

Untersuchung zur Dynamik neuer Lüftungssysteme in einer generischen Fahrzeugkabine und deren Einfluss auf den thermischen Komfort und die Energieeffizienz

In den westlichen Industriestaaten entfällt ein wesentlicher Anteil der Nutzung von privaten Pkws auf die Fahrt zur Arbeit. Im Jahre 2008 betrug in Deutschland die durchschnittliche Strecke zur Arbeit 11,7 km und die tägliche Fahrzeit 20,9 Minuten pro Wegstrecke. Um auch für die Kurzstrecken ein komfortables Kabinenklima zu gewährleisten, werden Belüftungssysteme mit einer schnellen Dynamik benötigt. Insbesondere vor dem Hintergrund der Elektromobilität und des autonomen Fahrens sind Belüftungskonzepte von vitalem Interesse, welche eine möglichst gute Dynamik aufweisen, effizient sind und den Anforderungen zukünftiger Fahrzeuge mit eventuell völlig neuem Design gerecht werden. Gegenstand der Untersuchungen zum Themenkomplex Pkw-Kabinenklimatisierung am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (Abteilung Bodengebundene Fahrzeuge BOA) in Göttingen ist die Entwicklung, Analyse und Evaluierung alternativer Belüftungskonzepte sowie die Bewertung hinsichtlich deren Potenzial für den Einsatz in der Fahrzeugbelüftung für die Automobile der Zukunft. Im letzten Jahr haben wir bereits die Ergebnisse einer Untersuchung zum thermischen Komfort, Lüftungseffizienz und Temperaturregeleffizienz für alternative Klimatisierungskonzepte bei statischen Bedingungen präsentiert. In diesem Jahr möchten wir die Ergebnisse einer Untersuchung zur Dynamik des Heiz- und Kühlverhaltens hinsichtlich des thermischen Komforts und der Energieeffizienz für drei alternative Belüftungskonzepte vorstellen. Die zwei Grundkonzepte basieren auf den Prinzipien einer bodenseitige Verdrängungslüftung und einer Niedrigimpuls-Deckenlüftung. Die dritte Variante ist eine hybride Lüftung bestehend aus den zuvor genannten Lüftungskonzepten. Als Referenz zu den alternativen Lüftungssystemen dient eine vereinfachte Armaturenbrettlüftung. Zusätzlich zu den Ergebnissen der Kabinenventilation werden wir auch unser thermisches Menschmodell, als Messmittel zur Bestimmung des thermischen Komforts, vorstellen.

Thermisches Menschmodell und generische Fahrzeugkabine

Zur Simulation der Wärmeabgabe und der Versperrung von Fahrzeuginsassen verwenden wir ein thermisches Menschmodell. Zusätzlich dient das Menschmodell als Messmittel zur Bestimmung des thermischen Komforts. Hierzu wird das Menschmodell nach Vorgabe der DIN14505 kalibriert. Zur Bestimmung des thermischen Komforts wird die Oberflächentemperatur mithilfe der Infrarotthermografie vermessen und, basierend auf Kalibrierfunktionen, die Äquivalenttemperatur (Abb. 1(b)) für die verschiedenen Körperzonen berechnet und hinsichtlich des thermischen Komforts bewertet (Abb. 1(c)). Das Messmittel und die Messmethode zeichnen sich durch Genauigkeit, Robustheit, Flexibilität sowie der Möglichkeit der flächigen Bestimmung von Äquivalenttemperaturen aus.

Die experimentellen Untersuchungen der Lüftungskonzepte wurden in einer generischen Fahrzeugkabine (GFZK) mit definierten und reproduzierbaren Randbedingungen durchgeführt. Abbildung 1(a) zeigt die GFZK von der Seite. Die Abmessungen entsprechen der Größe eines Kleinwagens. Zusätzlich ist der Aufbau mit einer Mantelkühlung/-heizung in der Struktur der GFZK ausgestattet. Die Isotherme Temperierung der Seitenwände erlaubt die Simulation verschiedener Jahreszeiten ohne die Notwendigkeit einer Klimakammer. Das Kabinenmodell ist, wie in Abbildung 1(a) dargestellt, mit vier thermischen

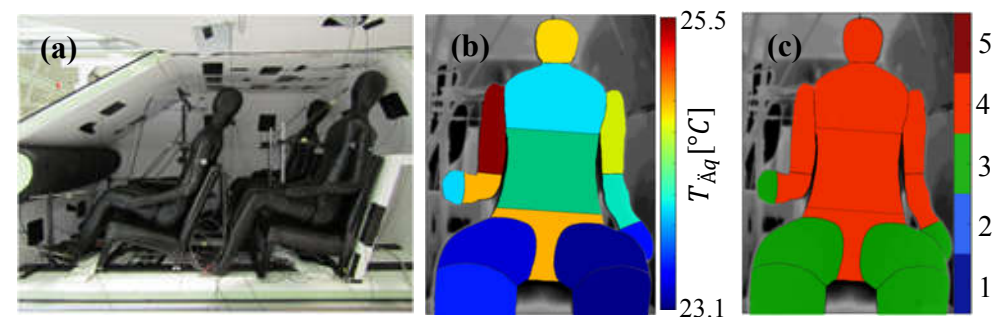


Abb. 1: (a) Generische Fahrzeugkabine mit vier Menschmodellen. (b) Thermisches Menschmodell auf dem Fahrersitz. Farblich codiert die Äquivalenttemperatur für die einzelnen Körperzonen. (c) Bewertung des thermischen Komforts nach DIN14505 basierend auf der Äquivalenttemperatur.

Menschmodellen ausgerüstet. Der Versuchsträger wurde entwickelt und konstruiert um eine höchstmögliche Flexibilität für die Untersuchung verschiedenster Konzepte zur Klimatisierung des Fahrzeuginnenraumes in einer realitätsnahen Geometrie zu ermöglichen.

Somit bietet die GFZK die Möglichkeit, unterschiedlichste Klimatisierungskonzepte für einen weiten Parameterbereich zu untersuchen. Durch den Einsatz verschiedenster Messtechnik werden Strömungsgeschwindigkeiten, Strömungsstrukturen, Oberflächen- sowie Fluidtemperaturen und Wärmeströme ermittelt. Auf Basis dieser physikalischen Größen lassen sich dann Energieeffizienz, Lüftungseffizienz, Wärmetransport und objektive Komfortparameter bestimmen. Die Messergebnisse werden dann für die jeweiligen Klimatisierungsszenarien hinsichtlich der Optimierungsgrößen analysiert und bewertet. Dabei dienen die Ergebnisse von Probandentests, welche in Flugzeug- und Zugkabinen durchgeführt wurden, als Grundlage zur Interpretation der gemessenen objektiven komfortrelevanten Größen.

Kühl- und Heizdynamik

Die bisherigen numerischen und experimentellen Untersuchungen bei statischen Bedingungen zeigen, im Hinblick auf den Effizienzgrad und die Temperaturregeleffizienz, für die vertikalen Belüftungssysteme Vorteile im Vergleich zu einer vereinfachten Armaturenbrettbelüftung, ohne sich negativ auf den thermischen Komfort auszuwirken. Insbesondere für das Heizen, für den kritischen Winterfall, zeigen die vertikalen Belüftungskonzepte eine Effizienzsteigerung von bis zu 50%. In einer weiteren Studie wurde nun die Dynamik der einzelnen Belüftungskonzepte hinsichtlich der relevanten Kenngrößen thermischen Komfort, Heiz-/Kühleffizienz und Temperaturregeleffizienz, für ein Sommer- sowie Winterszenario, untersucht. Hierzu wurden der thermische Komfort sowie die systemrelevanten Wärmeströme zur Bewertung der Effizienz als Funktion der Zeit bestimmt. Das Beispielergebnis in Abbildung 2(a) zeigt das Abkühlverhalten der Oberflächentemperatur am Kopf für ein Sommerszenario. Der zeitliche Verlauf entspricht einer Exponentialfunktion. Basierend auf dem Zeitentwicklungskoeffizienten wird die Heiz- und Kühldynamik hinsichtlich der Effizienz und des thermischen Komforts bewertet. Als Beispiel sind in Abbildung 2(b) die Zeitentwicklungskoeffizienten für die Äquivalenttemperatur des Oberkörpers, der Körpermitte und des Unterkörpers für die verschiedenen Ventilationskonzepte Mischlüftung (blau), Niedrigimpuls Deckenlüftung (gelb), bodenseitige Verdrängungslüftung (rot) und hybride Lüftung (grün) für das Sommerszenario dargestellt. Hierbei zeigen sich deutliche Unterschiede in der Dynamik der einzelnen Ventilationskonzepte untereinander aber auch für die verschiedenen Klimaszenarien. Während für das Sommerszenario die „klassische“ Mischlüftung und die Niedrigimpuls Deckenlüftung die effektivste Dynamik aufweisen, zeichnet sich für den Winterfall (Abb. 2(c)) ein anderes Bild ab. Im Fall der Aufheizdynamik zeigen sich klare Vorteile für das hybride Lüftungskonzept. Eine detaillierte Darstellung und den Vergleich zwischen Winter- und Sommerszenario zeigen wir auf der VDI Fachkonferenz. Zusätzlich werden die Ergebnisse hinsichtlich der möglichen Anwendbarkeit in zukünftigen Fahrzeugen bewertet.

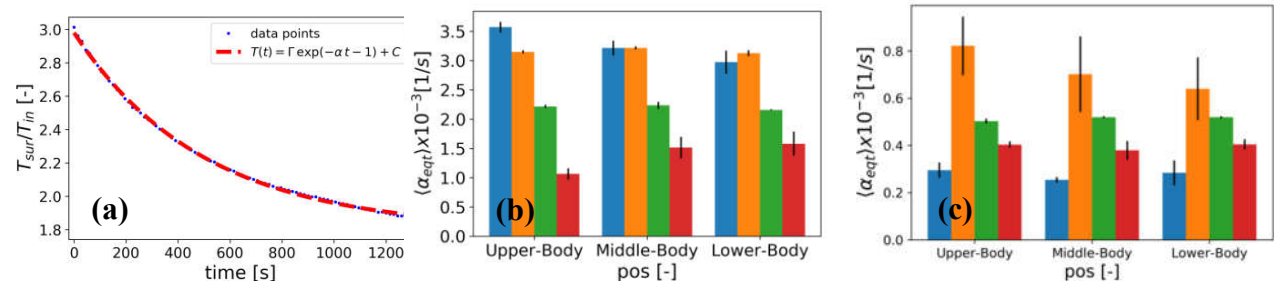


Abb. 2: (a) Oberflächentemperatur des thermischen Menschmodells am Kopf als Funktion der Zeit für das Sommerszenario (blau die Datenpunkte, rot die Fitfunktion). (b und c) Zeitentwicklungskoeffizienten für den Oberkörper, Körpermitte und den Unterkörper für die verschiedenen Ventilationskonzepte: Mischlüftung (blau), Niedrigimpuls Deckenlüftung (gelb), bodenseitige Verdrängungslüftung (rot) und hybride Lüftung (grün).