

1. Beispiel: Be- und Entladen von Tankfahrzeugen

In Kooperation mit dem Fachbereich [Grundlagen des Explosionsschutzes](#) wurden Simulationsrechnungen zum Vergleich mit an der PTB durchgeführten Messungen [1] des Austretens von Brennluftstoffgemischen um einen experimentell nachempfundenen Tankauflieger herum modelliert und durchgeführt. Das führt auf eine Brennstoffverteilung durch einen aufprallenden Strahl. Es wurde eine Quellkonzentration von 1.75 Vol% Isooctan zugrunde gelegt. In den Seitenbereichen des Systems wird eine symmetrische Auffächerung des Gemischstromes um das Strahlrohr herum beobachtet. Die Untersuchungen zielten auf die sichere Bestimmung explosionsgefährdeter Bereiche an Tankwagen. Für die Beschreibung der Turbulenz wurde das SST-Modell, eine Kombination von $k-\varepsilon$ und $k-\omega$ – Modell, eingesetzt.

Abbildung 1.1 zeigt schematisch das für die numerische Simulation verwendete ausreichend große Rechengebiet (Zylinderdurchmesser 3m, Höhe 0.25m). Aufgrund der hier gegebenen Rotationssymmetrie kann eine Beschränkung auf ein Viertel des Zylindersystems erfolgen. Der Abstand der Austrittsöffnung des senkrecht im Zentrum angeordneten Strahlrohres (rot) zur Aufpralloberfläche (blau, mit angedeutetem Staupunkt) beträgt wie dessen Durchmesser 5cm. Als Beispiel sind verschiedene Profillinien eingezeichnet. Wir unterscheiden Höhenprofile in verschiedenen lateralen Abständen beginnend von der Rohrwand (grüne Linien). Üblicherweise werden diese Abstände (hier in x-Richtung) auf den Durchmesser d normiert. Gewählt wurden $x/d=4$, $x/d=9$, $x/d=15$, $x/d=24$ und $x/d=33$. Weiterhin betrachten wir für diese Anwendung parallel zur Aufpralloberfläche angeordnete Schichtenprofile (gelbe Linien) in verschiedenen Höhen bis 2cm. Es stehen Schnittebenen zur Verfügung (senkrechte Flächen), die zur Visualisierung von Feldverläufen geeignet sind.

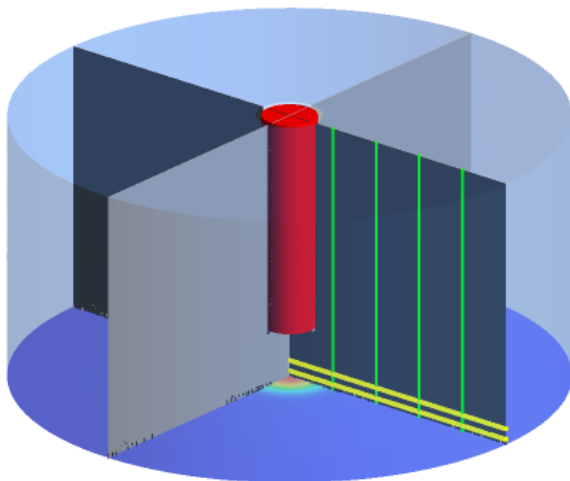


Abbildung 1.1 Zylindrisches Rechengebiet mit geometrischen Objekten zur Auswertung der Simulationsrechnungen (post processing). Beispielsweise kann auf einer Symmetrieebene eine Variablendarstellung mit Iso-Feldlinien erfolgen.

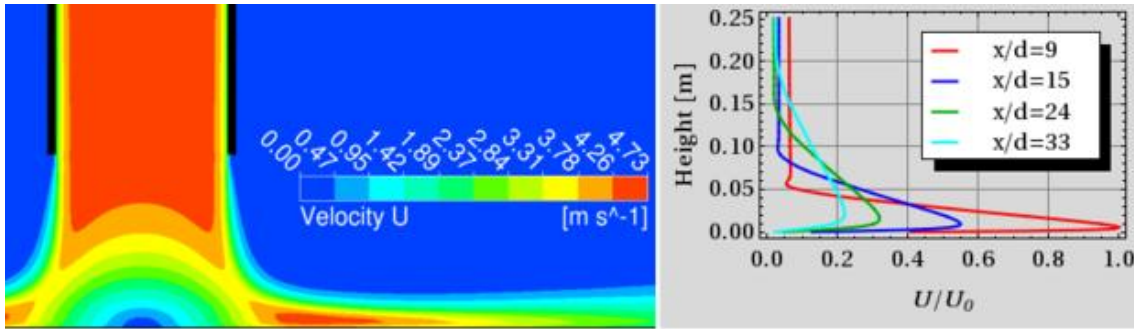


Abbildung 1.2 links: Konturplot der Geschwindigkeit $U = |U|$ mit dem charakteristischen Staupunkt unterhalb des Austritts. Rechts: Den dargestellten Höhenprofilen für das Geschwindigkeitsfeld liegt ein Volumenstrom von 500l/min am Einlass zugrunde. Die Darstellung wurde normiert, dabei bezeichnet U_0 das Maximum der Absolutgeschwindigkeit auf der dem Strahlrohr am nächsten liegenden Höhenlinie. Ebenso können wie in Abbildung 3 dargestellt, die Profile des Konzentrationsverlaufes im Umfeld des Düsenaustritts äquivalent zu vorliegenden Messdaten berechnet werden. Die Quellkonzentration beträgt 1.75% C₈H₁₈ (Isooctan) in Luft.

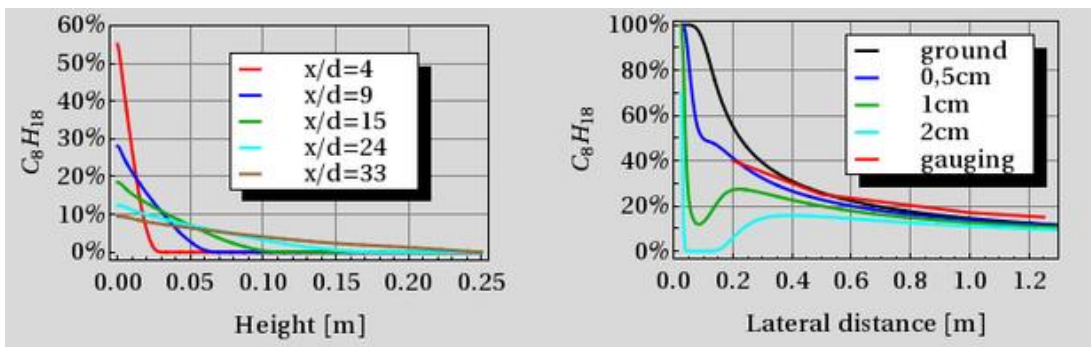
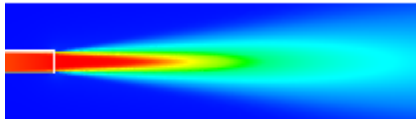


Abbildung 1.3 Höhenprofile (linke Seite) in verschiedenen lateralen Abständen vom Strahlrohr. Mit zunehmender Höhe gegenüber dem Boden verringert sich der Anteil von Kerosin in der Umgebungsluft. Die Schichtdicken des Kerosinteppichs nehmen mit weiterer Entfernung von der Strahlrohrwand ab. Ergänzende Lateralprofile (rechte Seite) verdeutlichen diesen Konzentrationsabbau. Der vorhandene Messdatensatz (rote Kurve) zeigt eine gute Übereinstimmung mit einer 5mm über dem Boden verlaufenden Profilgeraden.

[1] Project: Investigation of formation and spreading of potential explosive mixtures filling and draining airfield tank bowser with kerosene, **Report 2007**.

2. Beispiel: Simulation von nichtreaktiven Freistrahlen

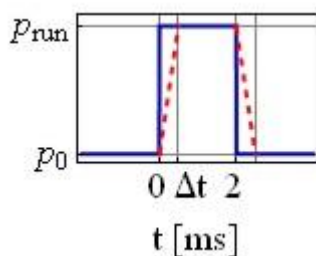
In Kooperation mit der Arbeitsgruppe „Modellierung von Flammendurchtritten“ wurde die Mischungsbruchbestimmung in nichtreaktiven Freistrahlen bearbeitet. Die **stationären** Simulationen gliedern sich in die Variation von verschiedenen konstanten Überdrücken während des Ausströmvorgangs (0.05 - 4bar) bei Verwendung unterschiedlicher Gasgemische (43 % Helium in Luft; 79 % He/Luft und 92 % He/Luft) und Düsendurchmesser d (1mm, 1.2mm, 1.5mm, 2.1mm).



Die linke Abbildung zeigt ein aus einer Düse (mit Durchmesser $d=1\text{mm}$) frei austretendes He-Luft Gemisch mit einem Eingangsdruck von 2bar in ein ruhendes Medium, in dem nun eine Durchmischung mit Verdünnung stattfindet. Es

wurde ein stationärer Fall mit *RANS* simuliert. Der Freistrahler weist hinter dem Auslass den typischen Kernbereich (roter Kegel bei $\sim 6d$) des Geschwindigkeitsfeldes auf und besitzt dahinter eine voll ausgebildete Turbulenz bei einer Reynoldszahl von $Re \sim 10000$. Die Ausprägung des sogenannten Ähnlichkeitsbereiches strahlabwärts ist beginnend bei etwa $10d$ gegeben. Zur Quantifizierung des Vermischungsprozesses werden sowohl Axialprofile (in Strömungsrichtung) als auch Radialprofile (quer zur Strömungsrichtung) benutzt. Gleichzeitig können qualitative Aussagen über die Entwicklung des Geschwindigkeitsprofils in der Strahldüse abgeleitet werden.

Transiente Simulationen mit *URANS*, *SAS* und *DES* sind weitere Schritte, um eine bessere Abbildung des tatsächlichen experimentellen Aufbaus [2] zu erreichen. Der zuvor konstante Überdruck wird nun durch eine impulsgesteuerte Randbedingung zeitabhängig (im Experiment FSI-Ventil) angenommen. In *ANSYS CFD* wird dafür eine *1D Interpolation Funktion* tabelliert.



Das Diagramm zeigt die am Einlass aufgeprägte Druckänderung während einer Pulsinjektion von 2ms beginnend zur Zeit $t=0$.

Danach befindet sich das System wieder im Ruhezustand. Die mögliche Abflachung der Impulsflanken wird durch die Wahl des Integrationszeitschrittes beeinflusst. Zur korrekten Dimensionierung von Gittergröße und Zeitschritt für die vorliegende Fluidgeschwindigkeit wird die *Courant*-Zahl herangezogen. In

Abbildung 2.1 ist die verzögerte Impulsantwort unmittelbar hinter dem Rohrausgang in axialer Richtung dargestellt.

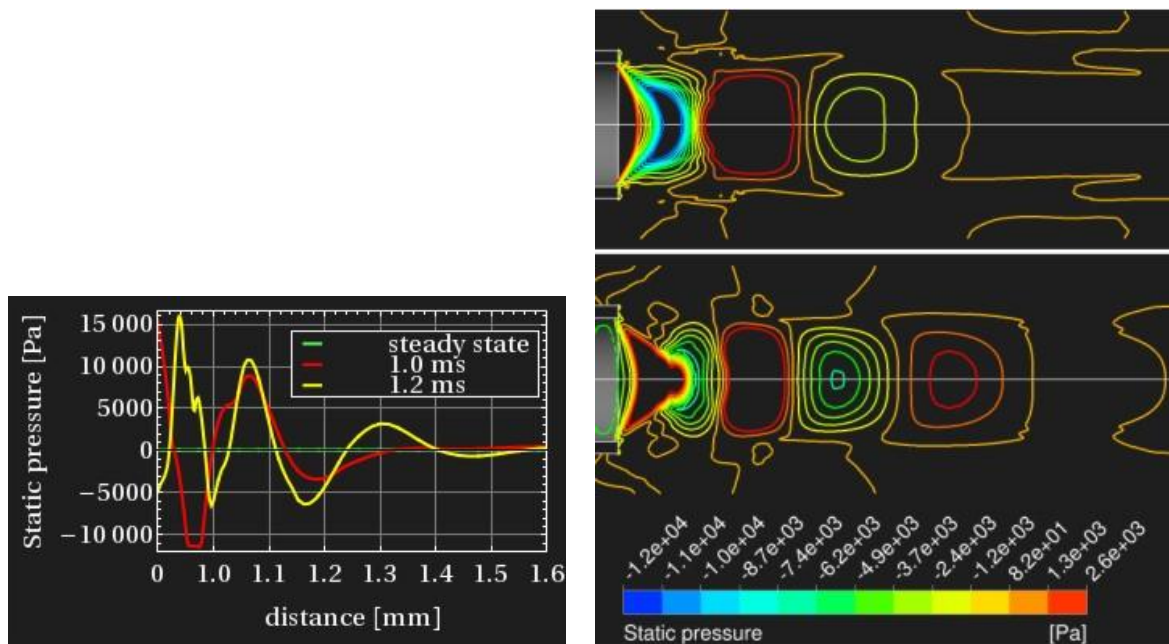


Abbildung 2.1 Impulsantwort am Düsenausgang. Der globale Referenzdruck beträgt 1 bar, das eingeströmte Gasgemisch hat einen Massenanteil von 33% He in Luft. Der stationäre Fall wird durch die grüne Gerade repräsentiert. Hier hat sich ein Druckausgleich eingestellt, es treten keine Gradienten auf. Die Druckverläufe sind für $t=1$ ms (rote Kurve) bzw. $t=1.2$ ms (gelb) nach Auftreten der steigenden Impulsflanke am Einlass mit darunterliegendem Kontourplot gezeigt. Alle Druckangaben sind relativ auf den Referenzdruck bezogen. Die Ortskoordinate ist beginnend am Düsenaustritt in axialer Richtung aufgetragen.

[1] G. Lindner, D. Markus and R. Model (2010). *Non-reactive free jet flow: Comparison of simulations using different turbulence models with reference measurements*. **Proc. 5th Europ. Conf. on Comp. Fluid Dynamics**, ID 01548.

[2] D. Markus, M. Spilling, J. Hornig, U. Klausmeyer, S. Scholl (2). *Mixture Fraction Measurements in Non-Reactive Free Jet Flows*. In **The 20th International Symposium on Transport Phenomena**. ISTP-20 2009. Victoria, BC Canada July 7-10, 2009.