

Mitteilung

Projektgruppe / Fachkreis: Fahrzeugaerodynamik

Numerische Berechnung des thermischen Komforts in einem Modell der PKW-Kabine

Mikhail Konstantinov¹, Claus Wagner^{1,2}

¹Institut für Thermo- und Fluidodynamik TU Ilmenau,

²Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, DLR Göttingen

mikhail.konstantinov@dlr.de, claus.wagner@dlr.de

Der thermische Komfort von Passagieren gewinnt an Bedeutung in der Autoindustrie, besonders bei der Ausgestaltung des Interieurs von PKWs. Die Qualität des thermischen Komforts in der Fahrzeugkabine hängt stark von den vorhandenen Wärmequellen ab. Dabei tragen der Fahrer und die Passagiere selbst maßgeblich zu der gesamten Wärmelast in der Kabine bei. Für die Berechnung des thermischen Komforts steht das Finite-Elemente (FE) Programm THESEUS von P+Z Engineering GmbH zur Verfügung, das auf dem FIALA-Manikin-Modell [1] basiert. Am DLR Göttingen wurde in der Vergangenheit ein Interface entwickelt, mit dem das „Computational Fluid Dynamics (CFD)“ Programm OpenFOAM und der Programm THESEUS gekoppelt wurde. Auf diese Weise ist es gelungen den thermischen Komfort in numerischen Simulationen vorherzusagen [2,3]. Für die hier vorgestellte Studie wurde die Luftströmung und Komfortparameter in einem PKW Modell mit vier Insassen für vier verschiedene Ventilationstechniken berechnet. Bei der konventionellen Mischlüftung tritt die Luft von vorne aus den Luftausströmern in der Kabine ein. Bei Quellbelüftung erfolgt die Luftzufuhr dagegen, über zwei Luftsäcke, die unter dem vorderen und hinteren Sitzen installiert sind. Dabei wird die Luft über die ebenfalls vorhandenen Rieseldeckenauslässe wieder abgeführt. Als dritte Ventilationstechnik wurde die Rieseldeckenbelüftung realisiert, bei der die Luft von oben einströmt und aus seitlich installierten Schlitzen ausströmt. Die letzte Variante, die sogenannte Hybridbelüftung stellt eine Kombination zwischen Quell- und Rieseldeckensbelüftung dar. Bei allen vier Varianten wird an den Inletsflächen der gleiche Volumenstrom von 28 l/s und die gleiche Temperatur von 13.6°C vorgegeben. Die Gegenüberstellung der Varianten erfolgt durch den Vergleich der berechneten Äquivalenttemperaturen, den Zhang Komfort Indizes und der Energieeffizienz der Ventilationstechniken.

Moderne Thermische-Komfort-Modelle berücksichtigen, dass der menschliche Körper aus verschiedenen Schichten besteht, indem die Wärme über den Blutkreislauf verteilt wird. Zusätzlich werden Bekleidung, Aktivität der Menschen und Luftfeuchtigkeit modelliert. Um die Wechselwirkung zwischen Kabinenströmung und dem Wärmetransport im Menschen berücksichtigen und Aussagen über den thermischen Komfort der Passagiere treffen zu können, wurde eine Prozesskette entwickelt, die auf der Kopplung zwischen dem Simulationsprogramm OpenFOAM mit dem FE-Programm THESEUS beruht. Im Einzelnen steht ein der Gesamtprozess zur Verfügung, mit dem eine mehrere Schritte iterativ durchlaufen werden: An den charakteristischen Körperteilen der Passagiere werden zunächst die Temperaturwerte vorgegeben. Danach werden die Wärmeströme an den Passagiermodellen im Rahmen von Strömungsberechnungen bestimmt und an THESEUS übergeben. Letzteres berechnet drei Temperaturfelder, der äquivalenten Temperatur und der Oberflächen- und Hauttemperaturen, unter Nutzung des komplexen FIALA-Manikin-Modells. Die Werte der Oberflächentemperatur werden beim nächsten Iterationsschritt als Temperaturrandbedingungen an den Körperteilen in OpenFOAM verwendet.

Von den vier untersuchten Belüftungsvarianten im Modell einer PKW-Kabine ist die Rieseldeckenbelüftung beispielhaft in Abb. 1 dargestellt. Dabei werden einerseits die Temperaturverteilung an den Oberflächen der Manikins und an den Sitzen und andererseits Stromlinien der mittleren Geschwindigkeit präsentiert. Die berechneten mittleren Temperaturen in der Kabine ergaben die folgenden Werte: Basis → T=24.4°C, Rieseldecke → T=21.7°C, Quell-

belüftung → $T=19.6^{\circ}\text{C}$ und Hybrid → $T=19.9^{\circ}\text{C}$. Während die Quellbelüftung eine deutlich höhere Energieeffizienz aufweist, zeigt die Verteilung der Äquivalenttemperaturen zwischen Körperteilen des Fahrers (Abb. 2), dass die Hybridbelüftung hinsichtlich des Komforts bessere Resultate liefert. In einem ebenfalls durchgeführten Vergleich der numerischen Vorhersagen mit Messdaten konnte eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse aus Simulation und Experiment erzielt werden..

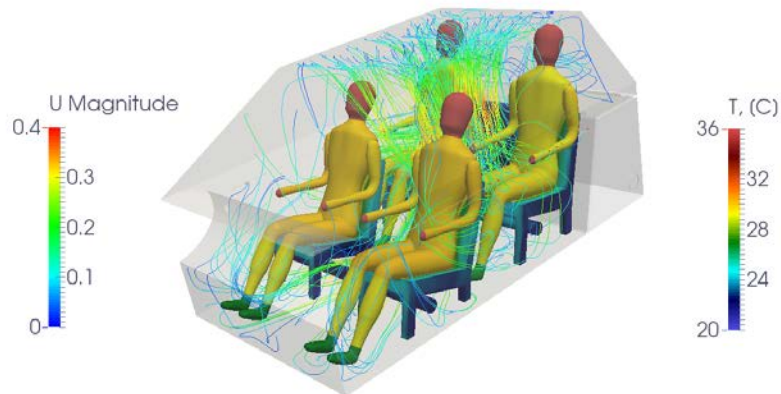


Abbildung 1: Rieseldeckenbelüftung – Temperatur- und Geschwindigkeitsverteilung.

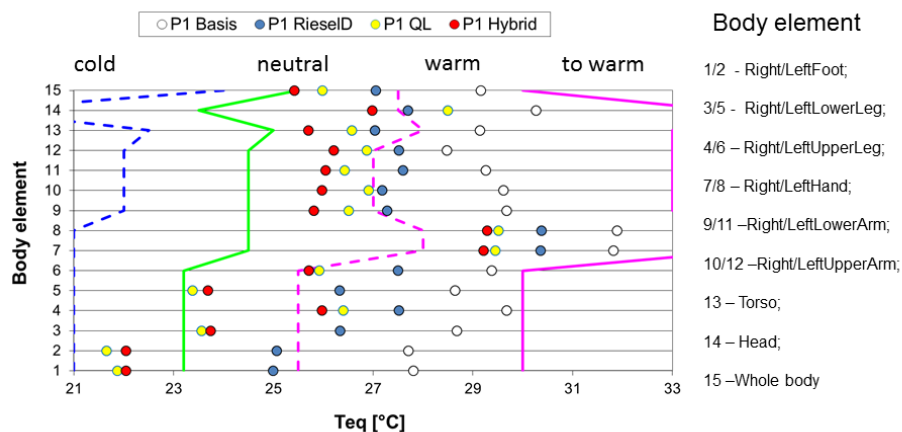


Abbildung 2: Gegenüberstellung der Äquivalenttemperaturen für Fahrer bei den unterschiedlichen Belüftungsszenarien.

Literatur:

1. D. Fiala, K. J. Lomes, M. Stohrer, *Computer prediction of human thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions*, Int. J. Biometeorol. (2001) **45**: 43-159.
2. M. Konstantinov, W. Lautenschlager, A. Shishkin, C. Wagner, *Numerical simulation of the air flow and thermal comfort in aircraft cabins*, New Results in Numerical and Experimental Fluid Mechanics IX (STAB Symposium 2012), Springer Series: Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design, **124**, (2014): 293-301.
3. M. Konstantinov, C. Wagner, *Numerical simulation of the air flow and thermal comfort in a train cabin*, in *Proceedings of the Second International Conference on Railway Technology: Research, Development and Maintenance*, J. Pombo, (Editor), Civil-Comp Press, United Kingdom, paper 328, (2014). doi:10.4203/ccp.104.328.