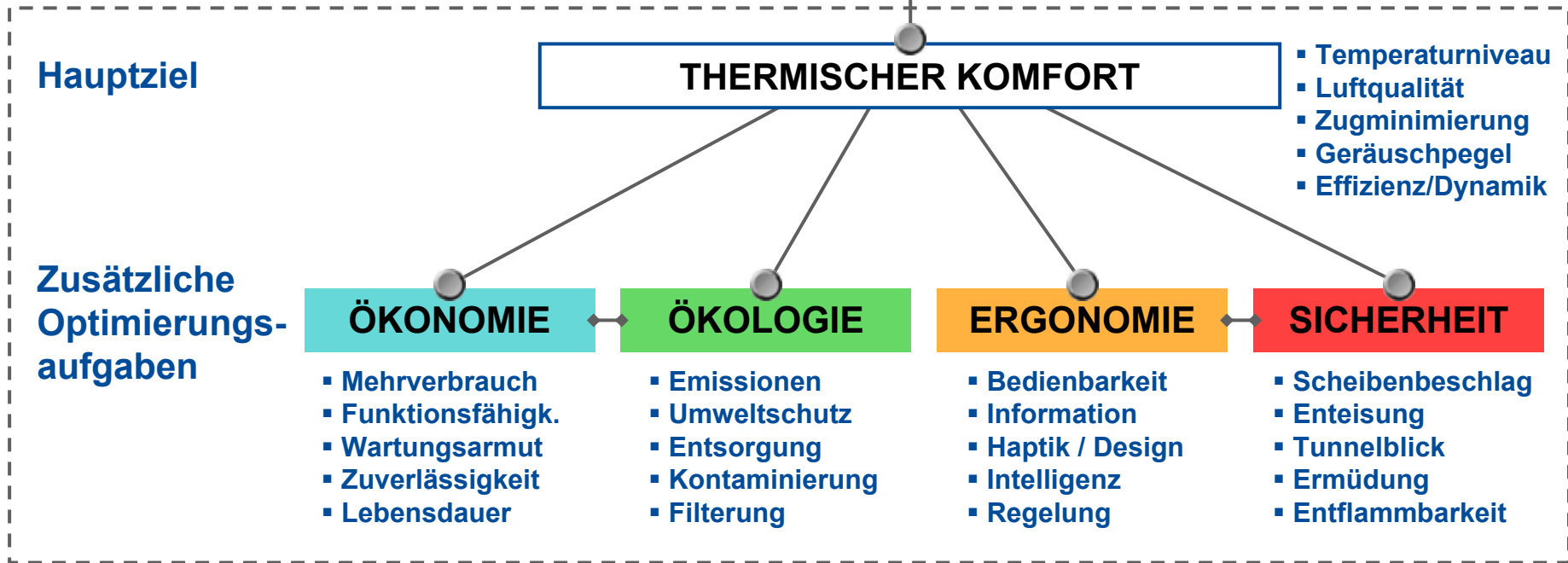




**Idealisierte energetisch-analytische Abbildungsmethode der
Temperaturschichtung bei der passiven Aufheizung in der Fahrzeugkabine**

6. Tagung PKW-Klimatisierung, 24. November 2009, München

KLIMATISIERUNG



RANDBEDINGUNGEN

Wetter + Ort	Kundenwunsch + Kulturkreis	Fahrzyklen + Fahrerprofil	Kosten + Produktion	Vorschriften + Gesetze
--------------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------	------------------------------

➔ **Klimatisierung ist eine komplexe und interdisziplinäre Herausforderung!** ⬅

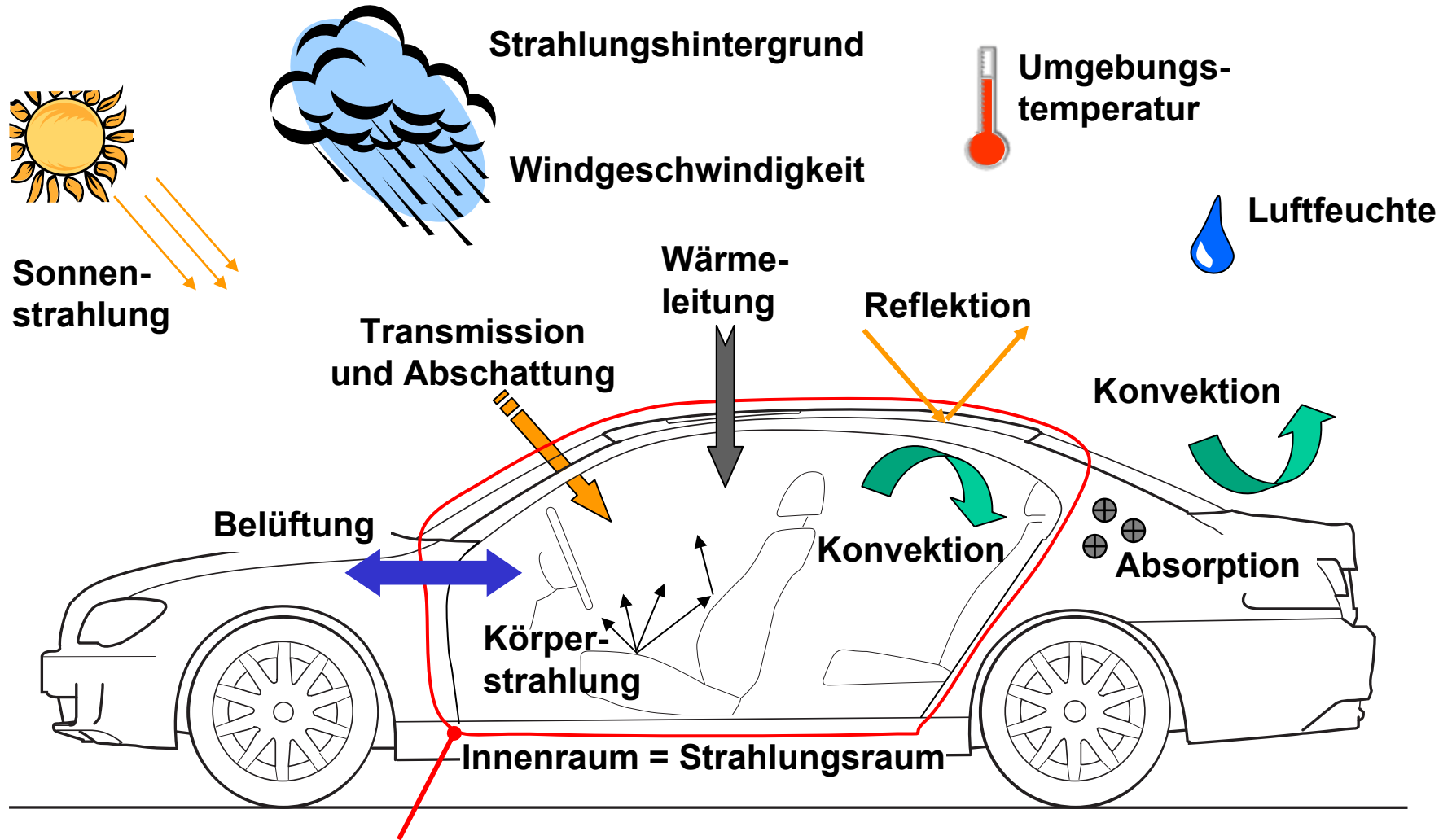
Warum Simulation?

- Versuch oft zu zeitaufwendig, teuer, nur punktuelle Ergebnisgrößen und nicht jeder Lastfall möglich
- Anzahl der Konzeptvarianten und Eingabeparameter zu groß für eine reine versuchstechnische Erfassung aller Optionen
- Zukünftig zum Teil komplett neue Konzepte nötig, die zum Entwicklungszeitpunkt (Vorentwicklung) oft nur virtuell und nicht real existieren
- Objektive Basisbewertung des thermischen Komforts durch detaillierte thermophysiological Insassenmodelle



***Aber Achtung Simulation ist nicht der alleinige „Heilsbringer“!
Sondern nur ein komplementäres Hilfsmittel zur Produktentwicklung.***

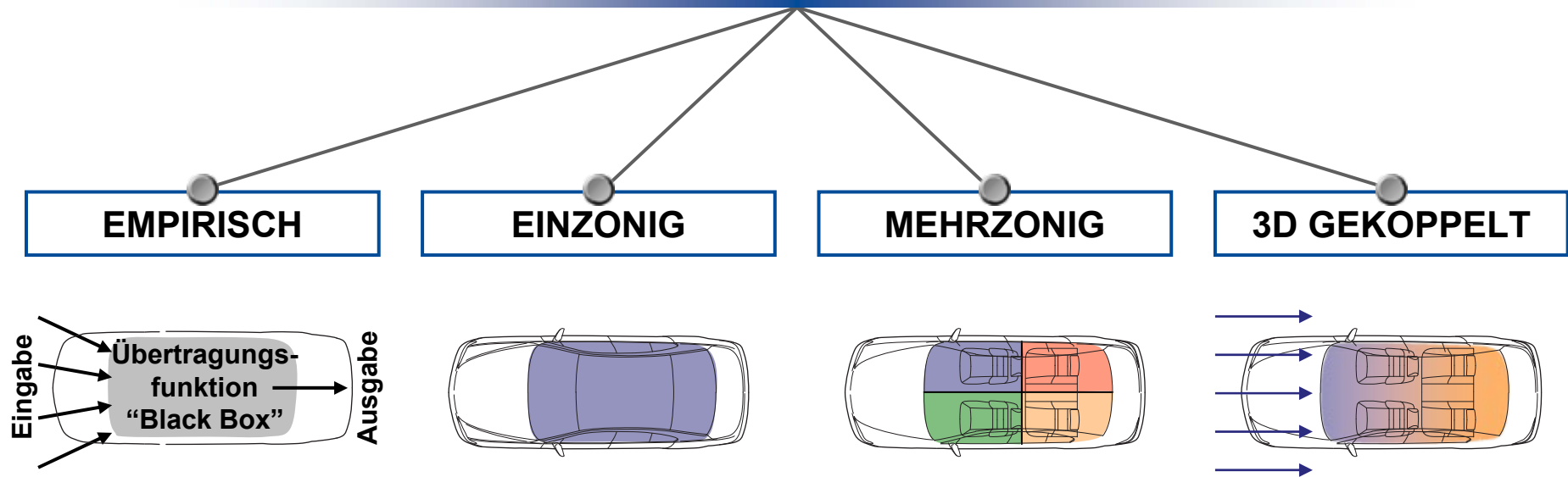




Thermodynamische Systemgrenze für die Energierhaltung

Klassifizierung der Kabinensimulation

SIMULATIONSMETHODE



- Analytische Gleichungen
- Neuronale Netzwerke
- Datamining, Statistik
- Genetische Algorithmen
- Fuzzy-Logik

$$T = f(x_i)$$

- 1D/(3D) Programme
- Halbempirisch
- Energiebilanzierung
- Mittlere Kabinentemp.
- Einfacher Wärmeübergang

$$Q = h * \Delta T$$

- 1D/2D/3D Programme
- Luftaustausch
- Energiebilanzierung
- Räumlich differenziert
- Örtlicher Wärmeübergang

$$Q = h * \Delta T(x, y, z)$$

$$\frac{d\vec{m}}{dt} = \vec{v} * A$$

- Gekoppelte 3D Tools
- CFD
- Co-Simulation
- Lokale Kabinenergebnisse
- Lokaler Wärmeübergang

$$\begin{aligned} \vec{q} &= k_{ij} * \nabla T \\ \rho \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \rho(\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} &= \\ -\nabla p + \eta \Delta \vec{v} + L \nabla(\nabla \vec{v}) + \vec{f} & \\ \dots & \end{aligned}$$

Vor- und Nachteile der Methoden

+ PRO

- KONTRA

EMPIRISCH

- Extrem schnelle Antwortzeiten
- Gut für Überschlagsrechnungen
- Hauptanwendung Klimaregelung
- Einfache Formalismen
- Übertragbar in andere Anwendungen

- Meist nur für einen bestimmten Zweck
- Erneute Anpassung für jedes Modell
- Nur Ergebniswerte – keine bunten Bilder
- Eingeschränkter Ergebnisraum
- Vernachlässigung lokaler Effekte

EINZONIG

- Schnelle Antwort-/Modellierungszeiten
- Hauptanwendung Parameterstudien
- Gut für Konzeptentwürfe
- Gesamtmodellintegration
- Teilweise detaillierte Algorithmen
- Guter Einblick in alle Abhängigkeiten

- Nur mittlere Innenraumtemperatur
- Ungenügende Konvektionsabbildung
- Vernachlässigung lokaler Effekte
- 1D Tools oft ohne Schattenwurf
- Manchmal Anpassungen nötig
- Große Eingabedatenmenge

MEHRZONIG

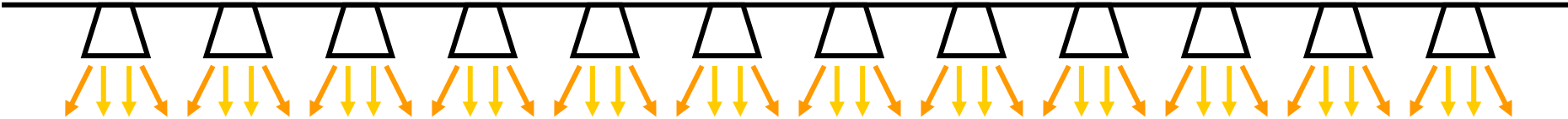
- Akzeptable Antwortzeiten
- Erste lokale Effekte
- Näher an der Realität
- Genauere Wärmeübergänge

- Großer Modellierungsaufwand
- Nur geringe örtliche Auflösung
- Benötigt Luftaustauschraten zw. Zonen
- Manchmal auch Nachjustierung nötig

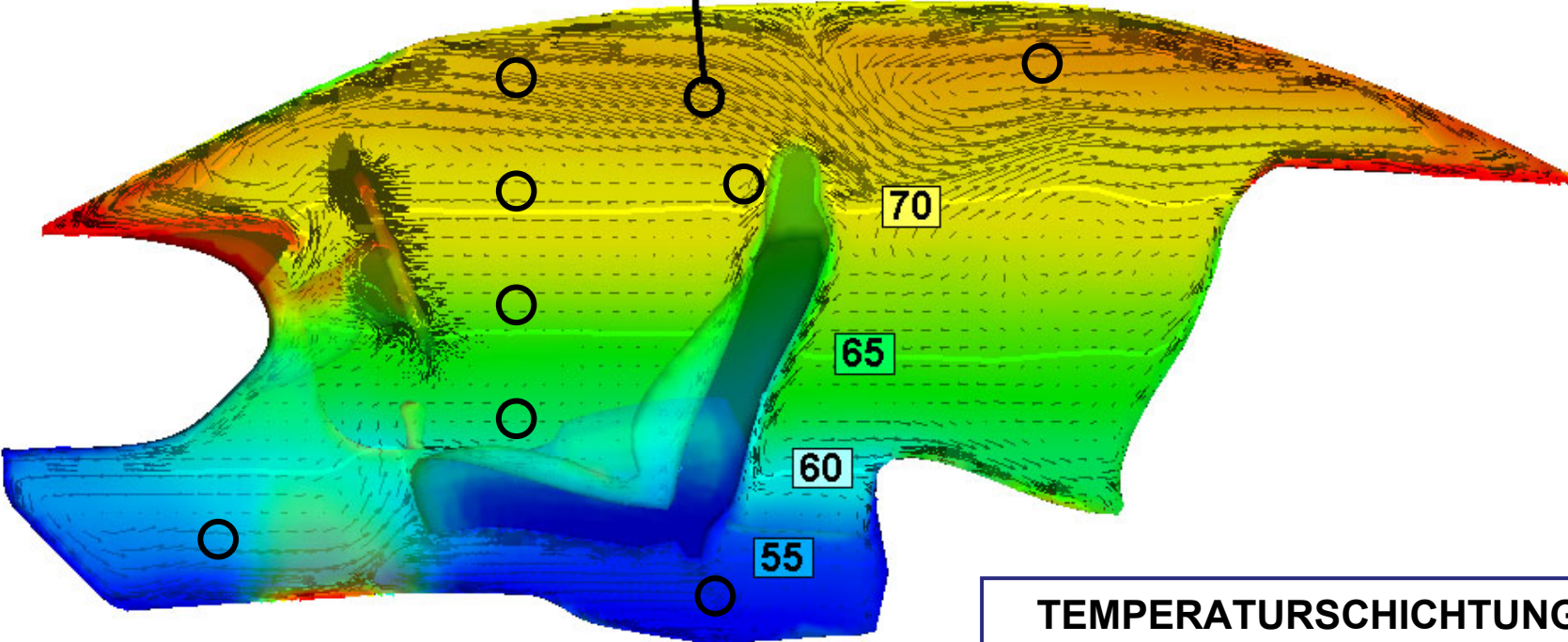
3D GEKOPPELT

- Extrem lokale Auflösung
- Sehr nahe an der Realität
- Höchste Genauigkeit
- Alle Phänomene abgedeckt
- Weniger Eingabedaten nötig
- Anschauliche Ergebnisbilder

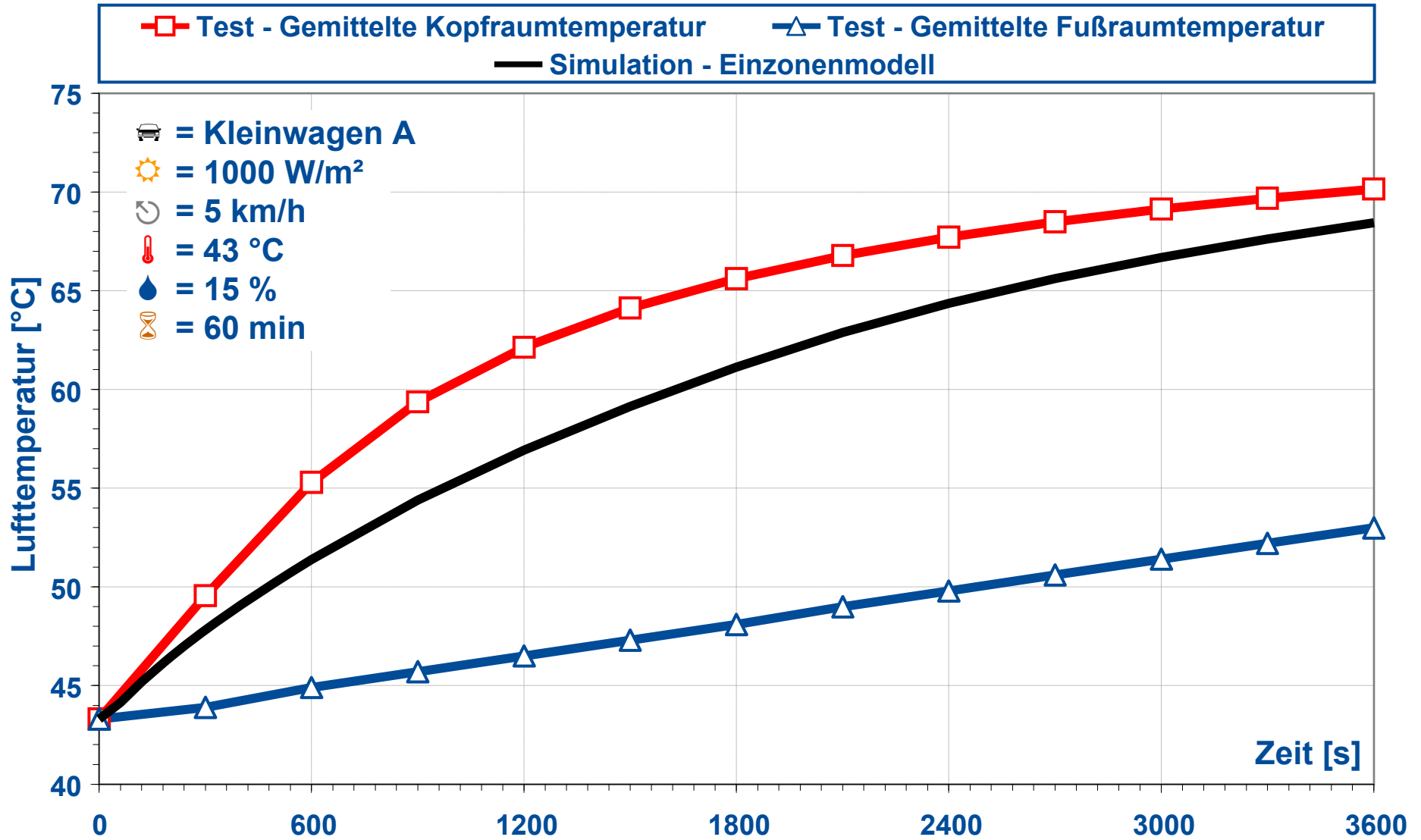
- Lange Berechnungsdauer
- Hoher Modellierungsaufwand
- Großer Investitionsbedarf (Soft+Hardware)
- Nur von Experten anwendbar
- Oft unübersichtlich
- Fehleranfällig



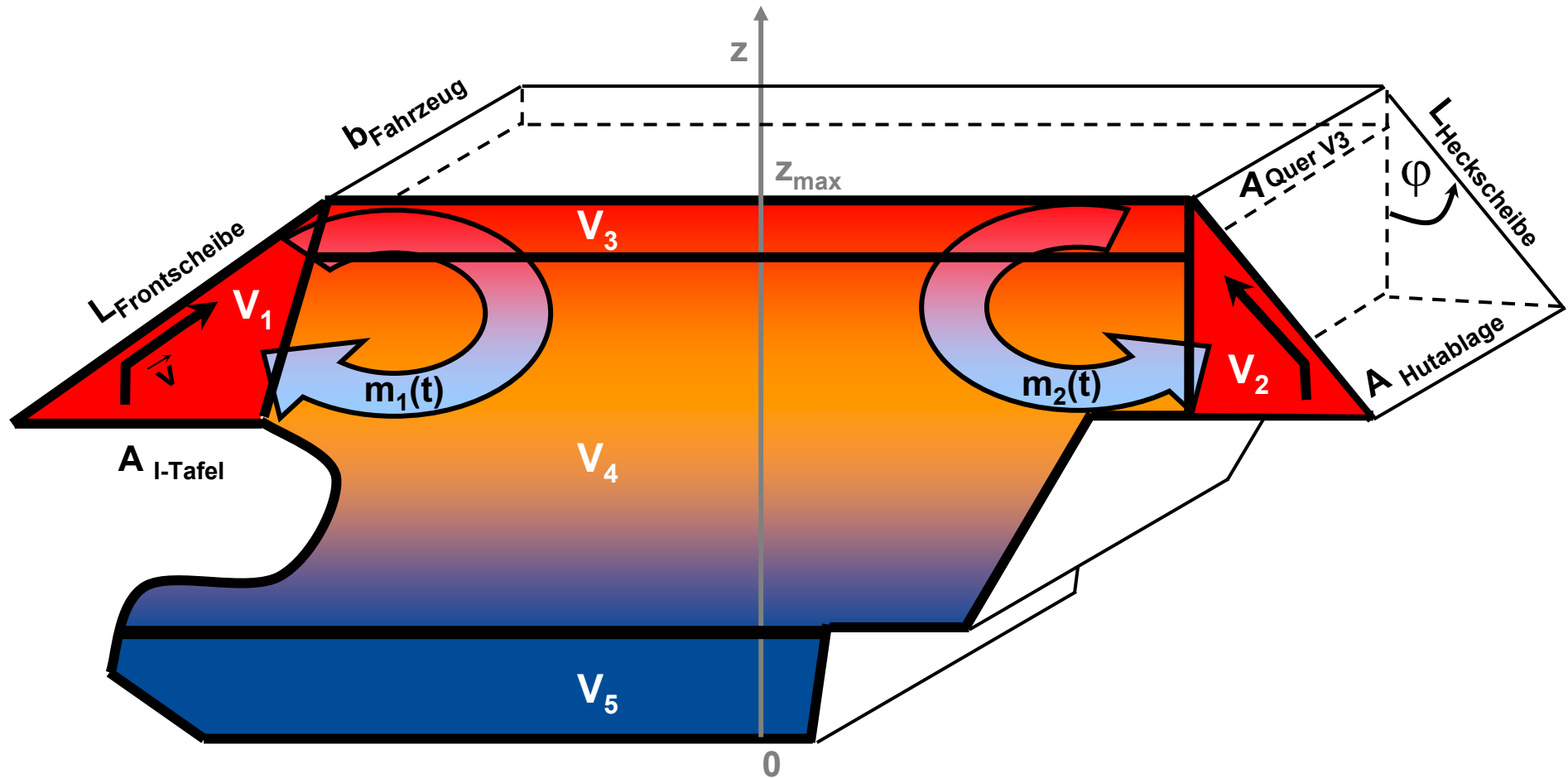
Typische Lufttemperatur-Messstellen



Lösung mit der Einvolumenmethode



Grundidee zur V5-Methode



Theorie Luftmassenströme

Gesucht: Luftaustauschraten \dot{V}_1 und \dot{V}_2 bzw. da $\dot{V} = A_{\text{quer}} \cdot \vec{v}$ die Auftriebsgeschwindigkeiten $\vec{v}_{1,2}$?

$$E_{\text{Pot}} = \Delta\rho \cdot g \cdot \cos(\varphi) \cdot L = c_R \cdot \frac{\rho_\infty}{2} \cdot \bar{v}^2 = E_{\text{Kin}}$$

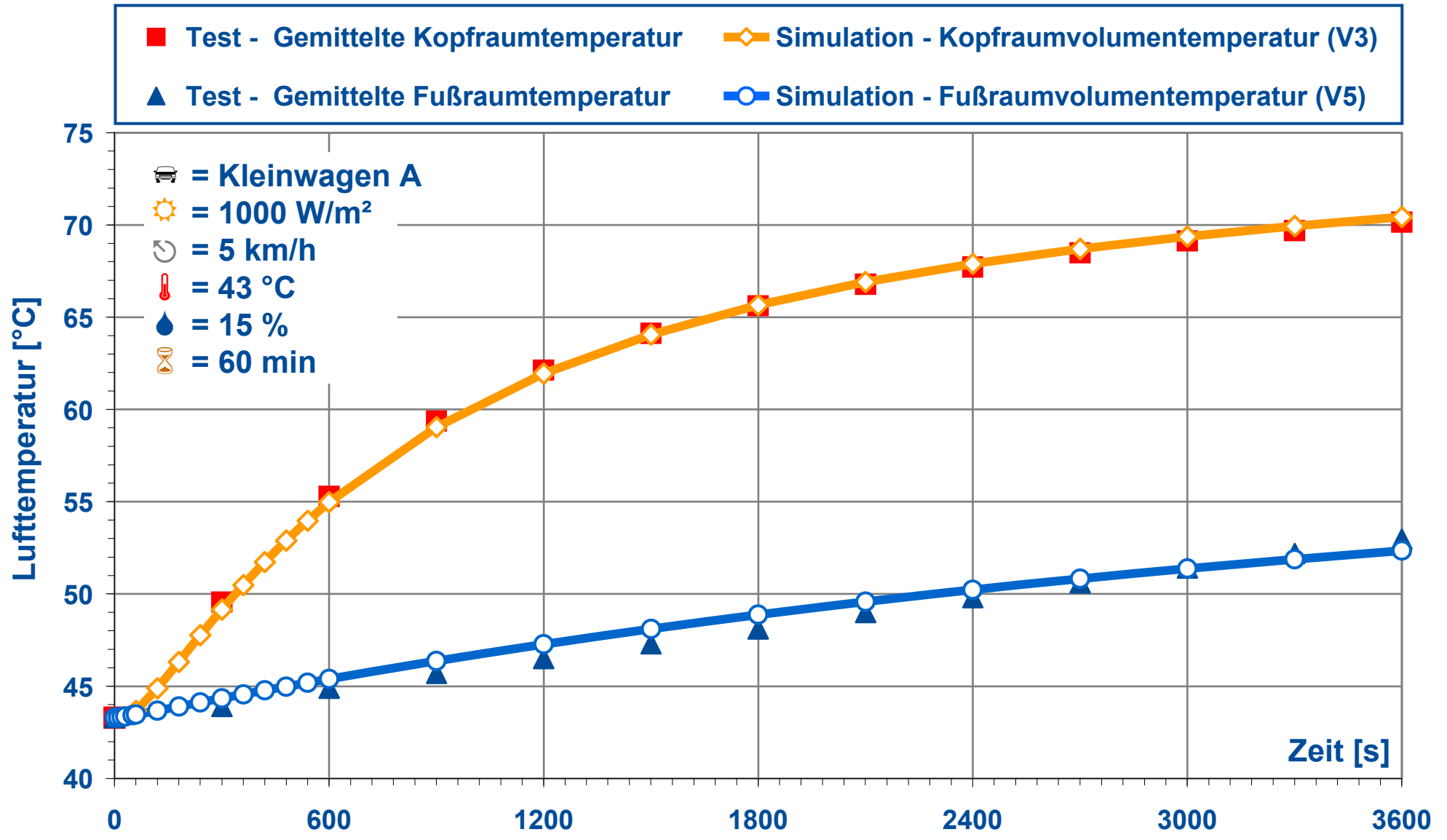
Daraus ergibt sich die Auftriebsgeschwindigkeit entlang der schrägen Scheibe zu:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{-(\rho_w - \rho_\infty) \cdot g \cdot \cos(\varphi) \cdot L}{c_R / 2 \cdot \rho_\infty}}$$

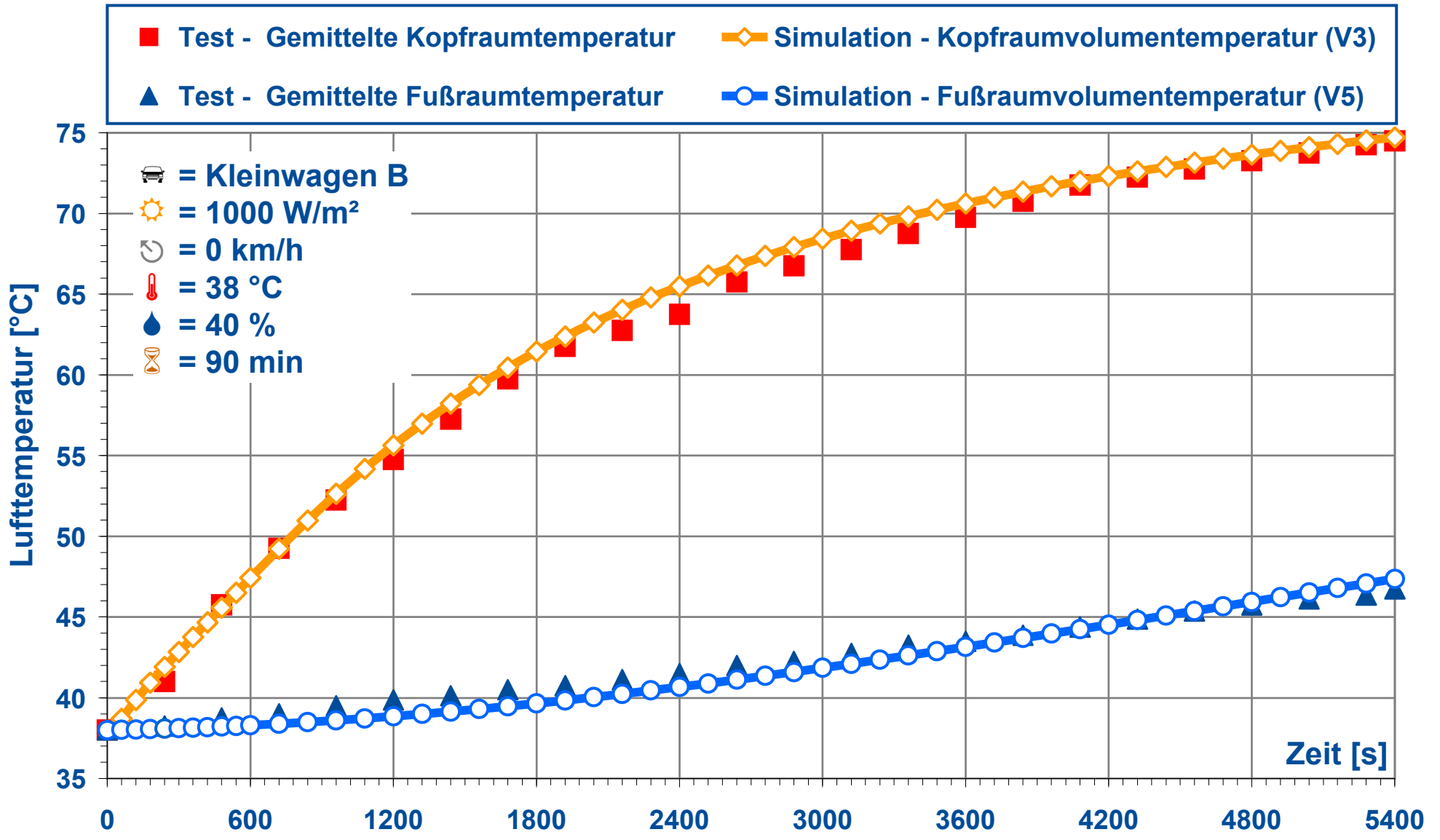
Mit der empirischen Funktion für die Luftdichte ρ [kg/m³] = 360,77819 * T [K]^{-1,00336} erhält man:

$$\bar{v} = L \cdot \cos(\varphi) \cdot \left(C_L - \frac{C_L \cdot \bar{T}_V^{1,00336}}{\bar{T}_W^{1,00336}} \right)$$

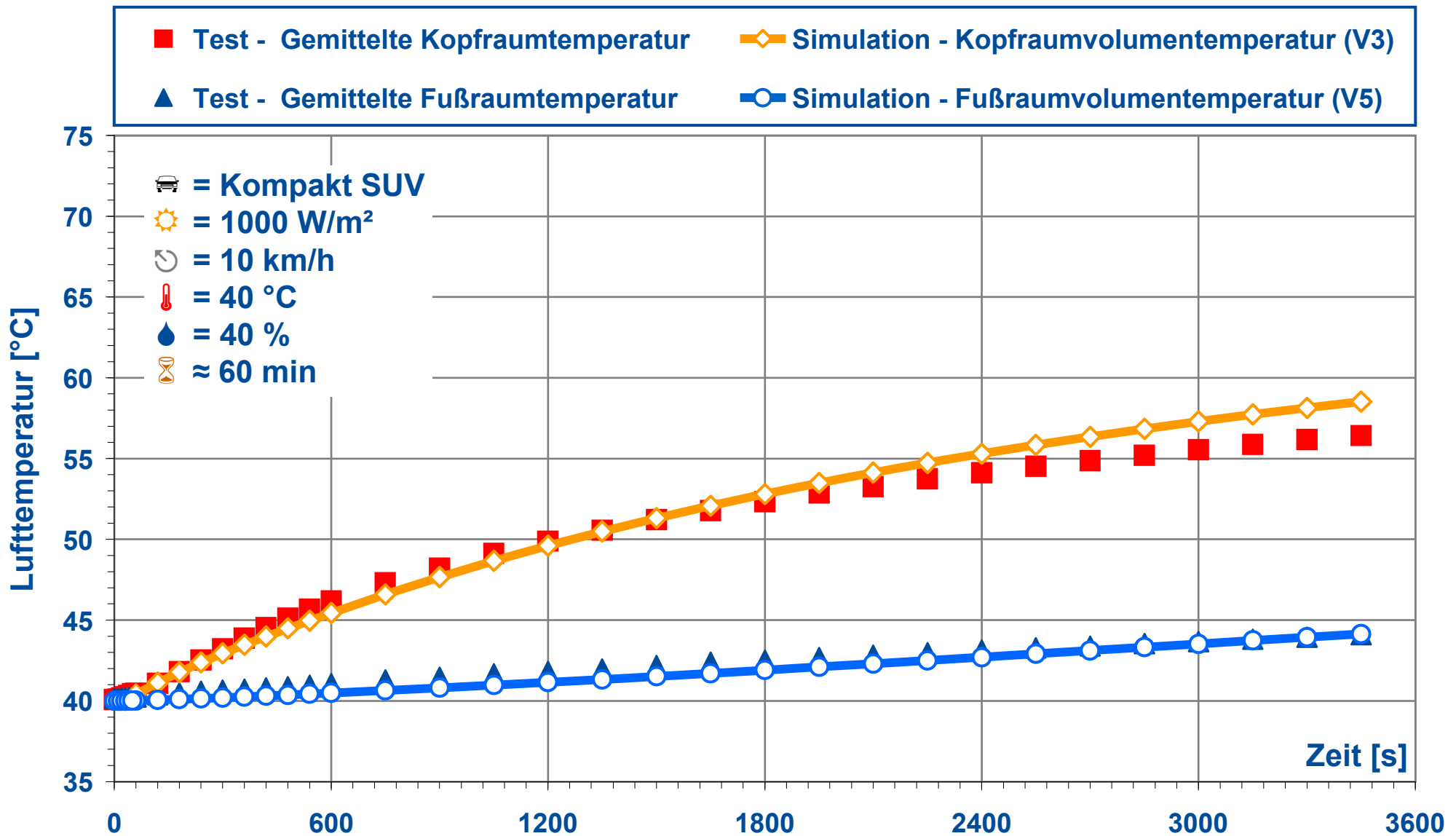
Anwendung und Kalibrierung



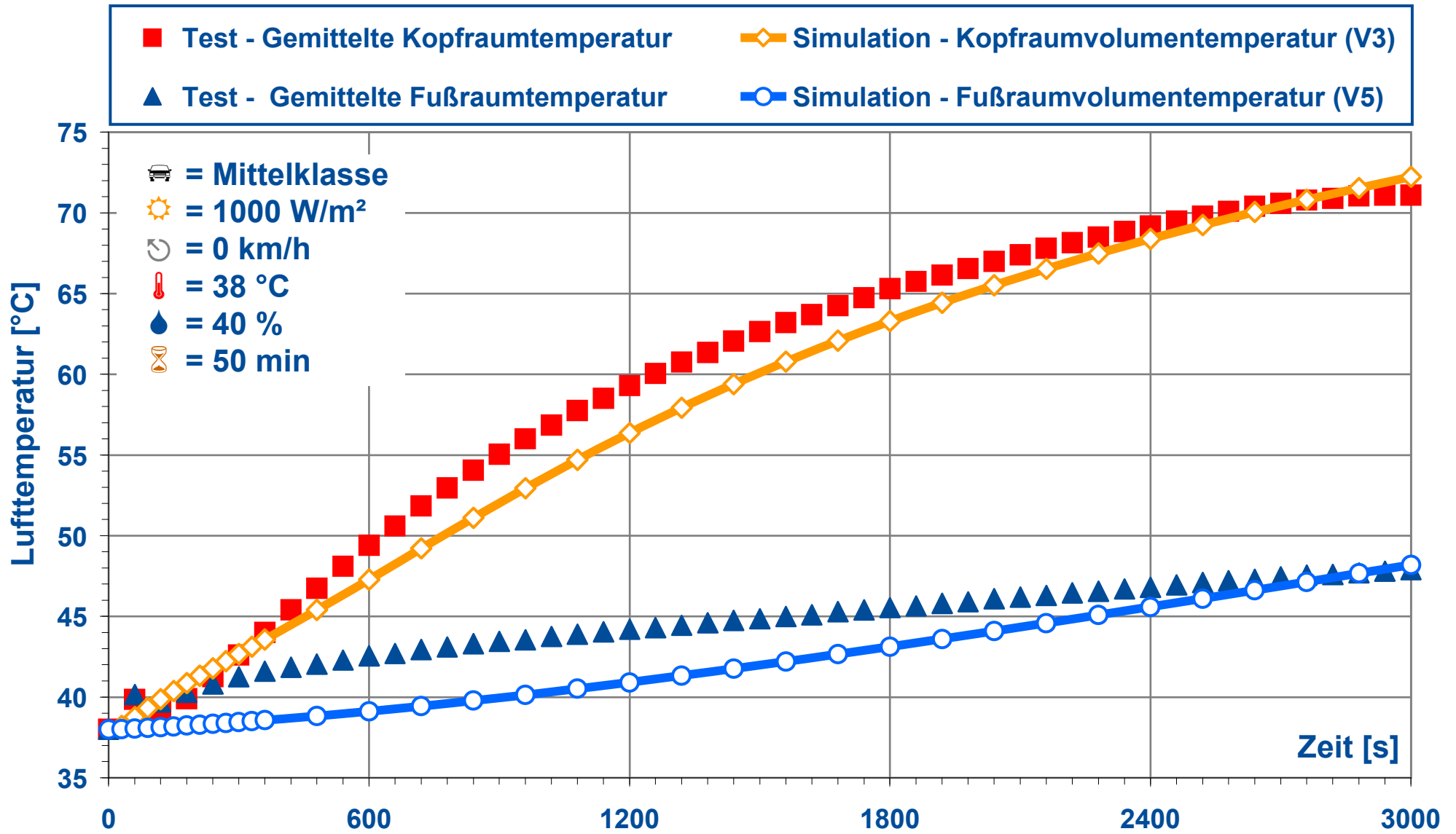
Validierung Kleinwagen



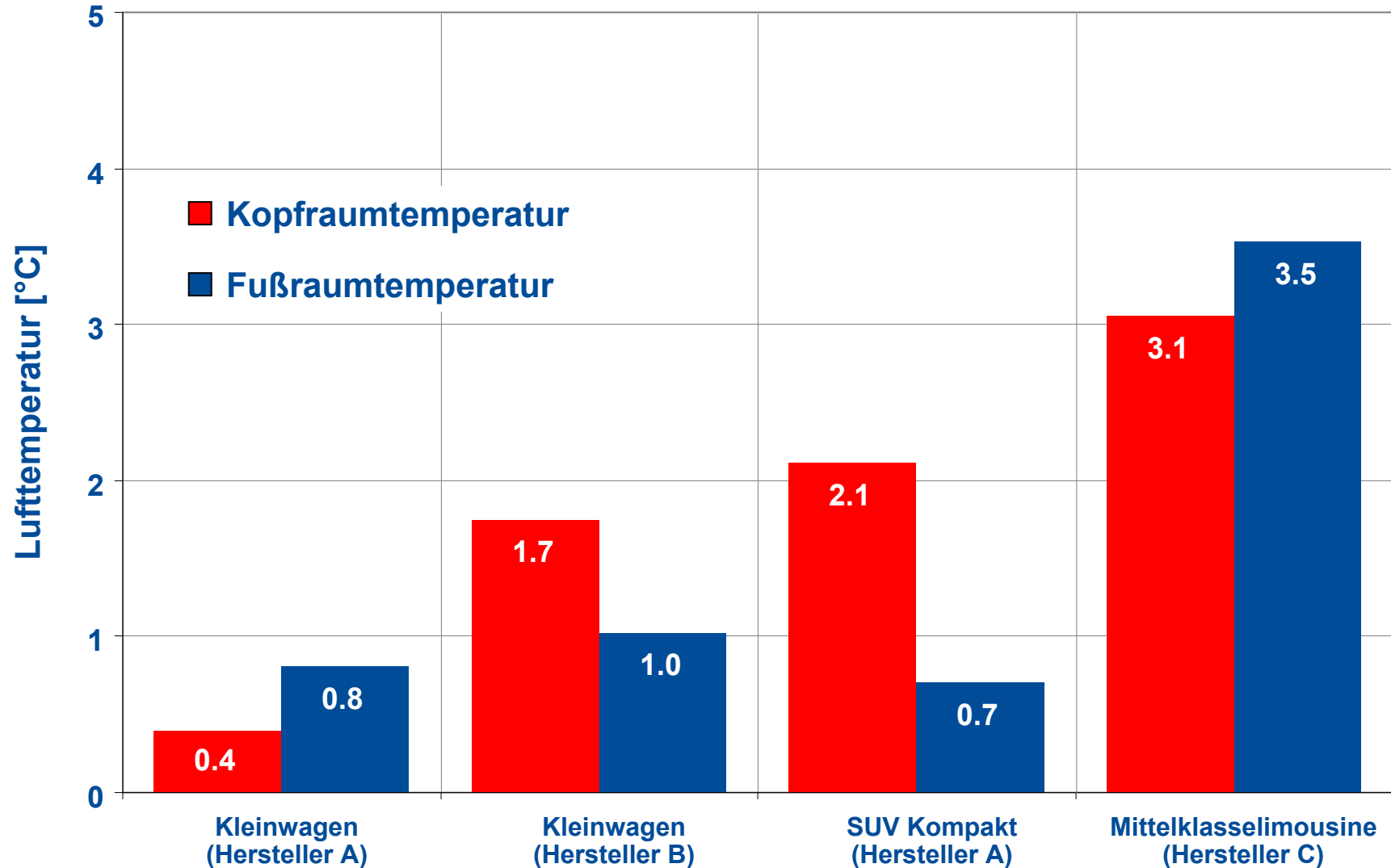
Validierung SUV



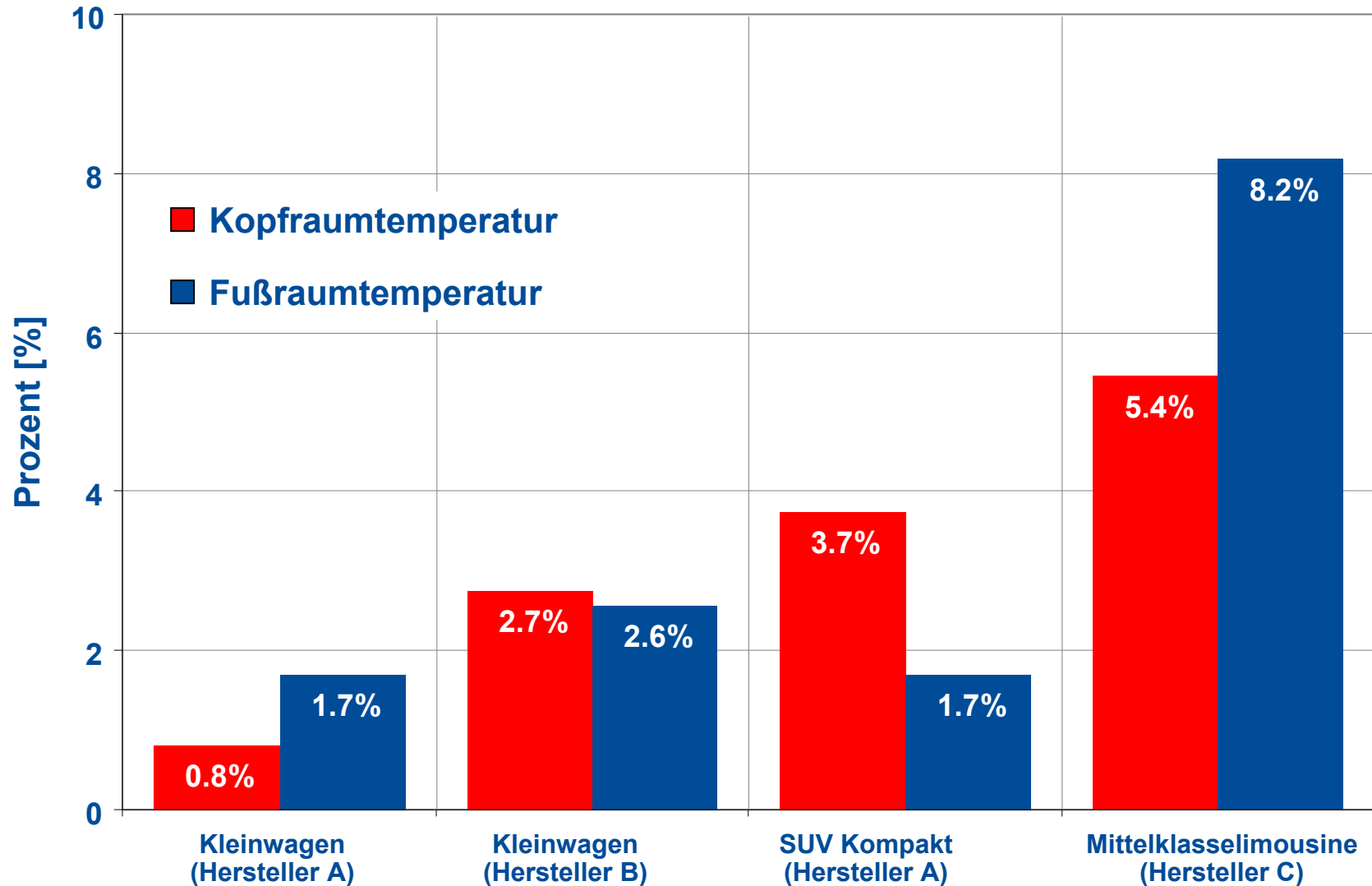
Validierung Limousine



Absolute Temperaturabweichung von der Messung



Relative maximale Abweichung von der Messung



- Die neue V5-Methode zur überschlägigen Berechnung der Kopf- und Fußraumtemperatur bei der passiven Aufheizung der Fahrzeugkabine konnte an vier unterschiedlichen Fahrzeugtypen mit guter Übereinstimmung zu Messwerten validiert und bestätigt werden.
- Die Berechnungsmethode ist einfach in der Handhabung, zuverlässig in ihrer Vorhersage, schnell in der Ausführung und verursacht keinen wesentlich höheren Modellierungsaufwand als eine Einvolumenmethode.
- Sie bietet sich daher idealerweise für Parameterstudien in der Vorauslegung zur energieoptimierenden Konzeptentwicklung an.
- Zukünftig wird die Ausweitung der V5-Methode auf artverwandte Anwendungsgebiete geprüft, die Methode weiter automatisiert und verallgemeinert sowie untersucht, inwieweit ähnlich einfache Verfahren zur groben Abbildung der Luftströmung auch in der zwangsbelüfteten Abkühlphase der Fahrgastzelle darstellbar sind.