





Ab Seite 24

Akustische Prüfung

Wie Porsche Störgeräusche KI-gestützt erkennt Bare Metal Kubernetes

Software-Container performant betreiben

S. 46

Produktionsplanung

Liefertreue von 50 auf 90 Prozent gesteigert Augmented Inspection

Mobile Prüfung mit Augmented Reality

S. 60

S. 68



Bild: @humonia/istockphoto.com

Verbrennungsmotoren liefern meist ohne bemerkenswert erhöhten Kraftstoffverbrauch genug Abwärme und Energie für den Generator, um Fahrzeuge stets komfortabel zu klimatisieren. Fahrer eines Elektroautos bezahlen Heiz- und Kühlleistung hingegen spürbar mit Reichweite. Das Thermomanagement von Fahrzeugen rückt in den Fokus der Entwickler – die ARRK Engineering bald mit neuen Simulationswerkzeugen dazu unterstützen will.

aut des LeasePlan Mobility Insights Report vom Februar 2021, bei dem insgesamt rund 5.400 Personen aus 21 europäischen Ländern sowie den USA interviewt wurden, gaben 34 Prozent der Teilnehmenden an, die begrenzte Reichweite schmälere ihr Interesse an einem Elektroauto. In Portugal und Deutschland leiden sogar mehr als sechs von zehn Befragten unter der sogenannten Reichweitenangst in Bezug auf die Elektromobilität. Während beim konventionell angetriebenen Fahrzeug in der Regel alle elektrischen Verbraucher über die Lichtmaschine oder, wie die Klimaanlage, direkt vom Verbrennungsmotor betrieben werden und die Reichweite einer Tankfüllung somit meist nicht merklich verringern, versorgt das E-Auto alle Funktionen - von der Beschleunigung bis zum Bord-Infotainment - aus derselben Energiequelle. Daher ist es für die Elektromobilität essentiell, die Thermomanagementsysteme im Fahrzeug so effizient wie möglich zu gestalten, um die mögliche Reichweite zu maximieren.

### Simulation statt Testfahrt

Die Virtualisierung wird in der Thermomanagemententwicklung bereits eingesetzt. Doch noch hängt ein Großteil der Feinabstimmung einer Innenraumklimatisierung von Empfindungen der beteiligten Applikateure ab, die sich nur bedingt auf objektive Messergebnisse stützen können. Auch die Applikationsfahrten liefern vor allem subjektive Ergebnisse und können zudem erst spät im Entwicklungsprozess stattfinden, wenn weite Teile der Hard- und Software bereits integriert wurden. Zudem sind bei diesen Tests zahlreiche Lastszenarien in unterschiedlichen Klimaumgebungen abzufahren. Die Erprobungsreisen an Orten wie Südafrika und dem Death Valley mit Versuchsfahrzeugen und Personal kosten viel Zeit und Geld. Um Komfortanforderungen wirtschaftlicher umzusetzen, könnten Klimatisierung und Klimakomfort künftig verstärkt auf Basis dynamischer Modelle und Simulationen entstehen.

#### Prozess entsteht

Bei ARRK Engineering ist ein allgemeiner Entwicklungsprozess entstanden, der die Schritte der Klimakomfortentwicklung berücksichtigt: angefangen bei Benchmarkuntersuchungen über die Auslegung der Kreisläufe sowie der Funktionsund Komfortauslegung der Kabinenklimatisierung mit Entwicklung der Klimaregelungsstrategie bis hin zur Optimierung und Validierung. Der Fokus der Arbeiten an dem Prozess liegt auf der Frage, welche Voraussetzungen geschaffen werden müssen, um die angestrebte Virtualisierung umsetzen zu können, und welche Bausteine in der Simulation noch detaillierter erarbeitet werden müssen.

## Dynamik in der Fahrgastzelle

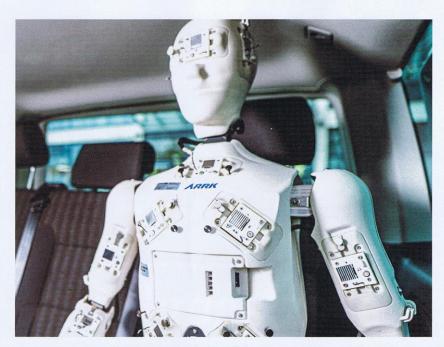
Um bestehende Lücken zu schließen, sind die Ingenieure derzeit dabei, unterschiedliche Modelle zur Abbildung aller beteiligten Faktoren zu erarbeiten. Hierzu zählt die Modellierung der HVAC-Komponente, die das Kernbauteil für die Regelung der Luftkonditionierung und -zuführung in der Fahrzeugkabine ist. Der Schwerpunkt hierbei liegt zum einen auf der Abbildung des thermischen Verhaltens des HVAC zur transienten Ermittlung der Ein- und Austrittstemperaturen der Kabinenluft. Zum anderen liegt er auf der Abbildung des hydraulischen Verhaltens des HVAC, um eine Aussage über die Luftverteilung in den einzelnen Kanälen in Abhängigkeit der individuellen Klappenstellungen im HVAC zu erhalten und damit die Luftverteilung im Fahrzeuginnenraum abbilden zu können. Um die hierfür benötigten Informationen zu ermitteln, wird das HVAC-Modul in Prüfstandsaufbauten vermessen. Um die Hardware-Messungen auf die Simulation zu übertragen, ist darüber hinaus ein detailliertes Modell der Fahrzeugkabine und des Insassen notwendig, welches mit der ARRK-eigenen Simulationssoftware Theseus-FE erstellt wird. Zur Abbildung der Insassen umfasst das Tool ein Menschmodell auf Basis des Fiala-In-



Autohersteller entdecken den thermischen Komfort in der Fahrzeugkabine als Differenzierungsmerkmal am Markt.

sassenmodells. Es imitiert die für den Luft- und Wärmeaustausch relevanten menschlichen Körperfunktionen wie Atmung, Blutkreislauf, Schwitzen sowie Kältezittern und berücksichtigt unterschiedliche Bekleidungssituationen. Um detail-

lierte Randbedingungen an allen Körperteilen für thermische Komfortaussagen mit dem Menschmodell bereitstellen zu können, ermöglicht das Tool mit dem neuentwickelten Pseudo-3D-Ansatz eine sehr feine und automatisierte Diskretisie-



Der bei ARRK entwickelte Dummy ist mit 31 gleichmäßig über den Körper verteilten Sensoren zur Messung der Lufttemperatur und -feuchte, der lang- und kurzwelligen Strahlung sowie der Windgeschwindigkeit ausgestattet.

rung des Gesamtluftvolumens in einzelne Luftzonen. Darüber hinaus wird die Simulationsgeschwindigkeit durch den Ansatz erhöht, was für die hochdynamischen transienten Simulationen unerlässlich ist. Innerhalb der Luftzonen können jeweils detaillierte Aussagen über die Luftgeschwindigkeit, -temperatur und -feuchte sowie über die lang- und kurzwellige Strahlung gemacht werden. Selbstverständlich werden bei Sommerlastfällen die Sonnenposition und die dadurch angestrahlten oder abgeschatteten Bereiche in Abhängigkeit von der Fahrzeug- und Scheibengeometrie sowie der Fahrzeugausrichtung automatisch ermittelt. Da sich die Luft- und die Oberflächentemperaturen gegenseitig beeinflussen, betrachtet Theseus-FE Strahlungs-, Strömungsund Wärmeleitungsprozesse an einem definierten Bauteil als gekoppeltes System.

# Baustein zur Objektivierung

Für die Bewertung des gemessenen und modellierten thermischen Komforts stellt schließlich der Komfortindex nach ISO 14505-2 die Grundlage dar, der das thermische Empfinden in Fahrzeugkabinen auf Basis der Äquivalenttemperatur beschreibt und in Theseus-FE implementiert ist. Mit Hilfe dieses Index sollen

möglichst objektive Aussagen über den Einfluss der unterschiedlichen dynamischen Faktoren auf den Klimakomfort im Fahrzeuginnenraum getätigt werden. Diese sollen schließlich für die Definition allgemeiner Komfort- und Klimatisierungsziele – und daraus folgend für die Erstellung eines universellen Lastenhefts – zur Verfügung stehen.

## In Testfahrten abgleichen

Nachdem die einzelnen Modelle in Beziehung zueinander gesetzt wurden, müssen die daraus gewonnenen Simulationen in den kommenden Monaten mit realen Fahrten verglichen und etwaige Fehlerquellen sowie Ungenauigkeiten in den Berechnungen identifiziert und kompensiert werden. Hierfür wurden bereits Testfahrten mit dem selbst entwickelten ARRK-Dummy durchgeführt. Dieser ist mit 31 gleichmäßig über den Körper verteilten Sensoren zur Messung der Lufttemperatur und -feuchte, der lang- und kurzwelligen Strahlung sowie der Windgeschwindigkeit ausgestattet. Eine überarbeitete Version des Dummys wird derzeit entwickelt. Sie soll künftig nicht nur über die rund dreifache Anzahl an Sensoren verfügen, sondern auch zusätzliche Werte wie die Kontaktwärmeströme aufzeichnen können.

Die Effekte, die bei solchen Fahrten gegenseitig aufeinander einwirken, werden einerseits vom Außenklima, dem Straßenverlauf inner- oder außerorts sowie wechselnder, direkter und indirekter Sonnenstrahlung aus unterschiedlichen Winkeln und Richtungen hervorgerufen. Neben diesen äußeren Faktoren, welche sich auf die Insassen und den von ihnen wahrgenommenen thermischen Komfort in Abhängigkeit von deren Alter, körperlicher Verfassung und Körpermasse auswirken, spielt auch die jeweilige Personenanzahl in der Fahrgastzelle eine Rolle. Nachdem die Simulationen verifiziert werden konnten, rückt das finale Vorhaben in den Fokus: Die zahlreichen, das Fahrzeuginnenraumklima und somit den Komfortwert beeinflussenden Faktoren sollen in all ihren Facetten ausgewertet und objektiviert werden.

### Meilenstein für Entwickler

Sobald ARRK Engineering diese dynamischen Fahrten ausreichend präzise und schnell simulieren kann, wird der letzte große Schritt des Entwicklungsprozesses für Klimatisierung und Klimakomfort in Angriff genommen. Denn wenn alle für die Berechnung der transienten Lastfälle notwendigen Puzzleteile virtuell reproduzierbar sind, versetzt das die Spezialisten in die vielversprechende Lage, aus diesen Werten konkrete Auswirkungen auf das klimabedingte Wohlbefinden der Insassen abzuleiten. Dementsprechend können objektivierte Handlungsanweisungen für das Thermomanagementsystem mit integrierter Regelung des HVAC-Systems folgen. Sind diese dynamischen Prozesse erst einmal in einem Komfort-Lastenheft festgehalten, könnte die Applikationsarbeit im Testfahrzeug auf ein Minimum, nämlich die abschließende Feinabstimmung am finalen Fahrzeug, reduziert werden. Diese so verkürzte Entwicklungsdauer könnte die thermische Komfortbewertung und applikation in der Automobilentwicklung grundsätzlich verändern.

Die Autoren: Michael Ellinger, Gruppenleiter CFD & Thermal Analysis und Max Hauk, Senior Expert Thermal Management bei ARRK Engineering.

www.arrk-engineering.com