

Komfortoptimierte Innenraum-Klimatisierung von Schienenfahrzeugen

Die klimatischen Verhältnisse in modernen Reisezugwagen werden immer wichtiger. Durch innovative Technologien kann den Passagieren ein Maximum an Komfort bei gleichzeitig niedrigem Energieeinsatz geboten werden. Mittels computerunterstützter Strömungs-Simulation soll der Einfluss verschiedener Klimasysteme auf den Komfort berechnet und dem Energieeinsatz gegenübergestellt werden. Die Erkenntnisse sollen als Entscheidungshilfe für die Weiter- bzw. Neuentwicklung von Heizsystemen dienen.

EINLEITUNG

Im Rahmen der 3. Ausschreibung „Mobilität der Zukunft“ hat die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) ein Förderprojekt an ein von der Molinari Rail Austria GmbH (MRAT) geführtes Konsortium mit der Rail Tec Arsenal (RTA) vergeben. Zoppas Industries Heating Element Technologies (ZIHET) unterstützt das Projekt aus Technologie- und Innovationsperspektive, die Firma SAS Ingenieurbüro AG – ein Mitglied der Molinari Rail Gruppe – führt die CFD Berechnungen durch.

Das Projekt verfolgt das Ziel, ein von aktuellen Konzepten, Vorgehensweisen und Systemlösungen losgelöstes Heizungs- und Klimatisierungs-System zu finden, welches auch unter Berücksichtigung der Energieeffizienz ein möglichst globales Optimum aus Sicht des Komforts darstellt.

In Form einer Vorstudie werden neue, innovative Systeme identifiziert, die im Anschluss an dieses Projekt technologisch weiterentwickelt werden.

STAKEHOLDER-ANALYSE

Zusätzlich zu den auf CFD-Simulationen basierenden quantitativen Untersuchungen validieren die Projektträger die Forschungsfrage mittels einer qualitativen Stakeholder Analyse. Sämtliche nationalen Schienenfahrzeugbetreiber des deutschsprachigen Raumes, alle großen Schienenfahrzeughersteller und namhaften Klimaanlagehersteller werden hinsichtlich dem Stand der Tech-

nik, aktueller Innovationen und zukünftiger Technologien, sowie deren Anwendbarkeit in der Schienenfahrzeugindustrie im Spannungsfeld zwischen Komfortoptimierung und Energieeffizienz befragt. Die Ergebnisse dieses qualitativen Forschungsteils wiederum dienen dem Nachweis der Praxiseignung hinsichtlich Innovationsfähigkeit und Technologieführerschaft.

Die Operationalisierung der Forschungsfrage, inwiefern technologische Innovation Effizienzgewinne beeinflusst, ohne dabei den thermischen Komfort negativ zu beeinflussen, wird über die Validierung des wissenschaftlichen Phänomens mittels Reflexion der Praxiserfahrungen namhafter Stakeholder entlang der Wertschöpfungskette von der Entwicklung, Konstruktion, der Produktion bis zum Einsatz von Klimatisierungssystemen sichergestellt. Die Auswertung der Interviews erfolgt über eine dreistufige Forschungsmethodologie, um möglichst objektive, valide und zuverlässige Forschungsergebnisse zu ermöglichen.

ERGEBNISSE DER STAKEHOLDER-ANALYSE

Die Mehrheit der Interviewpartner steht technologischen Innovationen im Bereich Energieeffizienz skeptisch gegenüber, wobei dem Einsatz von Klimatisierungssystemen in nordeuropäischen Ländern eine grundsätzlich positivere Grundeinstellung in den Interviews zugestanden wird als beim Einsatz von Rollmaterial in südlichen Ländern.

Der Fokus in der Suche nach energieeffizienten Lösungen liegt hauptsächlich im Fernverkehr, zu Lasten des Nahverkehrs.



Dr. Manfred Hofer
Abteilungsleiter
Mechanikonstruktion,
Molinari Rail Austria
manfred.hofer@molinari-rail.com



**Dipl.-Ing. (FH)
Michael Vorndran, M.Eng**
Geschäftsführer
SAS Ingenieurbüro AG
michael.vorndran@sas.ingenieurbuero.ch



Dr. Bernhard Frei
Geschäftsführer
Zoppas Heating Element
Technologies Schweiz
bernhard.frei@zoppas.com

Die genannten Gründe hierfür liegen in der technologischen Umsetzung, die in quasi-stabilen Klimatisierungen im Fernverkehr deutlich einfacher zu realisieren sind als im Nahverkehr, wo häufige Türöffnungen zu sehr instabilen und komplexen Klimasituationen führen.

In der Gruppe der Rollmaterialhersteller entscheidet die strategische Positionierung über das Suchen nach energieeffizienten Lösungen. Rollmaterialhersteller, die Kostenführerschaft anstreben und kein Betreibermodell anbieten, sind signifikant weniger an technologischen Innovationen interessiert und suchen eher nach etablierten und kostenoptimierten Lösungen.

Die strategische Positionierung nach generischer Kostenführerschaft mancher Roll-

materialhersteller kommt jener Gruppe von Betreibern entgegen, die vor allem auf die Initialkosten der Beschaffung von Rollmaterial fokussieren und dabei die Überbewertung eben jener Initialkosten durch den Verzinsungseffekt gängiger Berechnungsmodelle (i.e. Nettobarwertmethode: NPV, Weighted Average Cost of Capital: WACC) favorisieren. Nichtsdestotrotz gewinnen Lebenszyklusmodelle und Betreiber aufwände durch die Integration von Lebenszykluskosten in die Ausschreibungen von Rollmaterial immer mehr an Bedeutung und werden auch schon ansatzweise entsprechend pönalisiert.

Im Hinblick auf die Lebenszykluskosten entsteht bei der Projektierung von technologischen Innovationen jedoch die Frage nach dem Nachweis der Verfügbarkeit und kostentransparenter Vorteile, um die Lebenszykluskostenberechnungen positiv zu beeinflussen. Da laut Aussage eines Vertreters der Schienenfahrzeugbauer die wenigsten Rollmaterialhersteller über eine eigene Forschungs- und Entwicklungsabteilung verfügen und somit Grundlagenforschung bei den (Sub-)Lieferanten stattfindet, reduziert sich die Möglichkeit über die Erstinstallation von technologischen Innovationen im Rahmen der Projektierung und kollidiert mit grundsätzlichen Interessen des Projektmanagements nach termingerechter Erfüllung der Kosten- und Qualitätsziele. Das Projektmanagement ist bestrebt, etablierte und bewährte Systeme einzusetzen, während sich in den meisten Fällen technologische Innovationen erst in der Praxis etablieren und bewähren müssen.

In einer Industrie, die von starker Normierung und Sicherheitsbewusstsein geprägt ist und dessen Normierungslandschaft letztendlich den Status quo an technologischen Lösungen widerspiegelt, spielt die Konsumentenakzeptanz eine wesentliche Rolle. So sind für alle Interviewteilnehmer Innovationen, die zwar die Energieeffizienz wesentlich positiv beeinflussen würden, aber die zur Zeit gültige Normierung verletzen, nur mit deutlicher Zustimmung der jeweils nachgelagerten Kunden oder Konsumenten entlang ihrer relativen Position in der Wertschöpfungskette vorstellbar. Da jedoch der Endkunde als solcher die Normenlandschaft unmöglich überblicken kann, entsteht ein selbstblockierendes und innovationsfeindliches System, das hohe abstrahierende Fähigkeiten an das Normengremium stellt, um einerseits zukünftige technologische Innovationen in der Energieeffizienz nicht auszuschließen und andererseits die Wünsche des Endkunden vorgängig zu antizipieren.

Es herrscht ein deutlicher Konsens innerhalb der interviewten Experten, dass keine bedeutende Innovation im thermischen

Komfort identifizierbar sei. Wie auch im oben beschriebenen Teil der Energieeffizienz ist thermischer Komfort eine Frage der strategischen Positionierung einerseits und dem Einsatz des Rollmaterials in Fern- oder Nahverkehr andererseits. Klimatisierungslösungen, und nicht nur Heizungslösungen, sind im Rollmaterial heutzutage Standard, ein Standard der weltweit sehr unterschiedlich und subjektiv eingeschätzt wird und sich im Laufe der Zeit selbst adaptiert. Anders gesagt steigt mit der Integration von Lösungen zur (gradueller) Erhöhung des thermischen Komforts automatisch die Erwartungshaltung der Endkunden. Die Erwartungshaltung im Führerstand wird durch die normativen und gesetzlichen Vorgaben eines Arbeitsplatzes zusätzlich beeinflusst. Interessanterweise kommen laut einem Betreiber auch die meisten Reklamationen über den thermischen Komfort aus dem Bereich des Führerstands.

Megatrends wie Individualisierung und Digitalisierung provozieren auch in der Schienenfahrzeugindustrie die Frage nach Lösungen hinsichtlich individualisiertem thermischen Komfort und digitalen Steuerungslösungen über Mobile Devices.

VORGEHENSWEISE KOMFORT-BESTIMMUNG

Die Bestimmung der thermischen Behaglichkeit gemäß Definition in ISO 7730 [1] benötigt Eingangsdaten wie z.B. die Strahlungstemperaturen der betrachteten Oberflächen, (Luft-) Strömungsgeschwindigkeiten sowie Raumtemperaturen. Diese Daten können aus Messungen aber auch in sehr frühen Entwicklungsstadien aus Strömungssimulationen (computational fluid dynamics, CFD) gewonnen werden.

In einem 2. Schritt werden die aus der CFD-Analyse gewonnenen Ergebnisse auf die Oberfläche der im Computer-Modell enthaltenen Dummies projiziert, um dort an diesen Stellen das lokale Empfinden der betrachteten Personen zu bestimmen.

Die Vorgehensweise wird im Folgenden im Detail beschrieben.

CFD-MODELL

Um die Rechenzeit der CFD-Simulation kurz zu halten, wird das Modell auf einen Fensterleiter beschränkt und mit entsprechenden Randbedingungen versehen (Bild 1).

Die im Modell gewählte Symmetrie im Mittelgang ist offensichtlich, da auch die Sitze in Fernverkehrszügen meist symmetrisch bzgl. des Mittelganges angeordnet sind.

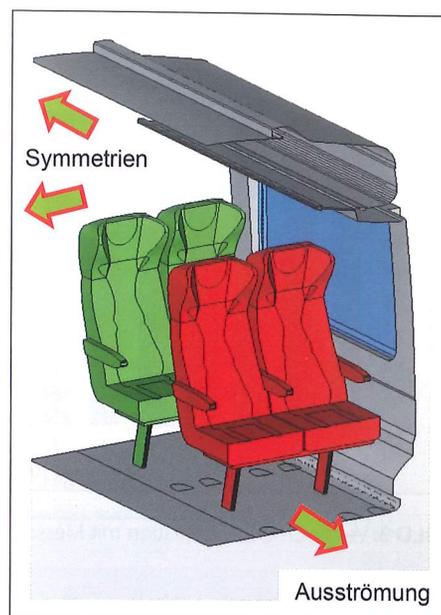


BILD 1: CFD-Modell Fensterteiler
(Quelle aller Bilder: Autoren)

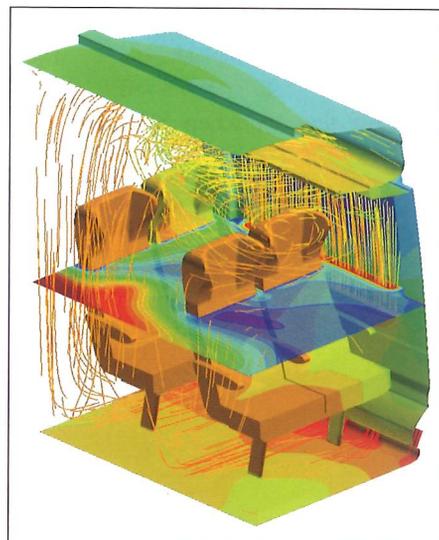


BILD 2: CFD-Ergebnisse Fensterteiler

Die Symmetrie auf der Rückseite der hinteren Sitze modelliert eine Anordnung des Fensterleiters in der Mitte des Wagens. Der Strömungsauslass an der Vorderseite des Fensterleiters ist nötig, um real existierende Längsströmungen im Wagen abbilden zu können.

Für die Verifikation der CFD-Analyse (siehe Bild 2) wurden Ergebnisse aus klimatechnischen Test eines modernen Reisezugwagens verwendet, welche am RTA durchgeführt wurden.

Auf Basis des originalen CAD-Modells konnte ein CFD-Modell entsprechend dem Testsetup aufgebaut und berechnet werden. Der Vergleich der CFD-Ergebnisse zeigte sehr gute Übereinstimmung zwischen Test und Berechnung (siehe Bild 3).

Das Rechenmodell, welches für die Be- »

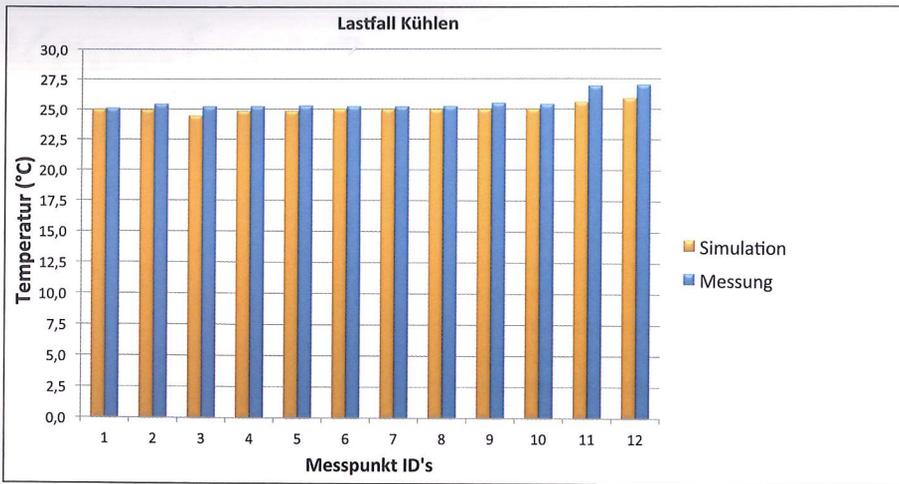


BILD 3: Vergleich CFD-Simulation mit Messung

stimmung des Klima-Komforts zum Einsatz kommt, wurde gegenüber dem Benchmark-Modell um Dummy-Passagiere erweitert.

LASTFÄLLE

Losgelöst von typischen Klimatisierungs-

Configurationen wurden unterschiedliche Lastfälle erstellt und hierbei sowohl konvektive als auch radiative Systeme in Betracht gezogen (siehe Bild 4 sowie Tabelle 1).

Als Strahlungsflächen wurden

→ der Boden

- das Fenster
- die Seitenwände
- die Decke
- der Gepäckträger aber auch
- die Rückenlehne des Vordersitzes
- die Sitzfläche und die
- Rückenlehne

angesetzt. Als Einlässe für temperierte Luft wurde neben den aktuell schon im Einsatz befindlichen, dem Stand der Technik entsprechenden Positionen

- unterhalb des Fensters,
- an der Wand am Fußboden sowie
- an der Decke

auch noch

- die Sitzfläche sowie
- die Rückenlehne

evaluiert.

Die gesamten Lastfall-Kombinationen wurden in einer Matrix zusammengestellt (siehe Tabelle 1) und mittels CFD-Analyse berechnet.

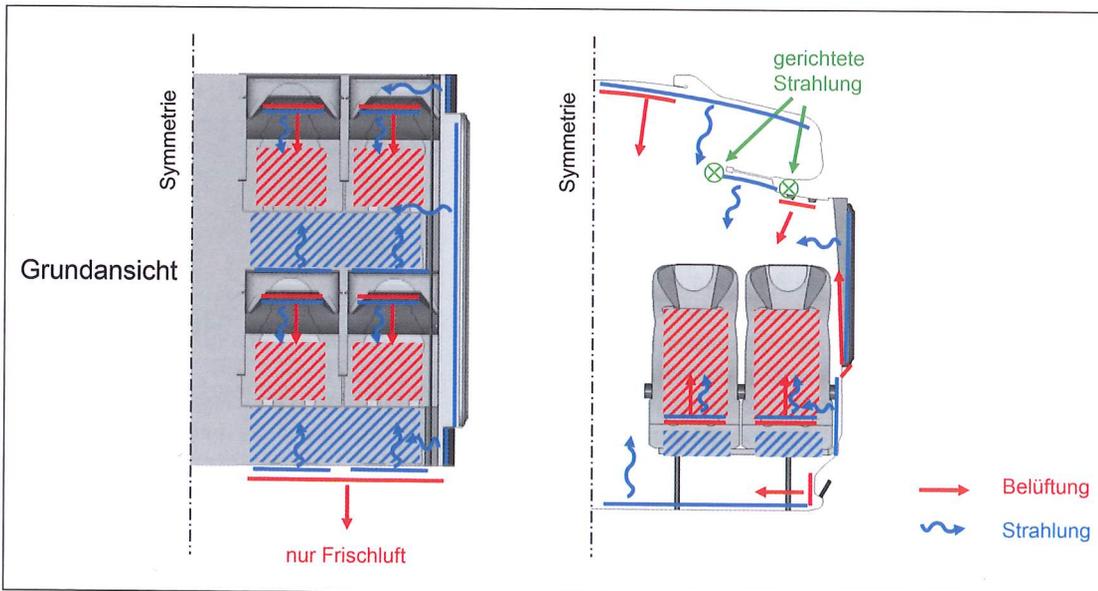


BILD 4: Orte der Energie-Einbringung (Belüftung und Strahlung)

Variante	Bezeichnung Energie-Einbringung	Ventilation (rot)		Strahlung (blau)		
		Bodenkanal	Fenster	FH Boden	FH Seitenwand 1	FH Seitenwand 2
	Pos.-Nr. Energie-Einbringung	1 rot	3 rot	1 blau	2 blau	4 blau
BM	Benchmark	x	x			
1	Variante A	x				
2	Variante B	x		x		
3	Variante C	x		x	x	x
4	Variante G	x	x			
5	Variante H	x	x	x		
6	Variante I	x	x	x	x	x

TABELLE 1: Auszug Lastfallkombinationen Winter: Heizbetrieb (BM ... Benchmark, FH .. Flächenheizung, Positionen gemäß Bild 4)

KOMFORT-BEWERTUNG AUF BASIS PMV

Die in der ISO 7730 [1] erwähnte, den Komfort beschreibende Größe „PMV“ (predicted mean vote) stellt die vom Körper produzierte Energie den klimatischen Umgebungsbedingungen gegenüber. Die Skala der PMV-Werte reicht von -3 bis +3 und beschreibt das Temperaturempfinden des Menschen, siehe Tabelle 2.

PMV	Komfort-Empfinden EN ISO 7730
+3	heiß
+2	warm
+1	etwas warm
0	neutral
-1	etwas kühl
-2	kühl
-3	kalt

TABELLE 2: Klima-Beurteilung / PMV-Klassifikation gemäß ISO 7730 [1]

Zur Bestimmung des PMV-Wertes werden die folgenden Eingangs-Parameter und -Daten benötigt [1]:

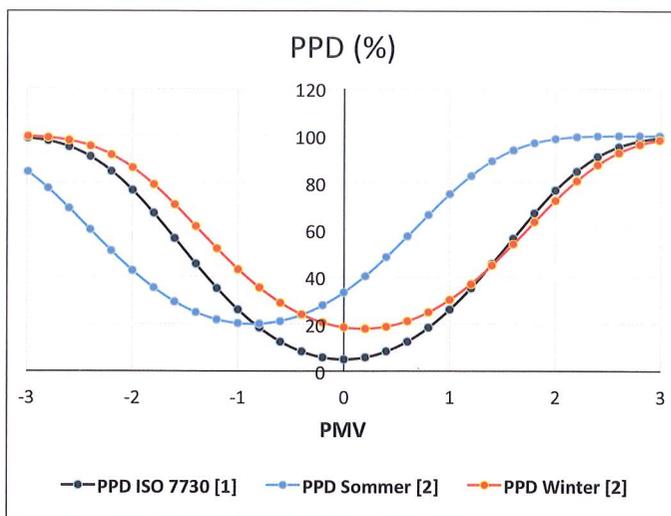
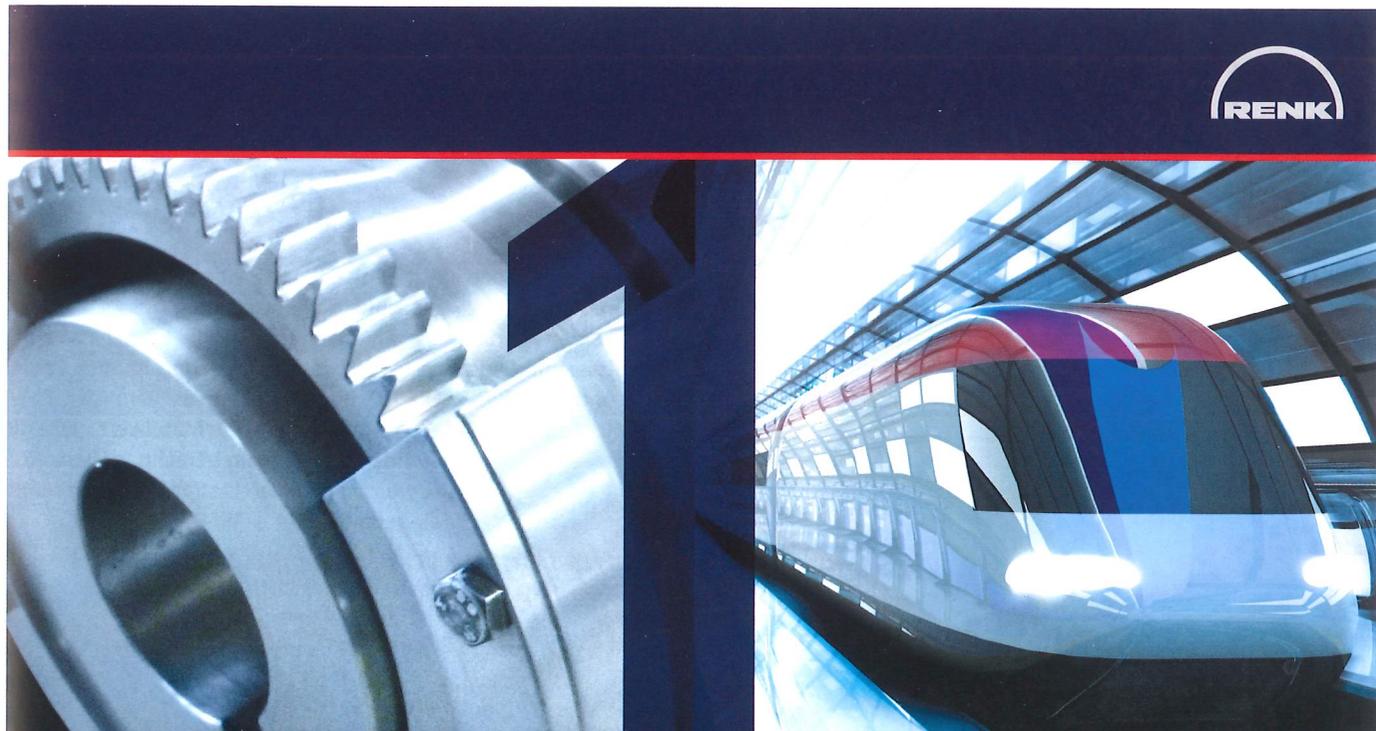


BILD 5: Prozentsatz unzufriedener Personen (PPD) bei gegebenem PMV-Wert

- M ... Energieumsatz (W/m^2)
 - W ... wirksame mechanische Leistung (W/m^2)
 - I_{cl} ... Bekleidungsisoliation ($m^2 \cdot K/W$ bzw. $1 \text{ clo} = 0.155 \text{ m}^2 \cdot K/W$)
 - f_{cl} ... Bekleidungsflächenfaktor (dimensionslos)
 - t_a ... Lufttemperatur ($^{\circ}C$)
 - t_r ... mittlere Strahlungstemperatur ($^{\circ}C$)
 - v_{ar} ... relative Luftgeschwindigkeit (m/s)
 - p_a ... Wasserdampfpartialdruck (Pa)
 - h_c ... konvektiver Wärmeübergangskoeffizient ($W/(m^2 \cdot K)$)
 - t_{cl} ... Oberflächentemperatur der Bekleidung ($^{\circ}C$)
- In einem Schienenfahrzeug verrichtet man normalerweise nur sitzende Tätigkeiten, »



Unser bester Zug: Qualität

An Kupplungen für Bahnantriebe werden besondere Ansprüche gestellt. Denn von ihrer Zuverlässigkeit hängt die Mobilität von Menschen und Waren ab. RENK kann auf eine jahrzehntelange Erfahrung in der Entwicklung und Herstellung hochwertiger Antriebselemente zurückgreifen. So entwickeln wir Kupplungen, die jeden Tag maximale

Drehmomentübertragungen und Korrekturen großer Verlagerungen gewährleisten. Unsere Kupplungen lassen sich individuell an die Bedürfnisse des Einsatzgebietes anpassen. Somit steht auch für schwierigste Antriebsfälle immer die optimale Lösung bereit.

Die Nr.1 bewegt

www.renk.eu

weshalb der körperliche Energieverbrauch gleich dem Grundumsatz eines Menschen (dieser entspricht einer metabolischen Einheit: 1 met = 58,2 W/m²) und die wirksame mechanische Leistung gleich 0 gesetzt werden.

Die Bekleidungsisolations sowie der Bekleidungsflächenfaktor werden entsprechend der betrachteten Jahreszeit gewählt. Typische Werte hierfür sind:

- Sommer: 1 clo (entspricht: Unterwäsche mit kurzen Ärmeln und Beinen, Hemd, Hose, Jacke, Socken, Schuhe)
- Winter: 1,5 clo (entspricht: Unterwäsche mit kurzen Ärmeln und Beinen, Hemd, Hose, Weste, Jacke, Mantel, Socken sowie Schuhe)

Im Sommer kann die Bekleidungsisolations auch auf 0,7 clo reduziert werden, wodurch der Wegfall der Jacke abgebildet wird.

Der Wasserdampfpartialdruck wird gemäß [1] berechnet, wobei ϕ in der folgenden Gleichung die relative Luftfeuchtigkeit bezeichnet:

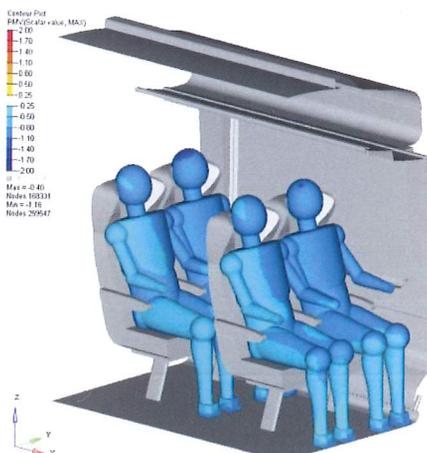
$$p_a = \phi \cdot 10 \cdot e^{16,6536 - 4030,183 / (T + 235)}$$

Die relative Luftfeuchtigkeit wird – da sie innerhalb der betrachteten Grenzen nur einen geringen Einfluss auf das Komfort-Empfinden hat – konstant zu 60% angesetzt.

Die restlichen Eingangsgrößen für die PMV-Bestimmung – hierbei handelt es sich um die Luftgeschwindigkeit sowie die Luft- und Strahlungstemperatur – werden direkt aus der CFD-Analyse übernommen.

Auf Basis dieses gesamten Datensatzes ist das Komfort-Empfinden auf Basis des PMV-Wertes an der Oberfläche der Dummies berechenbar.

BILD 6: PMV-Wert (auf Dummies projiziert)



KOMFORT-BEWERTUNG AUF BASIS PPD

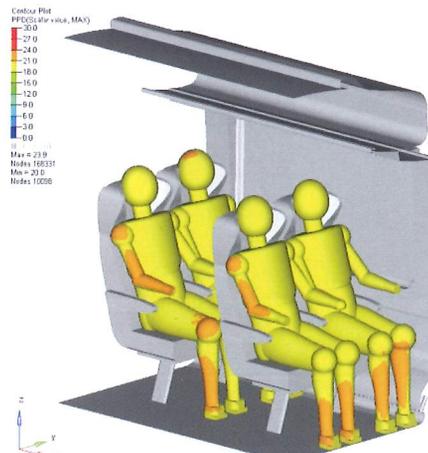
Eine weitere wichtige Kenngröße zur Beurteilung der klimatischen Situation ist der PPD-Wert (predicted percentage of dissatisfied persons). Hiermit wird der Prozentsatz der Personen vorausgesagt, die das Umgebungsklima wahrscheinlich als zu warm oder zu kalt empfinden. Gemäß ISO 7730 [1] sind unzufriedene Personen solche, die nach der 7-stufigen Klimabeurteilungsskala gemäß Tabelle 2 entweder mit heiß, warm, kühl oder kalt urteilen, was einem Wert von $|PMV| \geq 2$ entspricht.

Untersuchungen am Rail Tech Arsenal in Wien haben eine im Vergleich zur ISO 7730 differenziertere Bewertung vorgeschlagen, die sich aus Felduntersuchungen ergeben hat [2]. Hierin wird berücksichtigt, dass es die Passagiere im Sommer etwas kälter und im Winter etwas wärmer bevorzugen und sich insofern der Wohlfühlbereich je nach Jahreszeit verschiebt. Weiters trägt diese adaptierte PPD-Ermittlung auch dem experimentell gewonnenen Faktum Rechnung, dass es immer einen minimalen Anteil an Personen gibt, die mit den Bedingungen nicht zufrieden sind: Im Sommer sind dies gemäß [2] 20% und im Winter 18%. Diese beiden Werte sind als Minima direkt aus den Kurven in Bild 5 ersichtlich.

KOMFORT-ERGEBNISSE AUF BASIS DER CFD-DATEN

Die aus der CFD-Berechnung extrahierten Werte für die Oberflächengeschwindigkeit, die Oberflächentemperatur auf Grund der Strahlung und die Lufttemperatur in direkter Umgebung der Dummies werden auf die Oberfläche der Dummies projiziert und auf Basis dieser Daten die PMV- und PPD-Wer-

BILD 7: PPD-Wert (auf Dummies projiziert)



te dort berechnet und visualisiert (Bild 6). Durch dieses Vorgehen kann das lokale Komfort-Empfinden, z.B. Zugluft an den Füßen oder kalte Strahlungstemperaturen an den Schultern zufolge eines kalten Fensters, abgebildet werden.

Durch die Visualisierung der PMV- und PPD-Werte an der Dummy-Oberfläche kann eine Aussage darüber getroffen werden, an welchen Körperstellen der PMV akzeptabel und an welchen die Abweichung zum idealen Wert zu groß ist (siehe Bilder 6 und 7). Diese Ergebnisse stellen in weiterer Folge die Basis für konstruktive Verbesserungen dar.

ENERGETISCHE BEWERTUNG

In der CFD-Rechnung wird der Energieeintrag in den Lastfällen „Heizen“ oder „Kühlen“ untereinander jeweils gleich hoch angesetzt, um ein stationäres Ergebnis zu erhalten. Die zugeführte Energie muss hierbei dem über die Begrenzung austretenden Energie-Anteil entsprechen. Bei konstantem Energie-Eintrag muss eine Bewertung bzgl. Energie-Effizienz auf Basis der berechneten Komfort-Werte erfolgen:

- In einem Heizlastfall bedeutet eine Komfort-Einstufung mit PMV-Werten >0, dass den Passagieren zu warm ist und die zugeführte Energie aus diesem Grund reduziert werden könnte.
- Im Kühlbetrieb tritt dieselbe Situation ein, sobald den Passagieren zu kühl ist, d.h. sobald der PMV-Wert <0 wird.

Auf Basis dieser beiden Annahmen kann die Höhe der Abweichung des PMV-Wertes als ein Maß an „Energie-Effizienz“ herangezogen werden: Für jeden Knoten an der Oberfläche der Dummies wird der PMV-Wert extrahiert und der Mittelwert sowie die Standardabweichung berechnet. Diese Werte wurden für jeden Lastfall in ein Diagramm eingetragen, siehe Bild 8.

Die roten Kreise in Bild 8 entsprechen den Heizlastfällen 1-6, die blauen Kreise den Kühllastfällen (Lastfall 7-15). Der Radius der Kreise entspricht der Standardabweichung: Ein kleiner Kreis bedeutet demnach eine sehr homogene Verteilung des PMV-Wertes über die Oberfläche des Dummies. Ein hoher Mittelwert zusammen mit einem kleinen Durchmesser in den Heizlastfällen deutet, wie bereits erläutert, auf ein sehr effizientes System hin, da bei demselben Energieeintrag wie bei den anderen Lastfällen das Komfort-Empfinden als „zu warm“ eingestuft wird. In den Kühllastfällen entspricht im Analogieschluss ein möglichst

geringer Mittelwert wiederum einem effizienten System.

ENERGIE-EFFIZIENZ

Als Basis für die Energie- bzw. Leistungsbeziehung dient das Benchmark-Modell: Aus den unterschiedlichen Begrenzungsflächen des Modells (Seitenwand, Fußboden, Decke, Fenster) wurde ein gemittelter Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) für den kompletten Wagen bestimmt:

$$U_{\text{mittel}} = 1.14 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

Mit der Innenraum-Temperatur $T_{\text{in}} = 20.4^\circ\text{C}$, welche sich aus den Ergebnissen der CFD-Berechnung des Benchmark-Modells ergibt,

der Außentemperatur $T_{\text{out}} = -10^\circ\text{C}$ sowie einer Gesamtfläche der Außenbegrenzungen des Modell-Segments $A_e = 11.5 \text{ m}^2$ kann die gesamte benötigte Leistung P_{total} bestimmt werden:

$$P_{\text{total}} = U_{\text{mittel}} \cdot A_e \cdot (T_{\text{in}} - T_{\text{out}}) =$$

$$1.14 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \cdot 11.5 \text{ m}^2 \cdot (20.4^\circ\text{C} - (-10^\circ\text{C})) =$$

$$398.5 \text{ W}$$

Diese Leistung wird benötigt, um im betrachteten Wagen-Abschnitt die Diffusionsverluste zu kompensieren und dadurch die Innenraum-Temperatur auf dem gleichen Niveau zu halten.

Bei gegebener Ausströmungs-Lufttemperatur der konvektiven Heizung sowie der gegebenen (da geregelten) Oberflächen-

temperatur der Flächenheizung können basierend auf diesen Annahmen die jeweiligen Leistungsanteile berechnet werden.

Um eine saubere Vergleichsbasis für die Bestimmung der Effizienz von Klimatisierungssystemen zu haben, müssen allerdings nicht die abgegebenen, sondern die zur Erzeugung benötigten Energiemengen verglichen werden. Dies ist durch die Berücksichtigung des Wirkungsgrades möglich.

Als allgemeiner, Hersteller-unabhängiger Ansatz für Wirkungsgrade für Klimatisierungssysteme werden folgende Erfahrungswerte verwendet:

→ Klimaanlage Kühlbetrieb:	65 %
→ Klimaanlage Heizbetrieb:	90 %
→ Flächenheizung:	99 %

Diese Wirkungsgrade ergeben sich bei Klimaanlagen u. a. durch die Notwendigkeit »

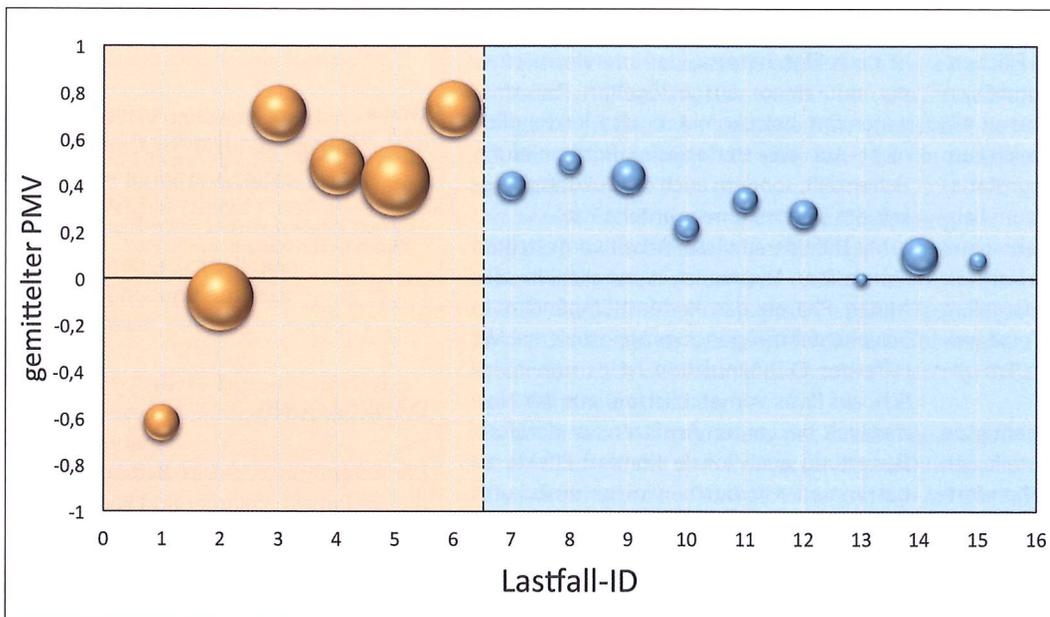
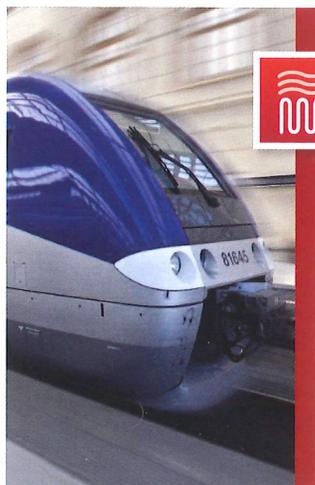


BILD 8:
Auswertung der Lastfälle
(rot: Heizen, blau: Kühlen)



Elektrische Beheizungstechnologie für die Bahnverkehrstechnik.

- Elektro Heizregister für Klimaanlagen
- Bahnspezifische Elektro Rohrheizkörper
- Hochspannungs- und isolationsfeste Heizelemente mit dem Giso-Verschlußverfahren
- Q1 Lieferant der Deutsche Bahn AG

Schniewindt GmbH & Co. KG
58809 Neuenrade, Germany

Tel.: +49 2392 692 - 0
www.schniewindt.de



SCHNIEWINDT
THE POWER OF ELECTRIFYING IDEAS

Variante	Bezeichnung Energie-Einbringung	Ventilation (rot)		Strahlung (blau)			SUMME LEISTUNG (W)	Verhältnis zu BM
		Bodenkanal	Fenster	FH Boden	FH Seitenwand 1	FH Seitenwand 2		
	Pos.-Nr. Energie-Einbringung	1 rot	3 rot	1 blau	2 blau	4 blau		
3	Variante C	241,5		123,6	33,9	25,5	424,5	96%
4	Variante G (BM)	264,4	178,7				443,1	100%
5	Variante H	183,1	123,7	123,6			430,4	97%
6	Variante I	144,1	97,3	123,6	33,9	25,5	424,4	96%

TABELLE 3: Aufgenommene elektrische Leistung in W (unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades der Anlage)

des Einsatzes von Nebenaggregaten wie z. B. Lüftern und Entfeuchtern. Die von Flächenheizungen aufgenommene Energie wird hingegen fast zu 100% als Wärme abgegeben, da bei dieser Technologie keine zusätzlichen Hilfs-Systeme benötigt werden.

Unter Berücksichtigung dieser Daten und Annahmen können die zur Erzeugung der Heizleistung benötigten elektrischen Energien berechnet werden, siehe Tabelle 3.

In jenen Varianten, in denen auch Flächenheizungen auftreten (Variante 3, 5 und 6), ergeben sich in dieser Betrachtung bis zu 4% reduzierte Energiebedarfe im Vergleich zum nur mit konvektiven Heizungen ausgestatteten Benchmark-Modell. Zusätzlich zum Leistungsbedarf bei konstanter, eingebrachter Energie ergeben diese Varianten im Heizlastfall aber noch – wie obenstehend dargelegt – höhere PMV Werte, die wiederum eine weitere Reduktion der eingebrachten Energie ermöglichen würden.

Eine quantitative Analyse der benötigten Energien bei optimalem Komfort stellt sich aber als sehr schwierig heraus: Das Komfort-Optimum durch die manuelle Annahme und Variation von Randbedingungen zu finden, ist sehr schwierig bis unmöglich. Es müsste hierfür ein automatisierter Optimierungs-Algorithmus entworfen werden, der als Zielvariable einen möglichst betragsmäßig kleinen PMV-Wert anpeilt. Bei minimalem PMV-Wert und somit maximalem Komfort können dann die hierfür nötigen Energien unmittelbar aus den verwendeten Randbedingungen bestimmt werden: Die Implementierung dieses automatisierten Optimierungs-Prozesses wird die Aufgabe eines künftigen Forschungsprojektes.

ZUSAMMENFASSUNG

Ähnlich etablierten Systemen für Klimatisierungslösungen im Immobilienmarkt ist auch in der Schienenfahrzeugindustrie ein Trend weg von der omnipräsenten Ventilation hin zur deutlich energieeffizienteren und komfortoptimierten Radiation als technologische

Basis zu erkennen. Starke Ventilation wird nur individualisiert steuerbar für den persönlichen Komfort als akzeptabel betrachtet.

Der zuwiderlaufenden Argumentation von termingerechten Qualitäts- und Kostenzielen, also einer Risikominimierung des Projektmanagements einerseits und dem Fehlen von praxiserprobten Verfügbarkeits- und Kostenoptimierungsnachweisen von technologischen Innovationen andererseits, ist nach Einschätzung der Interviewpartner nur mit einem ausgeklügelten Risikomanagement beizukommen, das letztendlich nicht nur die strategische Positionierung sicherstellt, sondern auch die Zukunftsfähigkeit des Unternehmens unterstützt.

Mit Hilfe der in dieser Arbeit vorgestellten Simulations-Ansätze ist es möglich, in sehr frühen Phasen das Komfort-Empfinden in Schienenfahrzeugen zu prognostizieren. Mit Hilfe der CFD-Simulation ist es nun möglich, auf Basis von etablierten, aus der Normenwelt bekannten Ansätzen zur Komfort-Bewertung auch lokale Komfort-Effekte zu bestimmen. Hierdurch wird es in Zukunft möglich, konstruktive Verbesserungen in Hinblick auf Komfort noch vor den ersten klimatechnischen Messungen in die Gestaltung von Schienenfahrzeugen einfließen zu lassen.

Die durchgeführten Simulations-Studien haben gezeigt, dass Klimatisierungsansätze mit Flächenheizungen den Komfort signifikant steigern und zugleich auch den Energie-Verbrauch senken. Heizungslösungen, die direkt im Boden, in den Wänden oder

auch in den Fenstern (im Sinne von „aktiver Wärme-Isolation“) eingebettet sind, vermeiden niedrige Strahlungstemperaturen, die sich ansonsten sehr negativ auf den Komfort auswirken. Durch die fast verlustfreie Wandlung von elektrischer in thermische Energie können bei Flächenheizungen der Energie-Aufwand und somit auch die Betriebskosten gesenkt werden. ◀

Literatur

- [1] ISO 7730: Gemäßigtes Umgebungsklima: Ermittlung des PMV und des PPD und Beschreibung der Bedingungen für thermische Behaglichkeit, 1995
- [2] Bencsics D., Sorgalla U., Haller G.: Subjective thermal comfort in railway vehicles, Proceedings of Workshop „Mobile Air Conditioning“, Vienna, 2002

DANKSAGUNG

Die Erkenntnisse dieses Beitrages wurden im Projekt „Energie- und komfortoptimierte Innenraum-Klimatisierung von Schienenfahrzeugen (EKOK)“ erarbeitet, welches dankenswerter Weise von der Österreichischen Forschungs-Förderungsgesellschaft (FFG) und Zoppas Industries unterstützt wurde.

Ein besonderer Dank gilt den befragten Experten der Stakeholder, die bereitwillig ihre Expertise für diese umfassende qualitative Studie zur Verfügung gestellt haben.

► SUMMARY

Climate control for optimised comfort inside trains

The climatic conditions in modern passenger stock are becoming more and more important. With innovative technologies, passengers can be offered a maximum of comfort for a low energy input. A computer-aided flow simulation is to assist in calculating the impact of various climate-control systems on comfort and in comparing their energy consumption. The findings are to be used to support decisions in the further development of heating systems and/or in the development of new ones.