

Innenraumklima in Linienbussen

Das Innenraumklima in Linienbussen ist für Fahrgäste eine relevante Kerngrösse für die Behaglichkeit und ein wichtiger Faktor für die Attraktivität des öffentlichen Verkehrs. Deshalb wurde das Innenraumklima an zwei Linienbussen untersucht und nach verschiedenen Behaglichkeitskriterien bewertet.

Text: Franz Sidler, Reto Gadola



Zahlreiche Kundenrückmeldungen, welche jährlich bei den Busbetrieben eingehen, zeigen, dass das Innenraumklima bei den Fahrgästen wichtig ist. Um mehr Informationen zum Innenraumklima zu erhalten, wurden an zwei aktuellen Fahrzeugen unter den Bedingungen des täglichen Fahrbetriebs detaillierte Messungen in der Klimakammer durchgeführt. Die Ergebnisse wurden mit den Empfehlungen der Behaglichkeitskriterien aus dem öffentlichen Verkehr der hierzu massgeblichen Normen, nämlich der VDV 236 und EN 14750, sowie aus den allgemeinen Kriterien für Innenräume der EN ISO 7730 verglichen. Heute beschaffte Fahrzeuge und ihre Systeme zur Raumkonditionierung werden noch während weiteren zwölf bis zwanzig Jahren in Betrieb bleiben. Daher ist eine Untersuchung an aktuellen Fahrzeugen sinnvoll, um Optimierungshinweise für die restliche Betriebsdauer sowie für Neuanschaffungen zu erhalten.

Gelenkbus der Marke Solaris vom Typ Urbino. Da reproduzierbare Messungen im Fahrplanbetrieb nur schwer umzusetzen sind, wurden die Komfortmessungen in der Klimakammer Olten der SBB durchgeführt.

Komfortmessungen werden in den vorhin genannten Normen ohne Türöffnungen durchgeführt. Im Linienbetrieb steigen aber Fahrgäste an den Haltestellen ein und aus. Deshalb wurden abweichend zu den normativen Vorgaben alle Messungen mit definierten Türöffnungen durchgeführt. Da im Stadtverkehr die Fahrzeiten zwischen den Haltestellen kürzer sind als ausserhalb der Stadt, wurden für die beiden Einsatzgebiete in der Stadt sowie auf dem Land unterschiedliche Türöffnungszyklen definiert. Die Türöffnungsdauer von 15 Sekunden wurde für beide Einsatzgebiete verwendet.

Untersuchungen wurden ohne Worstcase-Betrachtung bei Aussen-temperaturen von -10°C bis +35°C mit den gleichen HLK-Einstellungen wie im Linienbetrieb durchgeführt. Diese Temperaturen kommen üblicherweise im Schweizer Mittelland über die Jahreszeiten vor. Die Versuche im Heizbetrieb wurden ohne Wärmeeinträge von Personen im Bus durchgeführt. Im anschliessenden Kühlbetrieb —//

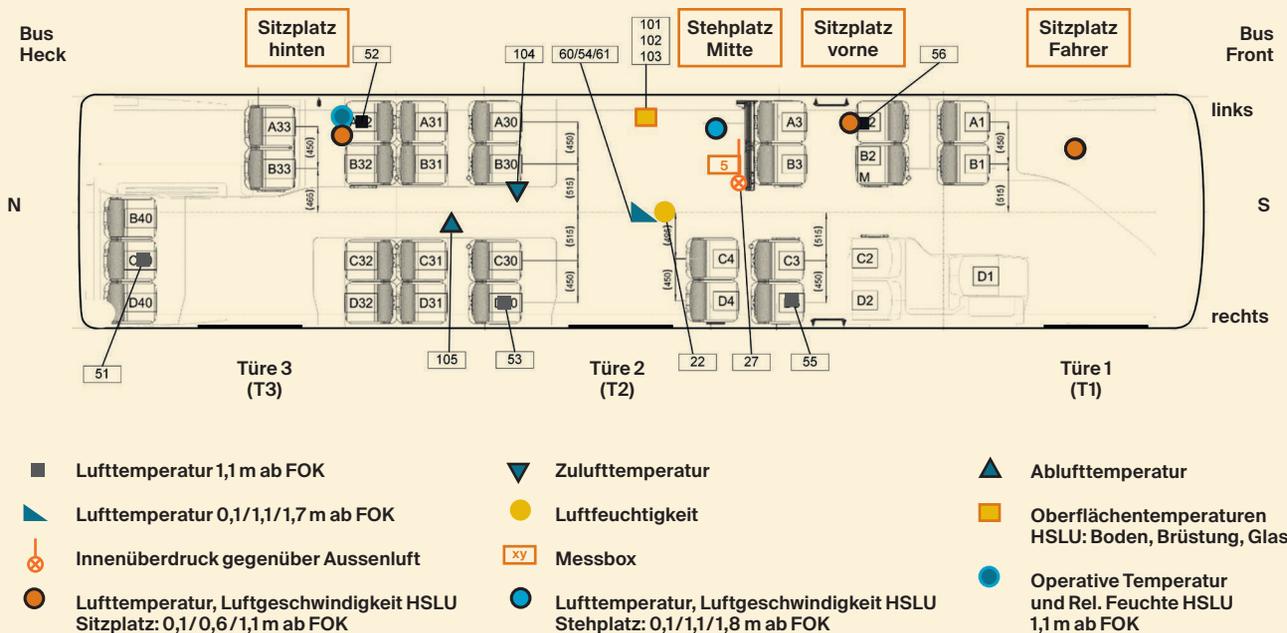
Die Temperatursensoren zur Messung der Lufttemperaturen wurden normgemäss auf verschiedenen Höhen platziert. Dies gilt für Sitz- wie Stehplätze.

Bild: zVg

ZUR METHODIK

Zur Untersuchung wurden zwei in der Schweiz häufig eingesetzte Fahrzeuge ausgewählt. Ein 12 Meter langer Normalbus der Marke Mercedes-Benz vom Typ Citaro und ein 18 m langer

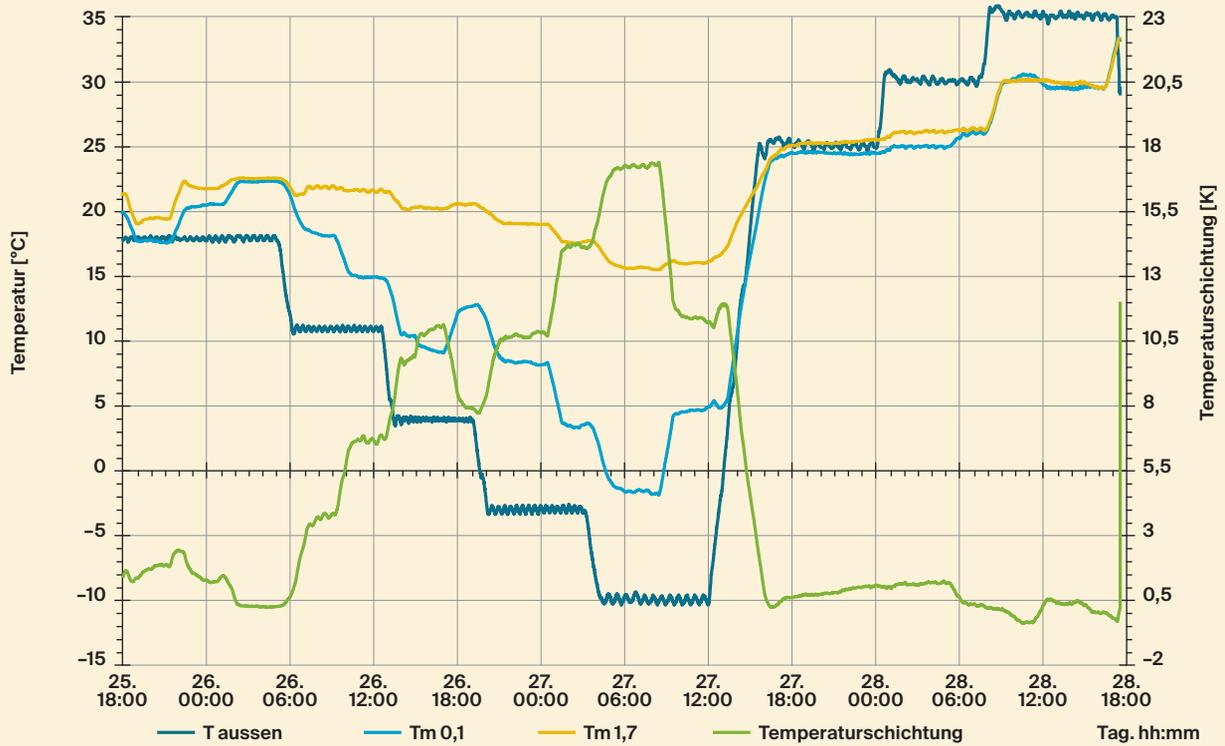
Abb. 1: Messstellen beim Citaro



Grafik: HSLU, Institut für Gebäudetechnik und Energie (IGE)

Die Temperatursensoren zur Messung der Lufttemperaturen wurden normgemäss (EN 14750) an den Stehplätzen auf den Höhen 0,1 m und 1,1 m sowie 1,8 m; bei den Sitzplätzen auf den Höhen 0,1 m und 0,6 m sowie 1,1 m platziert.

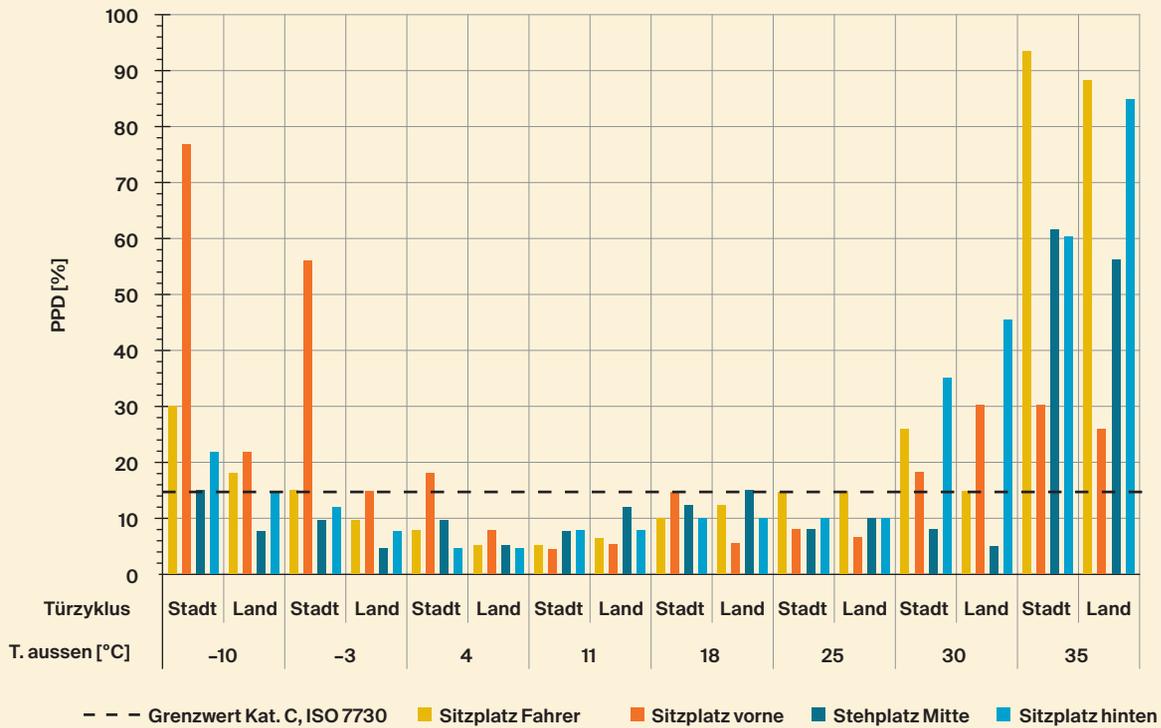
Abb. 2: Innenraumtemperaturen und Temperaturschichtung beim Citaro



Grafik: HSLU, Institut für Gebäudetechnik und Energie (IGE)

Der Verlauf der vertikalen Temperaturschichtung im Tagesverlauf wird als hellgrüne Linie dargestellt. Lesebeispiel: Im Heizbetrieb wurde die maximale zulässige Temperaturschichtung von 8 K für Fahrzeuge der Kategorie B bei der Aussentemperatur (grüne Linie) < 5°C überschritten.

Abb. 3: PPD-Komfortbewertung beim Citaro (nach ISO-Norm 7730)



Grafik: HSLU, Institut für Gebäudetechnik und Energie (IGE)

Lesebeispiel: Bei Aussentemperaturen < 4°C wurde der Grenzwert PPD am Sitzplatz vorne mit 19% leicht und bei -10°C mit 78% deutlich überschritten.

wurde eine häufige Belegung von 57% mit sensibler und latenter Wärme von Personen berücksichtigt.

Der Antriebsmotor kann im Leerlauf ohne Last bei tiefen Aussenlufttemperaturen zu wenig Abwärme zum Heizen des Innenraums zur Verfügung stellen. Deshalb wurde mit zusätzlichen externen Heizgeräten der Wasserkreislauf im Bus auf die geforderten Systemtemperaturen von +85°C erwärmt, ohne die Wassermenge noch den Systemdruck des internen Wasserkreislaufs zu beeinflussen.

Die Kälte wird mit dem Verdichter über einen Keilriemen vom Antriebsmotor erzeugt. Im Leerlauf kann der Verdichter die erforderliche Kälteleistung nicht abgeben. Deshalb wurde im Kühlbetrieb die Leerlaufdrehzahl des Motors durch eine Einstellvorrichtung am Gaspedal auf ungefähr 1100 Umdrehungen pro Minute erhöht.

Die Temperatursensoren zur Messung der Lufttemperaturen wurden normgemäss (EN 14750) an den Stehplätzen auf den Höhen 0,1 m und 1,1 m sowie 1,8 m platziert; bei den Sitzplätzen auf den Höhen 0,1 m und 0,6 m sowie 1,1 m platziert. Die Oberflächentemperaturen wurden beim Stehplatz gemessen (s. Abb. 1).

ERGEBNISSE

Im Zentrum der Untersuchung stand die thermische Behaglichkeit der Fahrgäste. Dabei ist zu beachten, dass die Bewertung der thermischen Behaglichkeit keine strengen physikalischen Gesetzmässigkeiten kennt, sondern eine spezifische Situation je nach Individuum als mehr oder weniger behaglich beurteilt wird. Je nach Geschlecht, Alter, Aktivität, Kleidung, Stimmung, Gesundheitszustand usw. gelten für jeden einzelnen Menschen andere Anforderungen an ein maximal behagliches Klima.

Aus der Untersuchung geht hervor, dass die Sollwertabweichung von der Innentemperatur mit sinkender Aussen-temperatur stetig zunimmt. Bei -10°C wurde die untere Komfortgrenze bei einer Sollwertabweichung von 7,5 K im Stadtzyklus nicht eingehalten.

Die vertikale Temperaturschichtung der Innentemperatur ist ein weiteres wesentliches Kriterium zur Beurteilung der Behaglichkeit. Die Temperaturschichtung wird mit der Differenz der mittleren Innentemperaturen der auf der Höhe von 1,7 Meter positionierten Messpunkte abzüglich derjenigen mittleren Innentemperatur der Messpunkte, die auf 0,1 Meter Höhe positioniert sind, berechnet. Ab-

bildung 2 zeigt den Verlauf der vertikalen Temperaturschichtung (grüne Linie) sowie die mittleren Innentemperaturen auf der Höhe von 0,1 und 1,7 Meter. Im Heizbetrieb wurde die maximale zulässige Temperaturschichtung von 8 K für Fahrzeuge der Kategorie B bei der Aussen-temperatur (dunkelblaue Linie) < 5°C überschritten. Die grösste Temperaturschichtung wurde bei der Aussen-temperatur von -10°C im Stadtzyklus mit 17 K gemessen. Im Kühlbetrieb wurden die Grenzwerte der Temperaturschichtung stets gut eingehalten.

BESONDERHEITEN IM ÖFFENTLICHEN NAHVERKEHR

Wesentliche Unterschiede zwischen Wohn- und Büroräumen zu öffentlichen Nahverkehrsmitteln sind vor allem Bekleidungsgrad und die Aufenthaltsdauer. Für Innenräume wird ein Bewertungsverfahren sowohl für die thermische Behaglichkeit als Ganzes als auch für die lokale thermische Unbehaglichkeit beschrieben. Die Berechnungen für das individuelle Temperaturempfinden (Index PMV; Predicted Mean Vote) erfolgten deshalb mit der für die Jahreszeit / der Aussen-temperatur adäquaten Bekleidung für den Aussenbereich. In der Berechnung Unzufriedener in Prozenten (PPD; Predicted Percentage of Dissatisfied) werden die umgebenden Oberflächentemperaturen sowie Zugluft berücksichtigt. Die kurze Aufenthaltszeit in einem Bus wurde mit einem PPD-Grenzwert < 15% berücksichtigt (s. Abb. 3).

Sehr grosse PPD wurden im Kühlbetrieb bei der Aussen-temperatur 35°C insbesondere beim Sitzplatz für den Fahrer und an den beiden Stehplätzen mit einem PPD > 80% festgestellt.

DISKUSSION, VORSCHLÄGE

Die Behaglichkeitsmessungen zeigen unter Berücksichtigung der Türöffnung, dass bei Aussen-temperaturen < 4°C die Komfortanforderungen teilweise nicht eingehalten wurden. Insbesondere wurden grosse Abweichungen bei der Temperaturschichtung im Heizbetrieb festgestellt. Obwohl im Kühlbetrieb bei +35°C Aussen-temperatur weder bei der Temperaturschichtung noch beim Sollwert grosse Abweichungen festgestellt wurden, wurde der Grenzwert vom PPD deutlich überschritten. Durch die Senkung des Sollwertes von +30°C um ein bis zwei Kelvin ist eine Verbesserung des PPD-Wertes zu erwarten.



Die untersuchten Fahrzeuge sind Mercedes-Benz Citaro (oben) und Solaris Urbino (unten).

Bilder: zVg

Die grosse Temperaturschichtung steht im Zusammenhang mit der Türöffnung. Der Einfluss ist bei der Aussen-temperatur von -10°C bei Betrachtung vom Türzyklus Stadt (17 K) und Land (12 K) gut ersichtlich. In diesem Fall war der Einfluss des Türzyklus 5 K. Mit geeigneten Massnahmen sollte die Temperaturschichtung vor allem bei Neuanschaffungen verbessert werden. Dafür kommt z. B. der Einbau von Türluftschleiern in Frage; deren Wirkung wurde bereits mit der Studie «Leistungsmessungen an Bussen mit Türluftschleiern» nachgewiesen. Prüfwert ist auch eine bessere Dämmung des Fussbodens sowie das Einbringen von warmer Zuluft im Fussbereich. □