



# IBP-MITTEILUNG

571

## 48 (2021) NEUE FORSCHUNGSERGEBNISSE, KURZ GEFASST

Sumee Park, Michael Visser,  
Sebastian Stratbücker, Victor Norrefeldt

### OBJEKTIVE KLIMAKOMFORTBEWERTUNG IM FAHRZEUG MIT DRESSMAN 3.2 ERWEITERUNG DER ÄQUIVALENTTEMPERATUR ZUR GESAMTBEWERTUNG DES THERMISCHEN KOMFORTS

#### 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

[www.ibp.fraunhofer.de](http://www.ibp.fraunhofer.de)

#### Literatur

[1] Elektroautos im Winter: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/info/elektroauto-reichweite-winter/>

[2] DIN EN ISO 14505-2: 2007: Beurteilung der thermischen Umgebung in Fahrzeugen – Teil 2: Bestimmung der Äquivalenttemperatur.

[3] Stratbücker, S., Park, S., Pathak, A., Norrefeldt, V., Grün, G.: Concepts for comfortable air-conditioning. Simulation using a zonal cabin model and a metrological evaluation based on equivalent temperature. In: Proceedings of 1st ETA Conference, 2016.

[4] Park, S.; Stratbücker, S., Visser, M., Grün, G.: Thermal comfort measurement methodology during a heat-up or cool-down phase of a vehicle. 3. Tagung Fahrzeugklimatisierung, Essen, 2019.

[5] Nilsson, H. O.: Comfort Climate Evaluation with Thermal Manikin Methods and Computer Simulation Models. Stockholm, Sweden, National Institute for Working Life & authors. Dissertation, 2004.

#### HINTERGRUND

An einem kalten Wintertag bei Null Grad Celsius kann ein E-Fahrzeug im Stadtverkehr im Vergleich zu 20 °C Außentemperatur bis 50 Prozent Reichweitenverlust aufweisen [1]. Es benötigt deutlich mehr Energie, die gesamte Fahrzeuggabine zu heizen oder zu kühlen als nur die Insassen zu klimatisieren. Daher werden zunehmend körpernahe Maßnahmen wie Sitz- oder Lenkradheizung eingesetzt, deren Wirkung auf die thermische Behaglichkeit allerdings mit aktuell vorhandenen Messmethoden an einzelnen Messpunkten der Fahrzeuggabine kaum erfassbar sind. Für die Weiterentwicklung der Fahrzeugklimatisierung ist ein Messsystem erforderlich, welches Kühl- und Heizwirkung sowohl räumlich als auch zeitlich genau erfassen kann. Nur mittels geeigneter Messtechnik kann die Wirksamkeit von Klimatisierungsmaßnahmen und die jeweils erforderliche Wirkdauer auf bestimmte Körperbereiche beurteilt und letztlich eine Aussage zum thermischen Komfort getroffen werden. Außerdem sollte das Messsystem für den schnellen Einsatz in der Praxis tauglich sein und sich in das CAN-Bussystem des Fahrzeugs integrieren lassen.

#### ÄQUIVALENTTEMPERATUR

Neben den vier physikalischen Raumklimaparametern Lufttemperatur, Strahlungstemperatur, Luftgeschwindigkeit und relative

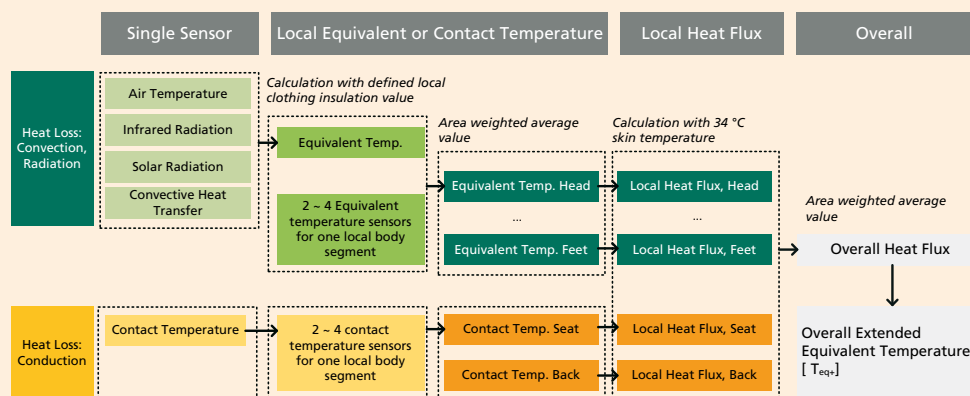
Raumluftfeuchte beeinflussen zwei weitere individuelle Parameter – der Bekleidungs-dämmwert und der Energieumsatz – den Wärmeaustausch zwischen dem Menschen und seiner Umgebung. Um bei inhomogenen thermischen Randbedingungen wie in einer Fahrzeuggabine Aussagen zum thermischen Komfort treffen zu können, werden segmentierte »Thermal Manikins« oder einzeln beheizbare Sensoren auf Trägerpuppen eingesetzt. Damit ist es möglich, den trockenen Wärmeaustausch des Menschen lokal zu messen und eine sogenannte »Äquivalenttemperatur« segmentweise zu bestimmen. Nach Definition der DIN EN ISO 14505-2 [2] gibt eine Person bei gleicher Äquivalenttemperatur die gleiche trockene Wärme durch Strahlung und Konvektion ab. Nach Norm wurden die Komfortbereiche der Äquivalenttemperatur auf 16 lokalen Körpersegmenten definiert. Die Wärmeleitung wurde bei der Erfassung nicht berücksichtigt und die Komfortdiagramme in der Norm liefern keine Aussage über die Kontaktbereiche auf der Sitzfläche sowie am Rücken.

#### DRESSMAN 3.2

Am Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP wurde der DressMAN (Dummy REpresenting Suit for Simulation of huMAN heatloss) entwickelt, um die thermische Behaglichkeit von inhomogenen Umgebungen zu erfassen.



1



2

Die erste Version des Sensors stammt aus den 1990er Jahren, entwickelt als Messsystem für die Äquivalenttemperatur. Es ist verankert in der Norm DIN EN 14505-2. Im Jahr 2014 wurde der DressMAN-Sensor in einem Forschungsprojekt weiterentwickelt [3], und in den folgenden Jahren in einer dritten Version hinsichtlich Größe und thermischer Masse deutlich reduziert. Dies ermöglichte die Messung der sich schnell ändernden thermischen Umgebung in der Abkühl- und Aufheizphase einer Fahrzeugkabine. Außerdem realisierte man die Datenerfassung mit drahtloser Sensortechnik und die Umsetzung der Daten auf das CAN-Protokoll. Die weiterentwickelten Sensoren wurden dann entweder in einen tragbaren Anzug integriert [4] oder auf 28 definierten Körpersegmenten mit Klettverschlüssen befestigt (siehe Bild 1). Bei der aktuellen Version 3.2 des DressMAN kamen ein neues Messprinzip sowie neue Fühler zum Einsatz. Während es sich bis dato bei allen DressMAN-Sensoren um beheizte Sensorfühler handelte, wurden beim DressMAN 3.2 neben einem beheizten Sensor für die Messung des konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten drei weitere Fühler eingesetzt: ein Lufttemperatursensor sowie zwei Thermopilesensoren für lang- und kurzwellige Strahlung, um die mittlere Strahlungstemperatur zu berechnen. Damit sind nun Einzelgrößen wie z. B. die Stärke der Solarstrahlung oder die Luftgeschwindigkeit bestimmbar. Neben der Äquivalenttemperatur wird die Temperatur auf dem Kontaktbereich erfasst, um die Wärmeleitung sowie deren Einfluss auf den gesamten Wärmeaustausch zu berücksichtigen.

### BERECHNUNG ANHAND EINZELNER MESSGRÖSSEN

Gleichung 1 zeigt die trockene Wärmestromdichte  $q_1$  des Menschen in einer thermischen Umgebung, wobei  $h_c$  der konvektive Wärmeübergangskoeffizient,  $[W/m^2K]$ ,  $h_r$  der

Strahlungswärmeübergangskoeffizient,  $[W/m^2K]$ ,  $T_a$  die Lufttemperatur,  $[^\circ C]$ ,  $T_r$  die mittlere Strahlungstemperatur und  $[^\circ C]$ ,  $T_{cl}$  die Oberflächentemperatur auf Bekleidung ist. Nach der Definition der Äquivalenttemperatur  $T_{eq}$  kann diese Wärmeaustauschgleichung als Gl. 2 umgeschrieben werden. Dabei wird  $h_{c,cal}$  definiert als konvektiver Wärmeübergangskoeffizient bei der Luftgeschwindigkeit  $< 0,05 [m/s]$ . Aus Gl. 1 und Gl. 2 ( $q_1 = q_2$ ) lässt sich die Äquivalenttemperatur ermitteln (siehe Gl. 3).

$$q_1 = h_c (T_{cl} - T_a) + h_r (T_{cl} - T_r) \quad \text{Gl. 1}$$

$$q_2 = h_{c,cal} (T_{cl} - T_{eq}) + h_r (T_{cl} - T_{eq}) \quad \text{Gl. 2}$$

$$T_{eq} = T_{cl} - \frac{(h_c (T_{cl} - T_a) + h_r (T_{cl} - T_r))}{(h_{c,cal} + h_r)} \quad \text{Gl. 3}$$

Die DressMAN 3.2-Messungen liefern Lufttemperatur, mittlere Strahlungstemperatur sowie den kalibrierten konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten. Während der Kalibrierung wird  $h_{c,cal}$  bestimmt. Die Wärmestromdichte von der Haut zur Bekleidungsfläche kann unter Berücksichtigung von Bekleidungs-dämmwert  $I_{cl}$  sowie unter Annahme einer Hauttemperatur von  $34^\circ C$ , wie bei einem mit konstanter Temperatur betriebenen »Thermal Manikin« wie Gl. 4 beschrieben werden. Da diese Wärmestromdichte gleich der von Bekleidungsflächen zur Umgebung ist ( $q_1 = q_2$ ), lässt sich die Oberflächentemperatur nach Gl. 5 ermitteln, die für die Ermittlung der Äquivalenttemperatur in Gl. 3 eingesetzt wird. Die DressMAN 3.2 Auswertungsroutine bestimmt die lokalen Äquivalenttemperaturen unter Nutzung der Bekleidungs-dämmwerte nach Nilsson [5] oder mit einem einheitlichen Dämmwert von 0,8 clo.

$$q_3 = \frac{(34 - t_{cl})}{I_{cl}} \quad \text{Gl. 4}$$

$$T_{cl} = \frac{34 + I_{cl} (h_c T_a + h_r T_r)}{1 + I_{cl} (h_c + h_r)} \quad \text{Gl. 5}$$

### KLIMAKOMFORT-GESAMTBEWERTUNG MIT EXTENDED EQUIVALENT TEMPERATURE (TEQ+)

Die ermittelten einzelnen 28 Äquivalenttemperaturen werden 12 Körpersegmenten zugeordnet, um die lokale Äquivalenttemperatur zu bestimmen. Diese lokalen Äquivalenttemperaturen vergleicht man mit dem Komfortdiagramm in der Norm und bewertet die lokale thermische Behaglichkeit auf den Körpersegmenten. Für den Kontaktbereich erfolgt die Ermittlung der Wärmestromdichte aus der Kontakttemperaturmessung nach Gl. 4, wobei die gemessene Kontakttemperatur mit der Bekleidungs-temperatur in Gl. 4 gleichgesetzt ist. Für die Bewertung der thermischen Behaglichkeit auf dem gesamten Körper werden zuerst die lokalen Wärmestromdichten mit Gl. 2 berechnet. Damit kann zusammen mit der Wärmestromdichte vom Kontaktbereich flächengewichtet die gesamte Wärmestromdichte berechnet werden. Daraus wird die erweiterte Gesamt-Äquivalenttemperatur  $T_{eq+}$  aus Gl.4 und Gl.2 berechnet. Im Vergleich zur Äquivalenttemperatur-Definition in DIN EN ISO 14505-2 [2], die keine Wärmeleitung berücksichtigt, wird nun auch der Einfluss einer Sitzheizung oder -klimatisierung mithilfe des Konzepts der Äquivalenttemperatur bewertbar. Damit sind thermische Umgebungsbedingungen mit nur einem Zahlenwert beschreibbar, was eine vergleichende Bewertung unterschiedlicher Klimatisierungskonzepte ermöglicht.

- 1 DressMAN 3.2 im Fahrzeug.
- 2 Gesamte thermische Bewertung.

Weiterführende Informationen finden sich unter [www.ibp.fraunhofer.de/de/geschaeftsfelder-produkte/produktentwicklungen/dressman.html](http://www.ibp.fraunhofer.de/de/geschaeftsfelder-produkte/produktentwicklungen/dressman.html)