Hybride Modelle für sparsame Züge

Hybride RANS-LES Methoden zur aerodynamischen Optimierung gekoppelter Transportsysteme

***D. Fischer, C. N. Nayeri**, Institut für Strömungsmechanik und Technische Akustik - Prof. Paschereit, TU Berlin*

Kurzgefasst

- Schienenfahrzeug-Aerodynamik
- Platooning
- Widerstandsreduktion
- hybride RANS-LES (PANS, DDES)
- OpenFOAM

Um dem Ziel eines umweltfreundlichen Personen- und Güterverkehrs näher zu kommen, muss der Anteil an emissions- energieverbrauchsarmen Verkehrsmitteln in der Zukunft weiter zunehmen. Besonders gekoppelte Transportsysteme, wie beispielsweise Züge, stehen hier im Fokus. Um deren Energieverbrauch zu verringern, ist die Minimierung des Fahrwiderstandes von besonderer Bedeutung, an welchem der aerodynamische Widerstand einen entscheidenden und mit der Geschwindigkeit quadratisch ansteigenden Anteil hat. Dieser Anteil beträgt für Güterzüge bei 100 km/h schon etwa 40 %, während bei Hochgeschwindigkeitszügen bei Betriebsgeschwindigkeit ca. drei Viertel des Widerstandes auf den aerodynamischen Widerstand entfallen. Zur Minimierung des aerodynamischen Widerstandes sind zuverlässige Methoden zu dessen Vorhersage notwendig. Durch die große Länge und gleichzeitige geometrische Komplexität sind dazu jedoch bisher weder experimentelle, noch numerischer Verfahren mit zufriedenstellender Genauigkeit in der Lage.

Industriestandard bei der Simulation von Zügen sind RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) Simulationen, welche eine stationäre Grundströmung annehmen und sämtliche Schwankungen durch Modellannahmen unterschiedlicher Komplexität berechnen. Hiermit sind in einem eingeschränkten Anwendungsbereich zufriedenstellende Vorhersagen möglich, in Bereichen stark abgelöster und inhärent instationärer Strömungen führt die strikte Trennung in stationäre Grundströmung und modellierten Schwankungsanteil aber zu konzeptionellen Problemen des Modells. Der Ansatz von LES (Large-Eddy-Simulation) hingegen beinhaltet die direkte Simulation großskaliger (turbulenter) Schwankungen und die Modellierung von Schwankungen unter der Gitterauflösung mit Hilfe spezieller Verfahren. Mit LES sind äußerst genaue Vorhersagen über das Strömungsfeld möglich, jedoch stellt dieser Ansatz besonders restriktive Anforderungen an die Gitterauflösung, speziell in Wandnähe. Somit ist LES für große und komplexe Geometrien noch kaum praktikabel.

Hybride RANS-LES Modelle versuchen die so entstandene Lücke zwischen Anwendbarkeit und Genauigkeit durch unterschiedlichste Methoden zur Kopplung der beiden Ansätze zu schließen. Modelle der DES-Familie (Detached-Eddy-Simulation) modellieren turbulente Schwankungen in anliegenden Grenzschichten komplett, während alle anderen Bereiche mittels LES behandelt werden, wodurch eine signifikante Verringerung der notwendigen Grenzschichtauflösung gegenüber LES möglich ist. DES ist gut erforscht und relativ verbreitet, wird aber im Bereich der gekoppelten Transportsysteme bisher kaum angewendet. Gerade neuere Modelle wie σ-DDES [1] bieten in einigen Bereichen, wie der Untersuchung der Seitenwindstabilität, großes Potenzial, sowohl genauere Vorhersagen zu treffen, als auch zum fundamentalen Verständnis der Umströmung gekoppelter Transportsysteme beizutragen.

Einen gänzlich anderen Ansatz verfolgen PANS-Modelle (Partially-Averaged-Navier-Stokes)[2]. Diese sind fähig kontinuierlich von einem zu Grunde liegenden RANS-Modell zu DNS (Direkte Numerische Simulation) überzublenden, wobei hier im Gegensatz zu LES die physikalische Auflösung zunächst grundsätzlich von der des verwendeten Netzes entkoppelt ist. Dies ermöglicht es theoretisch für beliebige Gitter mit einem lokal optimalen Verhältnis von modellierten zu aufgelösten turbulenten Schwankungen zu Simulieren. Erste Untersuchungen von Krajnovic et al. [3] weisen auf großes Potenzial von PANS in der aerodynamischen Simulation von Schienenfahrzeugen hin.

Ziel dieses Projektes ist die Untersuchung der Anwendbarkeit und des Potenzials hybrider RANS-LES Modelle zur aerodynamischen Optimierung gekoppelter Transportsysteme. Dazu werden umfangreiche Vergleiche verschiedener Methoden, sowohl an generischen Testfällen, als auch an kompletten Zügen durchgeführt. Weiterhin sollen Untersuchungen zum aerodynamisch ähnlichen Konzept des platooning von LKW durchgeführt werden.

Da PANS-Modelle noch kaum verbreitet sind, ist ein weiter Schwerpunkt deren Implementierung und Validierung im open-source Softwarepaket *OpenFOAM*. Ein auf dem k-ω-SST Modell und der Arbeit von Lakshmipathy et. al [4] basierendes PANS-Modell wurde bereits erfolgreich implementiert und ersten

Validierungen unterzogen. Dieses und weitere sollen im Verlauf des Projektes auf größere und komplexere Geometrien angewendet werden.

Das Projekt hat sowohl die Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit von für die Auslegung und Zulassung gekoppelter Transportsysteme nötigen aerodynamischen Größen zum Ziel, als auch die Erweiterung des Verständnisses der Umströmung solcher.

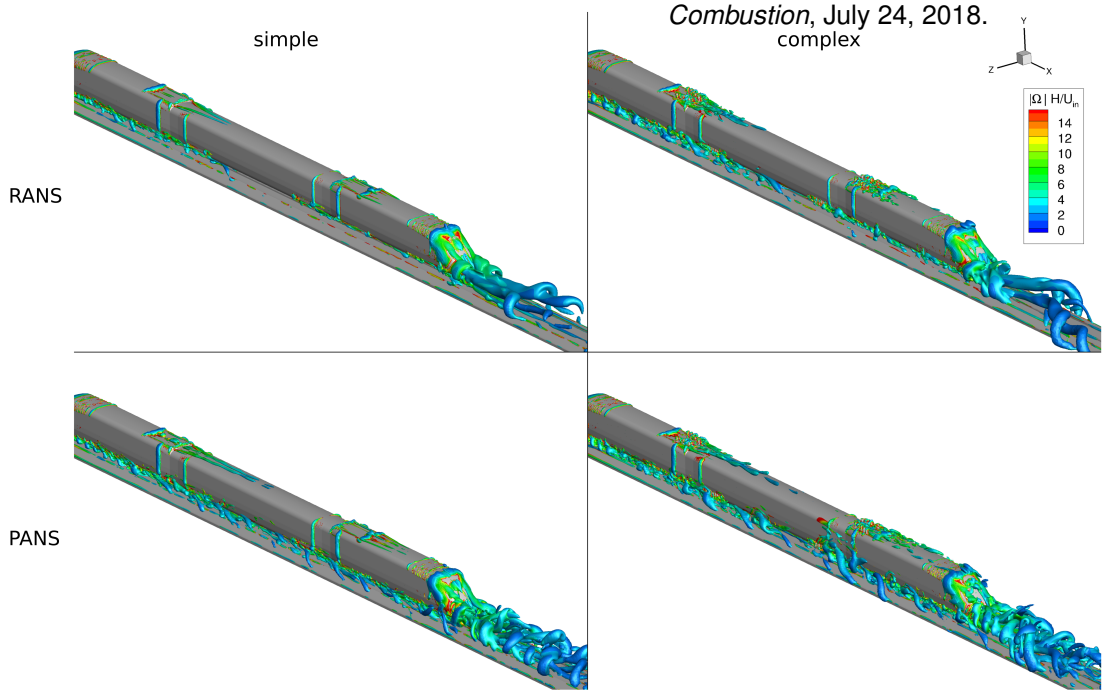

Abbildung 1: *Vergleich aufgelöster Strukturen auf gleichem Netz bei verschiedenen Geometrien*

WWW

http://www.fd.tu-berlin.de

Weitere Informationen

[1] C. Mockett et al.,Two non-zonal approaches to accelerate RANS to LES transition of free shear layers in DES, *Progress in hybrid RANS-LES modelling*, p. 187-201, 2015.

[2] S. Girimaji, K. S. Abdol-Hamid, Partially averaged Navier-Stokes Model for Turbulence: Implementation and Validation, *AIAA* 2005-0502, 2005.

[3] S. Krajnovic et al., Partially-averaged Navier-Stokes simulation of the flow around simplified vehicle,*AIP Conference Proceedings* 1648, p. 030019, 2015.

[4] S. Lakshmipathy, V. Togiti, Assessment of alternative formulations for the specific-dissipation rate in RANS and variable-resolution turbulence models *AIAA*, 2011-3978, 2011

[5] D. Fischer, J. Tschepe, C. N. Nayeri, and C. O. Paschereit, Partially-Averaged Navier-Stokes Method for Train Aerodynamics, In *Proceedings of the 3rd International Symposium Rail Aerodynamics and Train Design*, Berlin, 2018

[6] J. Tschepe, D. Fischer, C. N. Nayeri, C. O. Paschereit, and S. Krajnovic, Investigation of High-Speed Train Drag with Towing Tank Experiments and CFD, *Flow, Turbulence and Combustion*, July 24, 2018.