

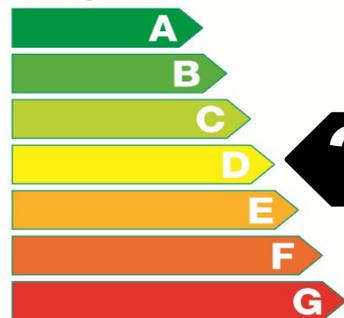
Energieeffizienz von HLK im öffentlichen Verkehr



Energie

Hersteller
Modell

Niedriger Verbrauch



Hoher Verbrauch

Energieeffizienz Heizung – Lüftung – Kühlung (HLK) im öffentlichen Verkehr

Franz Sidler

Wissenschaftlicher Mitarbeiter

T direkt +41 41 349 33 77
franz.sidler@hslu.ch

Graz 10. Februar 2016

Inhalt

Energieeffizienz von HLK im öffentlichen Verkehr

- Ausgangslage
- Vorgehen
- Resultate
- Diskussion / Fragen



Ausgangslage

- Forschungsprojekt zur Verbesserung der Energieeffizienz der HLK im öffentlichen Verkehr der UNI-Basel zusammen mit EPFL, Hochschule Luzern und Bahngesellschaften der Schweiz
- Hauptziele:
 - Messen des Energieverbrauches
 - Simulationsmodelle erstellen
 - Ausarbeitung von Massnahmen



Ausgangslage

Übersicht der Schienenfahrzeuge



EW II, RhB



EW IV, RhB



Panoramawagen, RhB



FLIRT, SOB



NINA, bls



ICN, SBB

Ausgangslage

Übersicht andere Verkehrsmittel im ÖV



Waldstätter, SGV



Saphir, SGV



MS 2017, SGV



Trolleybus, tl



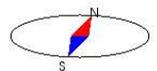
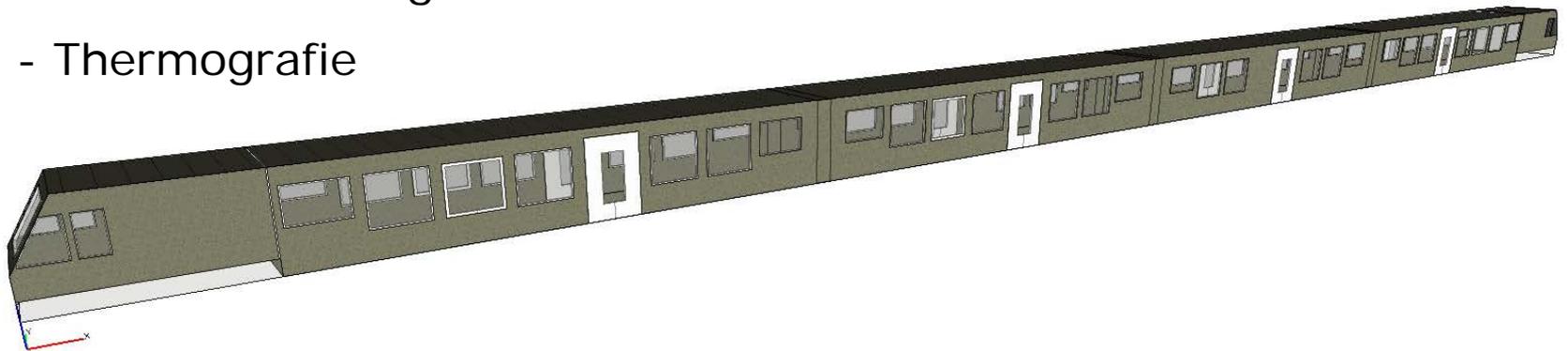
Strassenbahn, ?



andere, ?

Vorgehen

- Thermisches Simulationsmodell in IDA-ICE
- Messungen zur Modellkalibrierung
 - Langzeitmessungen
 - Aufheizversuch
 - Tracergas
 - Personenzählungen
 - Thermografie



Vorgehen

Messungen, Aufheizversuch

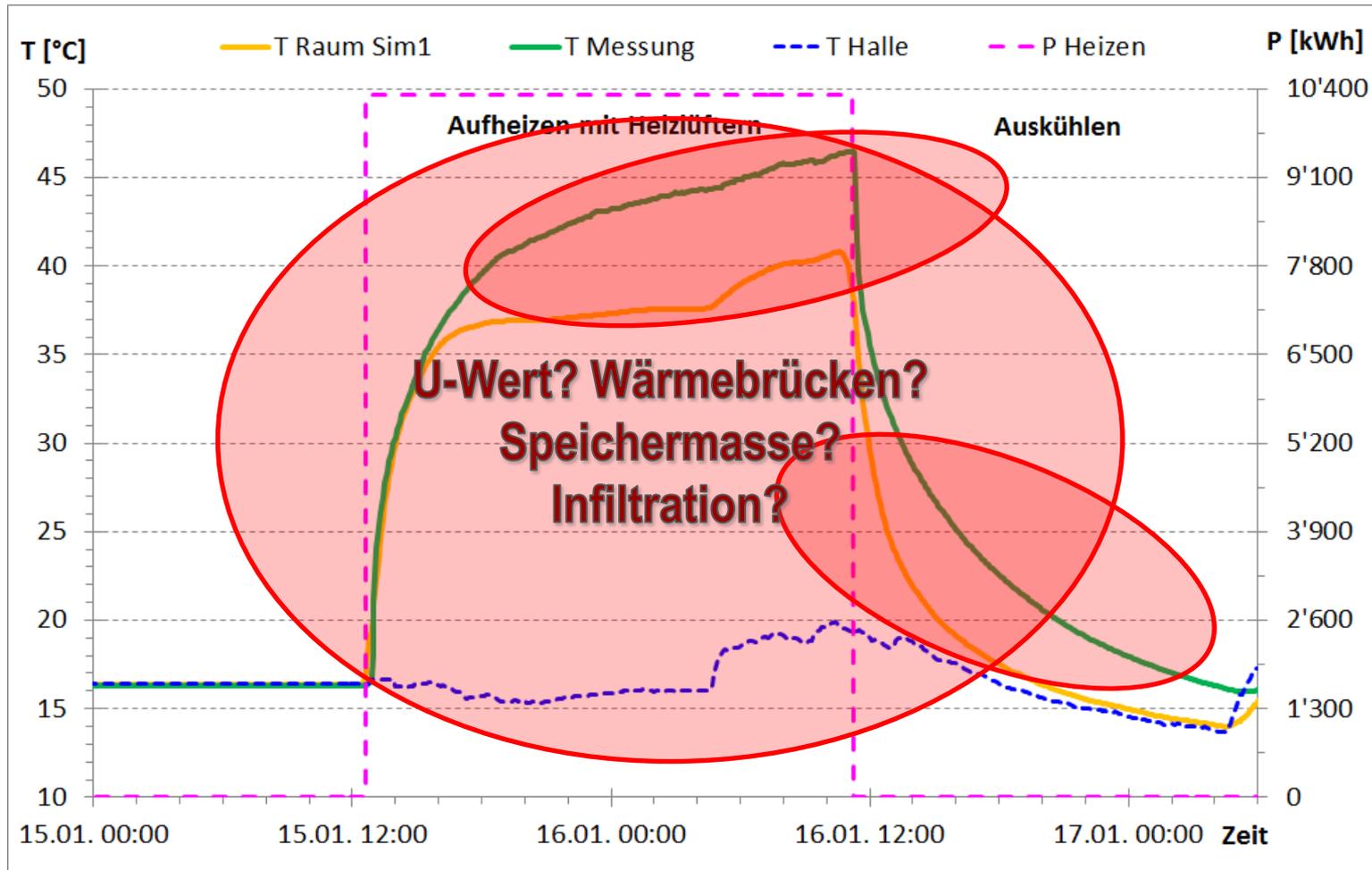
Ziele Aufheizversuch:

- Bestimmung aktiver Speichermasse
- Thermische Verluste der Wagenhülle
- Kalibrierung der Simulationsmodelle



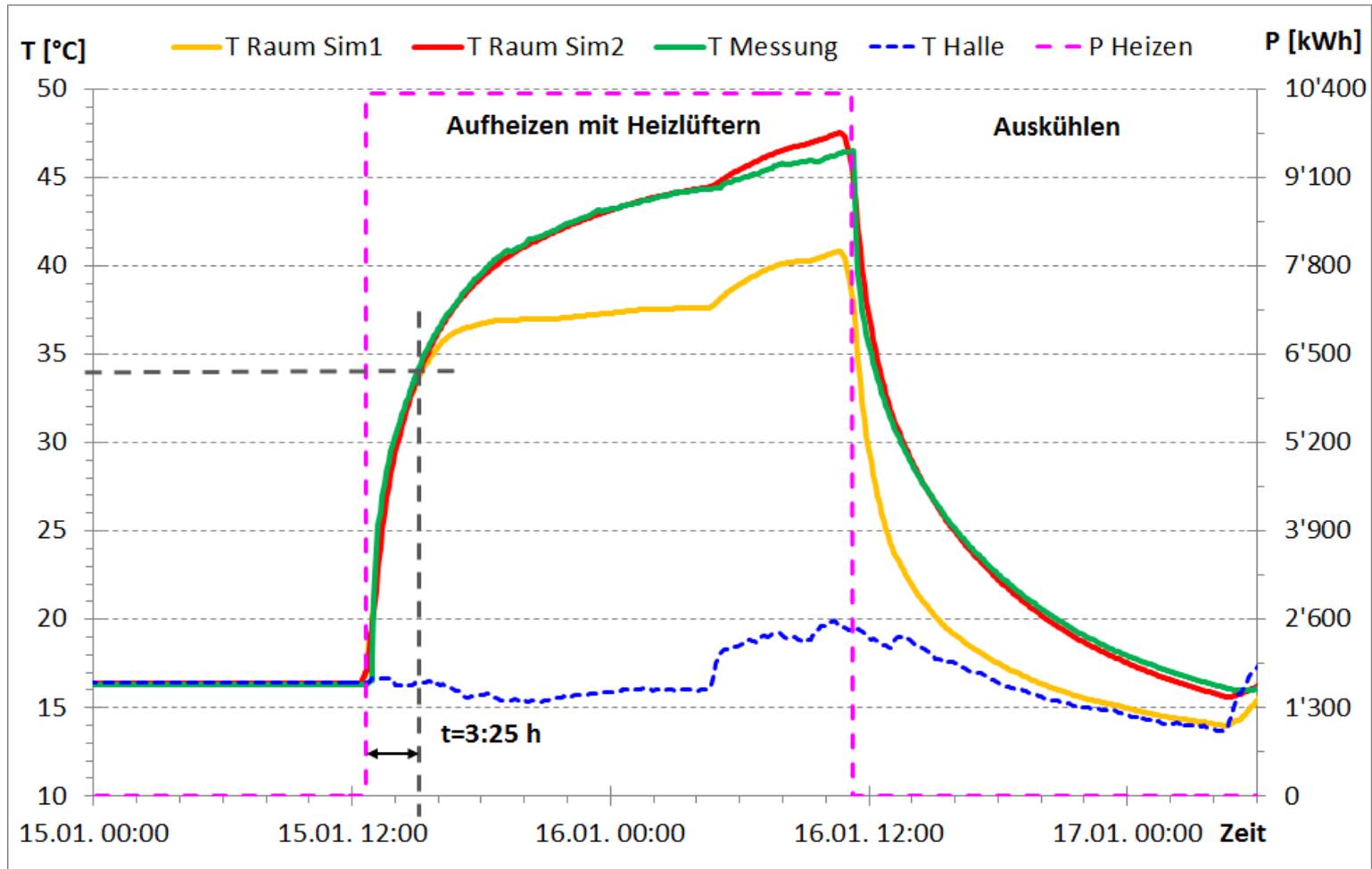
Messungen

Aufheizversuch, Vergleich Messung mit Simulation 1

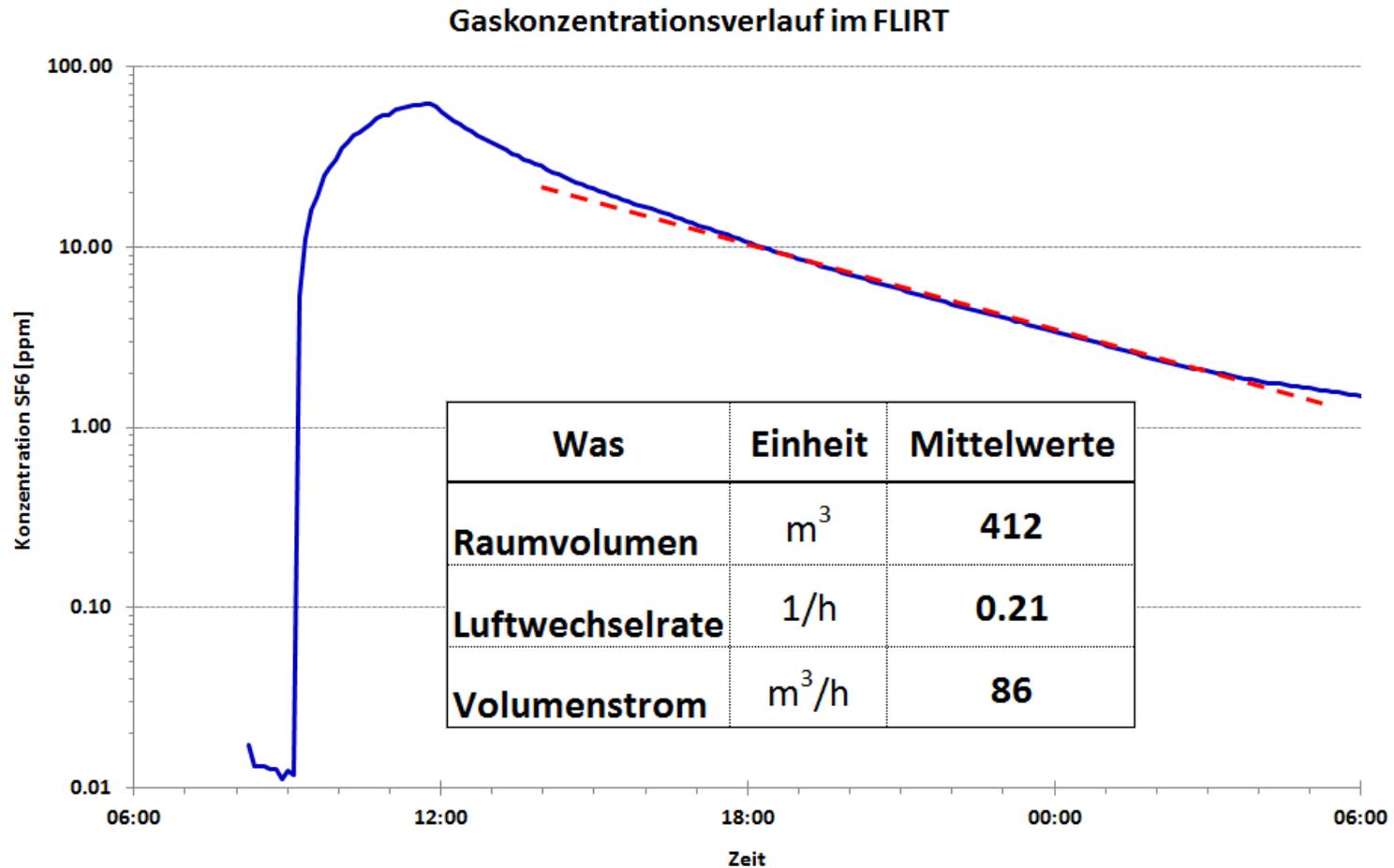


Modell kalibrieren

Aufheizversuch, Vergleich Messung mit Simulation 2



Resultate Tracergasmessung



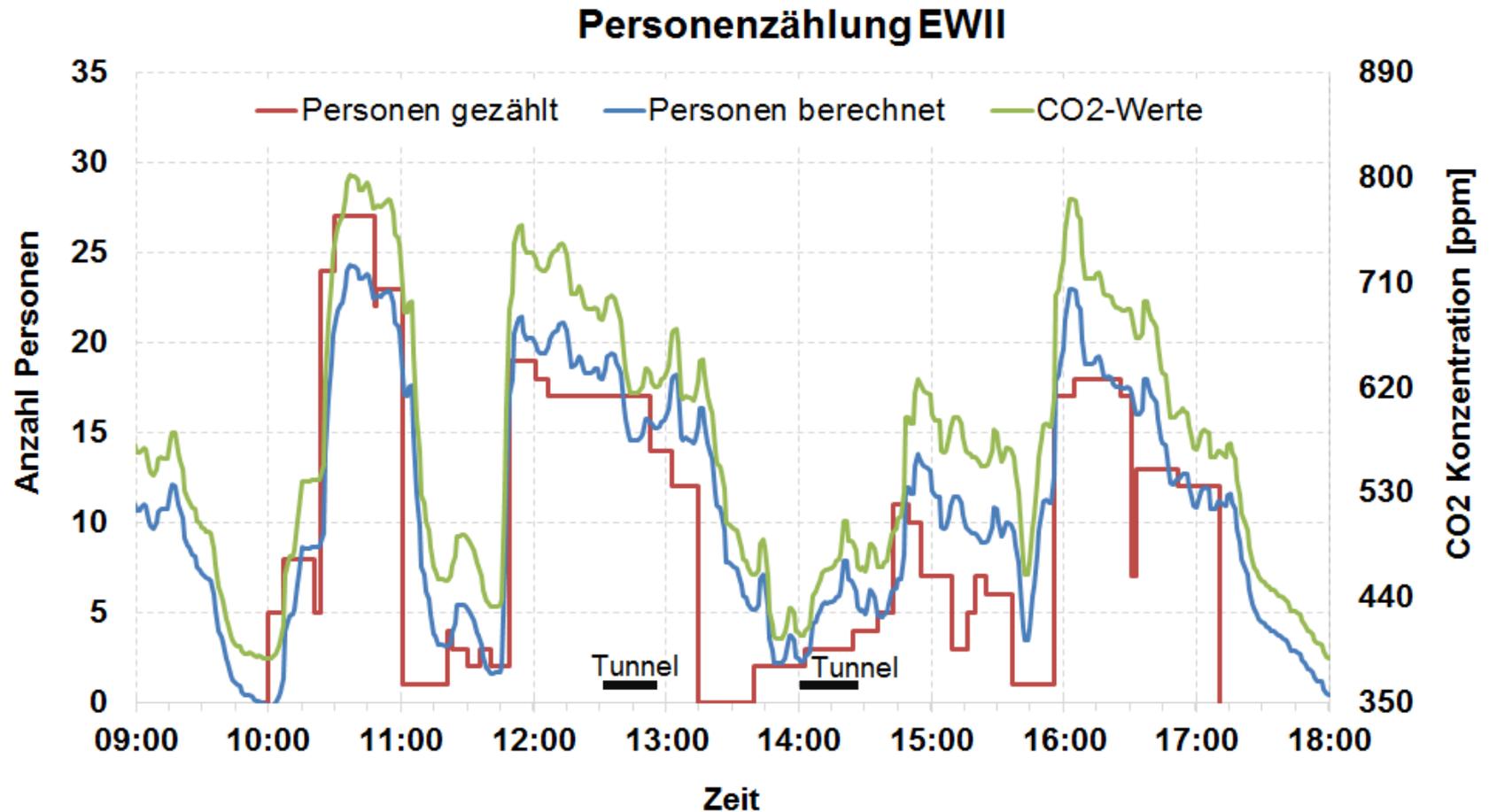
Vorgehen Modell Personenzählung

$$N_{pers} = \frac{(p_i - p_a) \cdot L \cdot V \cdot p_{CO_2}}{\dot{m}}$$



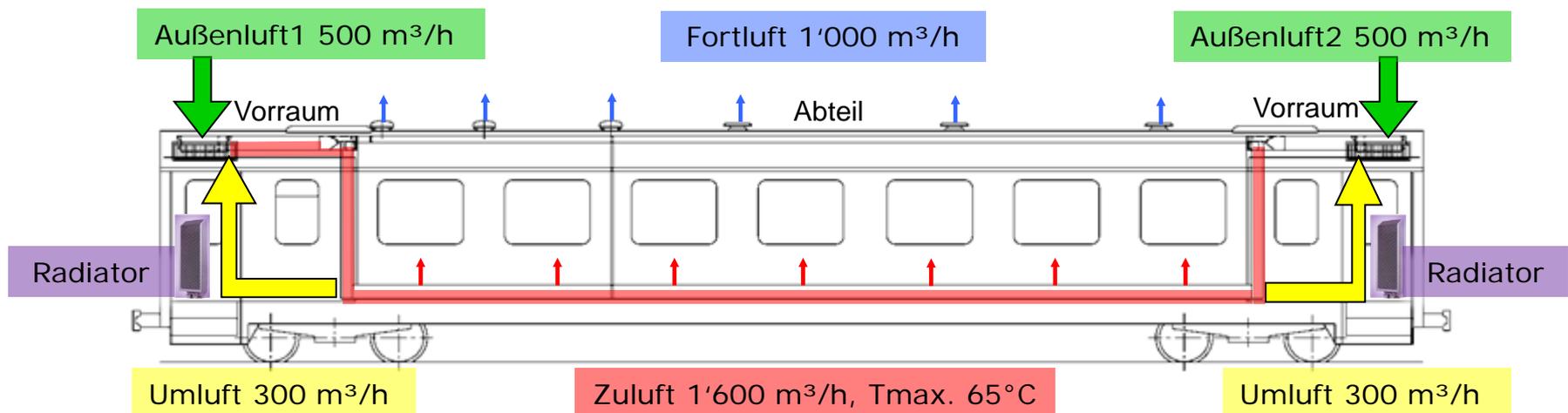
- N_{pers} Anzahl Personen im Raum
- p_i CO₂-Konzentration innen (gemessen) [ppm]
- p_a CO₂-Konzentration Umgebung [ppm]
- L Luftwechselrate [1/h]
- V Raumvolumen [m³]
- p_{CO_2} Dichte CO₂ [kg/m³]
- \dot{m} CO₂-Emission pro Person [mg/h]

Vorgehen Modell Personenzählung

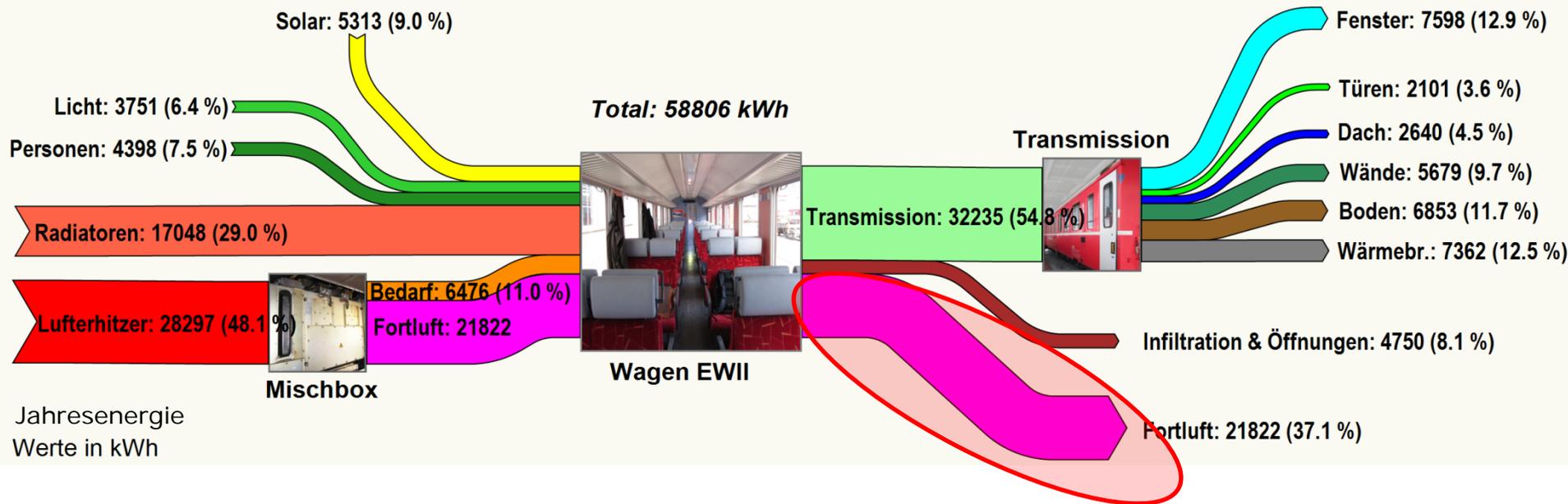


Simulation Grundlagen EW II (RhB)

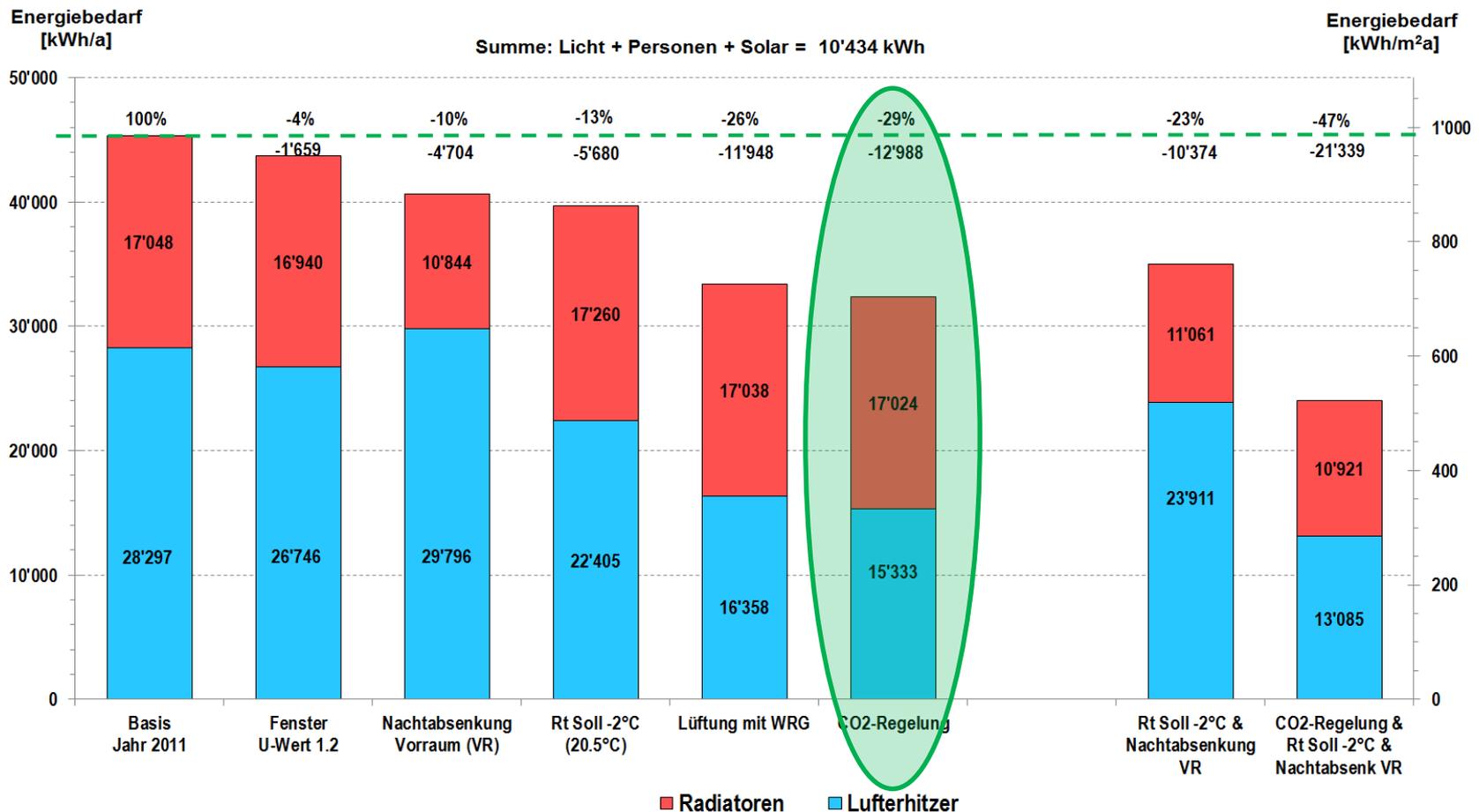
- Baujahr: 1977, Refit 2005
- Masse: Länge 17.7 m, Breite 2.6
- Flächen: Boden 46 m², Hülle 182 m², Fenster 18 m²
- Volumen: 88 m³ (netto)
- Personen: 54 Sitzplätze
- Lüftung: max. Luftwechsel 13, Volumen pro Person 11 m³/h
- HLK-System: Luftheizung im Abteil, Radiatoren im WC & Vorraum



Resultate Energieflussdiagramm EW II (RhB)

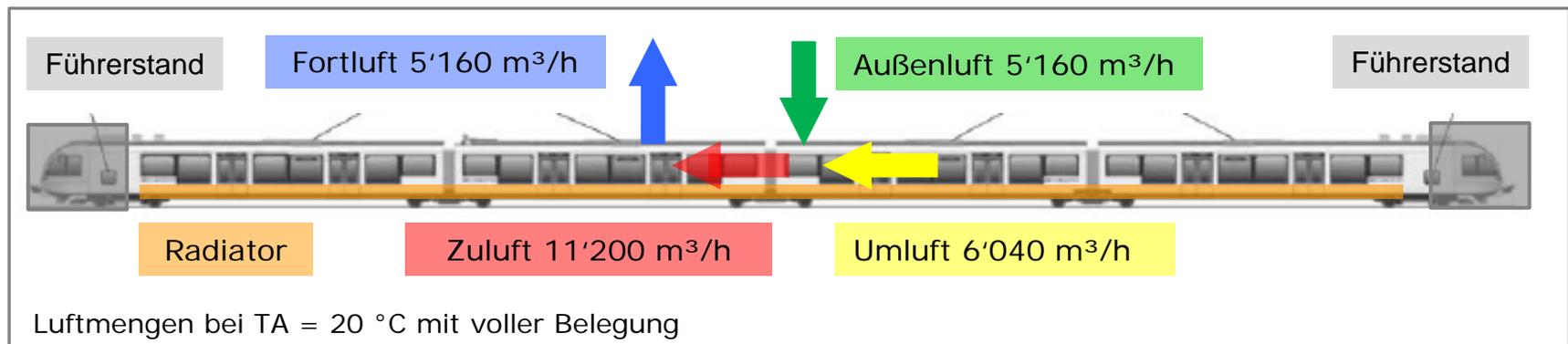


Resultate Energiebedarf Vergleich der Massnahmen EW II

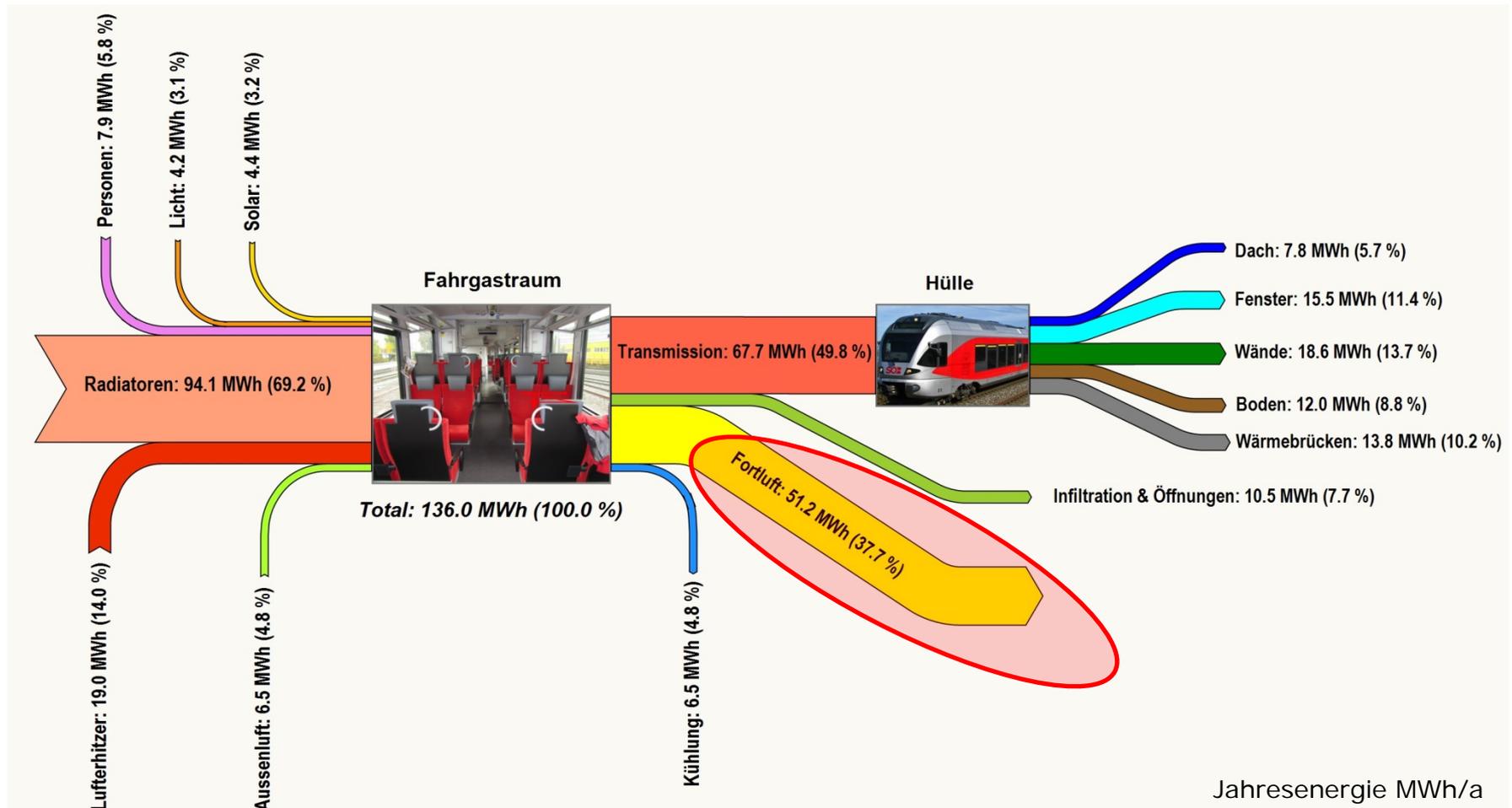


Simulation Grundlagen FLIRT (SOB)

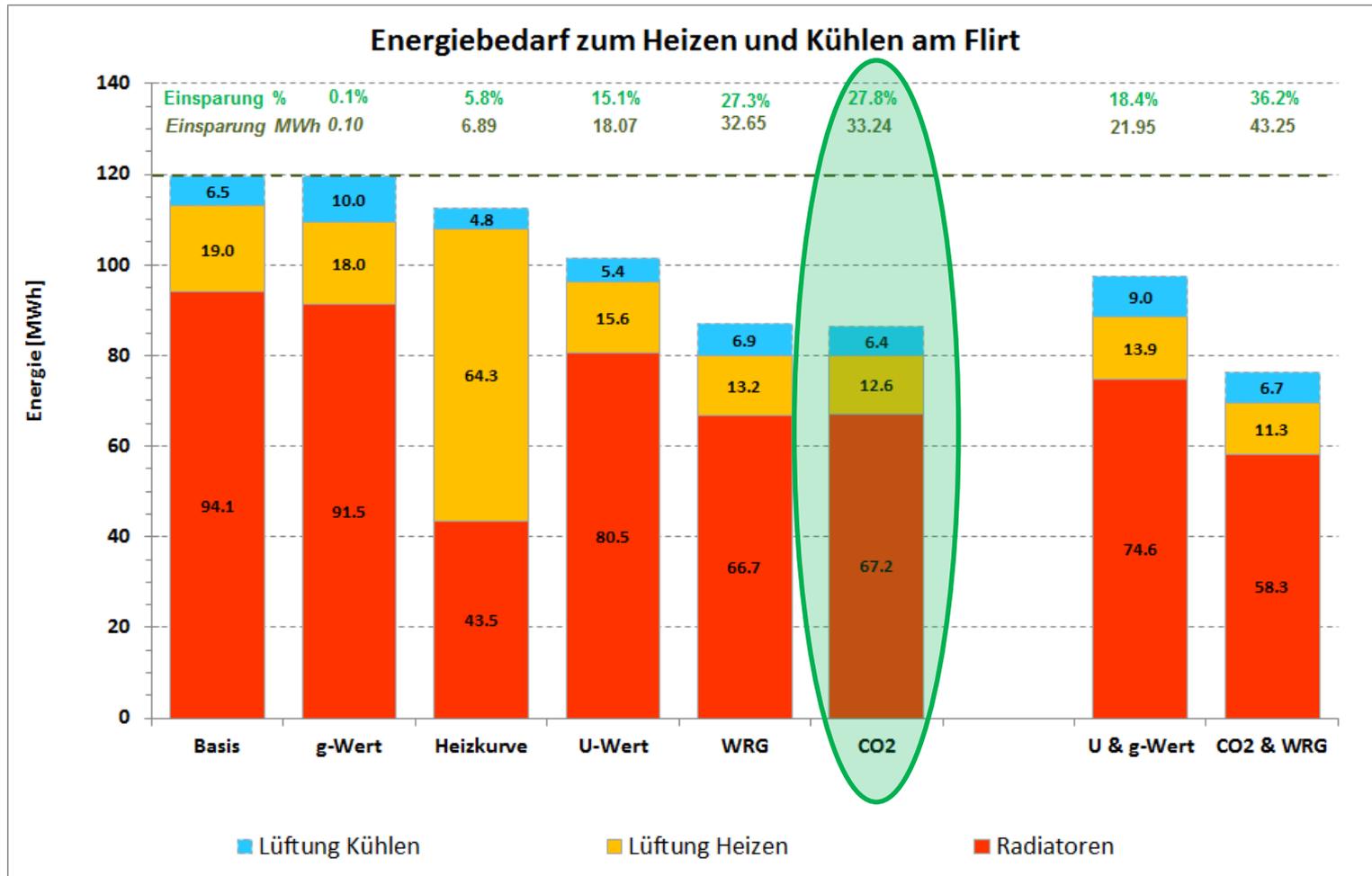
- Baujahr: 2007
- Masse: Länge 63.1 m, Breite 2.6
- Flächen: Boden 164 m², Hülle 670 m², Fenster 134 m²
- Volumen: 410 m³ (netto)
- Personen: 455 (212 Sitzplätze, 243 Stehplätze)
- Lüftung: max. Luftwechsel 13, Volumen pro Person 11 m³/h
- HLK-System: Radiatoren; Luftheizung & Kühlung kombiniert



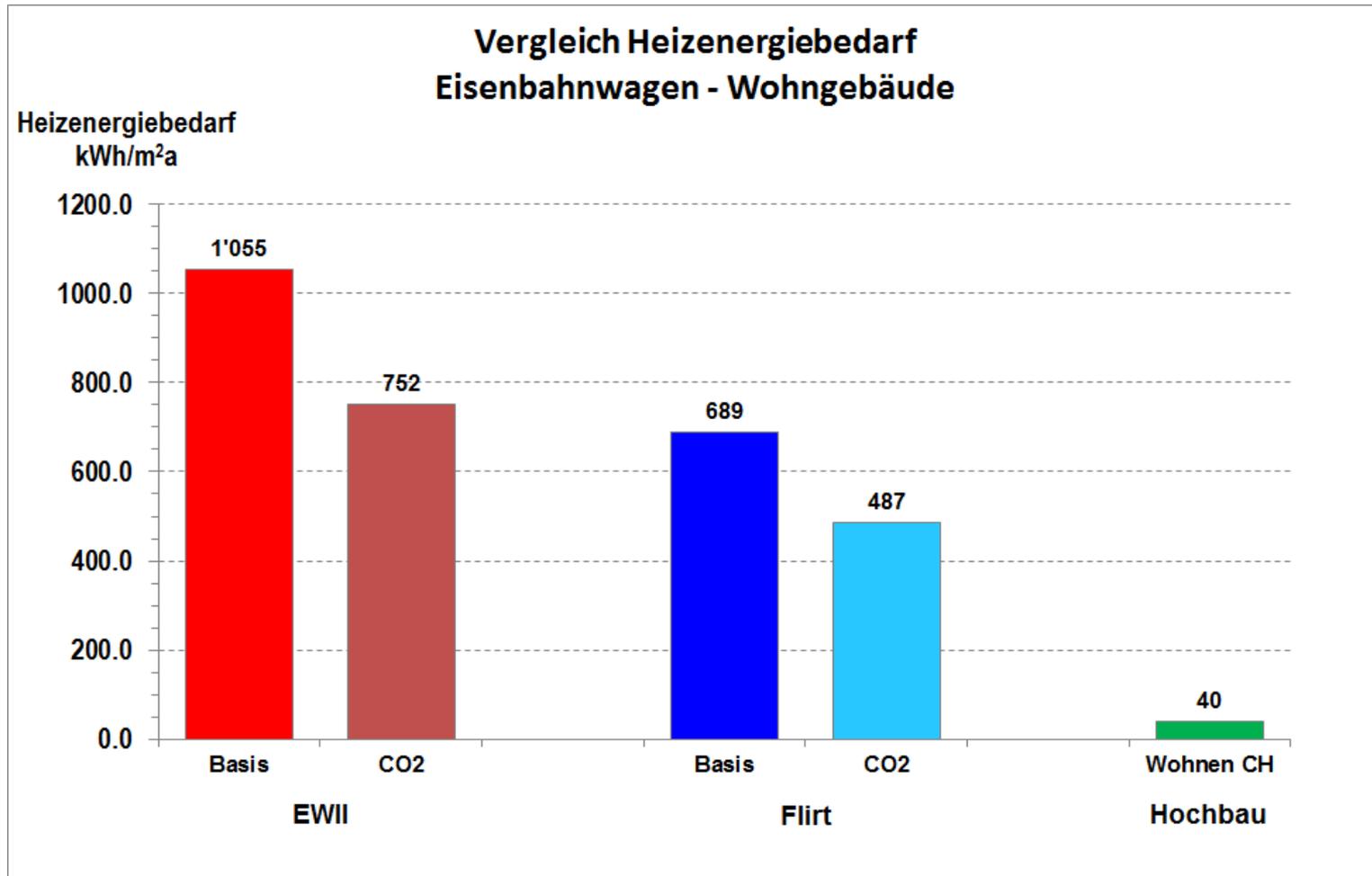
Resultate Energieflussdiagramm FLIRT



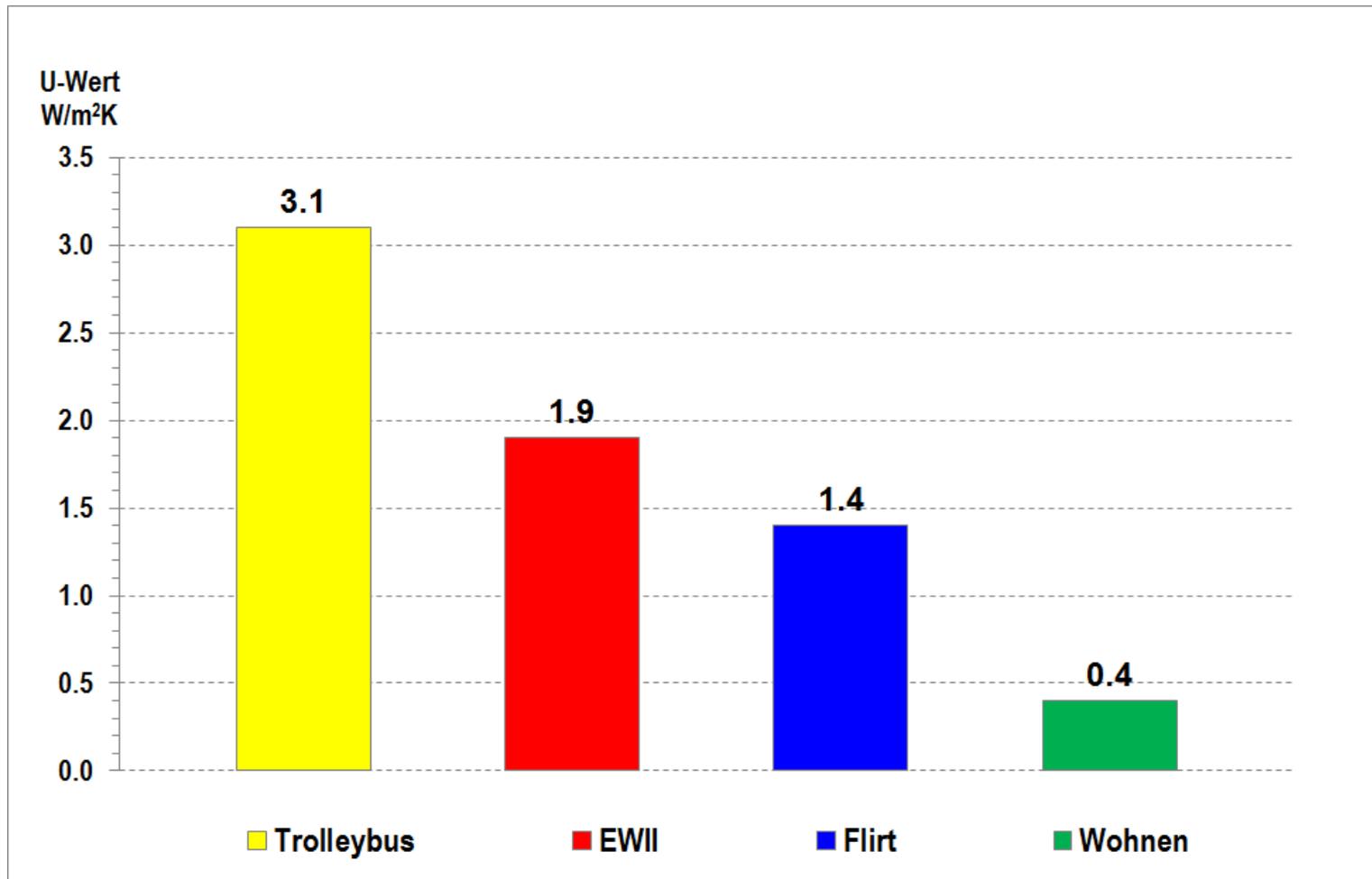
Resultate Energiebedarf Vergleich der Massnahmen Flirt



Resultate Vergleich Energiebedarf



Resultate Vergleich mittlere U-Werte Hülle



Zusammenfassung Diskussion

- **Erfolgreiche Simulation und Validierung von Eisenbahnwagen**
- **Das grösste Einsparpotential im Bestand haben:**
 - Bedarfsgerechte Aussenluftregelung der Lüftung (CO₂ geregelt)
 - Nachtabsenkung der Innentemperatur (z.T. in Umsetzung)
 - Optimierung der Steuerung von Heizung und Kühlung
- **Bei Neuanschaffungen oder Refit sind folgende Punkte zu prüfen**
 - Bessere Dämmung der Hülle (Fenster und opake Teile)
 - Einsatz einer Wärmerückgewinnung bei der Lüftung
 - Einsatz einer Wärmepumpe zum Heizen und Kühlen

Zusammenfassung Diskussion

- **Einsparpotential geschätzt**

- EW II, RhB: 21 MWh/a (47%) Energie pro Jahr und Wagen
=> beim Einsatz von 40 Wagen 840 MWh/a
- Flirt SOB: 43 MWh/a (36%) Energie pro Jahr und Wagen
=> beim Einsatz von 23 Triebzügen 990 MWh/a
- Flotte SBB geschätzt : 70 GWh/a (Quelle M. Tuchschnid, SBB)

Energieeffizienz HLK-Technik im öffentlichen Verkehr



Energie

Hersteller
Modell

Niedriger Verbrauch

A

B

C

D

E

F

G

Hoher Verbrauch

A

?