

Application Report

Application report: AR289
Industry section: Inkjet printing
Author: Stefan Benn, Dr. Thomas Willers
Date: 04/2019



Method:



Drop Shape Analyzer – DSA Inkjet

Keywords: inkjet printing, drop watching, surface tension, viscosity, drop volume, drop velocity, satellite drops

Wie Wellenform, Oberflächenspannung und Viskosität das Jettingverhalten beim Inkjetdruck beeinflussen

Eine Illustration grundlegender Zusammenhänge mit dem Drop Shape Analyzer – DSA Inkjet

Die Tropfenerzeugung an einer piezobasierten Inkjetdüse ist ein Zusammenspiel von der Geometrie des Druckkopfes, den Flüssigkeitsparametern wie Oberflächenspannung und Viskosität sowie der Wellenform, mit welcher das Piezoelement angesteuert wird. Hier präsentieren wir mit dem Drop Shape Analyzer – DSA Inkjet exemplarisch anhand einer einfachen, trapezförmigen Wellenform und simpler Modellflüssigkeiten, wie diese Größen das Jetting-Verhalten bestimmen.

Bei Messungen mit dem DSA Inkjet können die gewünschten Druckparameter zunächst festgelegt werden, um danach über die Trigger-Funktion des Messinstruments die Erzeugung der Tropfen mit deren Bilderfassung und Analyse zu synchronisieren. Für solche Bildanalysen verfügt das DSA Inkjet über ein neuartiges optisches Verfahren. Relevante Parameter wie Volumen und Geschwindigkeit der Tropfen, Ligamentlänge und Anzahl der Tropfenteile liegen innerhalb kürzester Zeit vor, was die Durchführung von Studien wie der hier vorliegenden vereinfacht oder überhaupt erst ermöglicht. Für einige unterstützte Druckkopfmodelle besteht darüber hinaus die Möglichkeit, mit einer integrierten Druckelektronik und einem einfach zu bedienenden Wellenformeditor den Druckkopf direkt anzusteuern. Diese Option wurde im Rahmen dieser Studie genutzt.



Hintergrund

Bei der Tropfenerzeugung nach dem DOD-Verfahren (Drop-on-Demand) ist die Wellenform zur Ansteuerung des Piezoelements entscheidend dafür, wie die Flüssigkeit aus der Düse gejetet wird. Außerdem bestimmen Oberflächenspannung (OFS) und Viskosität zusammen mit dem Düsendurchmesser, ob eine Flüssigkeit überhaupt und ohne übermäßige Satellitenbildung gejetet werden kann [1]. Um die Tropfen hinsichtlich Volumen, Geschwindigkeit und Satellitenbildung für einen gegebenen Druckkopf zu optimieren, können sowohl die OFS und Viskosität der Tintenrezeptur als auch die Wellenform adaptiert werden.

In dieser Studie illustrieren wir dieses Zusammenspiel anhand wasserbasierter, einfacher Modellflüssigkeiten.

Experimentelles

Untersuchte Flüssigkeiten

Tabelle 1 fasst die Haupteigenschaften der untersuchten Modellflüssigkeiten zusammen. Die OFS wurde mithilfe zweier Tenside (bezeichnet mit A und B) der Firma BYK Chemie (Wesel, Deutschland) variiert, welche häufiger für Tintenrezepturen verwendet werden. Flüssigkeiten verschiedener Viskositäten wurden durch Mischungen von Wasser mit Glycerin erzeugt, welches ebenfalls ein typischer Bestandteil von Tinten ist.

Tab. 1: Verwendete Testflüssigkeiten. Die Prozentangaben und Mischungsverhältnisse sind auf die Masse bezogen.

Testflüssigkeit	OFS [mN/m]	Viskosität [mPas]
Wasser	72	0,9
Wasser/Glycerin (9:1)	67	1,0
Wasser/Glycerin (1:1)	65	4,0
0,125% BYK-A/H ₂ O	21,4	0,9
0,5% BYK-A/H ₂ O	18	0,9
2% BYK-B/H ₂ O	28,5	0,9
1,8% BYK-B in H ₂ O/Glycerin (9:1)	28,8	1,0

Verwendetes Messinstrument

Alle Messungen wurden mit dem Drop Shape Analyzer – DSA Inkjet von KRÜSS durchgeführt. Das Instrument verfügt über eine eigene, integrierte Druckerelektronik, die mit kompatiblen kommerziellen Druckköpfen kommunizieren kann (s. Abb. 1).



Abb. 1: Aufbau des DSA Inkjet mit montiertem Druckkopf

Die elektronische Ansteuerung erfolgt zu diesem Zweck über einen Wellenformeditor in der ADVANCE Software. Dieser erlaubt die Konstruktion jeder beliebigen Wellenform ganz einfach per *Drag-and-drop*, limitiert lediglich durch die technischen Kennzahlen des Druckkopfs. Bei den hier vorgestellten Ergebnissen wurde ein kompatibler, kommerziell erhältlicher Druckkopf verwendet. Bei nicht direkt kompatiblen Druckköpfen erfolgt die Tropfenerzeugung über eine Trigger-Funktion,

welche synchron mit der Tropfenerfassung im Videobild arbeitet.

Die Analysen der Tropfenerzeugung und des Tropfenfluges werden mit dem so genannten Double-Strobe-Verfahren vorgenommen. Bei dieser Methode wird der sich mit bis zu 40 m/s bewegende Tropfen von zwei aufeinanderfolgenden Blitzern beleuchtet, die ein Einzelbild der Kamera doppelt belichten. So werden zwei Bilder des Tropfens in sehr kurzen Zeitabständen erzeugt.

Für das DSA Inkjet wurde das Double-Strobe-Verfahren revolutioniert: Unter Verwendung einer Farbkamera wird statt mit weißen Lichtblitzen je einmal mit rotem und dann mit blauem Licht geblitzt. Durch Trennung der Farbkanäle können die beiden Tropfenabbildungen überlagerungsfrei voneinander separiert werden.

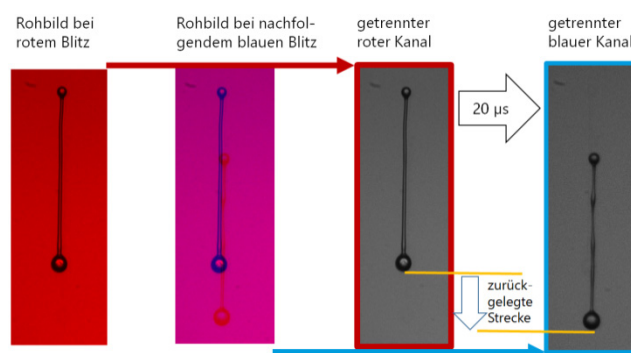


Abb. 2: Bilderzeugung im DSA Inkjet. Zu einer vorgegebenen Verzögerungszeit nach dem Piezopuls wird in Rot geblitzt. Nach einer weiteren Zeit (hier 20 µs) wird das gleiche Bild in Blau belichtet. Dann werden die Farbkanäle getrennt, was z. B. die Bestimmung der Tropfengeschwindigkeit erlaubt.

Diese Zweifarbentechnologie ermöglicht im Gegensatz zu der herkömmlichen Weißlichtmethode immer eine eindeutige Zuordnung des Tropfenbildes zu dem jeweiligen Blitz.

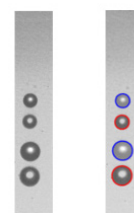


Abb. 3 Doppelbelichtetes Bild eines fliegenden Tropfens; rechts mit Konturerkennung. Die Software ordnet die Bilder dem roten und blauen Blitz und somit den jeweiligen Zeitpunkten automatisch und eindeutig zu und versieht die Tropfen mit Umrandungen in den entsprechenden Farben.

Aufwändige Analysen der zeitlichen Entwicklung, um z. B. Satellitentropfen den Muttertropfen zuzuordnen, gehören der Vergangenheit an. Zudem sind Informationen zugänglich, die sonst verborgen bleiben, etwa wenn Satellitentropfen im zweiten Bild Tropfenteile des ersten Bildes überlagern.

Ergebnisse

Wasser mit verschiedenen Pulshöhen

Abb. 4 zeigt den Tropfenflug von Wassertropfen, gejetet mit einem Puls von 8 μs Länge und einer Höhe von 9 bis 21 V. Unter den Tropfenbildern sind die Zeitpunkte des roten und blauen Lichtblitzes angegeben.

Bei den Abbildungen für 15, 17 und 19 V, welche die Entstehung von Satellitentropfen zeigen, wäre diese Zuordnung im herkömmlichen Weißlichtverfahren schwierig bis unmöglich.

Ab 21 V konnten keine Tropfen mehr gejetet werden; der Tropfen oszilliert lediglich am Ausgang der Düse.

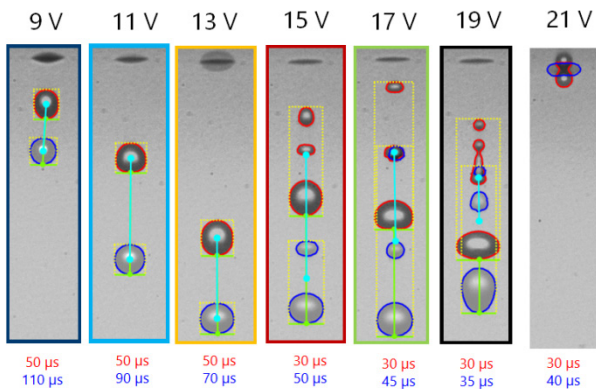


Abb. 4: Bilder von Wassertropfen, dosiert mit einem Puls von 8 μs Länge bei verschiedenen Pulshöhen

Die Bildanalyse erfasst eine große Zahl von Ergebnisparametern, wobei die jeweils zugrundeliegenden Bilddaten mithilfe von Einblendungen visualisiert werden können. Die gelben Umrandungen zeigen die Höhe und Breite der Tropfen bzw. der Ligamente oder auch der Tropfenschar im Fall von Satellitentropfen an. Der untere Scheitelpunkt des (untersten) Tropfens wird als Tropfenfront mit einem grünen Punkt markiert. Die grüne Verbindungslinie steht für die Strecke und Richtung (Flugbahn) der Tropfenfront. Das Volumen der Tropfen bzw. der zusammengefassten Tropfenteile wird ebenfalls berechnet. Außerdem ermittelt die Software den Masseschwerpunkt, im Bild mit hellblauen Punkten dargestellt. Die hellblaue Verbindungslinie zeigt Strecke und Richtung bezogen auf den Massenschwerpunkt an.

Die Tropfenbilder in Abb. 4 belegen, dass mit steigender Pulshöhe die Tropfen eine vergleichbare Strecke in kürzerer Zeit zurückgelegt haben, die Tropfen also schneller geworden sind. Dieser erwartbare, annähernd lineare Zusammenhang geht aus einer Auftragung der Ergebnisse (Abb. 5) deutlich hervor:

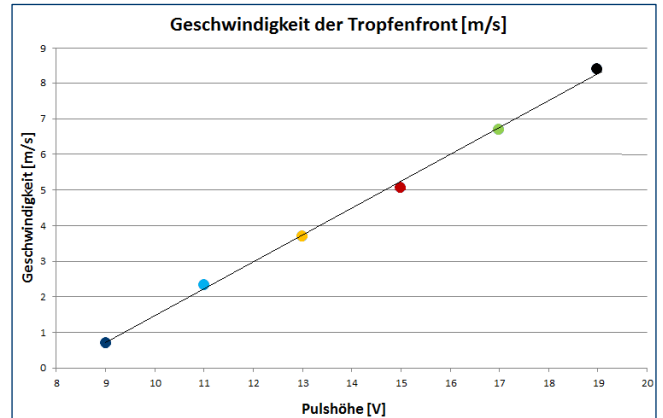


Abb. 5: Mit ADVANCE ermittelte Geschwindigkeit der Tropfenfront als Funktion der Pulshöhe. Die Farben der Datenpunkte korrespondieren mit den Umrahmungen der entsprechenden Tropfenbilder in Abb. 4.

Einfluss von OFS und Viskosität auf Jetbarkeit und Satellitenbildung

Abb. 6 zeigt die Tropfenerzeugung bzw. den Tropfenflug für fünf der Flüssigkeiten bei einer gleichbleibenden Wellenform von 8 μs und 21 V.

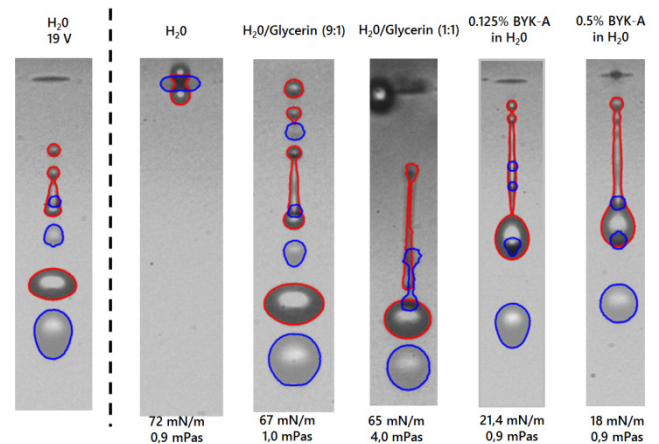


Abb. 6: Tropfen verschiedener Flüssigkeiten, jeweils gejetet mit 21 V und 8 μs . Ganz links ist die Tropfenerzeugung für Wasser mit 19 V Pulshöhe zu sehen.

Da Wasser mit 21 V nicht gejetet werden konnte, zeigt Abb. 6 links auch die Tropfenerzeugung mit dem höchstmöglichen Puls von 19 V. Am Beispiel der beiden Wasser/Glycerin-Mischungen wird sichtbar, wie eine Erhöhung der Viskosität bei annähernd gleichbleibender OFS die Anzahl der erzeugten Satelliten verringert. Ein analoger Effekt wird am Beispiel der Tensidlösungen beobachtet: Ein Absenken der OFS bei gleichbleibender Viskosität hemmt die Satellitenbildung.

Einfluss von Pulshöhe, OFS und Viskosität auf Tropfenvolumen und -geschwindigkeit

Die Abbildungen 7 (oben und unten) zeigen jeweils die Tropfengeschwindigkeit und das Tropfenvolumen für die verschiedenen Testflüssigkeiten als Funktion der Pulshöhe bei gleichbleibender Pulsweite.

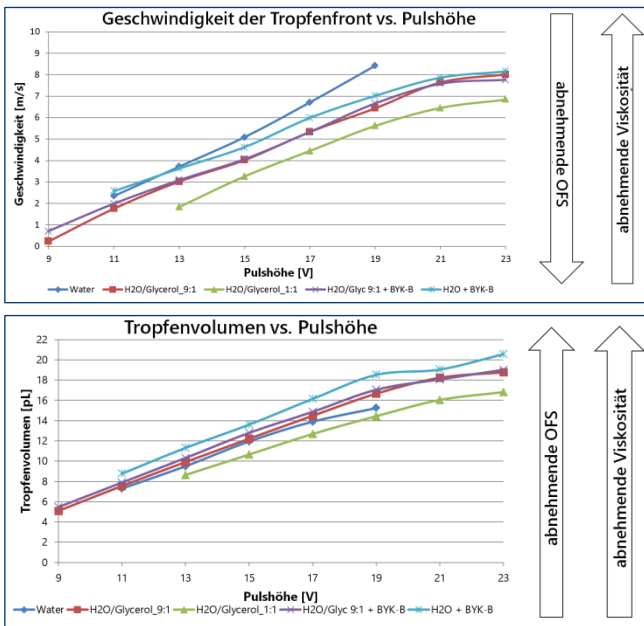


Abb. 7: Geschwindigkeit der Tropfenfront (oben) und Tropfenvolumen (unten) für Flüssigkeit unterschiedlicher OFS und Viskosität bei unterschiedlicher Pulshöhe

Aus den Abbildungen geht hervor, dass für alle getesteten Flüssigkeiten sowohl Tropfenvolumen als auch Tropfengeschwindigkeit annähernd linear mit der Pulshöhe ansteigen. Außerdem ist zu erkennen, dass die Tropfengeschwindigkeit mit steigender OFS oder sinkender Viskosität steigt. Das Tropfenvolumen steigt mit sinkender OFS sowie mit sinkender Viskosität der Flüssigkeit.

Einfluss der Pulsweite auf die Tropfengeschwindigkeit

Abschließend bestimmen wir exemplarisch eine für ein gegebenes Druckkopf-Tintensystem charakteristische Größe, deren Messung sinnvollerweise zu den Standardtests gehört. Es handelt sich um die Pulsweite, bei der die maximale Tropfengeschwindigkeit erzielt wird. Abb. 8 zeigt die Tropfengeschwindigkeit als Funktion der Pulsweite bei einer Pulshöhe von 9 V für eine Lösung von 2% BYK-B in Wasser. Man erkennt die typische Verdopplung der Tropfengeschwindigkeit bei einer relativ scharf umrissenen Pulsweite.

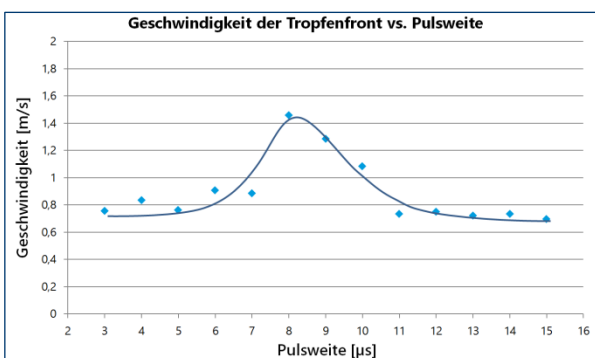


Abb. 8: Geschwindigkeit der Tropfenfront als Funktion der Pulsweite bei einer Pulshöhe von 9 V für eine Lösung von 2% BYK-B in Wasser

Dieses Maximum wird durch die Geometrie des Druckkopfes und die Schallgeschwindigkeit in der Flüssigkeit bestimmt. Wenn die Pulsweite in Resonanz mit der Laufzeit der akustischen Druckwelle im Druckkopf ist, überlagern sich primäre und reflektierte Welle konstruktiv, was eine Verdopplung der Tropfengeschwindigkeit bewirkt.

Zusammenfassung

Das DSA Inkjet ermöglicht schnelle und präzise Analysen von Tintentropfen unmittelbar nach dem Jetten. Den für diese Studie verwendeten Druckkopf haben wir mit einem trapezförmigen Piezopuls angesteuert und wasserbasierte Testflüssigkeiten mit variiertem Oberflächenenergie (OFS) und Viskosität gejetet. Auf diese Weise konnten wir folgende, grundlegende Zusammenhänge zur Tropfenerzeugung illustrieren:

- Das Volumen und die Geschwindigkeit des Tropfens steigen annähernd linear mit der Pulshöhe.
- Eine Verringerung der OFS hemmt Satellitenbildung.
- Eine Erhöhung der Viskosität hemmt Satellitenbildung.
- Eine Verringerung der OFS verringert die Tropfengeschwindigkeit.
- Eine Verringerung der OFS erhöht das Tropfenvolumen.
- Eine Verringerung der Viskosität erhöht die Tropfengeschwindigkeit und das Tropfenvolumen.
- Wenn die Pulsweite in Resonanz mit der Laufzeit der akustischen Druckwelle im Druckkopf ist, kann die Tropfengeschwindigkeit verdoppelt werden.

Literatur

[1] Brian Derby, Inkjet Printing of Functional and Structural Materials: Fluid Property Requirements, Feature Stability, and Resolution. Annu. Rev. Mater. Res. 2010. 40: 395–414

Auf unserer Webseite finden Sie viele weitere interessante Applikationsberichte unter <https://www.kruss-scientific.com/service/schulung-theorie/literatur/applikationsberichte/>