

Befüllung von SCR-Tanksystemen unter Extrembedingungen

# Mehrphasen-CFD-Analyse zur Schadstoffreduzierung

Die FES GmbH Fahrzeug-Entwicklung Sachsen positioniert sich als erfolgreicher Dienstleister für Automobilhersteller und Zulieferer mit vielfältigen Entwicklungsprojekten in den Bereichen Gesamtfahrzeug, Fahrwerk sowie Karosserie und setzt dafür auch verstärkt Simulationssoftware ein.



Neben strukturmechanischen FE-Analysen und Multiphysik-Simulationen werden unter anderem numerische Strömungsberechnungen mit ANSYS CFD durchgeführt. Diese reichen von stationären CFD-Analysen im Rahmen der Auslegung und Optimierung von Abgasanlagen bis hin zu instationären Mehrphasen-CFD-Analysen zur Befüllung von Tanksystemen.

Eine aktuelle Themenstellung ist die Befüllung von SCR-Tanksystemen (Selective Catalytic Reduction) von Personenkraftwagen (Pkw) unter Extrembedingungen. Dabei dienen instationäre Strömungsberechnungen mit ANSYS Fluent sowohl zur Unterstützung der Versuche als auch als Basis für die Optimierung.

Die SCR-Technologie wird zur Abgasnachbehandlung von Fahrzeugen mit Dieselmotoren eingesetzt, um Anforderungen aktueller und zukünftiger Abgasnormen für

Kraftfahrzeuge hinsichtlich des Ausstoßes von Stickoxiden ( $\text{NO}_x$ ) zu erfüllen. Dabei wird AdBlue, eine Harnstoff-Wasser-Lösung, in den Abgasstrang zugeführt und zu Ammoniak und  $\text{CO}_2$  umgesetzt. Das Ammoniak reagiert im SCR-Katalysator bei hoher Temperatur mit den Stickoxiden im Abgas zu Stickstoff und Wasser, wodurch der Schadstoffausstoß, insbesondere der Stickoxide, reduziert wird.

## Steigender AdBlue-Verbrauch

Mit dem in Zukunft zu erwartenden ansteigenden AdBlue-Verbrauch ist trotz zunehmendem SCR-Tänkinhalt bei Personenkraftwagen davon auszugehen, dass es erforderlich wird, zwischen den Service-Intervallen AdBlue nachzutanken. Im Gegensatz dazu werden SCR-Tanks von Lastwagen (Lkw) bereits mit Hilfe spezieller Zapfpistolen befüllt. Dabei beträgt der

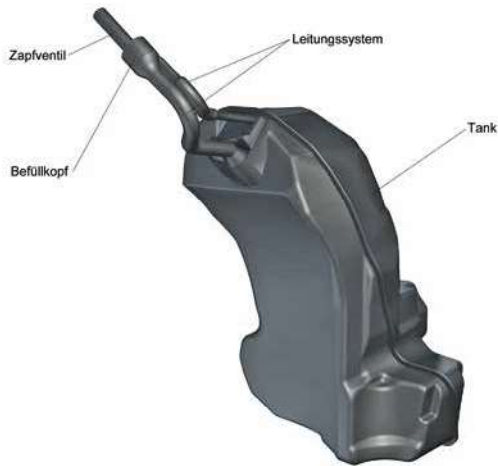
Volumenstrom durch die Lkw-Zapfpistole bis zu 40 l/min. Die Betankung der SCR-Tanks mittels Lkw-Zapfpistole ist bereits für eine Auswahl von Personenkraftwagen freigegeben. Daher ist dieses Szenario unter extremen Bedingungen zu analysieren und bei erkannten Problemen sind entsprechende Abhilfemaßnahmen abzuleiten.

Diese Untersuchungen lassen sich sowohl mit Versuchen als auch mit Mehrphasen-CFD-Analysen durchführen und erfordern einen gewissen Aufwand für den Gewinn an Erkenntnis. Die Simulation kann den Versuch sinnvoll ergänzen, um das Verständnis für die Wirkmechanismen zu erzielen und sowohl Kosten als auch Zeitaufwand für die Auslegung und Optimierung von Tanksystemen zu verringern. Im Vergleich zum Versuch bietet die CFD-Simulation trotz neuer Rapid-Prototyping-Verfahren wie 3D-Printing den Vorteil, relativ schnell und einfach Modifizierungen und Optimierungen vorzunehmen.

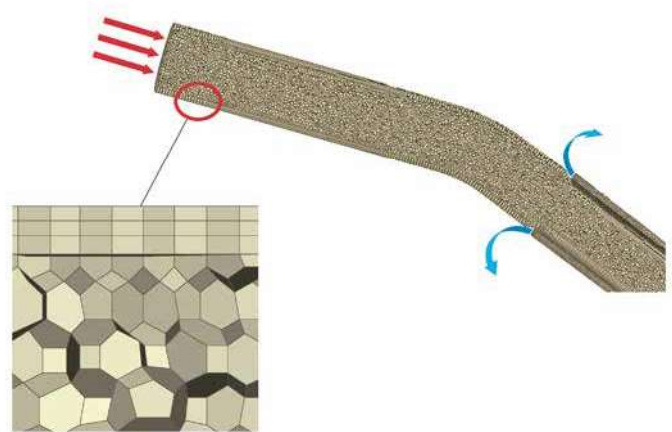
## Instationäre und mehrphasige Strömung

Für die CFD-Analyse mit ANSYS Fluent wurde das SCR-Tanksystem eines Personenkraftwagens (Bild 1) als Polyedernetz aus etwa 150.000 Schalenelementen und 700.000 Volumenelementen (Bild 2) modelliert. Grundlage der Strömungsberechnung ist eine instationäre und mehrphasige Strömung. Dabei wird in ANSYS Fluent das Volume-of-Fluid-Modell (VOF) mit zwei Phasen nach Euler verwendet. AdBlue ist hierbei als primäre Phase und Luft als sekundäre Phase definiert. Das VOF-Modell erfordert darüber hinaus die Verwendung des druckbasierenden Solvers.

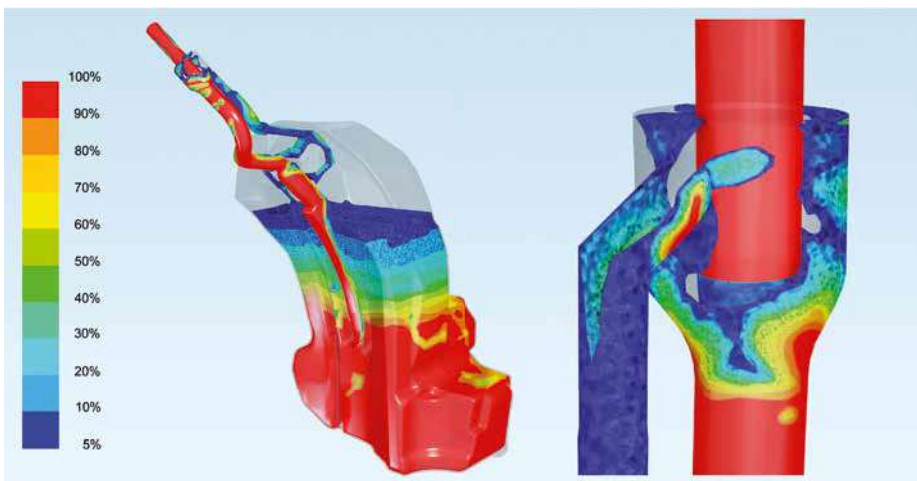
Als Randbedingungen wird neben der allgemeinen Wanddefinition das Inlet mit



**Bild 1:** Aufbau eines SCR-Tanksystems (einschließlich Ausschnitt der Zapfpistole).



**Bild 2:** Ausschnitt aus CFD-Modell mit Inlet (rot) und Outlet (blau).



**Bild 3:** Tankbefüllung – Gesamtansicht des SCR-Tanksystems mit Zapfventil und des Befüllkopfs im Detail (Darstellung des Volumenanteils von AdBlue größer 5 Prozent).

einem AdBlue-Massenstrom von 0,7267 kg/s, was einem Volumenstrom von 40 l/min entspricht, und das Outlet mit Umgebungsdruck definiert.

Für die Simulationen werden eine feste Zeitschrittweite von  $10^{-3}$  Sekunden sowie eine maximale Anzahl von fünf Iterationen pro Zeitschritt vorgegeben. Diese grobe Zeitschrittweite ist erforderlich, um die Berechnungsdauer in einem akzeptablen Rahmen zu halten. Sie liefert hinreichend genaue Ergebnisse, mit denen sich Trends für das bestehende System sowie für Anpassungen in Hinblick auf Optimierungen aufzeigen lassen. Die Berechnung erfolgt implizit, da aufgrund der gewählten Zeitschrittweite und der groben Vernetzung keine Konvergenz mit dem expliziten Solver erzielt werden kann. Für eine höhere Ergebnisgenauigkeit sind explizite Berechnungen mit variabler Zeitschrittweite und einer feineren Vernetzung notwendig.

Die CFD-Berechnung des typischen Anwendungsszenarios umfasst den voll-

ständigen Befüllvorgang des leeren Tanks sowie das Leerlaufen der Zapfpistole nach dem Abschaltzeitpunkt. Mit der gewählten Zeitschrittweite beträgt die Berechnungsdauer rund 40 Stunden unter Verwendung von 32 CPUs. Um die Rechenzeit zu reduzieren, lässt sich die Berechnung mit einem vorgefüllten Tank und unter Vorgabe eines Vordruckes im Tanksystem durchführen. Hierbei ist zu beachten, dass der Tank nur zu einem bestimmten Maße vorgefüllt werden darf, um sicherzustellen, dass sich der Druck im Inneren aufbauen kann, was Einfluss auf das Befüllverhalten des gesamten SCR-Tanksystems hat und somit nicht vernachlässigt werden kann.

### Übereinstimmung von Simulation und Versuch

Die Simulation zeigt in guter Übereinstimmung mit den Versuchen, dass es beim hier untersuchten Konstruktionsstand im Extremfall des großen Volumenstroms von

40 l/min zu einem Herausspritzen von Ad-Blue während der Befüllung kommt (Bild 3). Neben dem Volumenstrom hat auch die Stellung der Zapfpistole bei der Betankung einen nicht vernachlässigbaren Einfluss auf das Strömungsverhalten im Tanksystem. Dies ließ sich durch weitere Versuche und Simulationen nachweisen. Auf Grundlage der Ergebnisse wurden Abhilfemaßnahmen sowie weitergehende Optimierungen des SCR-Tanksystems festgelegt, um den Ad-Blue-Austritt bei großen Volumenströmen zu verringern oder komplett zu verhindern.

Die mehrphasigen CFD-Analysen mit ANSYS Fluent haben sich als geeignete Ergänzung zur Erprobung erwiesen, speziell in Hinblick auf die Bewertung des Strömungsverhaltens bei der Befüllung von Tanksystemen. Sowohl bei der Produktentwicklung als auch bei der Optimierung ist der CFD-Einsatz unverzichtbar, um Entwicklungskosten und -zeiten weiter zu reduzieren. Dieser Aspekt wird aufgrund der immer strenger werdenden Abgasnormen in Zukunft auch bei SCR-Tanksystemen stark an Bedeutung gewinnen.



#### InfoAutoren

Kay Hofmann, Sandy Meyer  
FES GmbH Fahrzeug-Entwicklung Sachsen  
www.fes-aes.de

#### InfoAnsprechpartner | CADFEM

Dr.-Ing. Wolfgang Haslinger  
Tel. +49 (0) 80 92-70 05-121  
whaslinger@cadfem.de

Bisherige Veröffentlichung: „Multiphase CFD-Analysis for Filling of an Automotive SCR Tank System under Extreme Conditions with ANSYS Fluent as an Alternative to Tests for Trend Analysis and Optimization“, Präsentation von Sandy Meyer, 13th HZDR & ANSYS Germany Multiphase Flow Conference and Short Course, Dresden (Deutschland), Nov. 2015.