



Thermische Behaglichkeit in Reisezugwagen

Ingwer Ebinger, Frank Apelt¹

Einleitung

Die Verbesserung der Komfortbedingungen in Fahrzeugen spielt bei aktuellen Entwicklungen eine immer größere Rolle. Neben den Fragen zur Stabilisierung der Fahrzeugbewegungen, zur Verringerung der Schallemission usw. nimmt die Realisierung eines thermisch behaglichen Raumklimas an Bedeutung zu.

Um die Attraktivität der Eisenbahn und somit ihren Stellenwert im Wettbewerb mit anderen Verkehrsmitteln, z. B. dem Flugzeug, dem Fernbus und dem Pkw anzuheben, ist es besonders im Regionalschnellbahn- und Fernverkehr notwendig, für den Fahrgast ein thermisch behagliches Raumklima unter allen Witterungsbedingungen zu garantieren.

Der vorliegende Beitrag soll einen Eindruck vermitteln, wie es im Heizbetrieb um die thermische Behaglichkeit in Reisezugwagen bestellt ist. Dazu wird, ausgehend von den durch die UIC (Internationaler Verband der Eisenbahnen) für die Klimatisierung von Reisezugwagen festgelegten Anforderungen bezüglich der Raumluft- und Wandtemperaturen, die Empfindungstemperaturverteilung in einem beheizten Reisezugwagenabteil und in einem Großraumwagenabschnitt berechnet und bewertet.

Bewertungsgrößen und Randbedingungen

Die thermische Behaglichkeit des Menschen hängt vor allem von seiner Wärmebilanz ab. Diese wird im Aufenthaltsbereich des Menschen durch folgende Parameter maßgeblich beeinflusst (Bild 1):

- Raumlufttemperatur t_i
- Strahlungstemperatur der Umschließungsflächen t_s
- örtliche Luftgeschwindigkeit w_i im Raum
- relative Raumluftfeuchtigkeit φ_i
- spezifische Wärmeabgabe des Menschen \dot{q}_M
- Wärmeleitwiderstand der Kleidung R_{Kl} .

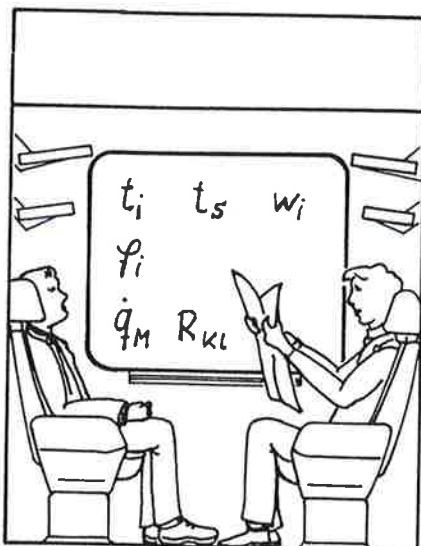


Bild 1
Einflußgrößen auf die thermische Behaglichkeit des Menschen in einem Reisezugwagen

Zur Bewertung der thermischen Behaglichkeit in Reisezugwagen soll davon ausgegangen werden, daß die Fahrgäste ohne nennenswerte körperliche Aktivität an ihren Sitzplätzen verbleiben. Die spezifische Wärmeabgabe des Menschen beträgt für einen solchen Fall $\dot{q}_M = 58 \text{ W/m}^2$ [1]. Die Raumluftgeschwindigkeit w_i kann bei den allgemein zum Einsatz kommenden Klimatisierungsvarianten als gering eingeschätzt werden. Sie liegt im Bereich von $w_i \approx (0,1 \dots 0,3) \text{ m/s}$. Der Einfluß der Luftfeuchtigkeit φ_i ist vorerst von untergeordneter Bedeutung, da i. a. ein breiter Schwankungsbereich von $\varphi_i = (30 \dots 70) \%$ zulässig ist. Es kann angenommen werden, daß der Wärmeleitwiderstand der Bekleidung R_{Kl} , je nach Jahreszeit zwischen 0,5 clo im Sommer und 1,5 clo bei Winterbekleidung variieren kann (Wärmeleitwiderstand von $R_{Kl} = 160 \text{ m}^2 \text{ K/kW} \cong 1 \text{ clo}$).

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß auch Licht, Farben, Druck und Druckänderungen usw. die subjektive Einschätzung der thermischen Behaglichkeit beeinflussen können [2]. Derartige Einflüsse sind jedoch nicht Gegenstand der nachfolgenden Betrachtungen.

Aufgrund der bisher genannten Voraussetzungen kann die Empfindungstemperatur t_E als Bewertungsgröße für die thermische Behaglichkeit herangezogen werden. Gl. (1) zeigt, daß hierbei sowohl die Raumlufttemperatur t_i als auch die Strahlungstemperatur der Umschließungsflächen t_s Eingang finden.

$$t_E = a_1 \cdot t_i + a_2 \cdot t_s \quad (1)$$

Für die Koeffizienten a_1 und a_2 , die u. a. von der örtlichen Luftgeschwindigkeit w_i abhängig sind, gilt die Beziehung

$$a_1 + a_2 = 1 \quad (2)$$

Nach [3] werden den Koeffizienten a_1 und a_2 für die Bedingungen in Reisezugwagen bei einer mittleren Luftgeschwindigkeit von $w_{i,m} = 0,25 \text{ m/s}$ Werte von $a_1 = 0,59$ und $a_2 = 0,41$ zugeordnet.

Die Berechnung der Strahlungstemperatur t_s erfolgt in Abhängigkeit von der Innenwandtemperatur $t_{w,i,j}$ der den Raum umschließenden Flächenelementen (j) und deren Einstrahlzahl $\Phi_{i,j}$ auf ein infinitesimales Kugелеlement nach Gl. (3) [4]

$$t_s = 100 \sqrt[4]{\sum \Phi_{i,j} \left(\frac{t_{w,i,j} + 273,15}{100} \right)^4 - 273,15} \quad (3)$$

Die Einstrahlzahlen $\Phi_{i,j}$ werden numerisch auf der Basis der in [5] angegebenen Gleichungen in Abhängigkeit von der Raumgeometrie ermittelt.

Thermische Behaglichkeit in Reisezugwagen ist zu erwarten, wenn eine optimale Empfindungstemperatur $t_{E,opt}$ im Aufenthaltsbereich des Fahrgastes realisiert werden kann.

Wie Bild 2 zeigt sollte die optimale Empfindungstemperatur $t_{E,opt}$ je nach Wärmeleitwiderstand der Bekleidung Werte zwischen $t_E = +20 \text{ }^\circ\text{C}$ und $t_E = +26 \text{ }^\circ\text{C}$ annehmen.

Die im Fahrgastraum von Reisezugwagen hinsichtlich der Raumlufttemperatur t_i , der mittleren Temperatur der Umschließungsflächen $t_{w,i}$ und der Raumluftgeschwindigkeit w_i einzuhaltenden Parameter sind in dem Merkblatt UIC-553 VE [6] festgeschrieben.

¹ Dr.-Ing. I. Ebinger, Wissenschaftlicher Assistent, F. Apelt, Student, Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“, Dresden.

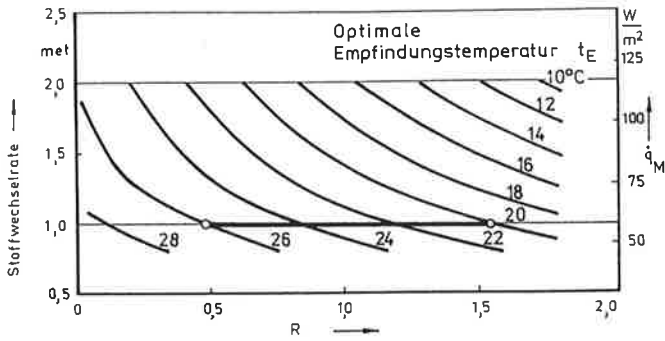


Bild 2 Optimale Empfindungstemperatur $t_{E, opt}$ als Funktion der spezifischen Wärmeabgabe des Menschen q_M und des Wärmeleitwiderstandes der Kleidung R_{Kl} [1]

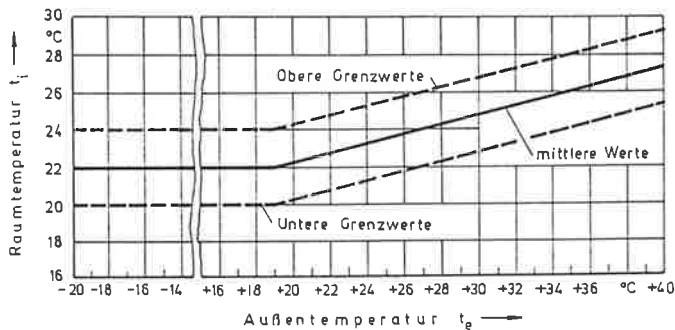


Bild 3 Raumlufttemperatur t_i in Fahrgasträumen als Funktion der Außenlufttemperatur t_a [6]

So gilt für die Raumlufttemperatur t_i , im Außenlufttemperaturbereich $-20\text{ °C} < t_a < +40\text{ °C}$ der in Bild 3 dargestellte Zusammenhang. Weiterhin ist festgelegt, daß die mittlere Oberflächentemperatur der Umschließungsflächen $t_{w,i}$, ausgenommen der Fenster, nicht mehr als 5 K unter der Raumlufttemperatur t_i liegen soll.

Betrachtet man den Heizbetrieb, so kann schon an dieser Stelle vermerkt werden, daß bei Einhaltung der minimalen Raumlufttemperatur von $t_i = 20\text{ °C}$ aufgrund der Vielzahl niedriger temperierter Umschließungsflächen im Aufenthaltsbereich der Fahrgäste keinesfalls eine optimale Empfindungstemperatur $t_E = 20\text{ °C}$ mit herkömmlichen Klimatisierungsmethoden realisiert werden kann. Aus diesem Grund sollen sich alle weiteren Betrachtungen auf eine Raumlufttemperatur von $t_i = 22\text{ °C}$ beziehen.

Berechnungsmodell

Die Empfindungstemperaturverteilung im Reisezugwagen wird für ausgewählte Ebenen im Raum berechnet. Zur Kennzeichnung der Zonen thermischer Behaglichkeit bzw. Unbehaglichkeit ist es in erster Instanz ausreichend, die Isotherme der angestrebten Empfindungstemperatur $t_E = 20\text{ °C}$ als Grenzwert zwischen den beiden Bereichen zu ermitteln.

Den Berechnungen werden die in den Bildern 4 und 5 dargestellten Modelle eines Abteils der 2. Klasse und eines Großraumwagenabschnitts, wie sie für Reisezugwagen Typ „Z“ [7] üblich sind, zugrunde gelegt. Durch die Darstellung in einem x -, y -, z -Koordinatensystem sind alle Teilflächen des Abteils für die weiteren Berechnungen in ihrer Lage zueinander exakt bestimmt. Jeder definierten Fläche (j), deren weitere Untergliederung möglich ist, wird eine Oberflächentemperatur $t_{w, i, j}$ zugewiesen.

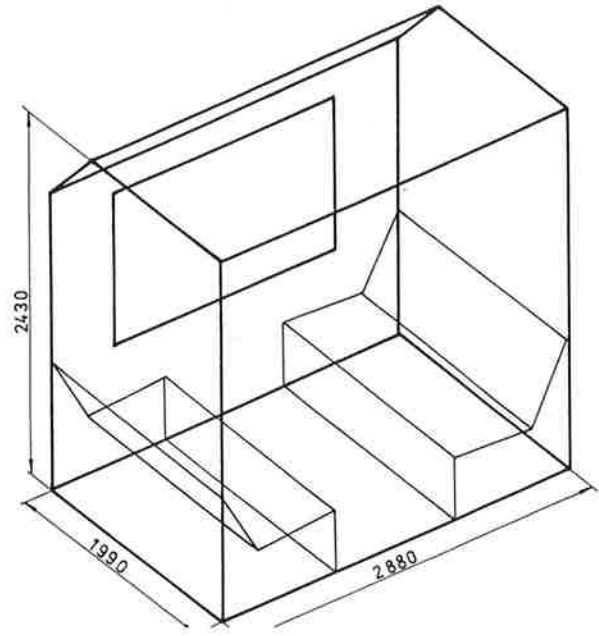


Bild 4 Modellgeometrie des untersuchten Reisezugwagenabteils

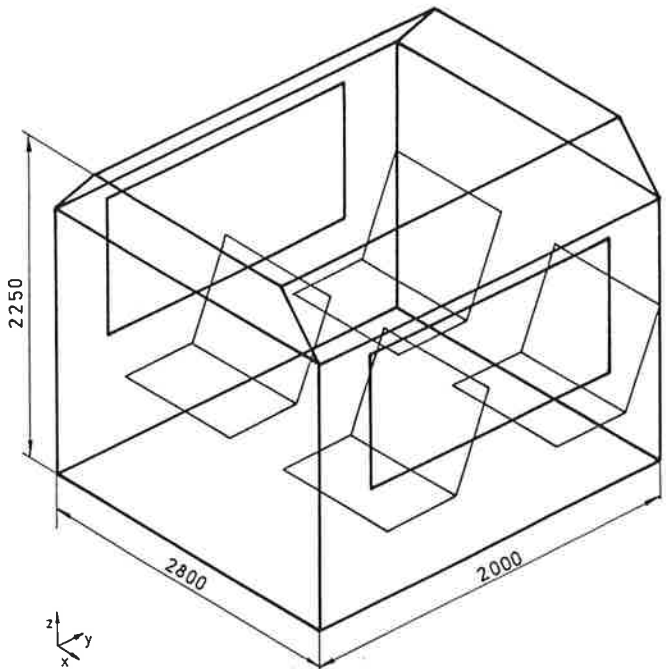


Bild 5 Modellgeometrie des untersuchten Großraumwagenabteils

Die Raumlufttemperaturverteilung wird als homogen betrachtet. Eine mögliche vertikale Temperaturschichtung, die ebenfalls ein Grund für thermische Unbehaglichkeit sein kann, wird hier nicht berücksichtigt. Die zugewiesenen Wandtemperaturen $t_{w, i, j}$ entsprechen bezüglich der Außen- und Gangwand, der Decke und des Fußbodens mit $t_{w, i} = 17\text{ °C}$ bei der vorgegebenen Raumlufttemperatur $t_i = 22\text{ °C}$ den Mindestanforderungen der UIC [6]. Für die Oberflächentemperaturen der Sitze und der Trennwände zu den Nachbarabteilen bzw. für die Begrenzungen des Großraumwagenabschnitts in Längsrichtung des Fahrzeuges wurde der günstige Fall angenommen, daß deren Temperatur der der Raumluft t_i entspricht. Die Fensterinnentemperatur $t_{w, i, F}$ kann ausgehend von verschiedenen Außenlufttemperaturen t_a und Fahrgeschwindigkeiten bei einem für Reisezugwagenfenster üblichen Wärmedurchgangskoeffizienten im

Stillstand des Fahrzeuges von $k_a = 2,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ [8] ermittelt werden und soll für die vorliegende Untersuchung in Schritten von 5 K im Bereich von $t_F = (-5 \dots 10)^\circ\text{C}$ variiert werden.

Da es zur Bewertung der thermischen Behaglichkeit im allgemeinen genügt, sich vor allem auf unbedeckte Körperstellen zu beschränken [9], sollen eine horizontale Ebene im Kopfbereich (xy -Ebene in einer Höhe über dem Fußboden von $z = 1100 \text{ mm}$) und eine vertikale Ebene im Bereich der Hände (xz -Ebene in einer Entfernung zur Abteiltrennwand von $y = 650 \text{ mm}$) im Mittelpunkt der Untersuchungen stehen.

Berechnungsergebnisse

Die Berechnungen der Empfindungstemperaturverteilungen wurden mit Hilfe eines an der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“, Dresden, entwickelten Rechenprogramms durchgeführt, das auf der Basis der in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Beziehungen für jede beliebige Raumgeometrie eine Darstellung der Empfindungstemperaturisothermen ermöglicht. Allerdings werden die Empfindungstemperaturfelder unabhängig von dem gewählten Raumschnitt und der gewählten Ebene immer in der gleichen Rechteckfläche dargestellt, so daß sich maßstäbliche Verzerrungen ergeben. Die Zahlenangaben am Rand der Abbildungen ermöglichen eine maßliche Lokalisierung der Ausdehnung der Empfindungstemperaturisothermen.

Für das untersuchte Reisezugwagenabteil konnten die in den Bildern 6 und 7 dargestellten Empfindungstemperaturisothermen $t_E = 20^\circ\text{C}$ bei unterschiedlichen Fensterinnentemperaturen ermittelt werden.

Der von der Empfindungstemperaturisothermen zum Fenster hin eingeschlossene Bereich thermischer Unbehaglichkeit breitet sich je nach Fensterinnentemperatur unterschiedlich stark in das Abteil hinein aus. Es ist deutlich zu erkennen, daß für die am Fenster sitzende Person unter den angenommenen Bedingungen stets ein Bereich thermischer Unbehaglichkeit existiert, der sich bei einer Fensterinnentemperatur von $t_F = 10^\circ\text{C}$ nur auf die dem Fenster zugewandte Hand und die Unterarmpartie, mit sinkender Fenstertemperatur jedoch mehr und mehr über den gesamten Oberkörper erstreckt. Im Falle der als minimal angenommenen Fensterinnentemperatur $t_F = -5^\circ\text{C}$ erfaßt der Bereich thermischer Unbehaglichkeit ca. $\frac{1}{3}$ der Abteiltiefe.

Zur Darstellung der Berechnungsergebnisse im Großraumwagen genügt es, aufgrund der symmetrischen Anordnung nur eine Abteilhälfte abzubilden.

Bild 8 zeigt, daß sich der Unbehaglichkeitsbereich unter gleichen Bedingungen im Vergleich mit dem Reisezugwagenabteil weiter in den Raum ausbreitet. Die Begründung dafür liegt in dem zusätzlichen Strahlungseinfluß des Fensters der gegenüberliegenden Außenwand, der im Reisezugwagenabteil durch die Gangtrennwand eliminiert wird. Durch die Anordnung der Sitze im Großraumwagenabteil wird in der xy -Ebene (Horizontalschnitt) die Form der Empfindungstemperaturisothermen stark beeinflusst (Bild 9). Der Unterschied der Empfindungstemperaturverteilungen der vorderen und hinteren Sitzbank des untersuchten Großraumwagenabteils resultiert aus der Annahme einer fiktiven Abteiltrennwand mit der Wandinnentemperatur $t_{w,i} = t_i = 22^\circ\text{C}$. Auch für den Großraumwagen kann festgestellt werden, daß für die am Fenster sitzende Person stets ein Bereich thermischer Unbehaglichkeit existiert.

Zusammenfassung

Der vorliegende Beitrag zeigt, daß im Heizbetrieb für eine Raumlufttemperatur $t_i = 22^\circ\text{C}$ bei bloßer Einhaltung der von der UIC für diese Bedingungen vorgeschriebenen Wandinnen-

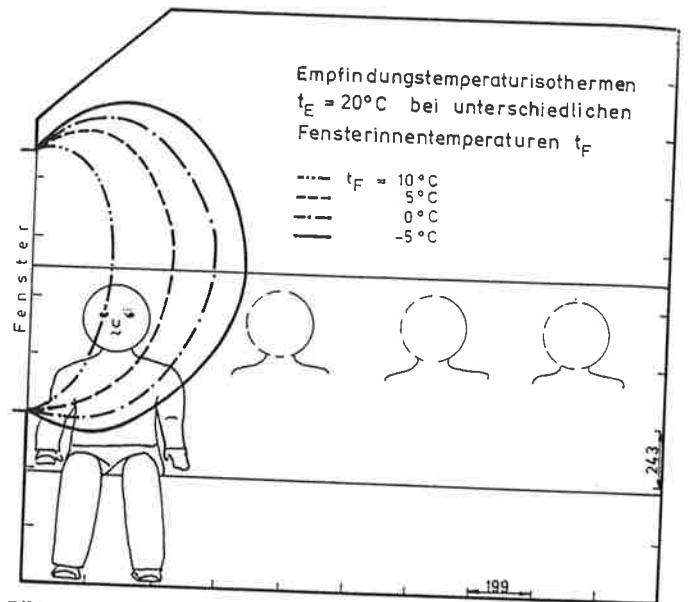


Bild 6 Empfindungstemperaturisothermen t_E im Reisezugwagenabteil (xz -Ebene)

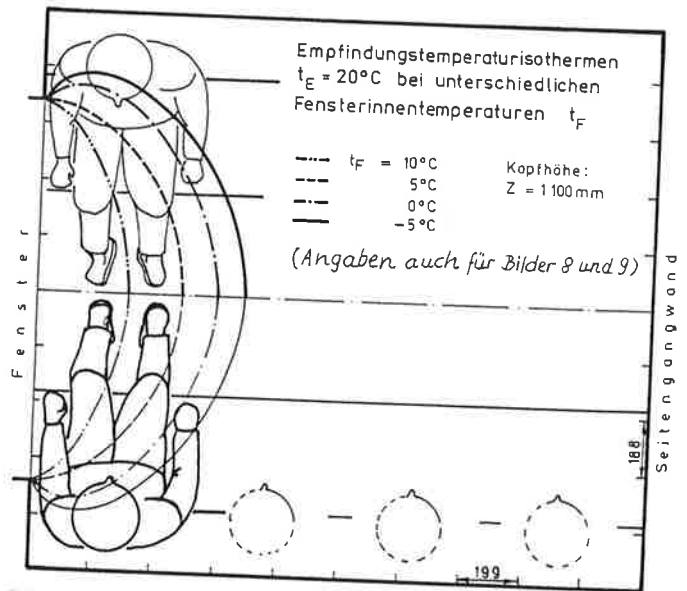


Bild 7 Empfindungstemperaturisothermen t_E im Reisezugwagenabteil (xy -Ebene)

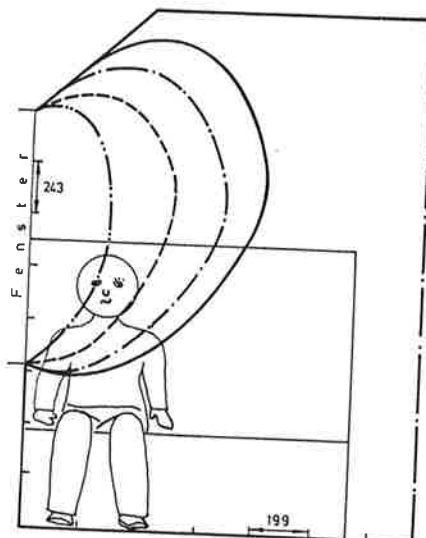


Bild 8 Empfindungstemperaturisothermen t_E im Großraumwagenabschnitt (xz -Ebene)

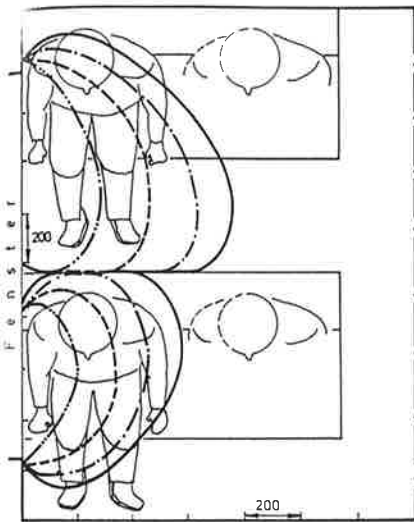


Bild 9 Empfindungstemperaturisothermien t_g im Großraumwagenabschnitt (xy-Ebene)

temperaturen keine vollständige Behaglichkeit in Reisezugwagen erreicht werden kann. Da in der Praxis keine homogene Wandtemperaturverteilungen erreicht werden, sondern stets Bereiche niedriger Temperaturen infolge von Wärmebrücken auftreten (z. B. Fensterrahmen), die Zufuhr von kalter Luft aufgrund von Undichtigkeiten nicht ausgeschlossen werden kann und die Temperatur der Sitzflächen und Trennwände oft unter der Raumlufttemperatur t_r liegen, ist damit zu rechnen, daß sich die Bereiche thermischer Unbehaglichkeit über das in den Bildern 6 und 9 dargestellte Maß hinaus in den Raum ausbreiten.

Zur Kompensation dieser negativen Einflußgrößen wird in der Praxis meist die Raumlufttemperatur t_r erhöht. Das führt jedoch nicht zwangsläufig zu einer Steigerung des Wohlbefindens der Fahrgäste, da zu hohe Raumlufttemperaturen ebenfalls als unbehaglich empfunden werden.

Eine Lösungsmöglichkeit zur Verkleinerung der Bereiche thermischer Unbehaglichkeit wird in der Anhebung der Wandinnentemperaturen der Außenwände und vor allem des Fensters gesehen. Die Realisierung könnte auf der Basis des in [3] vorgestellten Prinzips der aktiven Isolierung erfolgen.

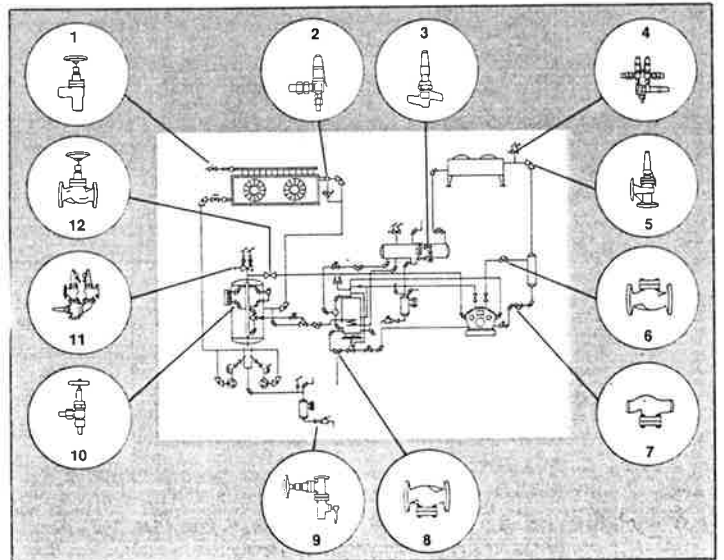
Literatur

[1] DIN ISO 7730: Gemäßigtes Umgebungsklima; Ermittlung der PMV und des PPD und Beschreibung der Bedingungen für thermische Behaglichkeit; identisch mit ISO 7730 Ausgabe 1984, Entwurf Oktober 1987, 27 Seiten
 [2] Katz, P.: Behaglichkeit in klimatisierten Räumen. TAB Technik am Bau (1989) 7, S. 543-548
 [3] Henatsch, A.; Hofer, R.: Reisezugwagen mit aktiver Isolierung. ZEV + DET Glasers Annalen, Berlin 115 (1991) 4, S. 110-118
 [4] Glück, B.: Bewertungsmaßstab zur optimalen Anordnung von Heiz- und Kühllflächen im Raum. GI Gesundheits-Ingenieur, R. Oldenburg Verlag, München, 112 (1991) 2, S. 65-71
 [5] Glück, B.: Strahlungsheizung – Theorie und Praxis. Berlin: Verlag für Bauwesen, 1. Auflage 1981
 [6] UIC-Kodex 553 VE: Lüftung, Heizung und Klimatisierung der Reisezugwagen. Internationaler Eisenbahnverband, 5. Ausgabe, 1. 1. 1990
 [7] UIC-Kodex 567 2 VE: Im internationalen Verkehr zugelassene Einheitsreizezugwagen der Bauart Z (1) – Merkmale. Internationaler Eisenbahnverband, 3. Ausgabe, 1. 1. 1982
 [8] Krüger, W.: Moderne Waggonfenster. Aluminium 67 (1991) 6, S. 24 und 25
 [9] Bach, H.: Behaglichkeit in Räumen. HLH Heizung – Lüftung – Haustechnik 42 (1991) 7, S. 405-410

LKT 787 1992

HERL-Ventile – optimale Bauelemente für jede Kälteanlage!

HERL-Armaturen zeichnen sich durch zuverlässige, langlebige Funktion, kurze Lieferzeiten und konkurrenzfähige Preise aus. Deshalb sind HERL-Ventile die optimalen Bauelemente für jede Kälteanlage. Auch für Ihre!



HERL-Armaturen passen haargenau in jedes Kälteschema.

HERL-Armaturen passen in Ihre Kälteanlage genauso gut wie in die oben abgebildete zweistufige NH₃-Gefrieranlage. HERL-Armaturen werden allen Ihren Anforderungen gerecht. Sie wählen zwischen verschiedenen Werkstoffen, zwischen Flansch- und Einschweißventilen, zwischen DIN- und ANSI-Ventilen oder entscheiden sich für die „Neuen Kleinen“, die Ventilbaureihe in kleinerer und leichter Bauart.

- | | |
|--|--|
| 1. Eck-Absperrventil zum Einschweißen, mit Handrad „HERL-T 20“ | 7. Schmutzsammler zum Einschweißen, „HERL-T 39“ |
| 2. Eck-Sicherheitsventil 1/2", bauteilgeprüft, „HERL-T 21“ | 8. Schmutzsammler mit Flanschen, „HERL-T 40“ |
| 3. Durchgang-Absperrventil zum Einschweißen, mit Kappe, „HERL-T 5“ | 9. Öl-Ablaufventil mit Flanschen, „HERL-T 38“ |
| 4. Wechsel-Sicherheitsventil-Kombination, „HERL-T 19“ | 10. Eck-Absperrventile mit Anschweißstüben, mit Handrad, „HERL-T 37“ |
| 5. Überströmventil mit Flanschen, „HERL-T 22“ | 11. Wechsel-Sicherheitsventil-Kombination, „HERL-T 24“ |
| 6. Rückschlagventil mit Flanschen, „HERL-T 26“ | 12. Durchgang-Absperrventil mit Flanschen, mit Handrad, „HERL-T 10“ |

HERL schickt Ihnen ausführliche Unterlagen. Bitte anfordern.

M. G. HERL
 Armaturenfabrik GmbH & Co. KG
 Emil-Hoffmann-Straße, POB 501420
 D-5000 Köln 50 (Rodenkirchen)
 Telefon (0 22 36) 39 00-0
 Telefax (0 22 36) 39 00 39
 Telex 8 881 167 HERLD

