

Schwimmend oder geklebt

Bodenbelag, Verlegeart und Leistungsdaten von Flächensystemen

Flächenheiz- und -kühlssysteme haben sich den Neubau erobert. Aber auch bei der Renovierung werden zunehmend Dünnschichtsysteme eingesetzt. Die Wärmezufuhr erfolgt meist mittels eines hydraulischen, wasserbasierten Systems. Anzutreffen sind aber auch elektrische Direktheizungen. Der Oberboden kann darauf sowohl schwimmend verlegt als auch verklebt werden.

Technisch ist beides möglich. Die energetischen Auswirkungen der unterschiedlichen Materialien und Verlegearten wurden in einer Studie untersucht.

Gegenstand der Untersuchungen sind ein Designfußbodenbelag (PVC) und ein Parkettfußboden. Als Untersuchungsmethodik kommt der in /1/ und /2/ beschriebene Algorithmus zur Berechnung von Flächenheiz- und Flächenkühlssystemen zur Anwendung. Die Berechnungsmethodik stellt eine quasi zweidimensionale Berechnung der Wärmeströme um das Rohr sowie eine eindimensionale Bestimmung der Wärmeströme in den Deckschichten unter und oberhalb des Rohrs dar. Bild ① zeigt den Aufbau

des Berechnungssystems. Prinzipiell sind hierbei beliebig viele Deckschichten modellierbar. Praktisch werden in /2/ bis zu fünf Deckschichten unterhalb und oberhalb der Rohre betrachtet. Für die Systemabbildung in der Praxis ist dies ausreichend. Die Systemaufbauten für den Fußboden mit PVC-Design und mit einem Parkettboden sind den Tabellen ① und ② zu entnehmen. Den Unterschied zwischen geklebter und schwimmender Verlegung dokumentiert Bild ②.

Tabelle ① Systemaufbauten der Untersuchungsvariante PVC-Designbodenbelag

Beschreibung	Symbol	Einheit	geklebte Verlegung	schwimmende Verlegung
Abstand der Heizrohrachse von der Deckschicht	Δ_i	m	0,052	0,052
Abstand der Heizrohrachse von der Unterschicht	Δ_a	m	0,007	0,007
Wärmeleitfähigkeit der Stoffschicht in der die Rohre liegen	λ	W/(m K)	1,4	1,4
Dicke der Deckschicht nach innen (Schicht 1)	$\delta_{i,1}$	m	0,0003	0,001
Dicke der Deckschicht nach innen (Schicht 2)	$\delta_{i,2}$	m	0,002	0,005
Wärmeleitfähigkeit der Deckschicht nach innen (Schicht 1)	$\lambda_{i,1}$	W/(m K)	0,40	0,033
Wärmeleitfähigkeit der Deckschicht nach innen (Schicht 2)	$\lambda_{i,2}$	W/(m K)	0,25	0,25
Dicke der Deckschicht nach außen (Schicht 1)	$\delta_{a,1}$	m	0,04	0,04
Dicke der Deckschicht nach außen (Schicht 2)	$\delta_{a,2}$	m	0,20	0,20
Wärmeleitfähigkeit der Deckschicht nach außen (Schicht 1)	$\lambda_{a,1}$	W/(m K)	0,04	0,04
Wärmeleitfähigkeit der Deckschicht nach außen (Schicht 2)	$\lambda_{a,2}$	W/(m K)	2,1	2,1

Tabelle ② Systemaufbauten der Untersuchungsvariante Parkettboden

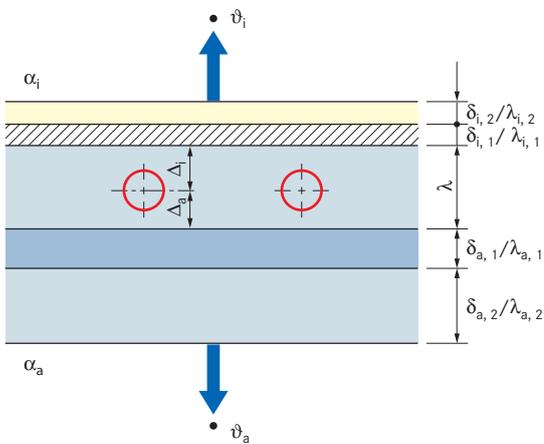
Beschreibung	Symbol	Einheit	geklebte Verlegung	schwimmende Verlegung
Abstand der Heizrohrachse von der Deckschicht	Δ_i	m	0,052	0,052
Abstand der Heizrohrachse von der Unterschicht	Δ_a	m	0,007	0,007
Wärmeleitfähigkeit der Stoffschicht in der die Rohre liegen	λ	W/(m K)	1,4	1,4
Dicke der Deckschicht nach innen (Schicht 1)	$\delta_{i,1}$	m	0,001	0,001
Dicke der Deckschicht nach innen (Schicht 2)	$\delta_{i,2}$	m	0,013	0,013
Wärmeleitfähigkeit der Deckschicht nach innen (Schicht 1)	$\lambda_{i,1}$	W/(m K)	0,40	0,033
Wärmeleitfähigkeit der Deckschicht nach innen (Schicht 2)	$\lambda_{i,2}$	W/(m K)	0,127	0,127
Dicke der Deckschicht nach außen (Schicht 1)	$\delta_{a,1}$	m	0,04	0,04
Dicke der Deckschicht nach außen (Schicht 2)	$\delta_{a,2}$	m	0,20	0,20
Wärmeleitfähigkeit der Deckschicht nach außen (Schicht 1)	$\lambda_{a,1}$	W/(m K)	0,04	0,04
Wärmeleitfähigkeit der Deckschicht nach außen (Schicht 2)	$\lambda_{a,2}$	W/(m K)	2,1	2,1

Tabelle 3 Ergebnisse der stationären Betrachtungen – PVC-Designbodenbelag

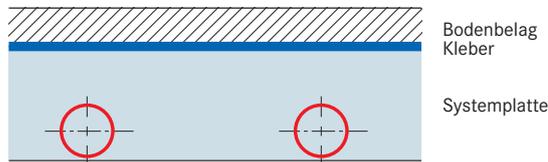
Beschreibung	Symbol	Einheit	geklebte Verlegung	schwimmende Verlegung
Fluidtemperatur	ϑ_F	°C	38,85	42,16
mittlere Oberflächentemperatur (innen)	$\vartheta_{m,i}$	°C	28,1	27,9
Mittlere Oberflächentemperatur (außen)	$\vartheta_{m,a}$	°C	21,5	21,9
Maximale Oberflächentemperatur (innen)	$\vartheta_{max,i}$	°C	28,7	28,4
Minimale Oberflächentemperatur (innen)	$\vartheta_{min,i}$	°C	27,5	27,5
Temperaturdifferenz	$\vartheta_{m,i} - \vartheta_F$	°C	-10,8	-14,3
Rohraußentemperatur	ϑ_2	°C	36,3	39,6
Wärmestrom nach innen	$\dot{q}_{i,sim}$	W/m ²	89,5	87,1
Wärmestrom nach außen	$\dot{q}_{a,sim}$	W/m ²	9,7	12,3
Gesamtwärmeabgabe (Simulation)	$\dot{q}_{ges,sim}$	W/m ²	99,2	99,4
Wärmestrom nach innen (Messung) – HLK-Stuttgart	$\dot{q}_{i,mess}$	W/m ²	91,1	93,4

Tabelle 4 Ergebnisse der stationären Betrachtungen – Parkettboden

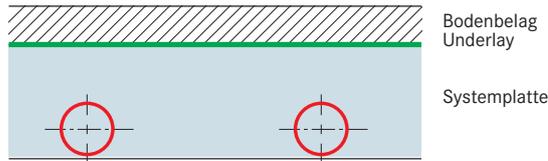
Beschreibung	Symbol	Einheit	geklebte Verlegung	schwimmende Verlegung
Fluidtemperatur	ϑ_F	°C	49,425	51,12
mittlere Oberflächentemperatur (innen)	$\vartheta_{m,i}$	°C	28,5	28,2
Mittlere Oberflächentemperatur (außen)	$\vartheta_{m,a}$	°C	22,7	23,0
Maximale Oberflächentemperatur (innen)	$\vartheta_{max,i}$	°C	28,9	28,6
Minimale Oberflächentemperatur (innen)	$\vartheta_{min,i}$	°C	28,1	27,9
Temperaturdifferenz	$\vartheta_{m,i} - \vartheta_F$	°C	-21,0	-22,9
Rohraußentemperatur	ϑ_2	°C	46,5	48,2
Wärmestrom nach innen	$\dot{q}_{i,sim}$	W/m ²	94,5	91,3
Wärmestrom nach außen	$\dot{q}_{a,sim}$	W/m ²	17,4	18,9
Gesamtwärmeabgabe (Simulation)	$\dot{q}_{ges,sim}$	W/m ²	111,9	110,2
Wärmestrom nach innen (Messung) – HLK-Stuttgart	$\dot{q}_{i,mess}$	W/m ²	94,8	93,7



geklebt verlegter Bodenbelag



schwimmend verlegter Bodenbelag



① Aufbau des Berechnungssystems aus Rohr- und Deckschichten

② Systemaufbauten geklebte und schwimmende Verlegung (Beispiel Designbelagsfußboden)

Energetische Detailbetrachtung und messtechnische Validierung

Für die vier beschriebenen Systemaufbauten wurde zunächst eine Vergleichsbetrachtung zu Messwerten vorgenommen. Die Ergebnisse der stationären numerischen Simulation sind der Tabelle 3 zu entnehmen. Ausgangspunkt der Betrachtungen war die Vorgabe einer Fluidtemperatur. Die Ergebnisse wurden mit Messwerten des Prüfinstitutes HLK-Stuttgart verglichen.

Die Ergebnisse der Tabelle 3 ergeben bei $\vartheta_F = 38,85 \text{ °C}$ eine Wärmeabgabe von $\dot{q}_{i,sim} = 89,5 \text{ W/m}^2$. Diese Wärmeabgabe besitzt eine sehr hohe Über-

einstimmung mit dem vom HLK-Stuttgart gemessenen Wert von $\dot{q}_{i,mess} = 91,1 \text{ W/m}^2$. Die Differenz zwischen berechnetem und gemessenem Wert beträgt $\Delta q_i = 1,76 \%$. Hierbei muss jedoch berücksichtigt werden, dass die Messung ebenfalls fehlerbehaftet ist.

Die energetischen Kennwerte der schwimmenden Verlegung sind ebenfalls in Tabelle 3 dokumentiert. Festzustellen ist, dass auch bei dieser Variante eine hohe Übereinstimmung mit den gemessenen Kennwerten zu verzeichnen ist. Die Messungen weisen bei den gegebenen Systemtemperaturen einen Wärmestrom von $\dot{q}_{i,mess} = 93,4 \text{ W/m}^2$ auf. Dies stellt



Prof. Dr.-Ing. habil. Joachim Seifert, Technische Universität Dresden, Institut für Energietechnik, Professur für Gebäudeenergietechnik und Wärmeversorgung, Gastprofessor an der TU Berlin (HRI)

Tabelle 5 Kenndaten des Modellraumes

$\vartheta_{a,N}$ in °C	λ_N in 1/h	k_w in W/(m ² K)	A_w in m ²	k_F in W/(m ² K)	A_F in m ²	V in m ³	c_p in J/(kg K)	ρ in kg/m ³	\dot{Q}_i in W	\dot{Q}_N in W
-14	0,5	0,26	9,5	1,08	3,0	50	1000	1,2	0	474

zu den hier berechneten Werten eine Differenz von $\Delta\dot{q}_i = 6,7\%$ dar. Die Abweichungen sind somit höher als bei der geklebten Variante. Zu berücksichtigen hierbei ist jedoch, dass eine hohe Unsicherheit bei der wirklichen Dicke der „Unterschicht“ (Underlay) vorliegt. Diese Unterschicht wird durch die Masse des Oberbodenbelages zusammengedrückt, wodurch die reale Dicke der Unterschicht sich gegenüber der Produktausführung (Underlay $\delta_{i,1} = 3\text{ mm}$) deutlich verringert. In den Berechnungen wurde daher eine resultierende Schichtdicke von $\delta_{i,1} = 1\text{ mm}$ hinterlegt.

Tabelle 4 enthält die numerischen Simulationsergebnisse der Variante mit Parkettfußboden. Im Vergleich zu den Varianten mit Designbodenbelag werden gleiche „Größenordnungen“ als Differenzen zu den Messungen bestimmt. Das verwendete Berechnungstool ist somit zuverlässig einzusetzen.

Energetische Systembetrachtung

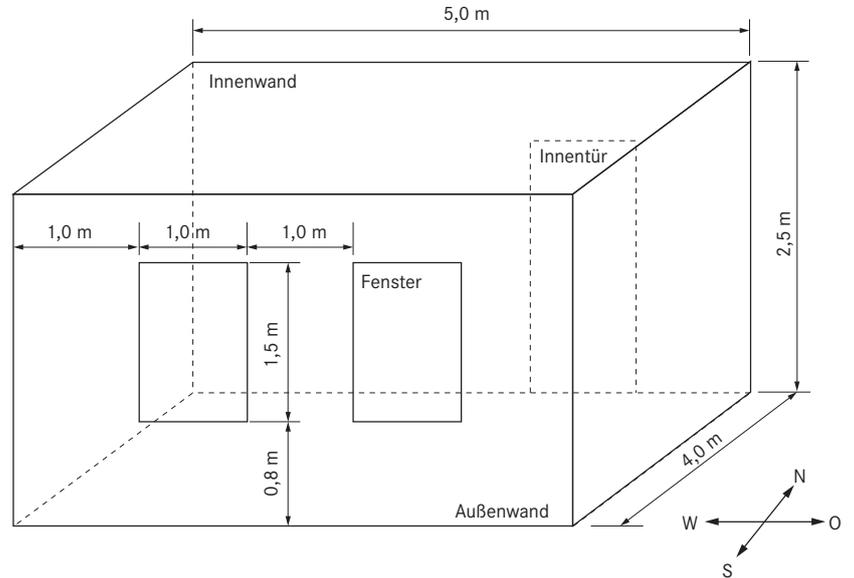
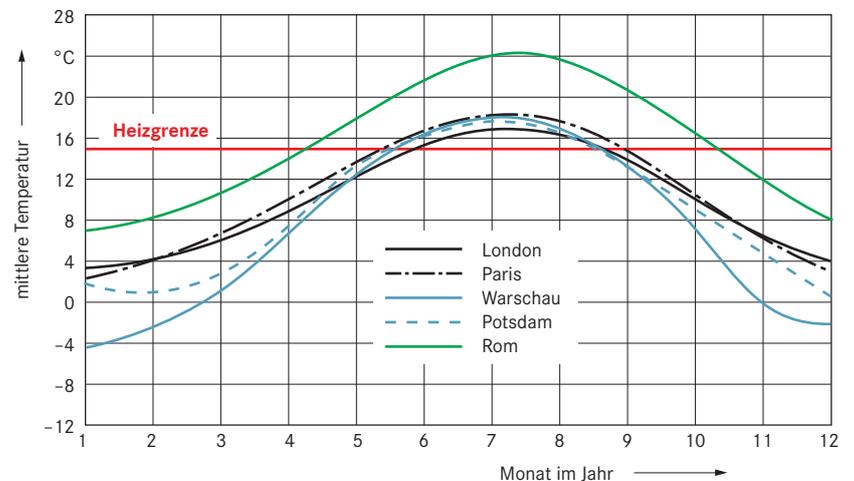
Mit dem validierten numerischen Simulationsprogramm wurden für einen Raum mit $A = 20\text{ m}^2$ Grundfläche vereinfachte energetische Berechnungen durchgeführt (vgl. Bild 3/Tabelle 5). Im Gegensatz zur Validierungsuntersuchung wurde hierbei jedoch die Wärmeabgabe in den Raum, aus Gründen der thermischen Behaglichkeit für alle Varianten als gleich angenommen. Mit den unterschiedlichen Systemaufbauten ergaben sich daraus resultierend differierende Fluidtemperaturen.

Tabelle 6 Auslegungs- und durchschnittliche Außentemperatur für unterschiedliche europäische Städte

Stadt	$\vartheta_{a,N}$ in °C	$\vartheta_{a,HP}$ in °C
London	-4	7,6
Paris	-7	6,9
Warschau	-20	3,5
Rom	-1	9,8
Potsdam	-14	3,6

Tabelle 7 Systemtemperaturen zur Deckung der mittleren Heizlast

Bezeichnung	Systemtemperatur in ϑ_F °C	$\Delta\vartheta$ in K
Designbodenbelag (geklebt)	22,68	-
Designbodenbelag (schwimmend)	23,18	0,5
Parkettboden (geklebt)	23,84	-
Parkettboden (schwimmend)	24,17	0,33


3 Modellraum für die energetischen Analysen

4 Mittlere Temperatur für die Heizperiode unterschiedlicher europäischer Städte nach /3/

Um einen repräsentativen Vergleich vorzunehmen, wurden zunächst die Außentemperaturen für verschiedene europäische Städte analysiert. Tabelle 5 und Bild 4 zeigen die entsprechenden Kennwerte. Wie den Daten der Tabellen und Abbildungen zu entnehmen ist, kann für die Repräsentanz-Station Potsdam eine mittlere Außentemperatur von $\vartheta_{a,HP} = 3,6\text{ °C}$ angenommen werden. Unter Berücksichtigung dieser durchschnittlichen Temperatur ergibt sich für den betrachteten Raum eine Heizlast von $\dot{q}_{N,\vartheta_a=3,6} = 229\text{ W}$. Bezogen auf eine Grundfläche von $A = 20\text{ m}^2$ resultiert eine spezifische Heizleistung von $\dot{q}_{N,\vartheta_a=3,6} = 11,45\text{ W/m}^2$. Diese Heizleistung muss

im Raum bei $\vartheta_i = 20\text{ °C}$ gedeckt werden. Durch den unterschiedlichen Systemaufbau ergeben sich hierfür unterschiedliche Systemtemperaturen. Die berechneten Systemtemperaturen sind der Tabelle 6 zu entnehmen.

Die Ergebnisse der Tabelle 6 zeigen, dass zwischen den Verlegarten Unterschiede in den Fluidtemperaturen bestehen. Beim System Designbodenbelag ist eine mittlere Differenz in der Systemtemperatur von $\Delta\vartheta = 0,5\text{ K}$ festzustellen. Beim System mit Parkettfußboden sind die Differenzen aufgrund des größeren Widerstandes der Deckschicht geringer und betragen $\Delta\vartheta = 0,33\text{ K}$. Grundsätzlich weisen die Varianten mit geklebtem System eine geringere Systemtemperatur auf als die schwimmend verlegten Bodenbeläge.

Diese Analysen zeigen, dass sich die Gestaltung des Oberbodenbelages und dessen Verlegeart energetisch auf die Wärmeübergabe, die Wärmeverteilung und die Wärmewandlung auswirken. Die muss künftig besonders bei Systemen mit Wärmepumpentechnologie berücksichtigt werden. Betrachtet man überschlägig die sich einstellenden Heizperioden-Arbeitszahlen mit den in /4/ dokumentierten Gleichungen, so können zwischen den Verlegearten Differenzen von $\Delta\text{JAZ} = 0,04 \dots 0,07$ festgestellt werden. In Hinblick auf das Oberbodenmaterial ergibt sich eine Spannweite von $\Delta\text{JAZ} = 0,13 \dots 0,15$.

Zusammenfassung

Die geschilderten Untersuchungen zeigen deutlich, dass das verwendete Berechnungsprogramm die Ergebnisse des eingangs genannten HLK-Prüfberichts sehr gut reproduzieren kann. Die Differenzen in den Ergebnissen hinsichtlich der Leistungsbestimmung sind gering und maßgeblich von den Randbedingungen abhängig. In diesem Zusammenhang ist die „wahre“ Schichtdicke des Unterbodens bei einer schwimmenden Verlegung als Haupteinflussgröße zu benennen.

Mit Blick auf die Thermodynamik lässt sich erkennen, dass mit der schwimmenden Verlegung ein größerer Widerstand zur raumorientierten Seite vorliegt als bei der geklebten Variante.

Des Weiteren weist die Systemvariante mit dem PVC-Designbodenbelag kleinere Systemtemperaturen auf als die Variante mit Parkettboden. Betrachtet man die Effizienzkennwerte für durchschnittliche Verhältnisse, so zeigen die Varianten mit geklebten Systemen einen energetischen Vorteil von $\Delta\text{JAZ} = 0,04 \dots 0,07$ gegenüber den Varianten mit schwimmend verlegtem Oberbodenbelag. In Bezug auf das Oberbodenmaterial sind die Differenzen größer: Für den Design-Fußbodenbelag ergibt sich bei der Jahresarbeitszahl ein Vorteil von $\Delta\text{JAZ} = 0,13 \dots 0,15$ gegenüber dem Parkettfußboden. 

Literatur

- /1/ Glück, B.: Strahlungsheizung - Theorie und Praxis, VEB Verlag für Bauwesen, 1981
- /2/ Seifert, J.: Flächenheiz- und Flächenkühlssysteme – Grundlagen Wärmephyiologie – Auslegung – Systemintegration, Springer Vieweg Verlag, 2021
- /3/ Recknagel, H.; Sprenger, E.; Albers, K. (Hrsg.): Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik. München: 77. Auflage, R. Oldenburg Verlag GmbH, 2015. – ISBN 978-3-8356-3301-8
- /4/ Bongs, C.; et al.: LowEx-Konzepte für die Wärmeversorgung von Mehrfamilien-Bestandsgebäuden, („LowEx-Bestand Analyse“) / Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, KIT. 2022. – Forschungsbericht

Symbole

A	Fläche	m ²
A _F	Fläche Fenster	m ²
A _W	Fläche Außenwand	m ²
c _p	spezifische Wärmekapazität	J/(kg K)
$\dot{q}_{i,sim}$	Wärmestrom nach innen (Simulation)	W/m ²
$\dot{q}_{a,sim}$	Wärmestrom nach außen (Simulation)	W/m ²
$\dot{q}_{ges,sim}$	Gesamtwärmestrom	W/m ²
$\dot{q}_{i,mess}$	Wärmestrom nach innen (Messung)	W/m ²
$\dot{q}_{N,\vartheta_a=3,6}$	spezifische Normheizlast bei einer vorgegebenen Außentemperatur	W
\dot{Q}_i	innere Wärmegewinne	W
\dot{Q}_N	Normheizlast	W
$\dot{Q}_{N,\vartheta_a=3,6}$	Normheizlast bei einer vorgegebenen Außentemperatur	W
k _W	Wärmedurchgangskoeffizient (Wand)	W/(m ² K)
k _F	Wärmedurchgangskoeffizient (Fenster)	W/(m ² K)
V	Volumen	m ³
$\vartheta_{a,HP}$	mittlere Temperatur (Heizperiode)	°C
$\vartheta_{a,N}$	Auslegungstemperatur	°C
ϑ_i	Innenraumtemperatur	°C
ϑ_{op}	operative Raumtemperatur	°C
$\Delta\vartheta$	Temperaturdifferenz	K
ϑ_F	Fluidtemperatur	°C
$\vartheta_{m,i}$	mittlere Oberflächentemperatur (innen)	°C
$\vartheta_{m,a}$	mittlere Oberflächentemperatur (außen)	°C
$\vartheta_{max,i}$	maximale Oberflächentemperatur (innen)	°C
$\vartheta_{min,i}$	minimale Oberflächentemperatur (innen)	°C
ϑ_2	Rohraußentemperatur	°C
Δ_i	Abstand der Heizrohrachse von der Deckschicht (innen)	m
Δ_a	Abstand der Heizrohrachse von der Deckschicht (außen)	m
λ	Wärmeleitfähigkeit der Stoffschicht in der die Rohre liegen	W/(m K)
λ_N	Auslegungsluftwechsel	1/h
$\delta_{i,1..x}$	Dicke der Deckschicht nach innen	m
$\delta_{a,1..x}$	Dicke der Deckschicht nach außen	m
$\lambda_{i,1..x}$	Wärmeleitfähigkeit der Deckschichten nach innen	W/(m K)
$\lambda_{a,1..x}$	Wärmeleitfähigkeit der Deckschichten nach außen	W/(m K)
ρ	Dichte	kg/m ³