

## Methoden zur Bestimmung der Mischung für hohe Rußmassenströme

Ein Rußpartikelstrom aus einem Generator wird in einer Tunnelstrecke mit einem partikelfreien Luftstrom verdünnt. Einhergehend mit der experimentellen Entwicklung wurden zahlreiche

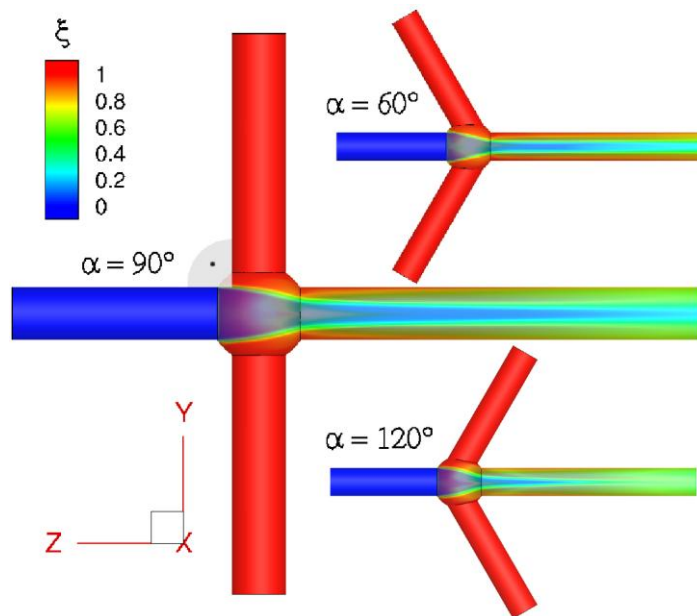


Abbildung 1 Konturplots der Massenfraktion  $\xi$  in der ZY-Ebene mit kugelförmiger Mischkammer und für 3 verschiedene Winkel von  $\alpha = 60^\circ, 90^\circ$ , and  $120^\circ$ . Die Flussrichtung ist von links nach rechts.

geometrische Grundanordnungen der Verdünnungsstrecke untersucht. Deren charakteristische Eigenschaft ist eine dreifache gerade Einlassanordnung, wie sie in Abb. 1 gezeigt wird. Neben dem frontalen Haupteinlass (Rußpartikelstrom) stehen 2 symmetrisch angeordnete Nebeneinlässe (partikelfreie Luftströme) zur Verfügung, über die mit dem jeweils gleichen Volumenströmen die Verdünnungsluft zugeführt wird. Die Flussrichtung ist von links nach rechts, unterschiedliche Eintrittswinkel von  $60^\circ, 90^\circ$  und  $120^\circ$  der Zuführungen sind in der ZY-Ebene dargestellt.

Nach einer 3-dimensionalen Hexaeder-Vernetzung werden durch [RANS](#) Simulationen die Navier-Stokes Gleichungen (NSG) unter Zuhilfenahme eines empirischen Turbulenzmodells ([SST](#)) im stationären Fall gelöst. Dabei wird der Zustand des Systems als isothermal und inkompressibel angenommen. Zur Modellierung wurde eine endliche Anzahl von Querebenen in der Auslaufstrecke herangezogen, auf denen jeweils die normierte Varianz der Massenfraktion berechnet wurde. Der Wert des Massenflusses  $\xi=1$  entspricht einem Anteil von 100%. Der Anteil des zweiten Gasmassenflusses entspricht dem Komplement. Alternativ ist die zentrale Mischstelle ohne eine umschließende kugelförmige Kontur ausgeführt worden. Insgesamt wurden 8 Eintrittswinkel ( $60^\circ$  bis  $130^\circ$ ) sowohl für die kugelförmige Umschließung als auch für die Mischkammer ohne Kugelkontur simuliert.

### Ergebnisse für das Rußmassen- und Opazitätsnormal

Als ein Teilergebnis wurde ermittelt, dass der Mischer ohne Kugel eine geringfügig bessere Mischungsfähigkeit aufweist. In Abbildung 2 ist die in z-Richtung stromabwärts berechnete normierte Varianz  $I_s$  (intensity of segregation) aufgetragen. Mit  $I_{sl}$  ist ein Schwellwert von 10% des auftretenden Maximalwertes bezeichnet. Je früher dieser Wert erreicht wird, desto besser ist die Mischungsfähigkeit der Anordnung. Weiterhin ist zu beobachten, dass stumpfere Anstellwinkel in der Mischzone mehr Turbulenz hervorrufen, die zu einer schnelleren Homogenisierung führen. Bei  $130^\circ$  wird die schnellste Unterschreitung des gesetzten Schwellwertes erreicht.

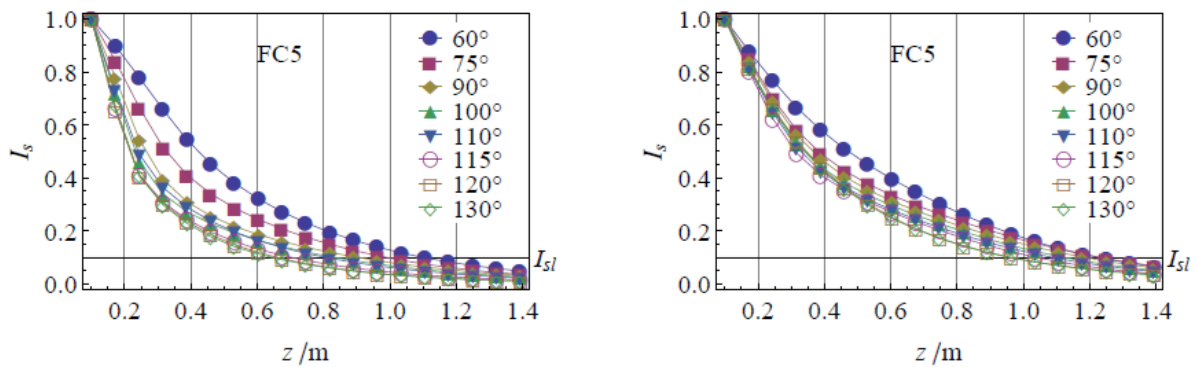


Abbildung 2: Räumlicher Verlauf der Vermischung, dargestellt durch die normierte Varianz  $I_s$ , für geraden Mischer ohne Kugel (links) und mit kugelförmiger Umschließung (rechts).

### Methoden zur Bestimmung der Mischung für kleine Rußmassenströme

In der finalen Ausbaustufe der Rußpartikelkonditionierung für das Partikelanzahlnormal wurde die Dimensionierung streng nach den Erfordernissen der zum Einsatz kommenden Technik (Engine Exhaust-Kondensationspartikelzähler) angepasst. Daher wird ein geringerer Volumenstrom des Trärgases benötigt, da in vielen Fällen eine direkte Messung an der Emissionsquelle, wegen hoher Temperaturen und hohen Geschwindigkeiten des Abgasstromes nicht möglich ist. Das führt dazu,

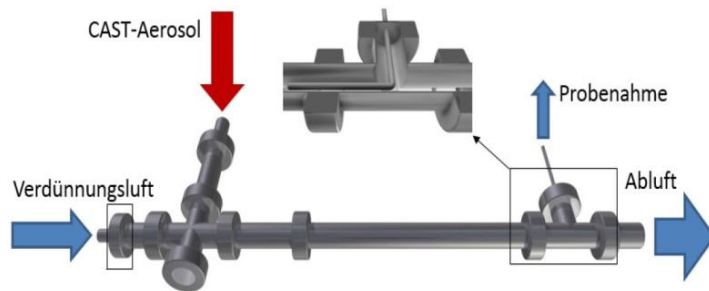


Abbildung 3: Finale Ausbaustufe der Aerosolkonditionierung

dass eine thermokonditionierte Probenahme mit Verdünnungsstufe erforderlich ist. Das Prinzip der Vermischung von CAST-Rußpartikel und Verdünnungsluft blieb erhalten, jedoch wird nun die Probe aus der Kanalmitte, strömungsparell mit dem Aerosolstrom entnommen. Die Vergrößerung des Teilausschnittes der

rechten Bildseite in Abbildung 3 zeigt die Probenahme im Halbschnitt. Zum Einsatz kommt ein Edelstahlrohr mit einem Innendurchmesser von 4 Millimetern, welches um 90° abgelenkt ist.

### Ergebnisse der Modellierung für das Partikelanzahlnormal

Ziel der Modellierung ist wiederum die Darstellung der Massenfraction  $\xi$  in axialer- und verschiedenen radialen Ebenen sowie die Verifikation der experimentell gegebenen Betriebspunkte und Parameter wie beispielsweise Massenstrom, Massenbelastung und Geschwindigkeit im Kanal sowie die Austrittsgeschwindigkeit am Ende der Probenahme. In Abbildung 4 ist die Modellierung des Anlagenteils aus Abbildung 3 in Form eines Konturplots der Massenfraction  $\xi$  in axialer Richtung gezeigt. Weiterhin wurden Partikelbahnen mit dem Euler/Lagrange-Modell berechnet. Die Visualisierung des vergrößerten Ausschnitts im Bereich des Eingangs der Probenahme zeigt neben weiteren radialen Profilen für  $\xi$  die gefilterten Partikelbahnen, die in das Edelstahlrohr hineinlaufen. Die Untersuchung der Veränderung der Populationsbilanz der Aerosolpartikel beim Durchlaufen der Strecke ist das Ziel für weitere numerische Simulationen.

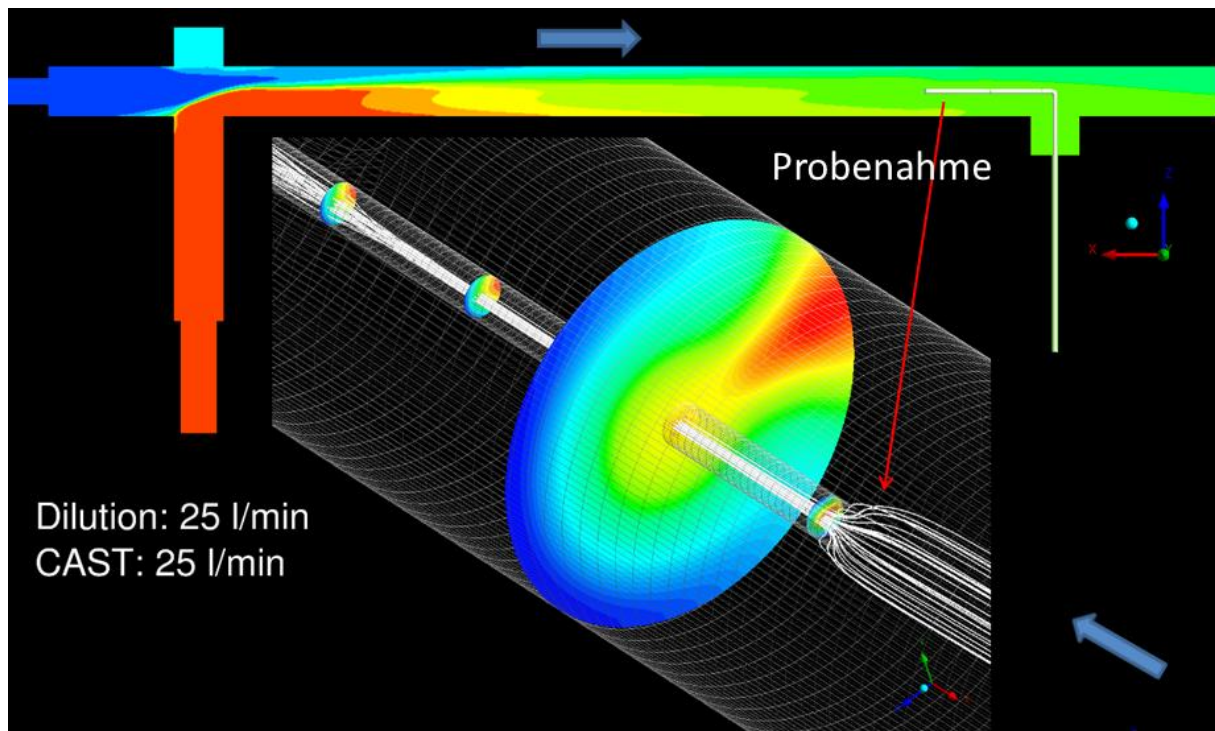


Abbildung 4: Kontuplot der Massenfraktion  $\xi$  in axialer Richtung (oben). Die Flussrichtung ist von links nach rechts. Vergrößerter Ausschnitt im Bereich des Eintritts in die Probenahme mit radialen Profilen von  $\xi$ . Einige Trajektorien der Partikel, die die Probenahme passieren, sind visualisiert (weiß).

## Literatur

Lindner, G.; Schmelter, S.; Model, R.; Nowak, A.; Ebert, V., Bär, M. (2015). *A Computational Fluid Dynamics Study on the as Mixing Capabilities of a Multiple Inlet System*. Submitted to **ASME J. Fluids Eng.**

Kuntze, A.; Hildebrandt, M.; Nowak, A.; Jordan-Gerkens, A.; Bergmann, D.; Buhr, E.; Ebert, V.: Characterization of a PTB-standard for particle number concentration of soot particles, Conference on Combustion Generated Nanoparticles: 18. ETH-Conference (2014), Zürich

Hildebrandt, M.; Nowak, A.; Lindner, G.; Jordan-Gerkens, A.; Kuntze, A.; Böse, N.; Ebert, V. (2013). *Development of a German national aerosol standard for validation and calibration of particle measurement instruments*. **Combustion Generated Nanoparticles, 17. ETH-Conference**, Zürich; [CD-ROM], Nöthinger.

Nowak, A.; Lindner, G.; Jordan-Gerkens, A.; Böse, N.; Ebert, V. (2012): *Developing a national standard for soot mass concentration and opacity at PTB in Germany*. **Combustion Generated Nanoparticles, 16. ETH-Conference**, Zürich; [CD-ROM], TTM Mayer, ISBN 978-3-033-035556-0.