

NUMERISCHE UND EXPERIMENTELLE METHODEN ZUR UNTERSUCHUNG DES LOKALEN DISKOMFORTS BEI ARMAUFLAGEN

AUTOREN



**UNIV.-PROF. DR.-ING.
HABIL. UWE JANOSKE**
ist Inhaber des
Lehrstuhls für Fluid-
mechanik an der
Bergischen Universität
Wuppertal.



DIPL.-ING. HAUKE GREGOR
ist Mitarbeiter des
Lehrstuhls für Fluid-
mechanik an der
Bergischen Universität
Wuppertal.



**DR.-ING.
MICHAEL SCHRODT**
ist Geschäftsführer bei
der Gratz Simulation
GmbH in Weinsberg.



**UNIV.-PROF. MAG. DR.
HERMANN SCHWAMEDER**
ist tätig im Interfakultären
Fachbereich Sport- und
Bewegungswissenschaft
USI der Universität
Salzburg (Österreich).

Im Rahmen eines Forschungsprojekts an der Universität Wuppertal wurde ein Rechenmodell zur numerischen Vorhersage des Diskomfortverhaltens entwickelt. Als Grundlage der Untersuchungen diente eine belüftete Armlehne. Basierend auf einer Berechnung der Strömungsverhältnisse sowie des Verformungsverhaltens des Schaumstoffs können die lokalen Geschwindigkeits- und Temperaturverhältnisse am Kontaktpunkt der Armauflage bestimmt werden.



1	EINLEITUNG
2	RECHENMODELL
3	EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN
4	NUMERISCHE ERGEBNISSE
5	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

1 EINLEITUNG

Komfortgesichtspunkte sind ein wichtiger Faktor bei der Entwicklung neuer Produkte. In den meisten Fällen erfolgt die Bewertung des Komfortempfindens, wie der Entwicklung von Armlehnen in Automobil-Anwendungen, in späten Phasen der Produktentwicklung anhand von bestehenden Prototypen. Änderungen oder Verbesserungen des Diskomfortempfindens erfordern neue Prototypen und umfangreiche Tests verbunden mit einem hohen Arbeitsaufwand und Kosten. Momentan sind numerische Werkzeuge, wie die numerische Strömungssimulation (CFD), nicht in der Lage, das Komfortempfinden zu bewerten. In dieser Arbeit werden klimatisierte und belüftete Armlehnen, die in vielen Arbeitsplätzen von Fahrzeugen, wie Lkw, Pkw oder Baumaschinen eingesetzt werden, mit Hilfe einer gekoppelten Analyse von Strömung und Struktur untersucht. Mit Hilfe des Modells lassen sich Aussagen zum thermischen Diskomfortempfinden ableiten. Eine Bewertung oder Verbesserung der ergonomischen Gestalt der Armlehne, wie von Murphy und Oliver [1] vorgeschlagen, wurde nicht betrachtet.

Die Differenzierung der Begriffe Komfort und Diskomfort wurde in der Arbeit von Zhang et al. [10] beschrieben. Dabei sind die Begriffe nicht als gegensätzliche Aussagen zu bewerten, sondern bezeichnen das Gefallen (Komfort) und das Ertragen (Diskomfort). Im Rahmen der Arbeit wird nach der Definition von Zhang et al. [10] der Diskomfort bewertet.

In der Vergangenheit wurden verschiedenste Untersuchungen zur Bewertung des thermischen Komfortempfindens durchgeführt. Mezhab und Bouzidi [5] verwenden ein Netzwerkmodell basierend auf der Lösung der Wärmebilanzen zur Beschreibung der Temperaturverteilung innerhalb der Fahrgastzelle. Zhang et al. [6] führen ebenfalls Berechnungen der Temperaturverteilung im Fahrgastraum eines Fahrzeugs mit Hilfe eines CFD-Codes durch, wobei ebenfalls kein direkter Zusammenhang zwischen den Daten aus der CFD-Analyse und dem thermischen Komfortempfinden angegeben wird. Arbeiten aus dem Bereich der Lüftungs- und Klimatechnik, zum Beispiel von Lin et al. [4] beschreiben Korrelationen für das Komfortempfinden in Abhängigkeit der Strömungsgeschwindigkeiten und der Temperaturen, die in ähnlicher Weise von Catalina et al. [2] zur Optimierung von Klimatisierungsstrategien verwendet werden. Zhang et al. [8] untersuchen detailliert den Einfluss der Temperaturen an 19 verschiedenen Stellen des Körpers und deren Auswirkungen auf das Komfortempfinden, wobei die Strömungsverhältnisse in der Betrachtung vernachlässigt wurden. Detaillierte Modelle zur Thermoregulation finden sich unter anderem bei Tanabe et al. [3] oder Fiala [9], die sehr detailliert die Auswirkungen von Wärmeflüssen im menschlichen Körper beschreiben und Auswirkungen auf das Komfortempfinden erlauben. Die bisherigen Untersuchungen sind in der Regel für Komfortempfindungen ohne Kontakt zu Bauteilen durchgeführt worden. Lediglich Cengiz und Babalik [7] führen Fahrversuche zur Untersuchung des Komfortempfindens unterschied-

licher Sitzbezüge in Fahrzeugen durch, wobei keine numerischen Untersuchungen angestellt werden. Im Rahmen dieser Arbeit soll das Diskomfortempfinden bei Kontakt zwischen Körperteilen (hier: Ellbogen) und Bauteilen (hier: Armlehne) experimentell und numerisch untersucht werden, wobei die lokalen Strömungsverhältnisse der porösen Unterlage unterschiedlich sein können. Ziel ist dabei die Entwicklung eines Auslegungswerkzeugs zur Vorhersage des thermischen Diskomfortempfindens im Prototypenstadium.

2 RECHENMODELL

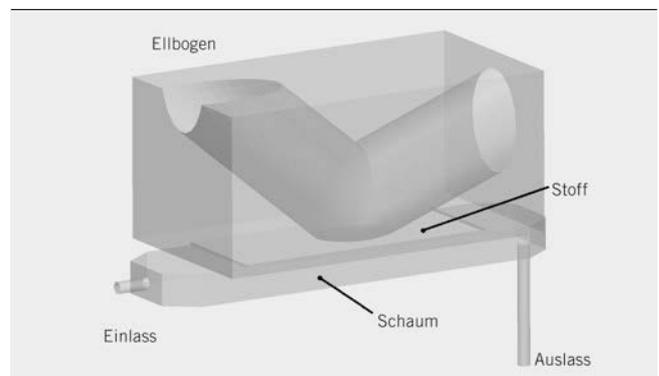
Numerische Strömungsberechnungsmethoden erlauben keine Aussage über subjektive Diskomfortempfindungen. Lediglich messbare Größen, wie Druck, Temperatur und Geschwindigkeit können bestimmt werden. Zur Auslegung von Auflagen, bei denen ein Kontakt zwischen Bauteiloberflächen und der Haut besteht, ist man auf subjektive Aussagen und damit experimentelle Untersuchungen angewiesen.

Durch Experimente an einem Versuchsstand wurden bei einer Vielzahl von Probanden unterschiedlichen Alters und Geschlechts in diversen Versuchszyklen gezielt Temperaturen und Geschwindigkeiten eingestellt, die als unkomfortabel oder komfortabel bewertet wurden. Die entstandene Korrelationsmatrix ergibt eine Zuordnung von Temperatur und Geschwindigkeit zum Diskomfortempfinden und wurde mit einem Strömungsberechnungsprogramm gekoppelt. Mit Hilfe des Rechenmodells lassen sich damit messbare und berechenbare Größen in subjektive Empfindungen umwandeln.

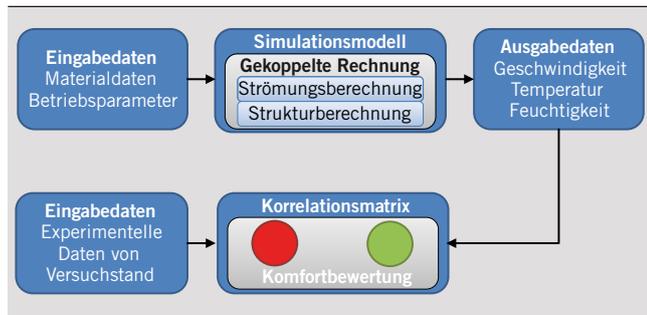
In den nächsten Abschnitten werden sowohl die Geometrie des Simulationsmodells als auch die Vorgehensweise bei der Simulation sowie die verwendeten Annahmen dargestellt.

2.1 GEOMETRIE

① zeigt die verwendete Geometrie in den Simulationsrechnungen. Der Ellbogen einer Person wird in der Mitte eines porösen Schaums, der die Armlehne repräsentiert, positioniert. Die Geometrie des Ellbogens wurde durch einen 3D-Scanner (Optix 400M, 3D Digital Corp.) rekonstruiert. Der Schaum wird durch einen Stoff abgedeckt. Sowohl die Temperatur als auch die Strömungsgeschwindigkeit können am Einlass vorgegeben werden. In Abhängigkeit des Drucks, der durch den Arm auf den Schaum ausgeübt wird, stellen sich am Kontaktpunkt des Arms mit dem Schaum unterschiedliche Strömungsbedingungen ein.



① Geometrie des Simulationsmodells



② Vorgehensweise bei der Simulation

2.2 VORGEHEN BEI DER SIMULATION

Ausschlaggebend für die Bewertung des Diskomfortverhaltens ist die Kenntnis der lokalen Strömungszustände, das heißt Strömungsgeschwindigkeit und Temperatur. ② zeigt das Vorgehen bei der Simulation zur Abbildung des Disomfortempfindens. Da die Strömungsbedingungen von der Struktur des Schaums abhängig sind, wird zunächst eine Strukturberechnung des Schaums durchgeführt. Basierend auf den Spannungen, wird die Porosität des Schaums durch ein zusätzliches Rechenmodell, das in Abschnitt 2.4.3. erläutert wird, bestimmt. Die Porositätsverteilung und die Deformation der Geometrie des Schaums werden in der nachfolgenden Strömungsberechnung durch Senkenterme in der Impulsbilanz oder als deformierbares Berechnungsgitter berücksichtigt. Die erhaltenen Strömungsgeschwindigkeiten und Temperaturen sind die Eingangsgrößen einer Korrelationsmatrix, die aus den experimentellen Untersuchungen (siehe Abschnitt 3) erhalten wird. Daraus wird das lokale Diskomfortempfinden abgeleitet. Die Vorgehensweise kann in eine Zeitschleife zur Untersuchung transienter Prozesse integriert werden. Schließlich liefert das Werkzeug eine Aussage über den Diskomfort, der in ② durch eine Ampel angedeutet ist.

2.3 ANNAHMEN UND VORAUSSETZUNGEN

Zur Reduktion des Rechenaufwands werden mehrere Annahmen getroffen:

- : Die Kontaktfläche zwischen Arm und Armlehne wird als konstant während der Rechnung angenommen.
- : Die Strömung sei kompressibel und turbulent, wobei die turbulente Strömung mit Hilfe eines Zwei-Gleichungs-Turbulenzmodell (k-ε-Modell) beschrieben wird.
- : Der Schaum wird näherungsweise als linear-elastisches Material beschrieben.
- : Der Schaum wird als homogenes, poröses Medium in den Rechnungen beschrieben.

2.4 BERECHNUNGSGLEICHUNGEN

In den nächsten Abschnitten werden die verwendeten Berechnungsgleichungen zusammengefasst.

2.4.1 STRUKTUR

Die Verschiebung v wird aus der Impulsbilanz, Gl. 1, unter Verwendung eines linear-elastischen Materialverhaltens mit einem linearen Zusammenhang zwischen Dehnung ϵ_s und Spannung σ_s mit dem E-Modul E sowie der Querkontraktion ν nach Gl. 2 und Gl. 3 als Folge der äußeren, volumenbezogenen Kraft f_s beschrieben.

GL. 1	$\nabla \cdot \sigma_s + f_s = 0$
GL. 2	$\sigma_s = \frac{E}{1+\nu} \epsilon_s + \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \text{tr} \epsilon_s I$
GL. 3	$\epsilon_s = \frac{1}{2} [\nabla v + (\nabla v)^T]$

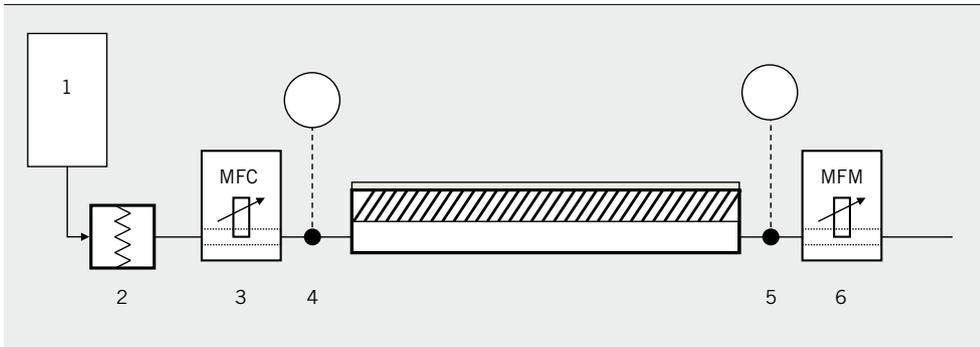
2.4.2 FLUID

Die Strömungszustände, das heißt Geschwindigkeit u und Druck p werden mittels der Kontinuitäts- und Impulsbilanz, Gl. 4 und Gl. 5, unter Berücksichtigung der effektiven Viskosität μ , Gl. 6, beschrieben. Die turbulente Strömung wird mit einem k-ε-Modell modelliert. Die turbulente Viskosität μ_t wird nach Gl. 7 als Verhältnis der turbulenten kinetischen Energie k und der Dissipation ϵ durch zwei Transportgleichungen, Gl. 11 und 12, unter Verwendung der Turbulenzproduktion P bestimmt. Die Temperatur erhält man aus der Energiebilanz, Gl. 8, unter der Annahme idealen Gasverhaltens, Gl. 10, und der Wärmeübergangskoeffizient, Gl. 9. Schließlich wird optional die Feuchtigkeit unter Verwendung des Diffusionskoeffizienten D_ϕ mit einer weiteren Transportgleichung, Gl. 13, gelöst. Die Gleichungen – Struktur als auch Strömung – werden mit dem Open Source CFD-Code Open-Foam gekoppelt gelöst.

GL. 4	$\nabla \cdot (\rho u) = 0$
GL. 5	$\nabla \cdot (\rho u u) = \nabla \cdot [\mu(\nabla u + \nabla u^T) - \frac{2}{3} \mu \nabla \cdot (u) I] - \nabla p + S_i$
GL. 6	$\mu = \mu_l + \mu_t$
GL. 7	$\mu_t = \frac{c_\mu \rho k^2}{\epsilon}$
GL. 8	$\nabla \cdot (\rho u c_p T) - \nabla \cdot [\alpha \nabla T] - u \cdot \nabla p = 0$
GL. 9	$\alpha = \alpha_l + \alpha_t$
GL. 10	$p = \rho R T$
GL. 11	$\nabla \cdot (\rho u k) = \nabla \cdot \left[\left(\mu_l + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k \right] + P - \rho \epsilon$
GL. 12	$\nabla \cdot (\rho u \epsilon) = \nabla \cdot \left[\left(\mu_l + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \nabla \epsilon \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} P - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k}$
GL. 13	$\nabla \cdot (\rho u \phi) = \nabla \cdot (D_\phi \nabla \phi)$

2.4.3 SPANNUNG-POROSITÄTS-BEZIEHUNGEN

Im Rahmen der Studie wurden unterschiedliche Schaumsorten mit verschiedenen Stauchhärten, Rohdichten und Durchlässigkeiten verwendet. Eine detaillierte geometrische Auflösung der komplexen Struktur der Schäume ist aus Rechenzeitgründen nicht möglich. Der Schaum wird deshalb als homogenes Ersatzmodell sowohl in den Struktur- als auch Strömungsrechnungen abgebildet. Das mechanische Verhalten wird durch Druckversuche experimentell ermittelt und numerisch durch ein linear-elastisches Verhalten mit Hilfe des Elastizitätsmoduls E und der Querkontraktionszahl ν beschrieben. In den Strukturrechnungen werden die Spannungen und Verschiebungen im Schaum ermittelt. Aus den lokalen Spannungsbedingungen werden die lokalen Porositäten



3 Experimenteller Versuchsaufbau

abgeleitet. Die lokalen Porositäten sorgen wiederum für lokal unterschiedliche Druckverluste, die durch Senkenterme in der Impulsbilanz für die Strömung, Gl. 5, implementiert sind. Die Senkenterme wiederum wurden durch experimentelle Untersuchungen mittels eines Durchströmungsversuchs für die verschiedenen Schäume bei unterschiedlichen Durchströmungsgeschwindigkeiten bestimmt.

3 EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN

Um eine Korrelation zwischen den messbaren Werten (Strömungsgeschwindigkeit, Temperatur) und subjektiven Empfindungen zu erhalten, wurden umfangreiche experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Der experimentelle Aufbau, die Vorgehensweise bei den Experimenten und die Ergebnisse werden in den nächsten Abschnitten beschrieben.

3.1 VERSUCHSAUFBAU

Der Versuchsaufbau ist in 3 schematisch dargestellt. Temperierte Luft wird durch Druckluft (1) und einen Gaserhitzer (2) bereitgestellt und durch die Armlehne geleitet. Der Massenstrom wird am Eintritt in die Armlehne reguliert (3) und am Austritt durch einen Massenstromsensor gemessen (6). Die Luft wird gleichmäßig durch einen statischen Mischer auf den Kanalquerschnitt verteilt und strömt durch den porösen Schaum. Der Arm der Versuchsperson wird in der Mitte der Armlehne auf dem Stoff platziert. Ein Teil des Volumenstroms verlässt den Kanal durch den Schaum oder Stoff, wobei der Großteil durch die Armlehne strömt. Die Temperaturen und Drücke werden an verschiedenen Positionen (4) und (5), wie in 3 dargestellt, bestimmt.

3.2 VORGEHENSWEISE BEI DEN EXPERIMENTEN

Für eine statistische Auswertung der Versuche wurden unterschiedliche Testläufe verwendet. Jeder Testlauf besteht aus 13 unterschiedlichen Kombinationen von Temperaturen und Volumenströmen. 4 zeigt die beiden Testläufe, die verwendet wurden. Jede Testperson muss ausgehend von einem ersten Referenzzustand die jeweils nachfolgenden Versuche bewerten, ob diese deutlich angenehmer (+2), deutlich unangenehmer (-2) oder gleich komfortabel (0) sind. Zwischenwerte (-1, +1) waren ebenfalls möglich. Zur Erfassung der Aussagequalität wurden zwei identische Testsequenzen (3-5 und 11-13) vorgesehen. Die Ergebnisse einer Versuchsperson werden als verlässlich angenommen, wenn der Vertrauensfaktor R, Gl. 14, kleiner als 5 ist. Der Faktor R wird

dabei als Unterschied zwischen den einzelnen Komfortempfindungen ΔC_i für die verschiedenen Zustände i definiert.

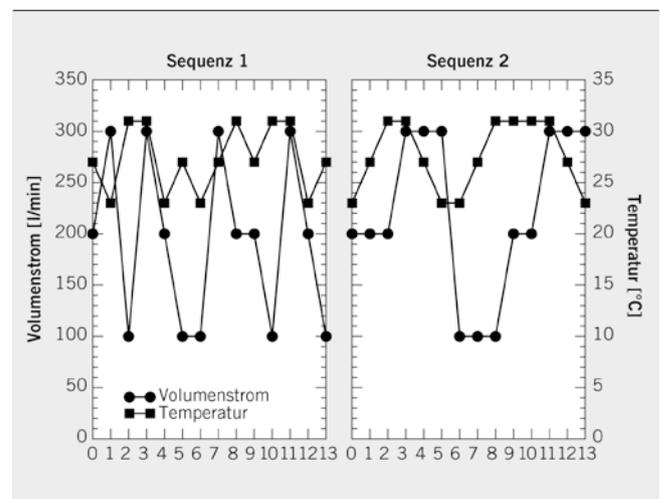
$$\text{GL. 14} \quad R = (C_{11} - C_3)^2 + (C_{12} - C_4)^2 + (C_{13} - C_5)^2$$

3.3 EXPERIMENTELLE ERGEBNISSE

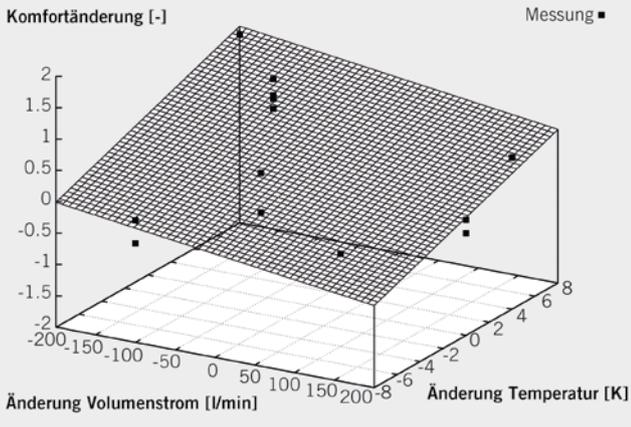
Die Werte der Komfortänderung werden in den nachfolgenden Abschnitten als Funktion der Temperatur und des Volumenstroms am Eintritt in den Versuchsstand dargestellt. In den 3D-Darstellungen ist eine quadratische Interpolation der Werte zur besseren Visualisierung der Daten ebenfalls dargestellt. In Summe wurden mehr als 50 Personen getestet, deren Alter zwischen 20 und 52 Jahren lag.

5 zeigt die Diskomfortänderung ΔC_i als Funktion der Temperatur und des Volumenstroms für Schaum 1 und Testprozedur 1. Eine Erhöhung der Temperatur hat einen dominierenden Einfluss auf eine Zunahme des Diskomfortempfindens ΔC_i . Eine Verringerung des Volumenstroms führt ebenfalls zu einer Abnahme der Diskomfortänderung ΔC_i .

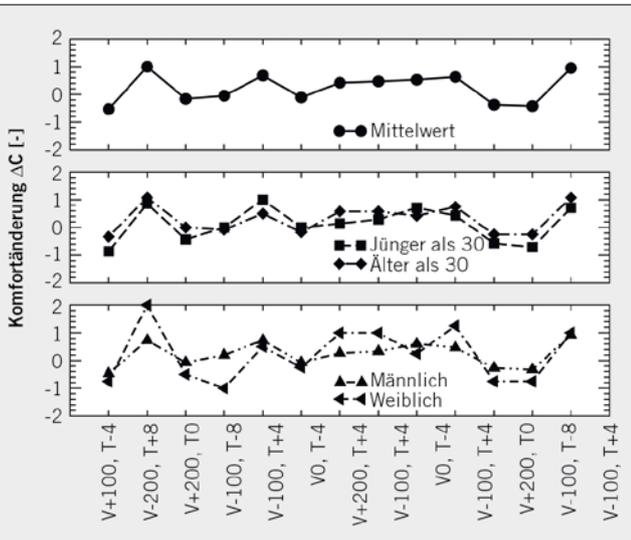
6 zeigt die Ergebnisse für den Schaum 1 und die Testprozedur 1 für die unterschiedlichen Zustände. Dabei kann das gleiche Verhalten abgeleitet werden. Ein Vergleich der Kurven für unterschiedliche Altersgruppen (unter/über 30 Jahre) zeigt keine nen-



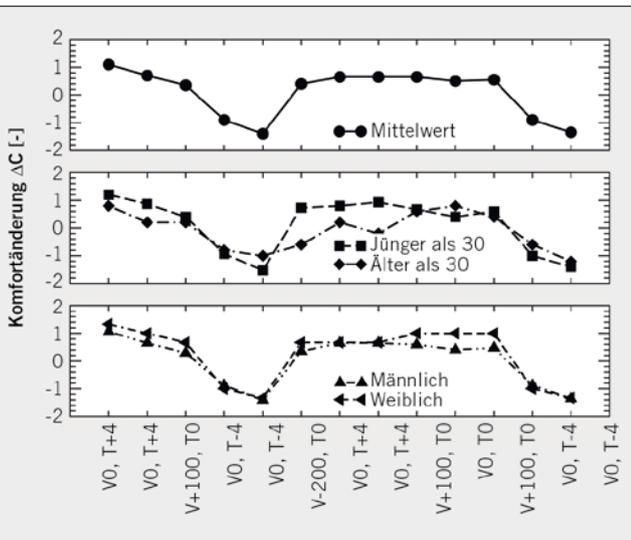
4 Versuchssequenzen



5 Änderung des Diskomfortempfindens ΔC für unterschiedliche Temperaturen und Volumenströme für den Schaum 1, Testsequenz 1



6 Änderung des Diskomfortempfindens ΔC für unterschiedliche Testsequenzen für den Schaum 1, Testsequenz 1



7 Änderung des Diskomfortempfindens ΔC für unterschiedliche Testsequenzen für den Schaum 1, Testsequenz 2

nenswertem Unterschiede, das heißt das Diskomfortempfinden in der untersuchten Altersgruppe ist unabhängig vom Alter. Ein Vergleich der Ergebnisse männlicher und weiblicher Testpersonen zeigen einige Abweichungen hinsichtlich des Absolutwerts, nicht aber hinsichtlich der Tendenzen.

7 zeigt eine analoge Darstellung für den Schaum 1 allerdings unter Verwendung der Testprozedur 2. Dabei können ähnliche experimentelle Ergebnisse gefunden werden, wobei die Unterschiede zwischen den weiblichen und männlichen Testpersonen kleiner sind. In der Testprozedur 2 wird ein Versuchspunkt ohne Änderung von Temperatur und Geschwindigkeit verwendet, der zu einem Wert von 0,5 führt, das heißt die experimentellen Aussagen sind mit einer Schwankungsbreite von ±0,5 zu betrachten. 8 zeigt die 3D-Darstellung aller Experimente, das heißt aller untersuchten Schaumarten, die wiederum zu den identischen Aussagen führen:

- : dominierender Einfluss auf eine positive Veränderung von ΔC ist der Anstieg der Temperatur
- : geringere Volumenströme führen zu einer Erhöhung von ΔC
- : kein Einfluss des Alters der Testpersonen
- : kein Einfluss der Schaumsorte
- : kein oder geringer Einfluss des Geschlechts der Testpersonen.

Die Werte für die Änderung der Diskomfortempfindung ΔC können durch einen quadratischen Ansatz approximiert werden, Gl. 15, der zu dem nachfolgenden Satz von Koeffizienten a_i führt:

$$\begin{aligned}
 a_0 &= 0,166932 \\
 a_1 &= 0,146816 \text{ K}^{-1} \\
 a_2 &= -0,00171476 \text{ K}^{-2} \\
 a_3 &= -0,00122757 \text{ min}^{-1} \\
 a_4 &= 1,88203 \cdot 10^{-6} \text{ min}^2 \cdot \text{l}^{-2} \\
 a_5 &= 0,000424689 \text{ min}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}.
 \end{aligned}$$

Diese Werte sind die Ausgangsbasis zur Korrelation der Strömungswerte (Geschwindigkeit, Temperatur), die aus den CFD-Rechnungen bestimmt werden, mit den Diskomfortempfindungen.

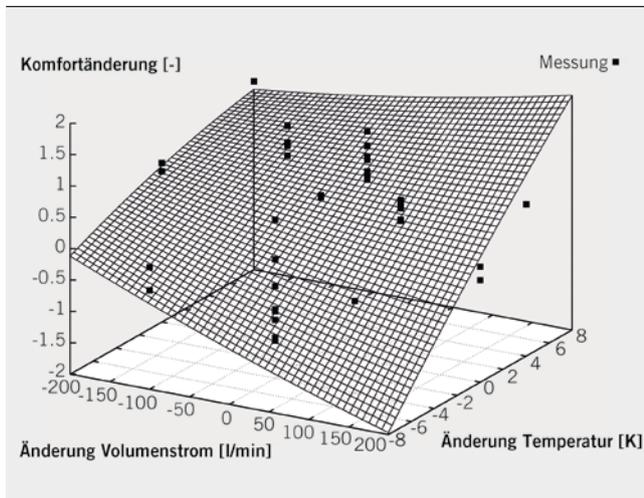
GL. 15	$\nabla C = a_0 + a_1 \cdot T + a_2 \cdot T^2 + a_3 \cdot \dot{V} + a_4 \cdot \dot{V}^2 + a_5 \cdot \dot{V} \cdot T$
--------	--

4 NUMERISCHE ERGEBNISSE

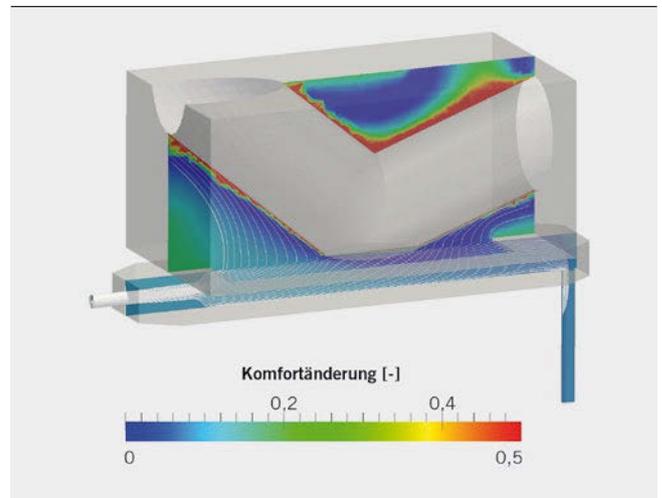
9 zeigt die Stromlinien und die Diskomfortänderungen ΔC des Simulationsmodells basierend auf den Parametern für den Schaum 1 und einem Volumenstrom von 200 l/min und einer Temperatur von 27 °C am Einlass. Durch die Beschreibung des Diskomfortempfindens in der Simulationsrechnung lassen sich Strömungs- und Temperaturführung in Prototypen gezielt verändern.

5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Eine Simulationsumgebung zur Vorhersage des Diskomfortempfindens in virtuellen Prototypen wurde für Armlehnen entwickelt. Eine gekoppelte Betrachtung der Strukturberechnung der Schaumstruktur und der Strömungszustände in der Armlehne erlaubt eine Aussage über das Diskomfortempfinden. Das Diskomfortempfinden wird durch eine Korrelationsmatrix basierend auf experimentellen Ergeb-



8 Experimentelle Ergebnisse aller Versuchspunkte



9 Stromlinien und Diskomfortänderungen ΔC im Schnitt durch die Armlehne

nissen bestimmt. Umfangreiche Experimente wurden zur Ermittlung der Matrix durchgeführt, die sowohl von der Strömungsgeschwindigkeit als auch von der Temperatur abhängt. In weiteren Schritten werden weitere Applikationen, bei denen ein Kontakt zwischen Körperteilen und Auflage stattfindet, untersucht.

LITERATURHINWEISE

- [1] Murphy, T.; Oliver, M. L.: Development and design of a dynamic armrest for hydraulic-actuation joystick controlled mobile machines. In: Applied Ergonomics 39 (2008), Nr. 3, S. 316 – 324
- [2] Catalina, T.; Virgone, J.; Kuznik, F.: Evaluation of thermal comfort using combined CFD and experimentation study in a test room equipped with a cooling ceiling. In: Building and Environment 44 (2009), Nr. 8, S. 1740 – 1750
- [3] Tanabe, S.; Kobayashi, K.; Nakano, J.; Ozeki, Y.; Konishi, M.: Evaluation of thermal comfort using combined multi-node thermoregulation (65MN) and radiation models and computational fluid dynamics (CFD). In: Energy and Buildings 34 (2002), Nr. 6, S. 637 – 646

- [4] Lin, Z.; Chow, T. T.; Fong, K. F.; Wang, Q.; Li, Y.: Comparison of performances of displacement and mixing ventilations. Part I: thermal comfort. In: International Journal of Refrigeration 28 (2005), Nr. 2, S. 276 – 287
- [5] Mezrhab, A.; Bouzidi, M.: Computation of thermal comfort inside a passenger car compartment. In: Applied Thermal Engineering 26 (2006), Nr. 14-15, S. 1697 – 1704
- [6] Zhang, H.; Dai, L.; Xu, G.; Li, Y.; Chen, W.; Tao, W.: Studies of air-flow and temperature fields inside a passenger compartment for improving thermal comfort and saving energy. Part II: Simulation results and discussion. In: Applied Thermal Engineering 29 (2009), Nr. 10, S. 2028 – 2036
- [7] Cengiz, T. G.; Babalik, F. C.: An on-the-road experiment into the thermal comfort of car seats. In: Applied Ergonomics 38 (2007), Nr. 3, S. 337 – 347
- [8] Zhang, H.; Arens, E.; Huizenga, C.; Han, T.: Thermal sensation and comfort models for non-uniform and transient environments: Part I: Local sensation of individual body parts. In: Building and Environment 45 (2010), Nr. 2, S. 380 – 388
- [9] Fiala, D.: Dynamic Simulation of Human Heat Transfer and Thermal Comfort, Leicester, De Montfort University, PhD Thesis, 1998
- [10] Zhang, L.; Helander, M. G.; Drury, C. G.: Identifying Factors of Comfort and Discomfort in Sitting. In: Human Factors 38 (1996), Nr. 3, S. 377 – 389

DANKE

Unser Dank gilt der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AIF) für die Betreuung des Projekts, das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert wurde. Weiterhin gilt unser Dank den Co-Autoren und Mitarbeitern von Gratz Engineering GmbH, Dipl.-Ing. (FH) Andreas Grimm, Dipl.-Ing. (FH) Dietmar Ingelfinger, Dipl.-Ing. (BA) Andreas Albert sowie den Geschäftsführern der Gratz Engineering GmbH, Dipl.-Ing. (FH) Klaus Schächtele und Dipl.-Ing. (FH) Peter Gratz in Weinsberg. Dem Rektor der Dualen Hochschule Baden-Württemberg, Prof. Geilsdörfer sowie Andreas Lang, Dipl.-Ing. (BA) Achim Hantschel und Dipl.-Ing. Marius Friedrich sei für die Unterstützung bei der Durchführung des Projekts gedankt.

Unser Dank gilt ebenfalls Dr.-Ing. Klaus Mager, Ingenieurbüro Mager, Bad Dürrenheim, für die administrative Unterstützung bei der Durchführung des Projekts.



DOWNLOAD DES BEITRAGS
www.ATZonline.de



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE

order your test issue now: SpringerAutomotive@abo-service.info