

# ENERGIEEFFIZIENZ VON HEIZUNG, LÜFTUNG UND KÜHLUNG (HLK) IM ÖFFENTLICHEN VERKEHR

Franz SIDLER<sup>1</sup>, Urs-Peter MENTI<sup>1</sup>, Eveline THALER<sup>1</sup>, Peter OELHAFEN<sup>2</sup>

## Ausgangslage

In Schienenfahrzeugen und Trolleybussen werden zwischen 20% und 40% der Energie für Heizen, Lüften und Kühlen (HLK) verbraucht. Während bei der Traktion trotz großer Bestrebungen nur noch vergleichsweise geringe Effizienzfortschritte möglich sind, werden im Bereich der HLK große und gleichzeitig einfach realisierbare Potenziale vermutet. Im Forschungsprojekt werden Maßnahmen ausgearbeitet, um diesen Energieverbrauch bei mindestens gleich bleibendem Komfort zu reduzieren.

## Methodik

Der Energieverbrauch für die HLK von verschiedenen Schienenfahrzeugen unterschiedlicher Betreiber in der Schweiz (Schweizerische Südostbahn AG (SOB), Rhätische Bahn AG (RhB), BLS AG und SBB AG bei den Schienenfahrzeugen, Transport public de la région lausannoise SA (tl) bei den Trolleybussen) wurde im Detail gemessen. Zusätzlich zu den Energiemessungen wurden Luftdichtigkeitsmessungen sowie Thermographieaufnahmen durchgeführt und mittels Aufheizversuchen wurde das thermische Verhalten der Fahrzeuge ermittelt (thermisch aktive Masse, Verluste). Anschließend wurden Simulationsmodelle der verschiedenen Fahrzeuge erstellt und validiert. Mit den validierten Simulationsmodellen konnten Optimierungsmaßnahmen für die HLK-Technik und die Fahrzeughülle quantifiziert werden.

Für die Messungen wurde ein Messsystem zur Erfassung der Raumtemperaturen, der Heiz- und Kühlenergie, der Klimadaten (Außentemperatur, solare Einstrahlung auf Fahrzeugwände etc.) entwickelt. Zudem konnten mittels GPS Standort und Geschwindigkeit des Fahrzeuges aufgezeichnet werden. Das Messsystem ist heute in sechs Fahrzeuge eingebaut und liefert online entsprechende Daten.

Die Fahrzeuge wurden mit der aus dem Gebäudebereich stammenden Simulationssoftware IDA ICE modelliert und simuliert. Zu den Eingabedaten gehörten die Fahrzeuggeometrie- und konstruktion, die HLK-Ausrüstung mit Regelung, die internen Wärmequellen wie Licht, Geräte und Personen, sowie das Aussenklima (Temperaturen, solare Einstrahlung und Wind). Das Modell wurde mittels der Langzeitmessungen und mit den ergänzenden Kurzzeiterhebungen (Aufheizversuch, Tracergasmessung und Fahrgastzählungen) kalibriert.

Anschließend wurden mit dem kalibrierten Modell verschiedene Maßnahmen zur Berechnung des Einsparpotentials durchgeführt. Mit dem Energiesparpotential konnte die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Maßnahmen quantifiziert werden.

## Resultate

Zusammen mit den Fachleuten seitens Betreiber wurden diverse betriebliche und technische Maßnahmen, sowie Maßnahmen an der Fahrzeughülle erarbeitet. Zu diesen gehörten:

- CO<sub>2</sub>- und/oder Fahrgastzahl-abhängige Zuluftmengen
- Wärmerückgewinnung bei der Lüftung
- Verbesserte Dämmung der Fahrzeughülle
- Optimierte Glaswahl bei den Fahrzeugfenstern
- Schlumberbetrieb außerhalb der Betriebszeiten
- Reduktion der Lufttemperatur im Fahrgastraum
- Etc.

<sup>1</sup> Hochschule Luzern - Technik & Architektur, Technikumstraße 21, 6048 Horw, {franz.sidler|urs-peter.menti|eveline.thaler}@hslu.ch

<sup>2</sup> University Basel, Department Physics, Klingelbergstraße 82, 4056 Basel, peter.oelhafen@unibas.ch

Die mittels der Simulationen berechneten Einsparpotenziale zeigen, dass Einsparungen von bis zu 40% erwartet werden können. Das Einsparpotenzial ist im Regionalverkehr grösser als im Fernverkehr (mehr Stillstandzeiten, tendenziell ältere Fahrzeuge).

In Abbildung 1 sind die Energieflüsse der Komforteinrichtungen auf Basis der Jahressimulation 2011 für den Einheitswagen EWII der RhB dargestellt. Die Prozentangaben beziehen sich auf die Gesamtenergie ohne Traktion und sind gerundet.

Auf der linken Seite ist der Energieeintrag und auf der rechten Seite der Energieverlust dargestellt. „Solar“ steht für den solaren Wärmeeintrag durch die Fenster, „Licht“ für den Wärmeeintrag durch die künstliche Beleuchtung, „Personen“ für den Wärmeeintrag durch die Personen. Der Passagierraum mit den Sitzplätzen verfügt über eine Luftheizung. Die beiden Vorräume werden nur mit Radiatoren beheizt. Diese werden nach Außentemperatur 3-stufig manuell vom Fahrpersonal geregelt und deren effektive Heizleistung stellt eine Unsicherheit in der Simulation dar. Von der zugeführten Wärme werden 77% für die Beheizung des Fahrgastraumes benötigt, 23% werden mit der Fortluft wieder nach außen abgegeben.

Die Verluste über die Hülle wurden bei der Simulation mit den Resultaten aus dem Aufheizversuch abgeglichen. Die Verluste über die Infiltration beinhalten auch die Verluste der Türöffnungen.

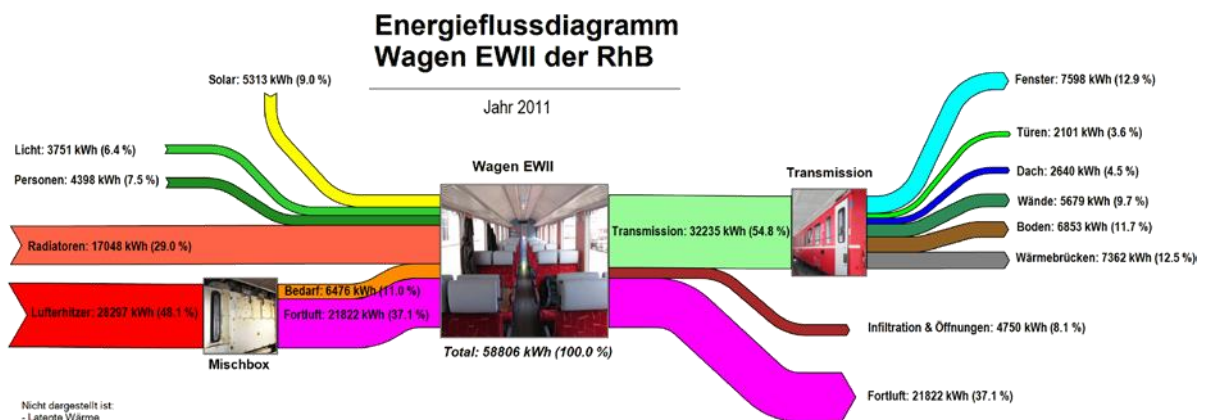


Abbildung 1: Energieflussdiagramm Wagen EWII der RhB.

## Diskussion

Die Simulationen mit validierten Modellen ermöglichen Maßnahmen am Fahrzeug sowohl energetisch als auch betreffend der Auswirkungen auf die Behaglichkeit im Fahrgastraum quantitativ zu beurteilen. Weiterführend kann so auch eine wirtschaftliche Beurteilung (Kosten-Nutzen) abgeschätzt werden.

Im öffentlichen Verkehr stehen neben Eisenbahnen auch andere Fahrzeugtypen wie Busse, Straßenbahnen, Flugzeuge oder Schiffe im Einsatz. Es wird vermutet, dass auch in diesen Fahrzeugen ein großes Potential zur Reduktion des Energieverbrauches der Komforteinrichtungen steckt. Entsprechende Untersuchungen sind im Gang oder in Vorbereitung. Dabei zeigt sich, dass der Energiebedarf für die Komforteinrichtungen vor allem bei strombetriebenen Fahrzeugen mit Akku eine sehr große Bedeutung erhält, da der Energiebedarf einen wesentlichen Einfluss auf die Reichweite bzw. das Gewicht der Fahrzeuge hat.

## Dank

Wir danken dem „spiritus rector“ dieses Projektes, Prof. Dr. Peter Oelhafen, den beteiligten Projektpartnern (insbesondere Universität Basel, ETH Lausanne) und allen, die das Projekt unterstützen, sei dies finanziell, durch Manpower oder durch die Zurverfügungstellung von Fahrzeugen (hier insbesondere swisselectric research, Bundesamt für Verkehr, Bundesamt für Energie, SBB, SOB, RhB, BLS, TL).