

IBP-MITTEILUNG

531

41 (2014) NEUE FORSCHUNGSERGEBNISSE, KURZ GEFASST

Sebastian Stratbücker,
Victor Norrefeldt, Sandeep Rao Bolineni,
Gunnar Grün

GESAMTENERGETISCHES FAHRZEUGKABINENMODELL BEWERTUNG KÖRPERNAHER KLIMATISIERUNG IN ELEKTROFAHRZEUGEN NACH BEHAGLICHKEIT UND ENERGIEEFFIZIENZ

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon +49 711 970-00
info@ibp.fraunhofer.de

Standort Holzkirchen
Fraunhoferstraße 10, 83626 Valley
Telefon +49 8024 643-0

Standort Kassel
Gottschalkstraße 28a, 34127 Kassel
Telefon +49 561 804-1870

www.ibp.fraunhofer.de

Literatur

[1] Norrefeldt, V.; Andersson, D.; Pathak, A.; Tummescheit, H.: *The indoor climate library and its application to heat and moisture transfer in a vehicle cabin*. In: 9. International Modelica Conference, München, 2012

[2] EN ISO 14505: *Ergonomie der thermischen Umgebung – Beurteilung der thermischen Umgebung in Fahrzeugen – Teil 2: Bestimmung der Äquivalenttemperatur, Deutsche Fassung, 2006*

[3] Strupp, N.C.; Lemke, N.: *Klimatische Daten und Pkw-Nutzung Klimadaten und Nutzungsverhalten zu Auslegung, Versuch und Simulation an Kraftfahrzeug-Kälte-/Heizanlagen*. In: *Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (Hrsg.): FAT-Schriftenreihe 224, 2010*

[4] Konz, M.; Lemke, N.; Försterling, S.; Eghtessad, M.: *Spezifische Anforderungen an das Heiz-Klimasystem elektromotorisch angetriebener Fahrzeuge*. In: *Forschungsvereinigung Automobiltechnik e.V. (Hrsg.): FAT-Schriftenreihe 233, 2011*

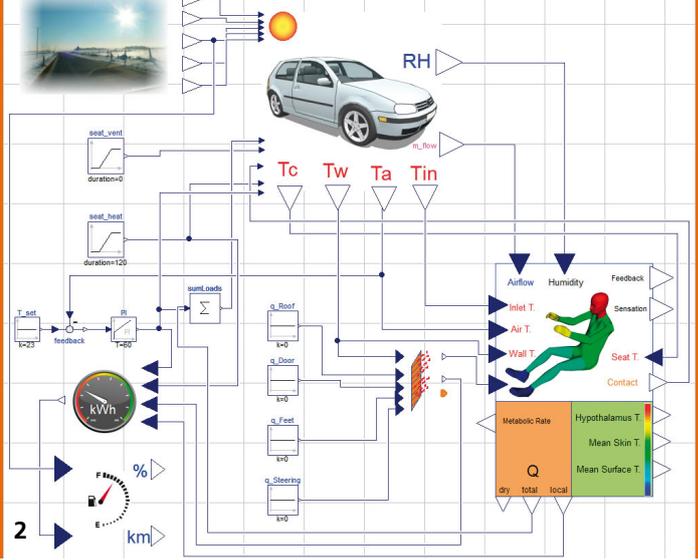
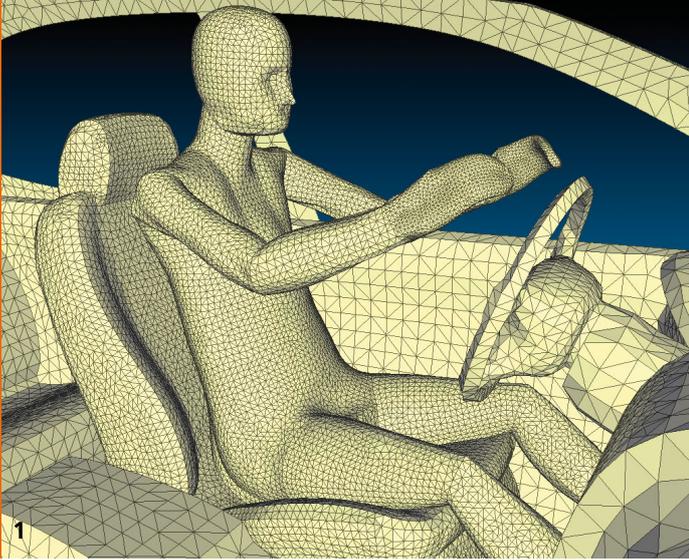
© Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Nachdruck oder Verwendung von Textteilen oder Abbildungen nur mit unserer schriftlichen Genehmigung

Laut der Studie »European Automotive Survey« im Jahr 2011 gaben 65 Prozent an, dass eine der größten Hürden für die Akzeptanz von E-Fahrzeugen ihre vergleichsweise niedrige Reichweite ist. Deshalb werden im Rahmen des BMBF-Vorhabens E-Komfort (FKZ 13N11530) neue Konzepte zur Klimatisierung von Elektrofahrzeugen entwickelt und bewertet. Konventionelle Anlagen heizen bzw. klimatisieren die gesamte Fahrgastzelle, was zu einer zusätzlichen Absenkung der Reichweite führt. Im Gegensatz zu Antrieben mit Verbrennungsmotoren steht jedoch vor allem im Winter keine Abwärme auf hohem Temperaturniveau zur Heizung des Innenraums zur Verfügung. Durch den Einsatz lokaler, körpernaher Klimatisierungsmaßnahmen soll deshalb bei gleichbleibendem Nutzerkomfort der Gesamtenergiebedarf gesenkt werden.

Ein gesamtenergetisches Fahrzeugkabinenmodell dient dazu, einzelne Maßnahmen in Wechselwirkung miteinander und unter Berücksichtigung von Außenklima, Fahrzyklus, menschlicher Physiologie und Temperaturempfinden bewerten und optimieren zu können. Das thermodynamische System aus Umgebung, Kabine und Mensch wird in der objektorientierten und gleichungsbasierten Modellierungssprache Modelica erstellt. Da sich mit Modelica nur dimen-

sionsreduzierte Energieflüsse beschreiben lassen, müssen geometrische Eigenschaften der Fahrzeugkabine aus einem detaillierten 3D-CAD-Modell abgeleitet werden. Das Geometriemodell liefert die tatsächlichen Werte für Flächeninhalte und Luftvolumen. Ein segmentiertes Menschmodell (Manikin) wird unter ergonomischen Gesichtspunkten in Fahrerhaltung in die Kabine eingefügt. Die Sichtfaktoren bestimmen den Einfluss der Temperaturen umschließender Innenflächen auf das Manikin, wodurch die im Fahrzeug vorkommenden Strahlungsasymmetrien deutlich werden. Konvektive Wärmeübergangskoeffizienten werden in Abhängigkeit von den Luftgeschwindigkeiten an den Lüftungsauslässen über Strömungssimulation (CFD) ermittelt und dem Modelica-Modell als segmentweise Regressionsfunktionen übergeben.

Das Fahrzeugkabinenmodell besteht aus Wand- und Fensterelementen mit einem zentralen Luftknoten als hygrothermische Zone, gekoppelt mit weiteren thermischen Massen [1]. Das Modell bilanziert Luftmassen-, Feuchte- und Wärmeströme. Es kann bezüglich der Materialeigenschaften wie der Emissivität, der Wärmeleitfähigkeit, oder der Wärmekapazität parametrisiert werden. Außerdem sind realistische Wandaufbauten unterschiedlicher Materialien und



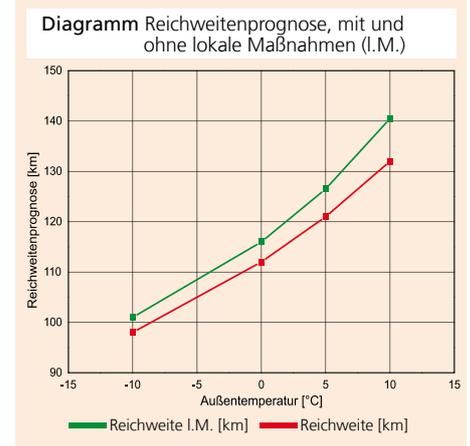
Schichtdicken möglich. Die äußeren Randbedingungen werden aus einem Testreferenzjahr (TRY) geladen oder konstant gesetzt. Berücksichtigt werden Lufttemperatur, relative Feuchte, Windgeschwindigkeiten und solare Einstrahlung. Der neue europäische Fahrzyklus (NEFZ) wird als Basis für die Fahrzeugdynamik angesetzt, welcher zu variablen Luftgeschwindigkeiten an den Außenflächen führt und somit den konvektiven Wärmeübergang zur Umgebungsluft beeinflusst. Die solare Wärmelast wird bestimmt über Standort, Datum und Uhrzeit, Ausrichtung des Fahrzeugs und die effektive Diffus- und Direktstrahlung auf die horizontale Fläche. Simuliert wird der Strahlungsdurchgang durch transparente Bauteile mit anschließender Verteilung der Lasten über einen zentralen Strahlungsknoten und Absorption an den Innenflächen.

Zur Bewertung des Raumklimas werden Behaglichkeitsmodelle integriert, welche basierend auf empirischen Untersuchungen mit Probanden das lokale und globale Komfortempfinden vorhersagen. Da die Wärmebilanzen auf dem virtuellen Manikin für jedes Segment separat berechnet werden, sind körpernahe Maßnahmen in Form von lokal wirksamen thermischen Randbedingungen modellierbar. Durch die Kopplung mit einem Thermoregulationsmodell wird die dynamische Antwort des Körpers auf zeitlich veränderliche und nicht-uniforme Klimata in die Bewertung einbezogen. Segmentweise Äquivalenttemperaturen werden nach der Norm DIN ISO 14505-2 [2] mit subjektivem lokalem Behaglichkeitsempfinden korreliert und schaffen damit die Grundlage für eine einheitliche Bewertung der untersuchten Klimatisierungskonzepte. Eine besondere Rolle spielt im Fahrzeug der Kontaktbereich zum Sitz hinsichtlich des Wärme- und Feuchtetransports in und zwischen textilen Schichten. Im 0,5 m² großen Kontaktbereich ist eine stufenlos regelbare Sitzheizung modelliert, wel-

che die Sitzfläche auf bis zu 40 °C erwärmt. Als effektive Heizmaßnahme werden ideale IR-Strahler auf Teile des Körpers gerichtet, welche sich im Modell als zusätzliche Wärmeströme auf einzelne Sektoren des Manikins darstellen. In den Testfällen wurden 50 W Nutzheizleistung lokal auf Fuß- und Kopfbereich aufgeprägt.

Für den Heizlastfall werden acht Szenarien ausgewählt, welche stellvertretend die winterlichen Klimabedingungen umfassen, wie sie laut der Studie FAT 224 [3] für einen Großteil der Fahrminuten in Deutschland gelten. Als Bekleidungsisolationswert wird 1 clo (0,155 m²K/W) angesetzt und der Aktivitätsgrad des Fahrers wird auf 1,2 met festgelegt. Der Luftmassenstrom wird konstant auf 0,04 kg/s eingestellt, was als Mindestluftwechsel zum Entfeuchten der Windschutzscheibe gilt. Der NEFZ wird drei Mal durchlaufen, so dass die Fälle jeweils zur Mittagszeit eine Stunde simulierte Fahrt ergeben. Für Leistungskennwerte des E-Fahrzeugs werden die im Bericht FAT 233 [4] angegebenen Daten der Golf-Klasse verwendet. So beträgt der durchschnittliche Verbrauch inklusive der maximal möglichen Rekuperationsenergie 11,74 kWh/100km bei einer Batteriekapazität von 21,2 kWh. Der Energiebedarf für Antriebsstrang und Klimatisierung werden hochgerechnet zu einer Reichweitenvorhersage unter definierten Lastfällen und mit verschiedenen Kombinationen von lokalen Klimatisierungsmaßnahmen. Die Testfälle sind so definiert, dass sich in der simulierten Fahrzeit kein Körperbereich mehr im Diskomfort befindet, d. h. nur noch behagliche Bewertungen wenn auch etwas kühl oder warm. Die Anfangsbedingungen für Temperatur und Feuchte im Fahrzeug werden mit den Außenbedingungen gleichgesetzt. Da eine energieeffiziente Vorkonditionierung der Kabine vor Fahrtbeginn in dieser Studie nicht betrachtet wird, ist das Raumklima zunächst im transienten Zu-

stand. Je nach Startbedingungen bleibt das Raumklima in der Aufheizphase bis zu 16 Minuten im Diskomfortbereich. Durch die zusätzlichen lokalen Maßnahmen kann die mittlere Raumlufttemperatur um 3 Kelvin abgesenkt werden. Gleichzeitig erhöht sich die relative Feuchte, was der Austrocknung von Schleimhäuten entgegenwirkt.



Die energetische Fahrzeugkabinensimulation wird als Referenzmodell und Testumgebung zur Erprobung und Validierung eines neuen Diskomfortmodells eingesetzt. Mit Hilfe der integrierten Modelle können konkrete Ansätze für das Thermomanagement von Elektrofahrzeugen analysiert und optimiert werden. Mit der Verfügbarkeit unterschiedlicher Betriebsarten im E-Fahrzeug, je nachdem, ob abgestimmter Klimakomfort oder maximale Reichweite im Vordergrund stehen, könnte bereits die allgemeine Nutzerakzeptanz verbessert werden.

- 1 Geometriemodell mit Manikin im Fahrzeug.
- 2 Modelica-Komponenten der Testumgebung.