



Liebe Leserschaft

Ludwigsburg, Dezember 2022

Die Automobilindustrie befindet sich am Anfang einer riesigen Transformation. Mit Blick auf die ambitionierten Klimaziele der verschiedenen Länder, steht der herkömmliche Antriebsstrang mit einem Benzin- oder Dieselerbrennungsmotor mittel- bis langfristig vor dem Aus. Andere Konzepte wie Elektrofahrzeuge oder Brennstoffzellenfahrzeuge stehen höher im Kurs aufgrund ihres Potenzials, signifikante Reduktionen im CO₂-Ausstoss zu ermöglichen. Allerdings bietet auch der Verbrennungsmotor einen Weg zur CO₂ freien Mobilität, nämlich dann, wenn er statt mit Benzin oder Diesel, z.B. mit Wasserstoff betrieben wird, der mittels Elektrolyse aus regenerativer Energie erzeugt wurde. Welche Technologie sich in welcher Region der Welt für welche Anwendung (PKW, LKW, Off-road...) durchsetzen wird, ist momentan schwer abzusehen. Für viele Unternehmen bedeutet das, dass man in die verschiedenen Technologien Entwicklungsaufwand stecken muss, was wiederum mit sehr hohen Entwicklungskosten verbunden ist. Anders ausgedrückt, muss mit dem konventionellen Verbrennungsmotor noch möglichst lange Geld verdient werden, um die Entwicklung der Zukunftstechnologien finanzieren zu können. Als Entwicklungsingenieur bei Bosch bekomme ich dieses Spannungsfeld aus nächster Nähe mit.

Eine Möglichkeit, die Entwicklungskosten zu reduzieren, ist der virtuelle, datengetriebene Entwicklungsprozess, bei welchem die Simulation eine entscheidende Rolle in der Produktentwicklung spielt.



Was hinter dem Begriff «virtueller Entwicklungsprozess» steckt, soll, anhand des Beispiels einer Einspritzdüse für direkteinspritzende Benzinmotoren dargestellt werden (siehe Bild links).

Als Komponentenzulieferer ist es die Aufgabe von Bosch, dass die eigene Komponente (in diesem Fall die Einspritzdüse) in dem Motor des Kunden bestmöglich funktioniert, sprich die Kundenanforderungen bzgl. Leistung, Verbrauch, Emissionen etc. erfüllt werden. Bei der Optimierung des Einspritzdüsendesigns für diese Zielsetzung spielt die numerische Strömungssimulation (CFD) eine entscheidende Rolle. Die Simulation des Einspritzvorgangs in den Zylinder ist eine Kombination verschiedener Phänomene (turbulente Mehrphasenströmung, Sprayaufbruch, Tropfenverdampfung, Wandfilmbildung etc.), die

entweder aufgelöst oder modelliert werden müssen. Dabei stellt sich immer wieder die Frage: wie detailliert muss die Simulation sein, um die Zielsetzung zu optimieren, ohne dass die Rechendauer und -kosten explodieren? Um diese Frage zu beantworten ist eine Validierung, also der Abgleich der Simulation mit Messergebnissen, notwendig. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Skalen zwischen den Löchern der Einspritzdüse (einige hundert Mikrometer) und der Zylinderbohrung (Größenordnung von ca. 100 Millimeter im PKW Bereich) macht es wenig Sinn, sowohl die Injektor-Innenströmung als auch die Gemischbildung im Zylinder in der gleichen Simulation zu betrachten, weil die dadurch benötigte Gitterauflösung einen enormen Rechenaufwand zur Folge hätte. Zur Vereinfachung wird deshalb ein gekoppelter Ansatz gewählt, wobei in einem ersten Schritt die Injektor-Innenströmung simuliert wird, um anschließend mit

entweder aufgelöst oder modelliert werden müssen. Dabei stellt sich immer wieder die Frage: wie detailliert muss die Simulation sein, um die Zielsetzung zu optimieren, ohne dass die Rechendauer und -kosten explodieren? Um diese Frage zu beantworten ist eine Validierung, also der Abgleich der Simulation mit Messergebnissen, notwendig. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Skalen zwischen den Löchern der Einspritzdüse (einige hundert Mikrometer) und der Zylinderbohrung (Größenordnung von ca. 100 Millimeter im PKW Bereich) macht es wenig Sinn, sowohl die Injektor-Innenströmung als auch die Gemischbildung im Zylinder in der gleichen Simulation zu betrachten, weil die dadurch benötigte Gitterauflösung einen enormen Rechenaufwand zur Folge hätte. Zur Vereinfachung wird deshalb ein gekoppelter Ansatz gewählt, wobei in einem ersten Schritt die Injektor-Innenströmung simuliert wird, um anschließend mit

entweder aufgelöst oder modelliert werden müssen. Dabei stellt sich immer wieder die Frage: wie detailliert muss die Simulation sein, um die Zielsetzung zu optimieren, ohne dass die Rechendauer und -kosten explodieren? Um diese Frage zu beantworten ist eine Validierung, also der Abgleich der Simulation mit Messergebnissen, notwendig. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Skalen zwischen den Löchern der Einspritzdüse (einige hundert Mikrometer) und der Zylinderbohrung (Größenordnung von ca. 100 Millimeter im PKW Bereich) macht es wenig Sinn, sowohl die Injektor-Innenströmung als auch die Gemischbildung im Zylinder in der gleichen Simulation zu betrachten, weil die dadurch benötigte Gitterauflösung einen enormen Rechenaufwand zur Folge hätte. Zur Vereinfachung wird deshalb ein gekoppelter Ansatz gewählt, wobei in einem ersten Schritt die Injektor-Innenströmung simuliert wird, um anschließend mit

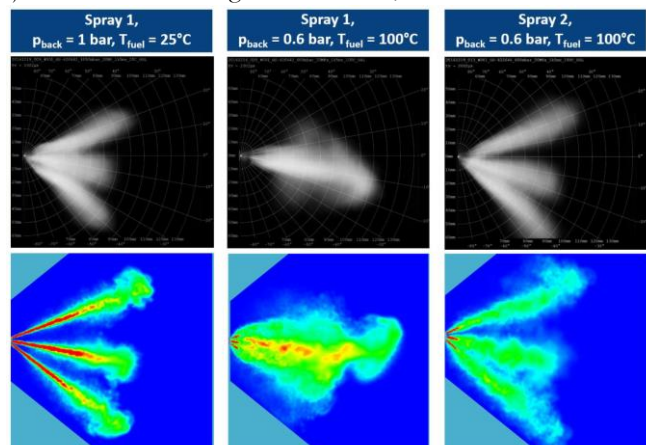
Dieser Ansatz wurde in den letzten Jahren immer weiter verfeinert, lässt sich aber natürlich nicht direkt auf die zukünftigen Technologien übertragen. Doch das Know-how im Bereich der Automatisierung von Simulationsworkflows, der Validierung mit Messdaten und der Optimierung basierend auf großen Datensätzen, wird auch für die Produktentwicklung anderer Antriebsarten entscheidend sein.

MAM wünscht Ihnen frohe Festtage
Cyrill Mandanis

MANDANIS ANGEWANDTE MECHANIK GMBH

Dynamik – Statik – mathematische Modelle – Produktentwicklung für Innovative Zwecke
Geschäftssystem nach ISO 9001

Georges Mandanis, dipl. Ing. ETH/SIA – Bergstrasse 113 – 6010 Kriens – Schweiz
T: +41 312 07 10 – F: +41 312 07 11 – gmmandanis@bluewin.ch – mandanis.ch



Einfluss von Kraftstofftemperatur und Gegendruck für zwei verschiedene Einspritzdüsen: Shadowgraphy Messungen (oben); CFD Simulation mit in Blickrichtung gemittelter Dichteverteilung (unten) [1]

[1] P. Leick et. al, "Impact of flash-boiling on gasoline sprays: from fundamental physical insights to engine-measured PN emissions", in 13th International AVL Symposium on Propulsion Diagnostics, 2018