

Erfassung & Charakterisierung des Kraftstoffsprays von Hochdruckeinspritzventilen für Benzin-Direkteinspritzung

Dauer der Arbeit: 6 Monate

Abschluss: Juni 2015

Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Dieter Fritsch

Betreuer: Helge Dageförde (Robert Bosch GmbH)

Einleitung

Aufgrund von erhöhten Anforderungen an den Kraftstoffverbrauch und die Emission von Schadstoffen müssen Kraftfahrzeuge sparsamer und schadstoffärmer werden. Zur Effizienzsteigerung kommt die Benzin-Direkteinspritzung (BDE) zum Einsatz. Bei dieser wird der Kraftstoff direkt in den Brennraum des Motors eingebracht. In Abbildung 1 ist der Einspritzvorgang bei der Benzin-Direkteinspritzung dargestellt.



Abbildung 1 Einspritzvorgang der Benzin-Direkteinspritzung [<http://www.bosch-presse.de/presseforum/details.htm?txtID=6406>]

In dieser Arbeit wird das Sprühverhalten von Einspritzventilen für die Benzin-Direkteinspritzung untersucht. Je besser das Sprühverhalten eines solchen Ventils analysiert und optimiert werden kann, desto besser kann die BDE selbst optimiert werden. Dies geschieht an einem Prüfstand für die Analyse von Einspritzventilen. An diesem existiert bereits eine optische Messtechnik zur Vermessung von BDE-Einspritzventilen, welche eine Aufnahme pro Einspritzung erstellt. Im Rahmen dieser Arbeit wird der Messaufbau weiterentwickelt und der gesamte Einspritzvorgang mit Hilfe einer

Hochgeschwindigkeitskamera erfasst. Die Hauptaufgabe dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Auswerterroutine, welche die geometrische Sprayauswertung dieser Videoaufnahmen ermöglicht. Durch optische Vermessung soll eine Charakterisierung des Sprühverhaltens von Einspritzventilen ermöglicht werden.

Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau ist schematisch in Abbildung 2 dargestellt. Der Injektor wird in eine Spraykammer eingebaut, in dieser herrscht keine Ladungsbewegung und das Kraftstoffgemisch wird nicht gezündet. Das untersuchte Spray lässt sich durch optische Zugänge beobachten. Kamera und Beleuchtung sind für ein Durchlichtverfahren aufgebaut. Der eingespritzte Kraftstoff wird bei einer Aufnahme als Schatten auf dem Kamerasensor detektiert.

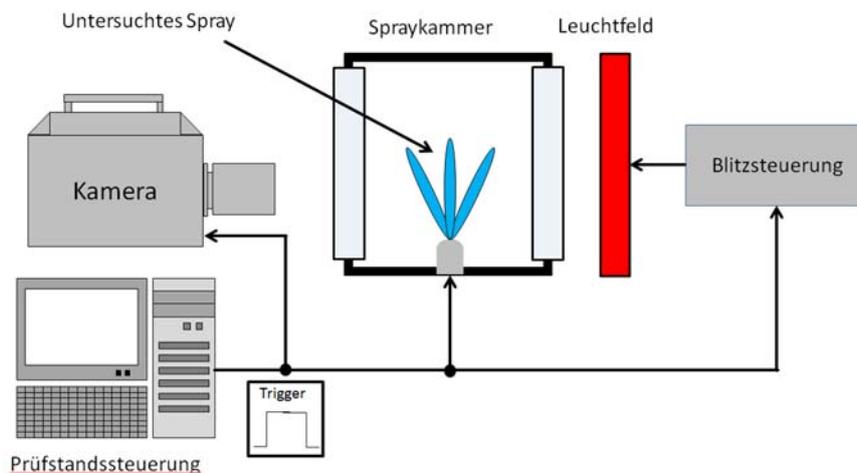


Abbildung 2 Versuchsaufbau

Abbildung 3 zeigt ein Bild aus einer mit diesem Versuchsaufbau erstellten Aufnahme. Diese Aufnahmen sollen vermessen werden. Für jeden untersuchten Injektor werden mehrere Aufnahmen aufgezeichnet, da das Spray eines Injektors sich von Einspritzung zu Einspritzung nicht exakt gleich verhält.



Abbildung 3 unbearbeitete Aufnahme

Implementierung

Die Auswertung der Einzelbilder erfolgt mittels einer in der Bildverarbeitungssoftware Halcon umgesetzten Auswerterroutine. Der Ablauf der Auswertung ist in Abbildung 4 schematisch dargestellt.

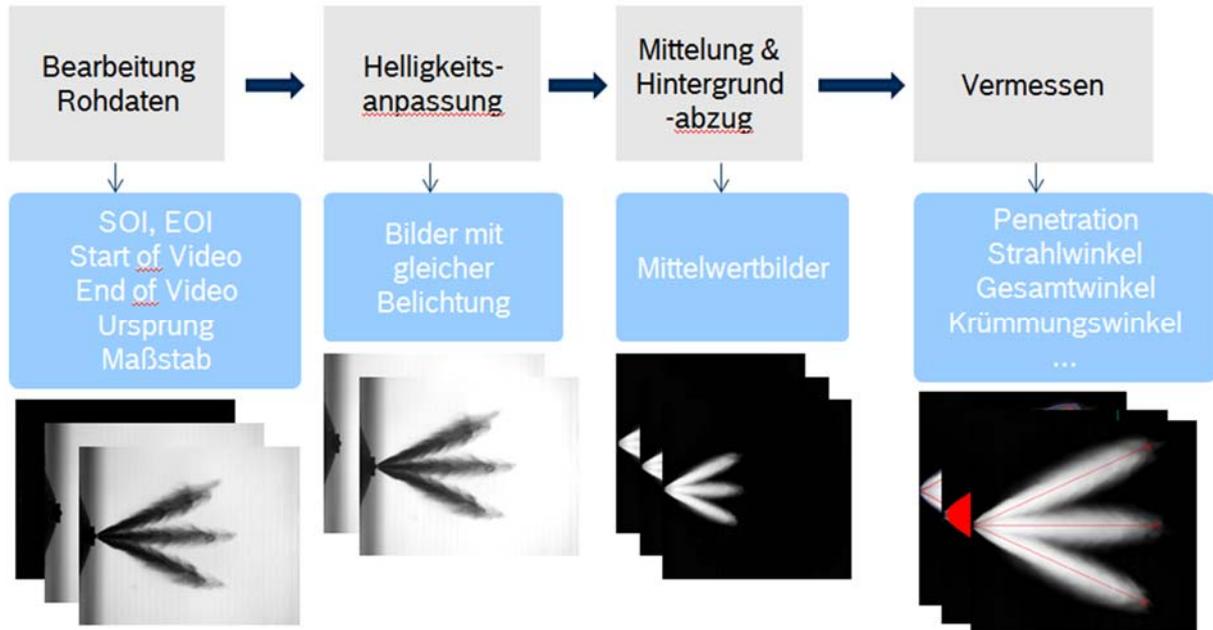


Abbildung 4 Schematischer Aufbau der Auswertung

Die Auswertung beginnt mit einer Verarbeitung der Rohdaten. Für jede einzelne Einspritzung werden der jeweilige Beginn und das jeweilige Ende der Einspritzung über Schwellenwertverfahren detektiert. Im Zuge dieser Rohdatenverarbeitung wird über ein Template-Matching Verfahren mit anschließender Kantendetektion die Position und Breite der Injektorspitze bestimmt. Das Ergebnis einer solchen Detektion ist in Abbildung 5 zu sehen. Die Breite der Spitze wird für die Bestimmung des Maßstabs genutzt.

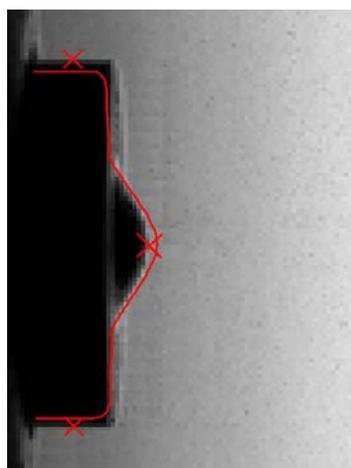


Abbildung 5 Ergebnis Detektion Injektorspitze

Als nächste Schritte folgen eine Helligkeitsanpassung und eine Mittelwertbildung mit Hintergrundabzug. Die Helligkeitsanpassung dient dem Zweck gleichbleibende Helligkeiten zu erhalten und so eine deutliche Vereinfachung der Auswertung zu ermöglichen. Der Hintergrundabzug dient zur Isolation des Sprays vom Hintergrund. Da sich das Spray von Einspritzung zu Einspritzung nicht gleich verhält, wird die Mittelwertbildung durchgeführt. Diese bildet den Mittelwert der Bilder mehrerer Einspritzungen zum gleichen Zeitpunkt.

Um das Verhalten des Sprays zahlenmäßig erfassen zu können, werden mehrere Vermessungsalgorithmen entwickelt. Die Ergebnisse dieser Algorithmen sind beispielhaft in Abbildung 6 dargestellt.

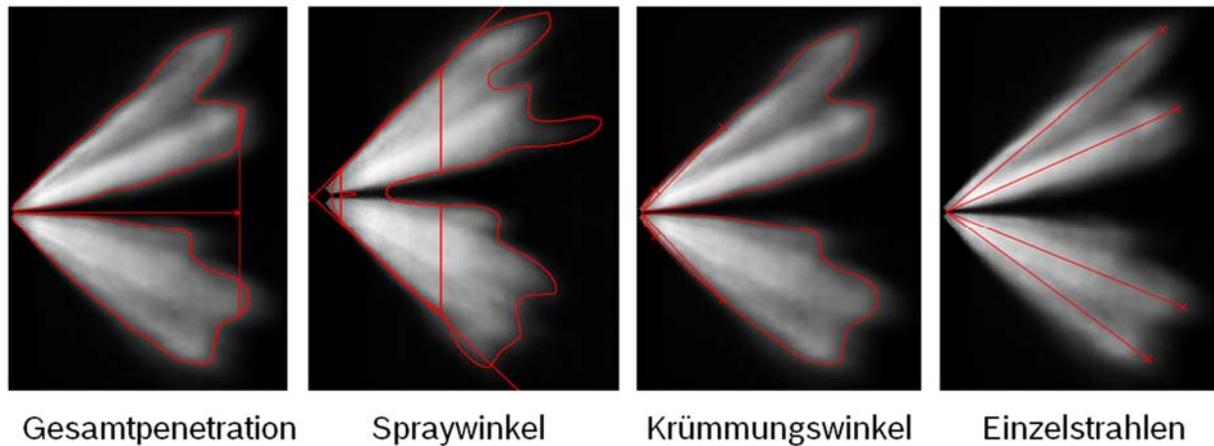


Abbildung 6 Vermessungsalgorithmen

Die Vermessung der Gesamtpenetration gibt Aufschluss darüber, wie weit das Spray in den betrachteten Raum in horizontaler Richtung eindringt. Für die Beurteilung des Penetrationsverhaltens eines Injektors ist dies essentiell. Bei einer Veränderung des Betriebspunktes eines Injektors (Kraftstofftemperatur, Kraftstoffdruck und Gegendruck) wird dieses Verhalten entscheidend geändert, durch die Vermessung der Gesamtpenetration lässt sich diese Änderung festhalten.

Der Spraywinkel gibt Auskunft über den Gesamtkegelwinkel eines Sprays. Er wird über das Anlegen von Tangenten an die Spraykante bestimmt. Der Vergleich des gemessenen Spraywinkels mit einem Referenzwinkel (Auslegungswinkel) erlaubt es außerdem eine Aussage über die Spraykontraktion, d.h. die Abnahme des Spraywinkels, zu treffen.

Der Krümmungswinkel gibt Aufschluss darüber, wie stark die Spraykante gekrümmt ist. Hierzu wird das Spray mit zwei Ebenen in fest definierten Abständen zur Injektorspitze geschnitten. Die Breite des Sprays in den Schnittebenen wird bestimmt, hieraus lassen sich entsprechende Winkel bilden. Die Differenz der beiden Winkel ergibt den Krümmungswinkel. Die Krümmung des Sprays erlaubt eine Aussage über die Spraykontraktion zu treffen.

Die Vermessung der Einzelstrahlen ermöglicht es, die Ausrichtung der einzelnen Strahlen zu prüfen. So lässt sich das Spraylayout überprüfen. Aufgrund der nur im kalten Zustand klar erkenntlichen Strahlen ist diese Vermessung nur im kalten Zustand gut durchzuführen.

Zusammenfassung

Es wurde eine Auswerterroutine zur Verarbeitung und Vermessung von Einspritzsequenzen von Hochdruckinjektoren für Benzin-Direkteinspritzung entwickelt. Die Einspritzvorgänge wurden mittels einer Hochgeschwindigkeitskamera im Gegenlichtverfahren aufgezeichnet. Die Verarbeitung und Vermessung der Spraybilder ermöglicht eine Charakterisierung des Sprühverhaltens von Einspritzventilen und bildet so eine wichtige Eingangsgröße für die Brennverfahrensentwicklung.