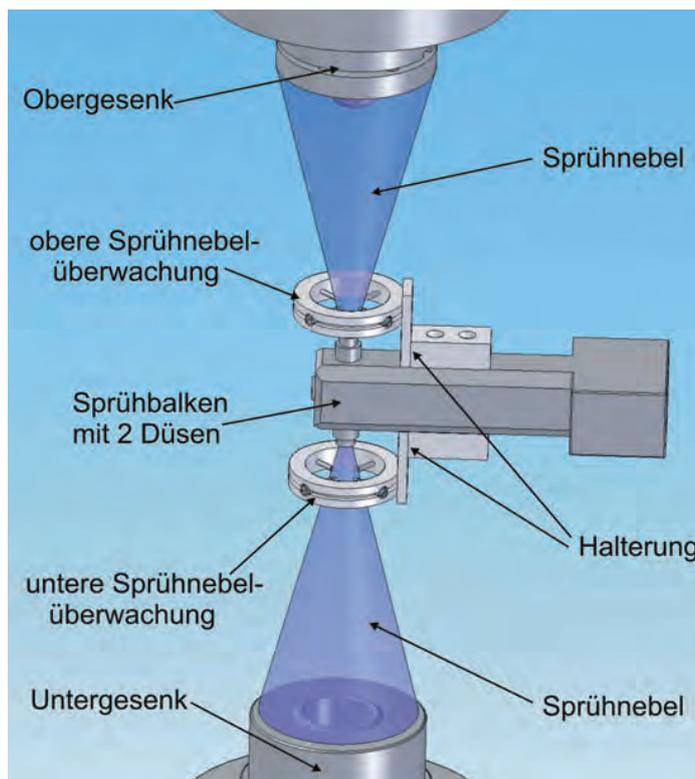


Bild 5: Überwachung der Sprühnebfelder für Ober- und Untergesenk.



Dipl.-Ing. Ingo Lücken



Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens

KNN die Zustände „Funktionsfähig“ (grün), „Eingeschränkt Funktionsfähig“ (gelb) und „Außer Betrieb“ (rot) aus. Bei Störungen im Sprühfeld wird zunächst die Meldung „Eingeschränkt Funktionsfähig“ (gelb) ausgegeben. Sollte sich das Problem innerhalb weniger Sprühzyklen durch den anliegenden Sprühdruck von selbst lösen, wird wieder der Zustand „Funktionsfähig“ (grün) angezeigt. Bei einer anhaltenden Störung wird vom KNN der Betriebszustand „Außer Betrieb“ (rot) gemeldet. Die betroffene Sprühdüse ist dann manuell auszutauschen.

Mit dem entwickelten Sprühnebelüberwachungssystem für die Warmmassivumformung ist es möglich, Fehler beim Kühlschmierern zuverlässig zu detektieren und die Ergebnisse in einfacher Form an den Bediener auszugeben. Eine konstant hohe Bauteilqualität sowie die Gewährleistung von hohen Werkzeugstandzeiten sind die Folge.

#### Danksagung

Die Entwicklung des Sprühfeldüberwachungssystems erfolgte im Rahmen des Forschungsvorhabens Nr. BE 1691/89-1 der Deutschen Forschungsgesellschaft DFG: „Entwicklung eines sensorlosen Systems zur Überwachung der Kühlschmierung für die Massivumformung“.

Das vorgestellte System ist am 07.09.2011 zum Patent angemeldet worden.