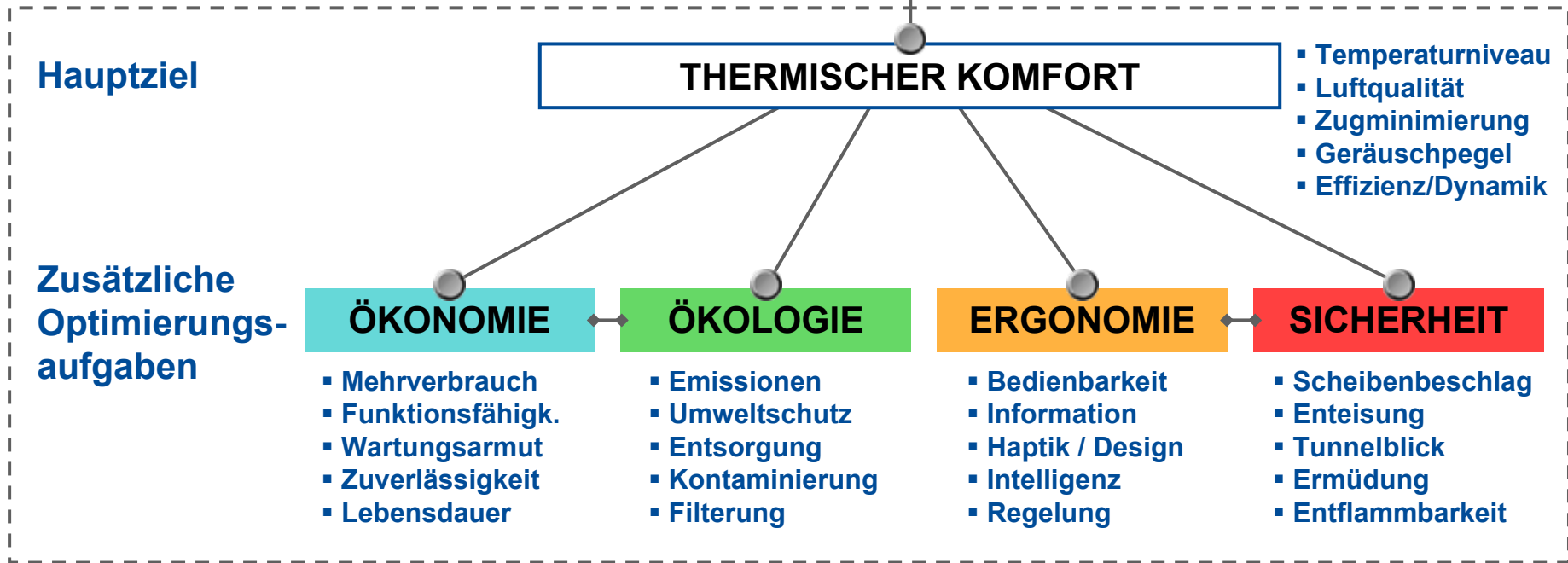




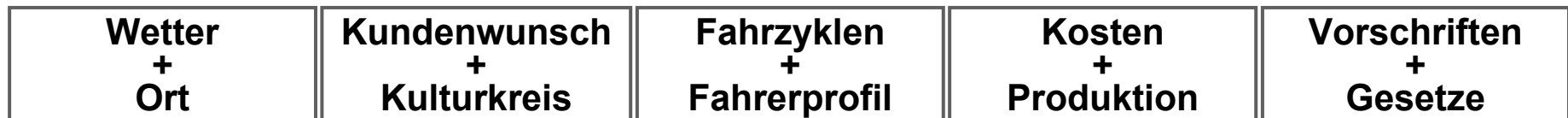
**Idealisierte energetisch-analytische Abbildungsmethode der  
Temperaturschichtung bei der passiven Aufheizung in der Fahrzeugkabine**

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

## KLIMATISIERUNG



## RANDBEDINGUNGEN



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

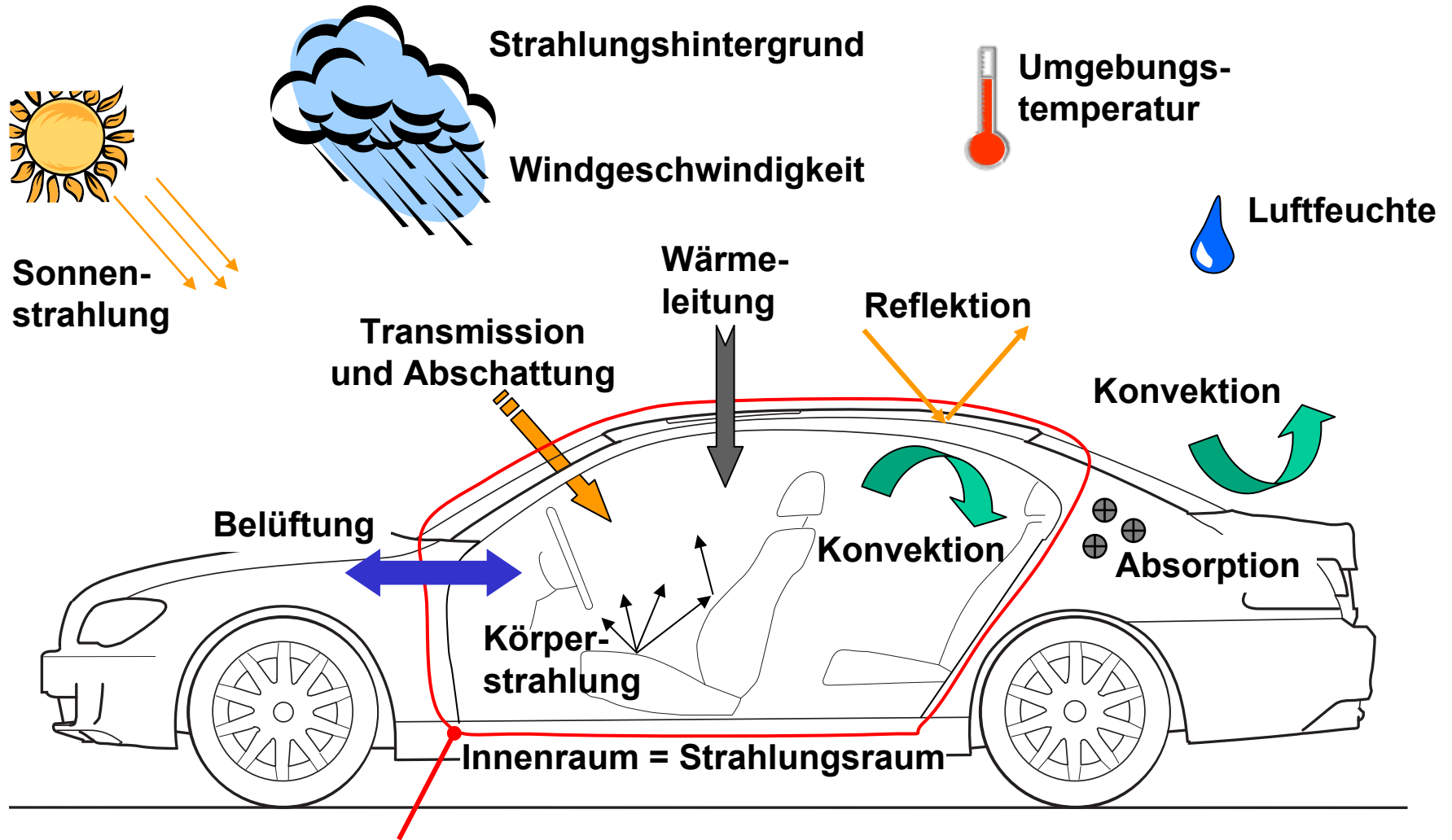
# Warum Simulation?

- 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 thermo-physiologische Insassenmodelle



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

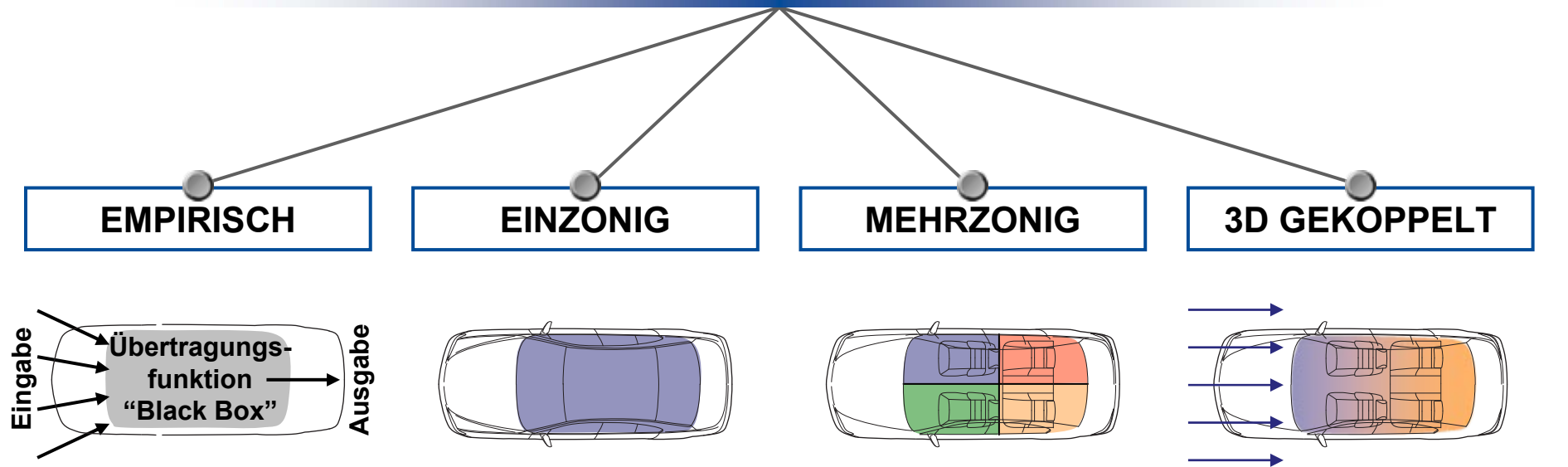




**Thermodynamische Systemgrenze für die Energierhaltung**

# Klassifizierung der Kabinensimulation

## SIMULATIONSMETHODE



- Analytische Gleichungen
- Neuronale Netzwerke
- Dataming, 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

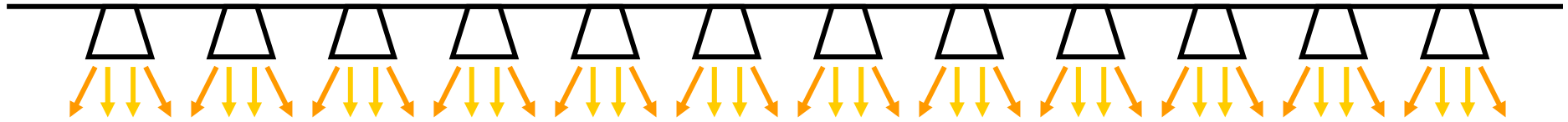
- Akzeptable Antwortzeiten
- Erste lokale Effekte
- Näher an der Realität
- Genauere Wärmeübergänge

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

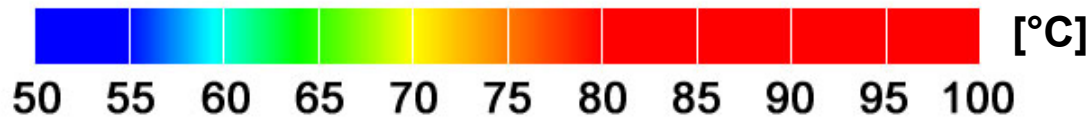
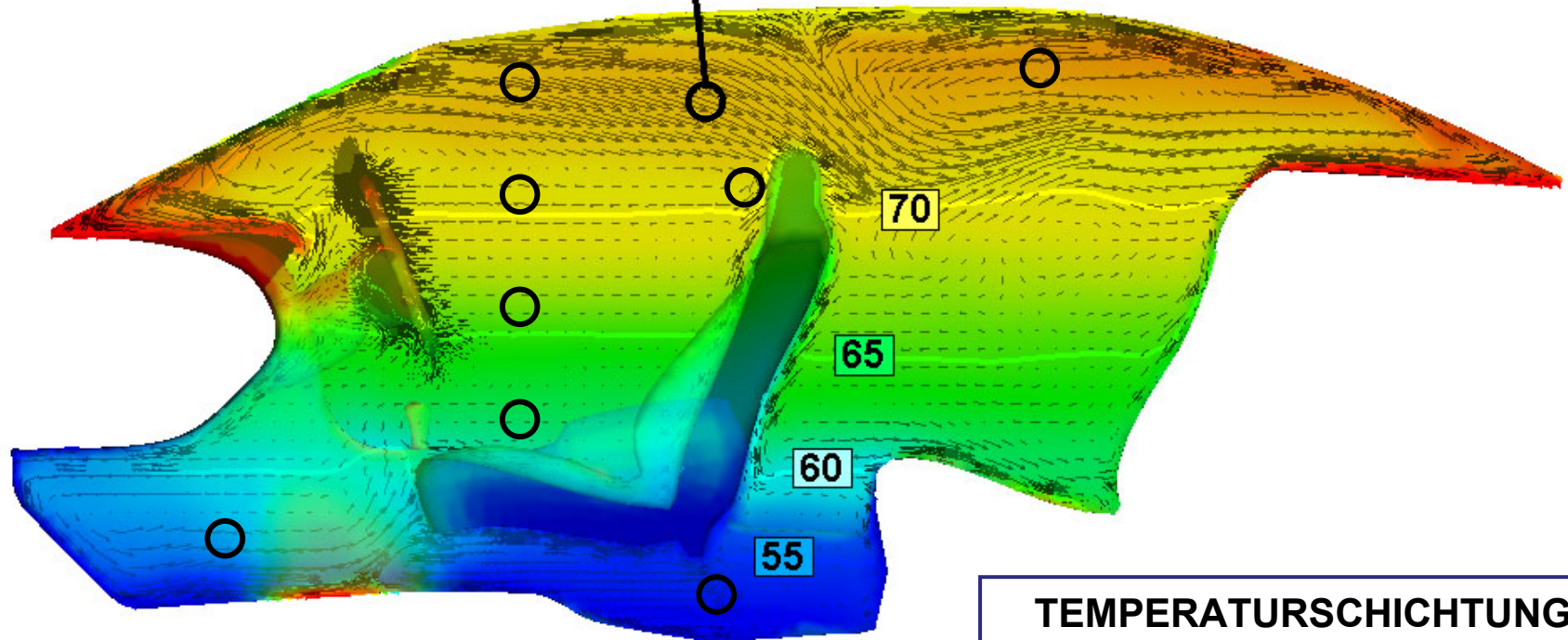
### 3D GEKOPPELT

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

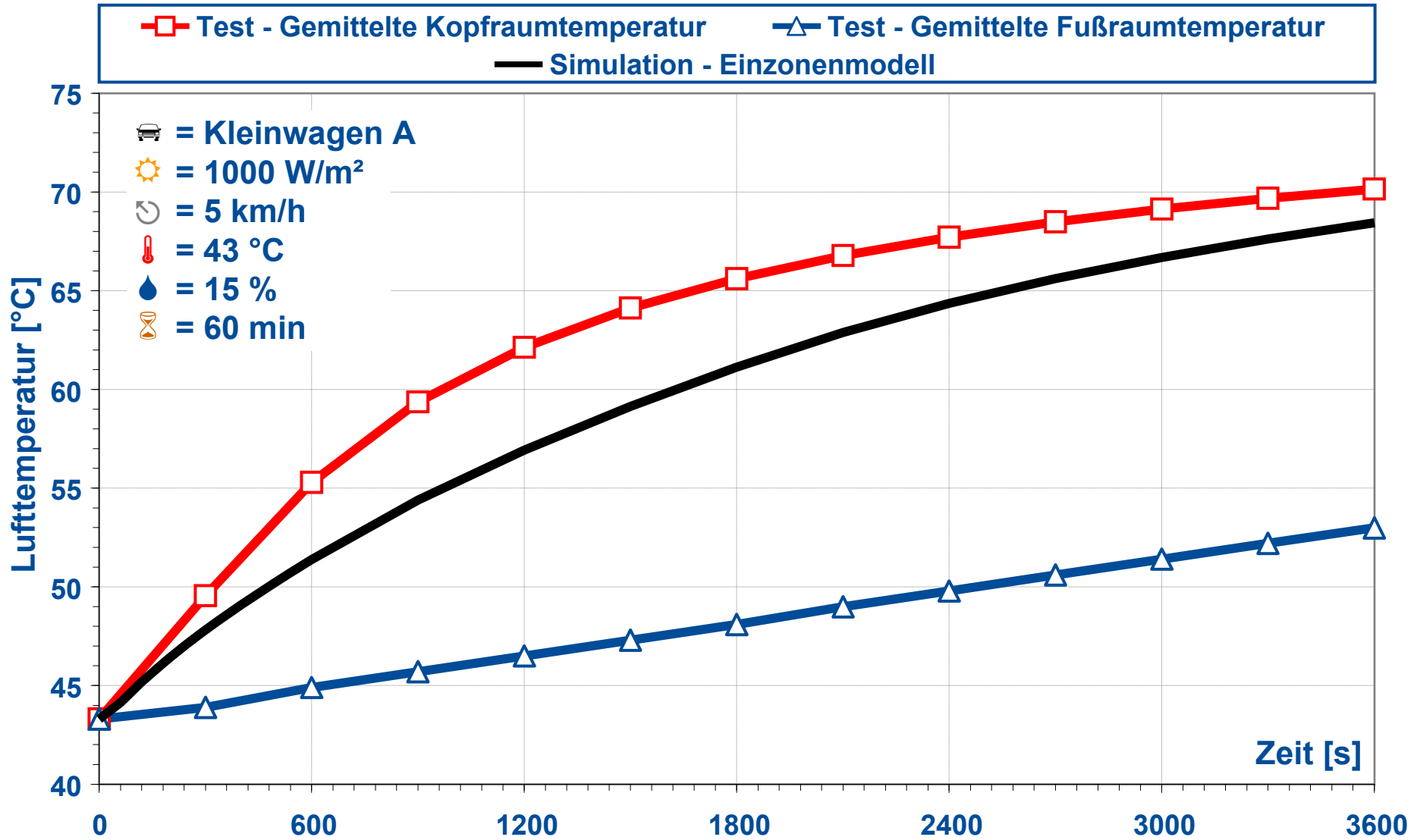
- Lange Berechnungsdauer
- Hoher Modellierungsaufwand
- Großer Investitionsbedarf (Soft+Hardware)
- Nur von Experten anwendbar
- Oft unübersichtlich
- Fehleranfällig



Typische Lufttemperatur-Messstellen

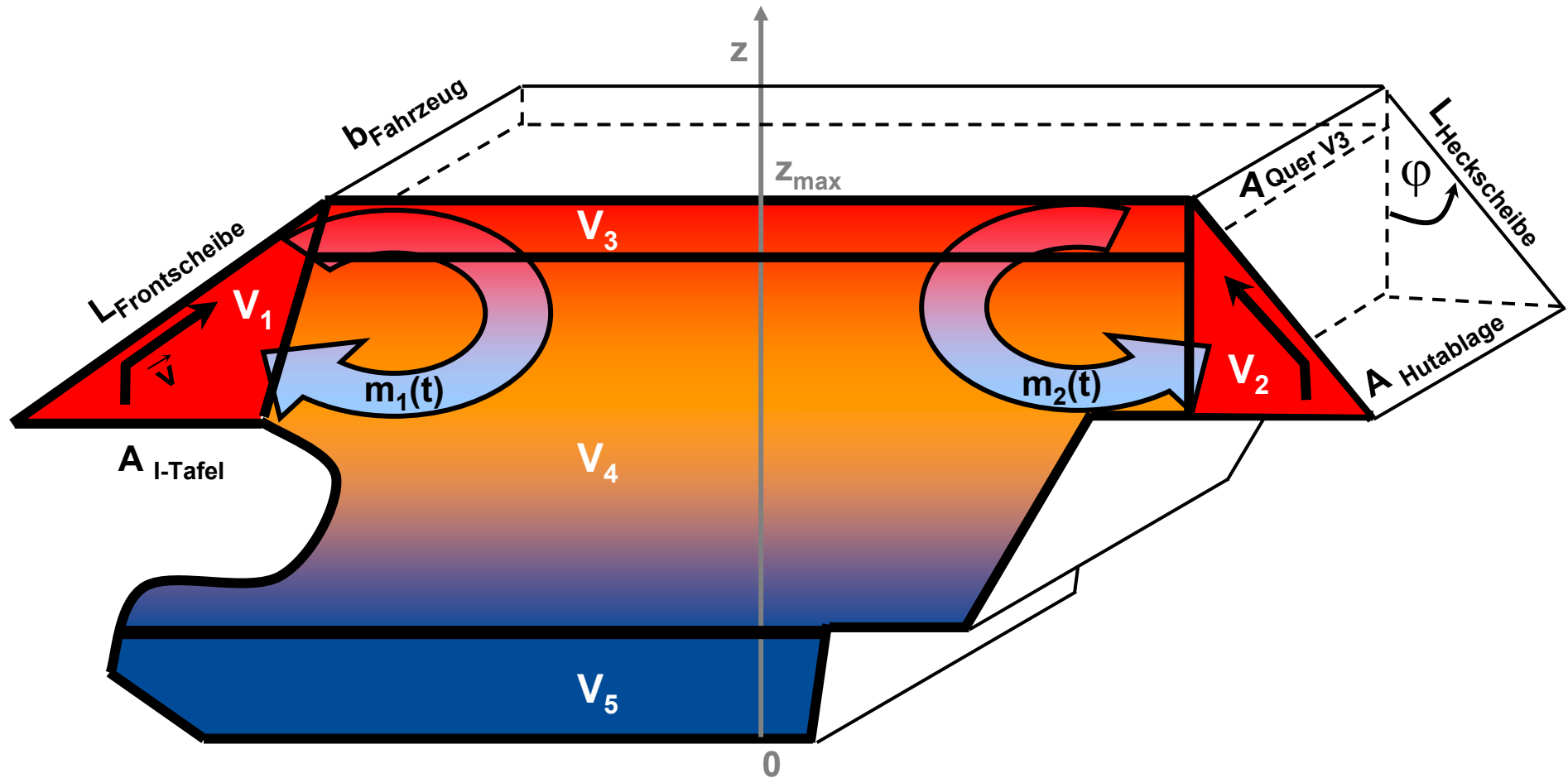


# Lösung mit der Einvolumenmethode





# 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  $\vec{v}_{1,2}$ ?

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

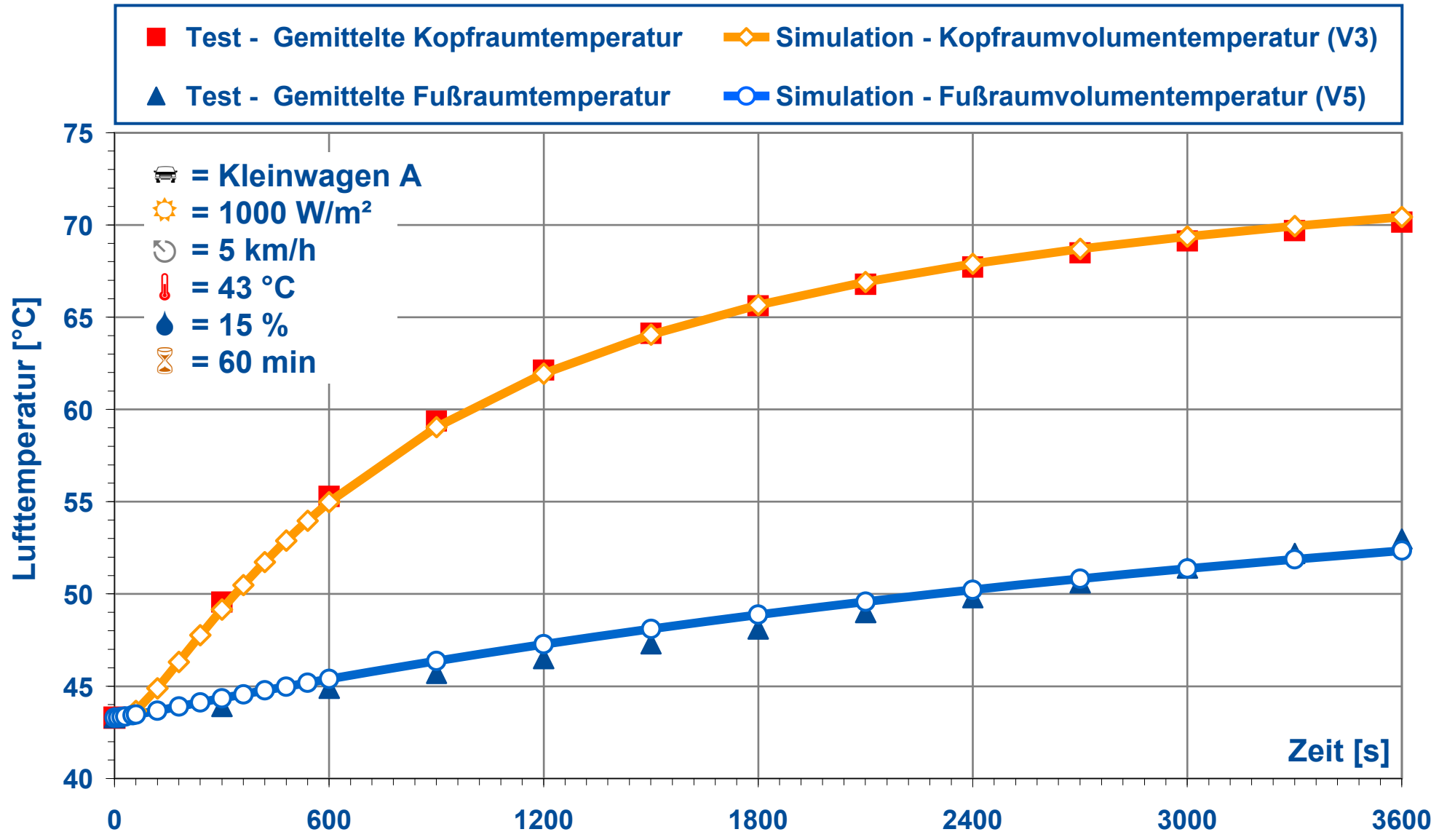
Daraus ergibt sich die Auftriebsgeschwindigkeit entlang der schrägen Scheibe zu:

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

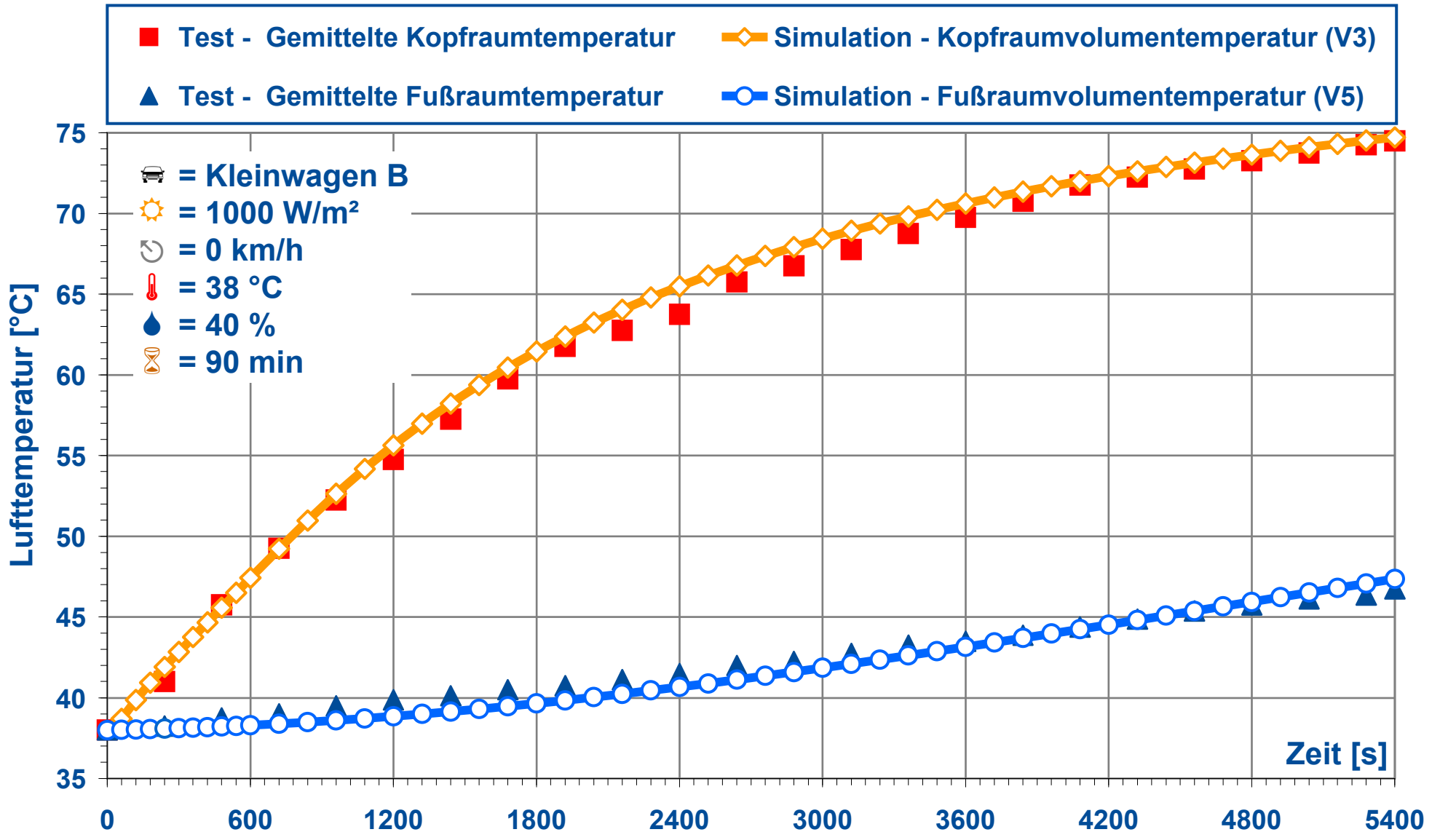
Mit der empirischen Funktion für die Luftdichte  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] = 360,77819 \* T [K]<sup>-1,00336</sup> erhält man:

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

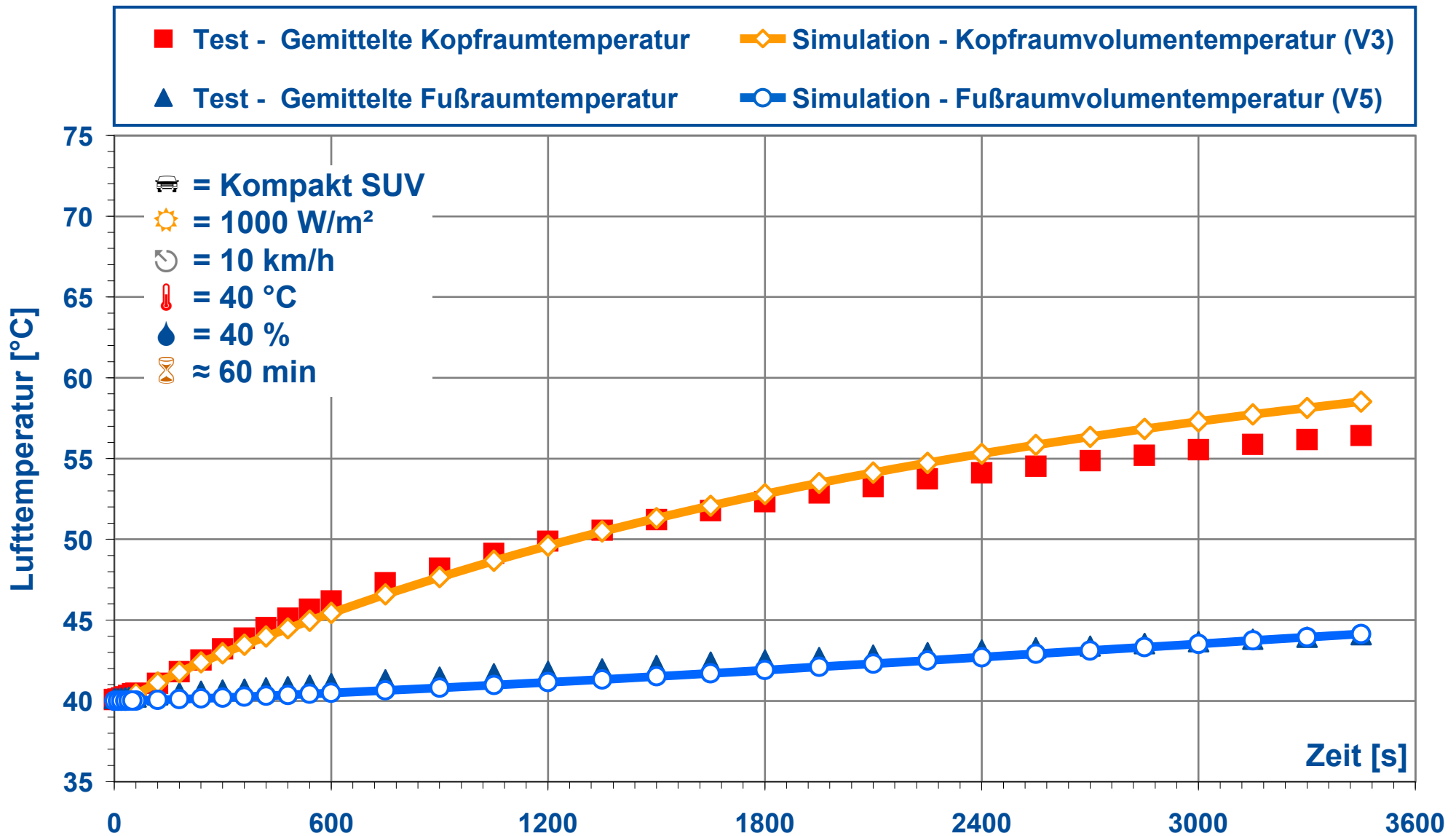
# Anwendung und Kalibrierung



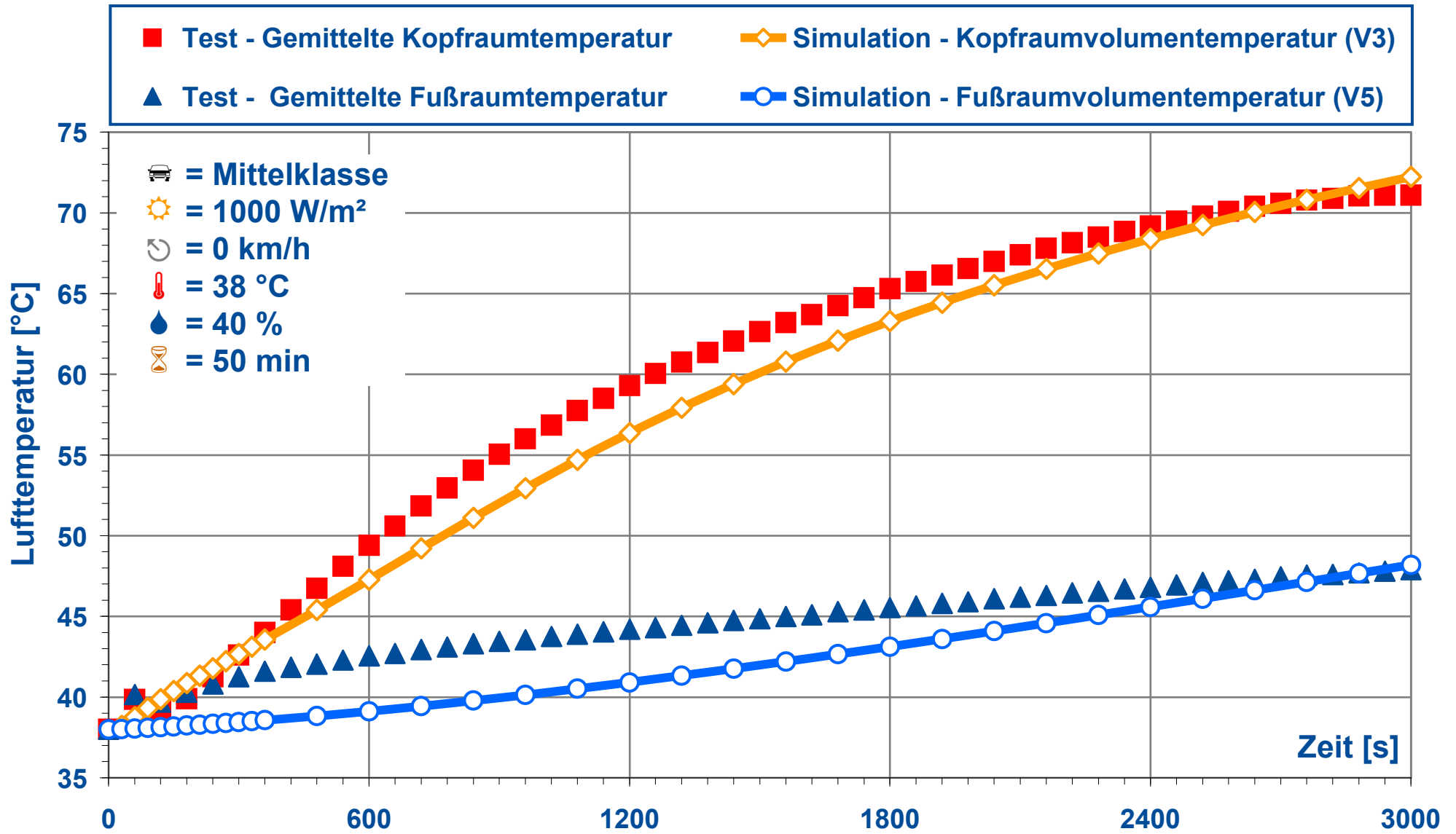
# Validierung Kleinwagen



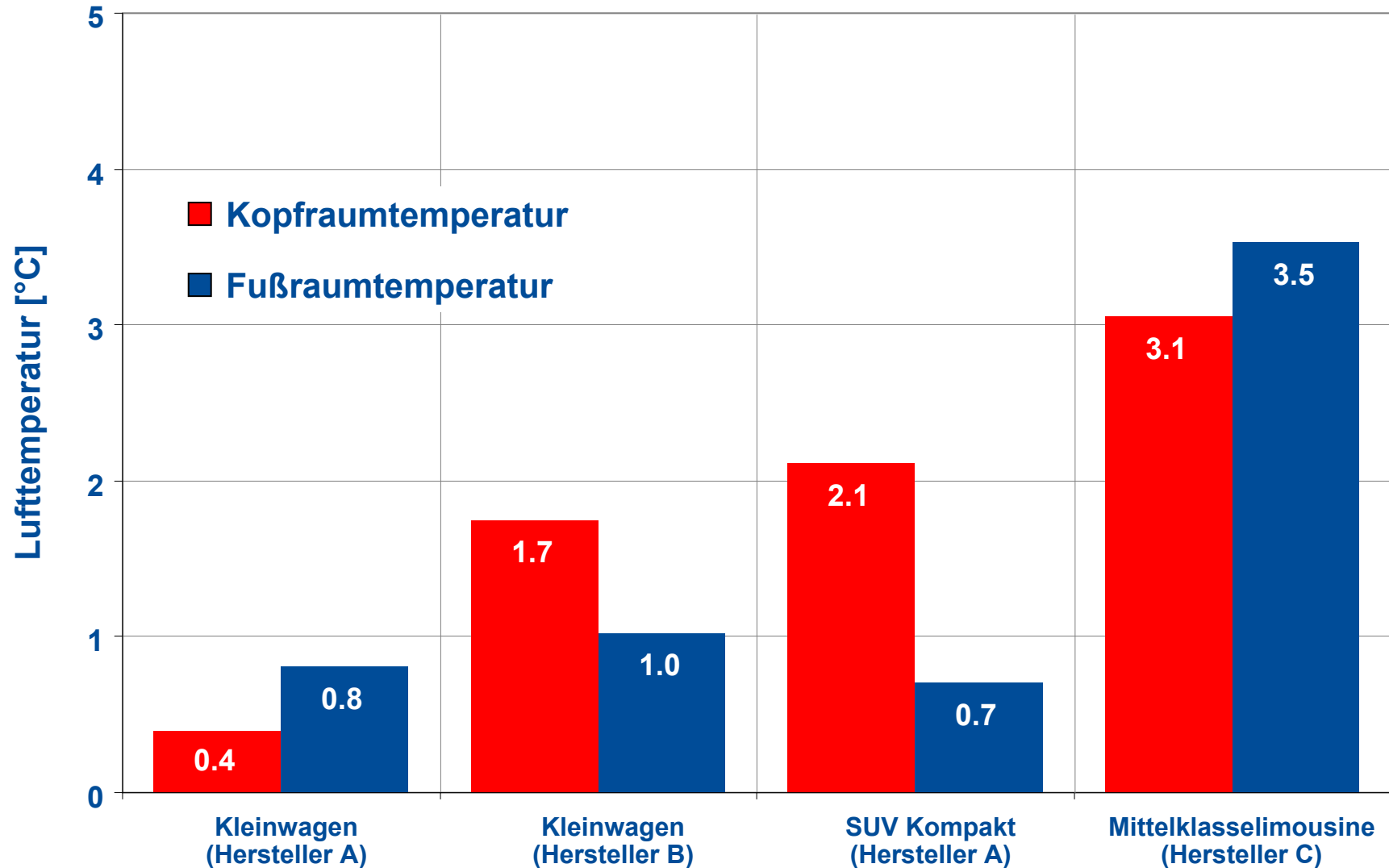
# Validierung SUV



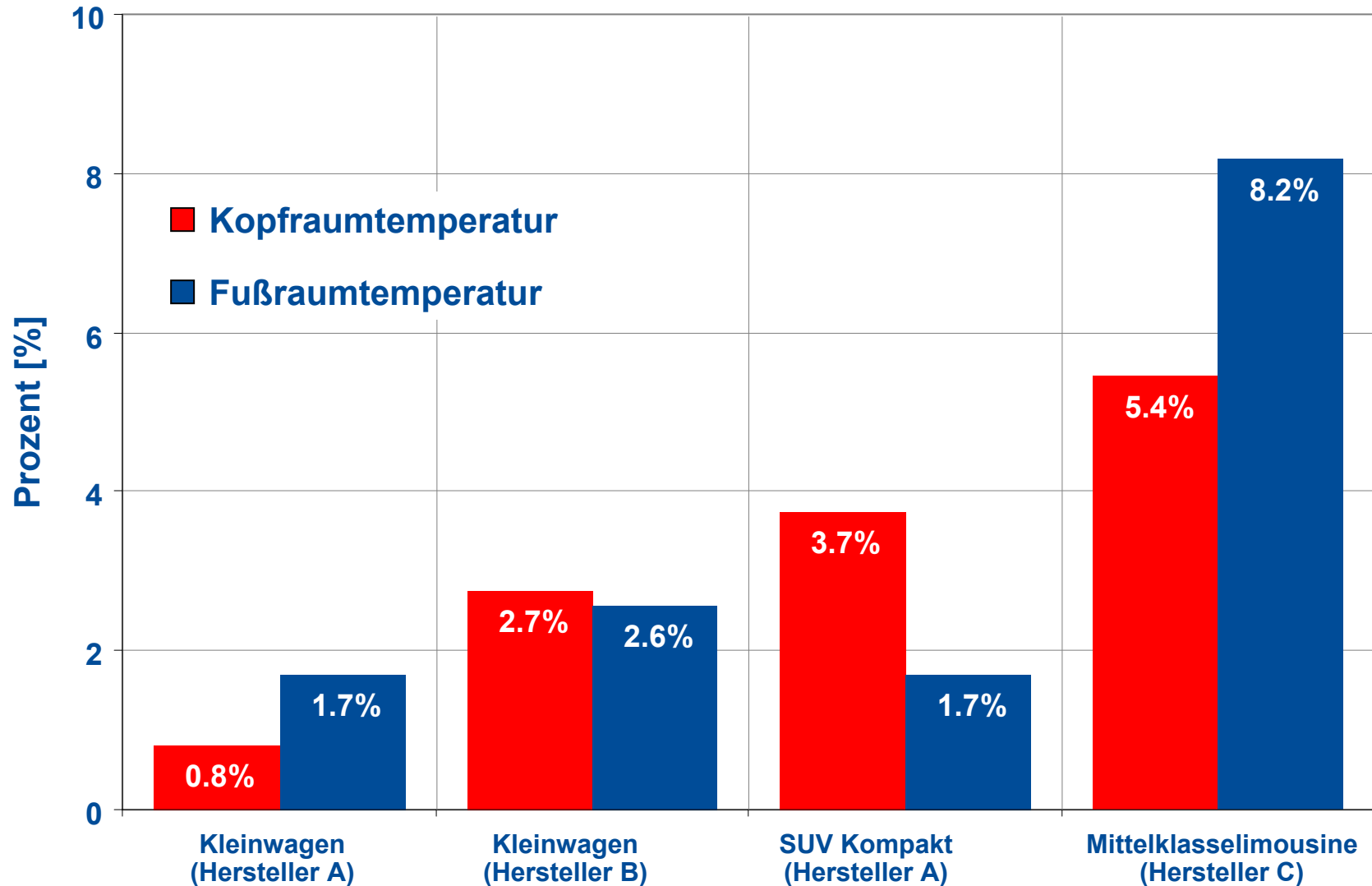
# Validierung Limousine



## 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.