

Technik

Objektyp: **Group**

Zeitschrift: **Mittex : die Fachzeitschrift für textile Garn- und Flächenherstellung im deutschsprachigen Europa**

Band (Jahr): **89 (1982)**

Heft 8

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Aus Forschung und Entwicklung:

«Quicktronic» – ein neues elektronisches Startsystem mit reduzierter Verlustleistung für Leuchtstofflampen

Bemerkenswerte Vorteile dürfte das von Osram in Bälde lancierte Hochfrequenz-Startsystem «Quicktronic» bringen, das speziell für den Betrieb von Leuchtstofflampen mit 26 mm Durchmesser an einer Frequenz von 35 kHz entwickelt wurde. So reduziert diese Novität beispielsweise die Vorschaltgeräteverluste um rund 58% gegenüber herkömmlichen Drosselspulen; gleichzeitig lässt sich die elektrische Lampenleistung um etwa 14% vermindern. Daraus, und das ist das Entscheidende, erfolgt eine Erhöhung der Systemlichtausbeute (Lampe plus Vorschaltgerät) um 24% auf 94 lm/W. Übrigens garantiert «Quicktronic» auch einen flackerfreien Sofortstart.

In einem Satz ausgedrückt, kann man die Pluspunkte des neuen Systems so umschreiben, dass es neben einem deutlich verbesserten Beleuchtungskomfort auch die Möglichkeit bietet, die elektrische Energie noch wirtschaftlicher zu nutzen und somit Stromkosten zu sparen. Die Typenreihe umfasst vier Versionen: St 350-1 (für 1 Leuchtstofflampe/1500 mm lang), St 350-2 (2/1500 mm), St 332-1 (1/1200 mm) und St 332-2 (2/1200 mm).

Halogen-Leseleuchten für Auto, Wohnwagen und Boot

Die im letzten Jahr erfolgreich eingeführte Halogen-Leseleuchte «Copilot» wird nun durch zwei neue Typen, «Copilot K» und «Copilot L» ergänzt. Im Gegensatz zur Erstversion sind diese nicht mehr für den Betrieb via Autosteckdose oder Zigarettenanzünder konzipiert, sondern lassen sich fest anschliessen.

Auch die beiden neuen Leuchten sind mattschwarz, haben einen biegsamen Arm, einen grossflächigen Schalter und eine 12 V/5 W Halogenlampe, welche ein helles, blendfreies Licht spendet. «Copilot K» wird mit Montagesatz und einem 10 cm langen Arm geliefert, weshalb er sich besonders als Leseleuchte für Kojen und Kajüten sowie für Arbeits-, Sitz- und Schlafplätze in Wohnmobilen empfiehlt. «Copilot L» hingegen besitzt einen auf 50 cm verlängerten Arm und eignet sich daher in erster Linie als Leselicht für Auto- und Beifahrer sowie für Passagiere im Fond. Aber auch in Wohnwagen und beispielsweise auf Yachten – etwa für Kartentisch, Führerstand oder Armaturenbrettbeleuchtung – dürfte diese ebenfalls mit Montagesatz versehene Ausführung Verwendung finden.

Halogentechnik erobert die Auto-Innenbeleuchtung

Zum Thema Auto präsentiert Osram auch eine Serie neuer Halogenglühlampen mit kleiner Leistung und in Hartglastechnik. Die neue Reihe 12 V/5 W, 10 W und 20 W erleichtert durch ihre minimalen Abmessungen die Konstruktion kleiner Leuchten. Da man dank der Halogentechnik mit weniger Leistung ebensoviel Licht wie bei herkömmlichen Lampen produzieren kann, lassen sich Wärmeprobleme bei Leuchten nun mit diesen Lampen verringern. Hauptanwendungsgebiete sind die Wagen-Innenbeleuchtung sowie übrigens auch Leseleuchten in Fahrzeugen.

Osram AG
8400 Winterthur

Technik

Einfluss der Bodenbelagsart beim Betrieb von Wärmepumpen-Fussbodenheizungen

Die Wahl der Bodenbelagsart erhält bei den heute oft für Neubauten eingesetzten Fussbodenheizungen höchste Priorität. Neben den üblichen Fragen des Wohnkomforts und selbstverständlich auch der grundsätzlichen Tauglichkeit; darunter die Alterungsbeständigkeit bei Wärmeeinwirkung, tritt auch die wärmetechnische Eignung in den Vordergrund. Dieser Frage wird im vorliegenden Bericht theoretisch nachgegangen. Obwohl eine solche rein rechnerische Behandlung gewisse Unzulänglichkeiten in sich birgt, können allgemein gültige Schlüsse doch gezogen werden. Auf heizungstechnische Probleme sowie auf die Funktionsweise der Wärmepumpe wird vor der Untersuchung der Bodenbelagsarten eingegangen.

0. Allgemeines

Während ca. 200 Tagen im Jahr müssen in unseren Breiten Räume beheizt werden.

Der Betrieb einer Heizung verursacht dauernd Kosten, die vor allem in letzter Zeit unter dem Vorzeichen einer allgemeinen Energieverknappung minimiert werden. Es ist deshalb nicht verwunderlich, dass vor allem auf dem Gebiet des Wohnungsbaues diverse Alternativheizungssysteme, die eine gewisse Energieunabhängigkeit garantieren, angeboten werden. Es bleibt festzustellen, dass solche Aussagen sehr vorsichtig aufgenommen werden müssen. Bei allen heute bekannten Alternativsystemen muss mindestens $\frac{1}{3}$ des Gesamtenergieverbrauchs für Heizzwecke durch natürliche Brennstoffe oder Elektrizität gedeckt werden.

Die Abhängigkeit von einheimischen Elektrizitätswerken mag auf den ersten Blick nicht so gravierend wie die Abhängigkeit von ausländischen Ölproduzenten erscheinen. Der einzelne Konsument ist aber auf Gedeih und Verderb mit einem bestimmten EW verbunden und hat keinen Einfluss auf die Energielieferung und deren Preise.

Bereits werden Preiserhöhungen für die elektrische Energie in Aussicht gestellt. Dies als Folge einer gestiegenen Nachfrage, im Anschluss an eine massive Propagierung von Speicherheizungen und elektrisch betriebenen Wärmepumpen.

Unter diesen Voraussetzungen ist es klar, dass die einschlägigen Firmen, die solche Alternativheizungssysteme anbieten, den Einsatz von hochwertigen Energien möglichst gering halten müssen. Eine wesentliche Rolle spielen in diesem Zusammenhang, beim Einsatz von Wärmepumpen-Fussbodenheizungen, der Aufbau des Fussbodens und der verwendete Bodenbelag.

Bevor auf die spezielle Frage der Bodenbeläge eingegangen wird, möchte ich zunächst einige allgemeine Hinweise zum Kapitel Heizung geben und auf die Funktionsweise der Wärmepumpe eingehen.

1. Wärmebedarf des Hauses

1.1. Berechnung des Wärmebedarfs

Der Gesamtwärmebedarf des Hauses setzt sich aus folgenden drei Teilen zusammen:

- a) Zuschlagsfreier Wärmeverlust
 - Dieser, auf Grund von Gebäudeeigenschaften berechnete Wärmeverlust, kann durch besondere Gestaltung der Umschliessungswände beeinflusst werden.
- b) Zuschläge für besondere Verhältnisse
 - Unterbrechung der Heizung
 - Kalte Aussenwände
 - Einfluss der Himmelsrichtung
 - Windverhältnisse
- c) Lüftungswärmebedarf
 - Dieser hängt ab von Undichtheiten bei Fugen von Fenstern und Türen, ferner von der Lage der Räume, von der Gegend und vom Windanfall.

1.1.1. Überschlägige Berechnung des Gesamtwärmebedarfs

Ohne Lüftungsanteil kann angenähert berechnet werden:

$$\dot{Q} = \sum (k_i \cdot A_i) \cdot (T_I - T_A) \quad (1-1)$$

Es bedeuten: (Einheit)

Q	: Wärmestrom	W
k	: Wärmedurchgangskoeffizient	W/m ² K
A	: Fläche	m ²
T _I	: Innenraumtemperatur	K
T _A	: Aussentemperatur	K

Bei der $\sum (k_i \cdot A_i)$ sind die verschiedenen Wärmedurchgangskoeffizienten mit den zugehörigen Flächen zu berücksichtigen.

Es sind dies:

- k – Mauerwerk
- k – Fenster
- k – Dach
- k – Unterkellerung
- k – Aussentüren

Der Wärmedurchgangskoeffizient kann mit folgender Formel berechnet werden:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_I} + \sum \frac{\partial_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_A}} \quad (1-2)$$

- α_I : Wärmeübergangskoeffizient innen, kann durch Wahl des Heizsystems beeinflusst werden. In erster Näherung praktisch vernachlässigbar.
- α_A : Wärmeübergangskoeffizient aussen kann zum Beispiel durch Aufstellen des Gebäudes in Windgeschützter Lage beeinflusst werden.
- $\frac{\partial_i}{\lambda_i}$: Die Quotientensumme kann durch den konstruktiven Aufbau des Mauerwerks, Fenster, Dach usw. beeinflusst werden.

Unter Berücksichtigung des bisher Gesagten geht eindeutig hervor, dass dem planenden Ingenieur wesentliche Mittel zur Minimierung des Wärmebedarfs eines Hauses zur Verfügung stehen.

Die Konsequenz aus diesen physikalischen Gegebenheiten muss heissen:

- Gute Gebäudeisolation
- Geringe Gebäudeaussenfläche bei grösstmöglichem Volumen
- Kleine Fenster- und Aussentürlächen (Gebäudeöffnungen)

Zusammenfassend ist festzustellen, dass in erster Näherung bei Annahme eines konstanten Wärmeübergangskoeffizienten α_I der Gesamtwärmebedarf eines Hauses unabhängig vom gewählten Heizsystem als konstant angenommen werden kann.

2. Energiearten/Systeme

Als Heizenergien stehen uns grundsätzlich zur Verfügung:

- Heizöl
- Gas
- Koks
- Holz
- Sonne
- Erdwärme/Grundwasser/Luft
- Elektro
- Zentralspeicher
- Wärmepumpe

Bei der Wahl der Energieform sind folgende Faktoren zu berücksichtigen:

- Investitionskosten der Anlage
- Betriebskostenentwicklung
- Umwelt-Aspekte
- Zukünftige Versorgungssicherheit
- Vorratshaltung/Speicherfähigkeit
- Anwendungskomfort
- usw.

Wenn die sogenannten Alternativenergien zum Heizöl nur bezüglich der Punkte Umwelt, Versorgungssicherheit und Vorratshaltung beurteilt werden, erhalten wir etwa folgendes Bild:

	UMWELT	VERSORGUNGS-SICHERHEIT	VORRATS-HALTUNG	
Gas (Erdgas)	Keine grosse Belastung	Die nächsten 30 Jahre gewährleistet	Schlecht	
Koks	Grosse Belastung Abhängig von der Anwenderzahl (Smogbildung)	GUT	Gut möglich Aufwendiges Handling	
Holz	Grosse Belastung bei unvollständiger Verbrennung (Waldrodungen)	Nicht gegeben. Die Holzproduktion unserer Wälder kann unseren Heizenergiebedarf nie decken	Mit entsprechend grossen Räumlichkeiten gegeben	
Wärmequellen für Wärmepumpen	Sonne	Keine Belastung	Im Winterhalbjahr nicht gegeben	
	Luft	Keine Belastung	Gut (wenn Temp. $\geq 0^{\circ}\text{C}$)	
	Erdwärme,	Gefahr von Grundwasserverschmutzungen (Mit dem Wasser als wichtigstem Lebensmittel sollte nicht so bedenkenlos umgegangen werden. Bei Erdwärmeentzug sind biologische Veränderungen im Erdreich wahrscheinlich)	Gegeben	Gegeben
	Elektro	Bei Betrachtung der Kontroverse um AKW's muss die Umweltbelastung als gross eingestuft werden. Wasserkraftwerke sind wegen nicht gutzumachenden Eingriffen in die Natur verpönt	Nur möglich, wenn weiterhin Kern- und Wasserkraftwerke gebaut werden	Nicht möglich

Örtliche Heizungen	Zentralheizungen	Fernheizungen
Cheminee Kachelofen Gasofen/Öfen Einzelöfen	Warmwasserheizung Dampfheizung Warmluftheizung unter Einsatz von: Koks, Holz usw. Öl Elektro Wärmepumpe*	Warmwasserfernheizung Dampffernheizung Betrieben mit: Koks Öl Gas Wärmepumpe* Kernenergie

* Die Wärmepumpen sind mit Öl, Gas oder elektrischer Energie angetrieben. Als Wärmelieferant kommt Aussenluft, Wasser, Erdrich oder Abwärme aus Industrieanlagen in Frage.

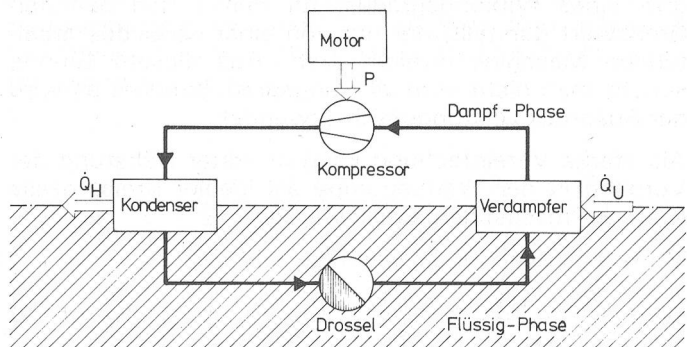
3.1. Prinzip der Wärmepumpe

Mit einer Wärmepumpe kann die Wärme, die sich auf einem tiefen Temperaturniveau befindet, auf ein höheres, zum Beispiel für Gebäudeheizzwecke einsetzbares Temperaturniveau «gepumpt» werden. Das Prinzip der Wärmepumpe ist an und für sich in jedem Kühlschranks verwirklicht. Nur wir bei diesem die Erzeugung der Kälte bei tiefer Temperatur als das wesentliche betrachtet; die abzuführende Wärme wird durch Kühlung an die Umgebung abgegeben.

Bei der Wärmepumpe sind die Temperaturen-Niveaus angehoben; die Wärme wird der Umgebung bei deren Temperatur entzogen und die interessierende, insgesamt abzuführende Wärme wird bei hoher Temperatur an das zu heizende Medium abgegeben.

3.2. Kreisprozess der Wärmepumpe

Beim Wärmekreislauf der Wärmepumpe handelt es sich um ein System mit Phasenwechsel und mit Druckerhöhung in der Dampfphase.



\dot{Q}_H : Abgegebener Wärmestrom bei hoher Temperatur
 \dot{Q}_U : Aufgenommener Wärmestrom bei Umgebungstemperatur
 P : Zugeführte Antriebsleistung

Abb. 1

Anhand der Abbildung 1 sei der Kreislauf des Wärmepumpensystems geschildert. Der Verdampfer nimmt Wärme von einer bestehenden Wärmequelle auf (zum Beispiel Luft, Wasser, Erde). Bei dieser Wärmeaufnahme verdampft der flüssige Wärmeträger. Die entstehenden Dämpfe werden im Kompressor verdichtet und gelangen in den Kondensator, wo sie unter Wärmeabgabe kondensiert werden. Dabei kann die Temperatur im Verdampfer wie im Kondensator direkt dem Druck zugeordnet werden. Es handelt sich in beiden Fällen um die Satteldampf-Temperatur beim entsprechenden Druck. Das anfallende Kondensat wird über ein Drosselventil wieder dem Verdampfer zugeführt. Damit erhalten wir den geschlossenen Wärmekreislauf, der folgende 2 thermodynamische Verlustquellen aufweist:

Bei sorgfältiger Überlegung bleibt weiterhin das Heizöl das wichtigste Heizmittel. Mit diesem Energierohstoff sehr sparsam umzugehen, muss unbedingt das Ziel jedes Anwenders sein.

Dabei sind ganz ernsthafte Überlegungen in Richtung Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, die mit Dieselöl oder Erdgas betrieben werden, anzustellen. In Verbindung mit Wärmepumpenanlagen kann damit der hochwertige Energierohstoff «OEL» sehr effizient eingesetzt werden.

Weitere Einsparungsmöglichkeiten und Wirkungsgradverbesserungen ergeben sich bei Grossanlagen wie sie zum Beispiel für Quartier- oder Fernwärmeversorgungsanlagen mit Nutzung von Abwärme erstellt werden. Das Ziel einer wirksamen Energieausnutzung kann nicht in der Optimierung kleiner Anlagen, wie sie zur Zeit für Gebäudeeinheiten vorgenommen werden, liegen. Vielmehr müssen wir überlegen, ob in Zukunft nicht besser zentrale Wärmeversorgungsanlagen, die eine gute Nutzung der Primärenergieträger garantieren, zu erstellen sind.

3. Heizungssysteme

Die Heizungssysteme können grundsätzlich nach folgendem Schema eingeteilt werden:

1. Bei der Verdichtung der Frigendämpfe im Kompressor werden die Gase über die Kondensationstemperatur T_H angehoben.
2. Bei der Drosselung verdampft bereits ein Teil des Kältemittels, so dass nicht mehr die gesamte Menge für die Wärmeaufnahme zur Verfügung steht.

Diese beiden Verluste sind umso grösser, je grösser die Differenz zwischen Verdampfungs- und Kondensationstemperatur ist. Sie bestimmen nebst anderen Verlusten den sogenannten Anlagenwirkungsgrad.

3.3. Die Leistungszahl

Wenn von der Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpe die Rede ist, spricht man nicht von einem Wirkungsgrad, sondern es wird immer die Leistungszahl « ϵ » genannt.

Sie wird definiert als:

$$\epsilon = \frac{\text{Nutzbare Wärme bei hoher Temperatur}}{\text{zugeführte Arbeit}}$$

oder:

$$\epsilon = \frac{\dot{Q}_H}{P} \quad (3-1)$$

ϵ : Leistungszahl

\dot{Q}_H : Abgegebener Wärmestrom bei hoher Temperatur

P : Zugeführte Antriebsleistung

Diese nun definierte Leistungszahl kann sehr wohl grösser als 1 sein. Dies widerspricht aber dem üblichen Begriff eines Wirkungsgrades, für den 1 den obersten Grenzwert darstellt, der nur von einer verlustlos arbeitenden Maschine erreicht wird. Aus diesem Grunde spricht man nicht vom Wirkungsgrad, sondern es wird der Ausdruck Leistungszahl verwendet.

Als starke Vereinfachung kann in erster Näherung der Vorgang in der Wärmepumpe als idealer Kreisprozess (Carnot-Prozess) dargestellt werden.

Man erhält dann für die Leistungszahl

$$\epsilon_c = \frac{T_H}{T_H - T_V} \quad (3-2)$$

ϵ_c : Leistungszahl des Carnot-Prozesses

T_H : Kondensationstemperatur

T_V : Verdampfungstemperatur

Durch Verknüpfung der beiden Gleichungen (3-1) und (3-2) erhält man:

$$\dot{Q}_H = P \cdot \frac{T_H}{T_H - T_V} \quad (3-3)$$

Aus dieser Gleichung ist ersichtlich, dass mit einer vorhandenen elektrischen Leistung « P » eine bedeutend grössere Heizleistung \dot{Q}_H gewonnen wird, als durch eine unmittelbare elektrische Heizung.

Zum Beispiel mit $T_H = (273 + 30) \text{ K}$

und $T_H - T_V = 30 \text{ K}$

$$\dot{Q}_H = 10.1 \cdot P$$

Aus der oben ausgeführten Gleichung für den Carnotschen Kreisprozess geht hervor, dass die Temperaturdifferenz $T_H - T_V$ die Leistungszahl im wesentlichen beeinflusst. Wenn diese Temperaturdifferenz klein wird, wird ϵ_c gross, und sofern die Differenz gross wird, stellt sich eine kleine Leistungszahl ein. Ein grosses ϵ_c bedeutet, dass eine geringe technische Arbeit zugeführt werden muss; oder dass der Aufwand an teurer, hochwertiger Energie klein ist. Man wird deshalb stets bestrebt sein, die Kondensationstemperatur T_H und damit die Heizungs-vorlauftemperatur möglichst tief zu halten. Da jedes System mit den vermeidbaren Verlusten arbeitet, lässt sich der ideale Carnot-Prozess nicht verwirklichen. Die tatsächliche Leistungszahl muss also noch mit einem Verlustfaktor aus ϵ_c errechnet werden. Die Gesamtverluste einer Wärmepumpenanlage inklusive Wärmeaustauscher betragen ca. 30 bis 50% je nach Konzeption und Anlagegrösse.

In der Praxis sind für kleinere Anlagen, wie sie für Gebäudeheizungen eingesetzt werden, bei Vorlauf-Temperaturen von 45° C und Verdampfungstemperaturen von 0° C , Leistungszahlen von $\epsilon_{\text{eff}} = 3$ erreichbar.

Bei kleineren Leistungszahlen ist der wirtschaftliche Einsatz der Wärmepumpe für Gebäudeheizung nicht mehr gegeben.

Abb. 2 zeigt die Leistungszahl als Funktion der Kondensationstemperatur bei einer Verdampfungstemperatur von 0° C und bei einem Anlagenwirkungsgrad von 50%.

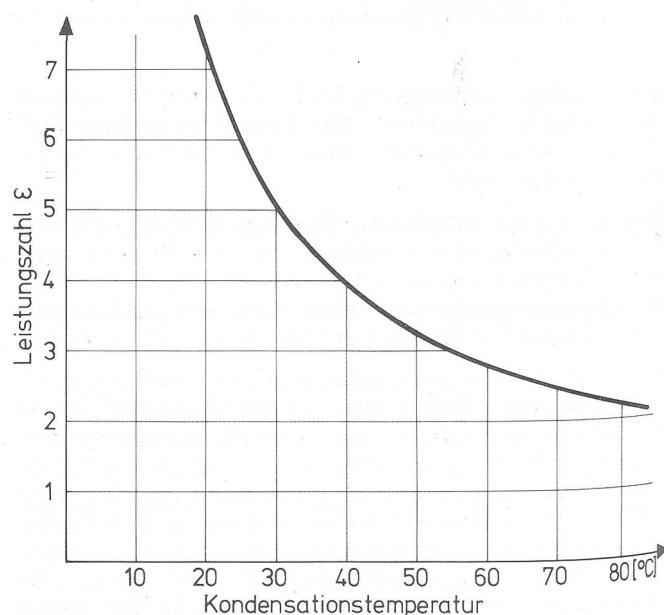


Abb. 2

Anmerkung: Mit steigender Temperatur sinkt der Anlagenwirkungsgrad (in der Graphik nicht berücksichtigt).

An einer möglichst tiefen Vorlauftemperatur, die allerdings über eine gute Gebäudeisolation zu realisieren ist,

ist man sehr interessiert. Bei Vorlauftemperaturen von ca. 40° C ist zum Beispiel eine ϵ_{eff} von ca. 4,0 zu erreichen. Die Höhe der Vorlauftemperatur wird – eine gute Gebäudeisolation vorausgesetzt – beim Einsatz von Wärmepumpen – Fussbodenheizungen vom Aufbau des Estrichs mit den inliegenden Heizschlangen bestimmt.

4. Heizkörper

Die verschiedenen Heizkörper können in folgende Gruppen eingeteilt werden:

- Radiatoren und Rohrheizkörper
- Flachheizkörper
- Flächenheizungen
 - Fussbodenheizung
 - Deckenheizung
 - Wandheizung

4.1. Flächenheizungen (Niedertemperaturheizung)

Die beim Einsatz von Wärmepumpen aufgestellte Forderung nach geringen Vorlauftemperaturen des Heizmittels, verlangt spezielle technische Lösungen bei der Verwirklichung von Flächenheizungen.

Aus der allgemeinen Gleichung

$$\dot{Q} = k \cdot A (T_M - T_I) \quad (4-1)$$

ist ersichtlich, dass die mittlere Heizmediumtemperatur T_M umso kleiner werden kann, je grösser das Produkt $k \cdot A$ wird. Ebenfalls kann, wie in Kapitel 1 beschrieben, der Gesamtwärmebedarf «Q» durch eine gute Gebäudeisolation drastisch reduziert werden. Dies wiederum hat eine positive Auswirkung auf die mittlere Heizmitteltemperatur und damit auf den wirtschaftlichen Betrieb der Wärmepumpe.

Es sei hier nur nebenbei bemerkt, dass in gut isolierten Häusern selbst bei Radiatorenheizungen tiefe Vorlauftemperaturen, die den Einsatz einer Wärmepumpe ermöglichen, erreicht werden. Allerdings handelt es sich dann in diesen Fällen um grossflächige Heizkörper, die nicht mehr in Fensternischen untergebracht werden können.

Bei der Flächenheizung, wobei hier speziell die Fussbodenheizung angesprochen ist, ist die Fläche «A» durch die Raumabmessung gegeben. Eine Beeinflussung des Wärmedurchgangskoeffizienten «k» und damit der Heizmitteltemperatur « T_M » ist durch die Konstruktion des Bodens möglich.

4.2. Vergleich Fussboden- und Radiatorenheizung

a) Fussbodenheizung

- Reagiert sehr träge auf Belastungsänderungen
- Individuelle Raumtemperatur-Regelung nur bedingt möglich
- Nutzung von Fremdwärme (Sonne, Cheminée usw.) als Folge der Trägheit praktisch nicht möglich.
- Tiefe Vorlauftemperaturen
- Wirtschaftlicher Wärmepumpenbetrieb leicht zu realisieren.
- Gute Wärmeverteilung im Raum (warme Füsse, kühler Kopf).
- Geringerer Wärmeverbrauch, weil keine örtlichen Überhitzungen wie bei Radiatorenheizungen
- Technisch und architektonisch problemlos
- Ideal zur Beheizung von hohen Räumen

b) Radiatorenheizung

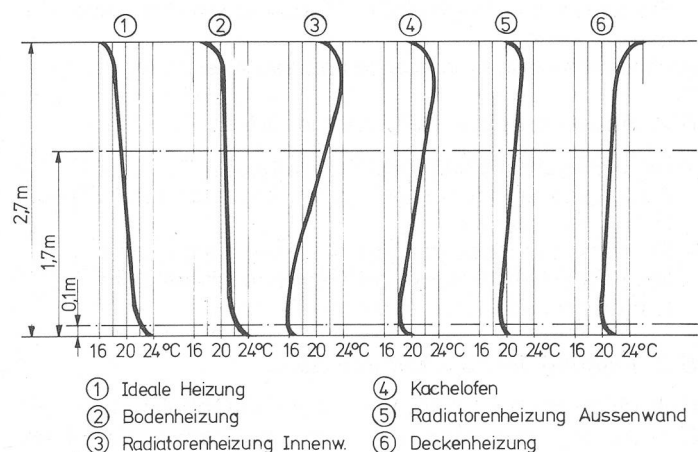
- Heizkörper bilden einen Störfaktor in der Wohnraumgestaltung
- Sie werden deshalb oft in Nischen unter den Fenstern und zusätzlich verkleidet angeordnet.
- Nischen sind in der Regel dünner als die übrige Aussenwand ausgeführt
Daher erhebliche Wärmeverluste im Bereich der warmen Radiatoren.
- Bei der Radiatorenheizung steigen die Energiekosten mit der Höhe des Raumes
- Mit Niedertemperatur-Radiatoren können alternative Energieformen (Wärmepumpe) genutzt werden.
- Durch Bestückung mit thermostatischen Ventilen ist die Fremdwärmenutzung möglich (individuelle Regelung der Raumtemperatur).
Sonne, Cheminées, Wärme von elektrischen Apparaten, Wärmeabgabe von Menschen.

5. Wärmephysiologische Aspekte

Durch die Beheizung von Räumen werden behagliche Umgebungsverhältnisse geschaffen. Der Bereich der Behaglichkeit ist sehr schwer zu definieren. Für das Wohlbefinden des Menschen in beheizten Räumen sind eine grosse Zahl von Faktoren verantwortlich.

Darunter zum Beispiel Bekleidung, Art der Tätigkeit, Gewöhnung, Jahreszeit usw.

Durch die Definition von gewissen physikalischen Kenngrössen ist es jedoch möglich, die räumlichen Verhältnisse, in denen sich der Mensch am behaglichsten fühlt, zu beschreiben. Wichtige Kenngrössen sind dabei die Lufttemperatur, die Luftfeuchte sowie Luftbewegungen und Wandtemperaturen.



Lufttemperaturprofile in Raummitte bei verschiedenen Heizungen, nach Dr. Ing. Kollmar

Abb. 3

Die Lufttemperatur soll möglichst über den ganzen Raum konstant sein, und in Kopfhöhe ca. 20° C betragen. Diese Werte beziehen sich auf normal bekleidete Personen für sitzende oder leichte körperliche Tätigkeit. Die Luftfeuchte sollte bei einer Temperatur von 20° C ca. 40 bis 70% betragen. Luftbewegung und vor allem, wenn die bewegte Luft eine geringere Temperatur als die Raumluft aufweist, wird als sehr störend empfunden

(Zugluft). Die Wandtemperatur hat einen grossen Einfluss auf das Wohlbefinden des Menschen. In erster Näherung kann angenommen werden, dass die Wärmeabgabe des Menschen durch Konvektion gleich gross ist, wie die Wärmeabgabe durch Strahlung. Aus diesem Grunde soll die Wandtemperatur gleich oder wenigstens annähernd den Wert der Lufttemperatur erreichen. Ganz allgemein kann gesagt werden, dass die Gleichmässigkeit der Temperatur im Raum oberstes Gebot ist. Deshalb muss von jedem Heizsystem verlangt werden, dass ein geringes Temperaturgefälle zwischen Raumluft und umgebenden Wänden vorhanden ist, und dass in Fussnähe höhere Temperaturen herrschen als in Kopfhöhe. Mittelwerte der verschiedenen Heizsysteme sind in Abb. 3 aufgetragen. Dabei ist ersichtlich, dass das ideale Temperaturprofil durch die Fussbodenheizung annähernd erreicht wird.

6. Die Fussbodenheizung

Bei der Wahl von Oberböden gibt es praktisch keine Einschränkungen beim Einsatz einer Warmwasser-Fussbodenheizung.

Es können sowohl Parkett, PVC-Fliesse, Linoleum, Teppiche (Auslegeware), keramische Fliesen, als auch Natursteine verwendet werden.

Bei den unterschiedlichen Bodenbelägen die auf dem Markt angeboten werden, können einerseits die Fliesen mit einer relativ guten und andererseits die Teppiche mit Schaumgummibeschichtung mit einer schlechten Wärmeleitfähigkeit als Extremitäten bezeichnet werden.

6.1. Besonderheiten der Fliesenböden

- Sie binden keinen Staub und Schmutz
- Bei grossflächigen Anlagen besteht die Gefahr von Spannungsrissen
- Wohnatmosphäre entsteht erst durch Belegen des Bodens mit Teppichen (teuer)
- Fliesen sind pflegeleicht; Staubsaugen, Nassaufnehmen
- Fliesen haben eine grosse Lebensdauer

6.2. Besonderheiten von Teppichböden

- Sie binden den Staub und Schmutz
- Auch grosse Flächen geben im Gegensatz zur Fliese Wohnatmosphäre
- Entstehende Risse im Estrich spielen keine Rolle
- Mit modernen Mitteln sind Teppiche pflegeleicht
- Geringere Lebensdauer als die Fliesen

6.3. Planung der Fussbodenheizung

Grundlage für die Planung der Fussbodenheizung ist die Berechnung des Wärmebedarfs für jeden einzelnen Raum. Dabei sind die Wärmeverluste für die Aussenwände, Aussenfenster, Innenwände und Fussböden zu berechnen. Dazu kommen Zuschläge für eingeschränkten Heizbetrieb und der Lüftungswärmebedarf.

Der spezifisch erforderliche Wärmebedarf (Heizleistung) errechnet sich dann zu:

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A} \quad (6-1)$$

\dot{Q} und damit \dot{q} kann durch eine gute Gebäudeisolation sowie durch die Wahl von 2 oder 3 verglasten Fenstern

im wesentlichen beeinflusst und reduziert werden. Diese Minimierung hat auch aus Wärmephysiologischen Gründen zu erfolgen. Gemäss «Kollmar und Liese» (1) liegen die maximal zulässigen Bodentemperaturen in Arbeitsräumen bei ca. 25° C, in Wohn- und Büroräumen bei ca. 28° C.

Der Wärmeübergang vom Fussboden an den Raum setzt sich aus dem Strahlungs- und Konvektionsanteil zusammen.

$$\alpha_{\text{ges}} = \alpha_{\text{Strahlung}} + \alpha_{\text{Konvektion}} \quad (6-2)$$

In der Literatur sind für α_{ges} verschiedene Werte angegeben. Mit ausreichender Genauigkeit kann α_{ges} mit ca. 11 W/m²K angenommen werden (3) (4).

Die mögliche Wärmeabgabe des Fussbodens an den Raum errechnet sich zu:

$$\dot{q} = \alpha_{\text{ges}} \cdot \Delta T \quad (6-3)$$

Mit den physiologisch bedingten Maximaltemperaturen ergeben sich folgende Wärmeabgaben bei 20° C Zimmertemperatur.

- 55 W/m² in Arbeitsräumen
- 88 W/m² in Wohnräumen

Für die bisher durchgeführten Überlegungen spielt die Art des Bodenbelages keine Rolle. Von entscheidender Bedeutung ist die Wahl des Bodenbelages für die Frage des Wärmeüber- und Durchganges vom Heizmedium an die Bodenoberfläche.

6.4. Konstruktiver Aufbau der Bodenheizung

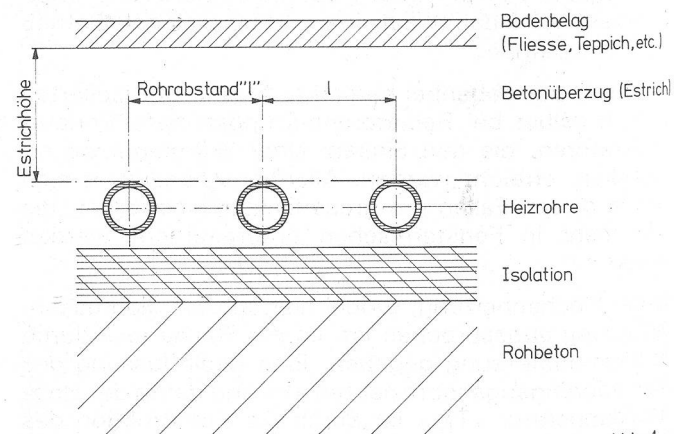


Abb. 4

Die Wahl des Rohrabstandes « l », hat bei vorgegebener mittlerer Oberflächentemperatur einen wesentlichen Einfluss auf die Temperatur des Heizmediums.

Abgesehen von der Temperaturwelligkeit (in Rohrnähe höhere Oberflächentemperaturen), die bei enger Rohranordnung geringer ist, kann auch die Mediumtemperatur bei gleichbleibender mittlerer Bodentemperatur niedriger als bei grossen Rohrabständen gehalten werden.

Beim Einsatz von Wärmepumpen wird man möglichst eine enge Rohranordnung wählen, um damit Betriebskosten zu sparen. Diese Betriebskosteneinsparung bedingt aber andererseits eine höhere Investition für zusätzliches Rohrmaterial. Sofern mit Kunststoffrohren gearbeitet wird, sind im heutigen Zeitpunkt die zusätzlichen Investitionskosten gegenüber den Betriebskosteneinsparungen zu vernachlässigen.

6.5. Der Wärmedurchgang

Als Mass für die Wärmedurchlässigkeit eines Körpers wird der k -Wert angegeben. Der k -Wert errechnet sich aus den Wärmeübergangszahlen α und den Wärmeleit-zahlen λ mit den zugehörigen Dicken δ .

Es ist in erster Näherung beim oben gezeigten Fussboden-aufbau unter Voraussetzung einer konstanten Tem- peratur unmittelbar über den Heizrohren (1) (2).

$$k_B = \frac{1}{\frac{\delta_{\text{Beton}}}{\lambda_{\text{Beton}}} + \frac{\delta_{\text{Belag}}}{\lambda_{\text{Belag}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{Strahlung}} + \alpha_{\text{Konvekt.}}}} \quad (6-4)$$

$\alpha_{\text{Konvektion}}$ und $\alpha_{\text{Strahlung}}$ sind mehr oder weniger unabhängig von der Wahl des Bodenbelages und betra- gen bei einer für Bodenheizung üblichen Oberflächen- temperatur von 28°C gesamthaft ca. $11 \text{ W/m}^2\text{K}$.

$\delta_{\text{Beton}} / \lambda_{\text{Beton}}$ darf auch als konstant angesehen werden. Somit sind in obiger Gleichung nur noch die Dicke des Belages und die Art des Belages mit den un- terschiedlichen λ -Werten als veränderliche Grössen zu bezeichnen.

Im Zusammengang mit k -Werten ist es immer wichtig, dass die gesamten Schichtenfolgen inklusive Wärme- übertragung durch Strahlung und Konvektion in die Rechnung einbezogen werden, denn nur in diesem Fall handelt es sich um Wärmedurchgangszahlen. Wenn man nur vom nackten Bodenbelag spricht, ist es besser mit den Wärmeleit-zahlen oder mit dem Wärmedurch- lasswiderstand WDW zu operieren. (4) (5).

In gleicher Weise wie nach oben, tritt selbstverständlich auch ein Wärmeüber- und Durchgang an darunterliegen- de Räume auf. Der K -Wert der Decke wird nach folgen- der Gleichung berechnet:

$$k_D = \frac{1}{\frac{\delta_{\text{isol.}}}{\lambda_{\text{isol.}}} + \frac{\delta_{\text{Beton}}}{\lambda_{\text{Beton}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{Strahlung}} + \alpha_{\text{Konvekt.}}}} \quad (6-5)$$

Die Gleichungen (6-4) und (6-5) stimmen nur in erster Näherung. Dies, weil noch ein Konvektiver Wärmeüber- gang vom Heizmedium an die Rohrwand und eine Wär- meleitung von der Rohrwand zum umgebenden Beton berücksichtigt werden müsste. Da aber der Wärmeüber- gang bei der erzwungenen Wasserströmung über $1000 \text{ W/m}^2\text{K}$ liegt, die Rohrwand mit ca. 1 bis 2 mm Stärke sehr dünn ist, und eine saubere Einbettung des Rohres im Beton angenommen wird, entsteht in obiger Rech- nung ein geringer Fehler, der für die weitere Betrachtung vernachlässigt wird. Es wird weiter vorausgesetzt, dass zwischen Betonüberzug und Bodenbelag eine saubere Verbindung, die den Wärmeübergang nicht beeinträch- tigt, besteht.

Die Wärmeabgabe nach oben berechnet sich zu:

$$\dot{q}_B = k_B \cdot \Delta T_O \quad (6-6)$$

Der spezifische Wärmestrom nach unten errechnet sich zu:

$$\dot{q}_D = k_D \cdot \Delta T_U \quad (6-7)$$

Die spez. Gesamtwärme, die durch die Bodenheizung er- bracht werden muss, beträgt:

$$\dot{q}_D + \dot{q}_B = \dot{q}_{\text{ges}} \quad (6-8)$$

Mit diesen beiden Gleichungen kann ein sogenannter Deckenwirkungsgrad aus dem Verhältnis von Wärmeab- gabe durch den Fussboden zu Gesamtwärmeabgaben der Decke definiert werden.

$$\eta = \frac{\dot{q}_B}{\dot{q}_{\text{ges}}} \quad (6-9)$$

$$\eta = \frac{\dot{q}_B}{\dot{q}_D + \dot{q}_B}$$

oder mit der Gleichung (6-6) und (6-7)

$$\eta = \frac{k_B \cdot \Delta T_O}{k_B \cdot \Delta T_O + k_D \cdot \Delta T_U} \quad (6-10)$$

Um den Einfluss des Deckenwirkungsgrades zu verdeut- lichen, muss zunächst ein möglicher Bereich der ver- schiedenen K -Werte angegeben werden.

Für den Wärmeübergang durch den Fussboden an die Raumluft, können k_B -Werte von ca. $2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ bis $7,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ angegeben werden. Darin sind sämtliche heute gebräuchlichen Bodenbelagsarten, die im Wohnungsbau Verwendung finden, eingeschlossen.

Die Temperaturdifferenz zwischen Raumluft und middle- rer Heizmitteltemperatur (ΔT_O) beträgt ca. 25°C . Die Temperaturdifferenz zwischen Heizmittel und darunter- liegender Raumlufttemperatur kann erheblich variieren, je nachdem ob es sich um beheizte oder unbeheizte be- ziehungsweise offene Abstellräume handelt.

Der Wärmedurchgang nach unten wird im wesentlichen durch die Isolationsdicke bestimmt. (Gleichung (6-5). (Abbildung 5). Der Wert k_D variiert dabei von 1 bis 15 cm Isolationsstärke von 2 bis $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Wie bei dieser Abbildung 5 ersichtlich, ist der Decken- wirkungsgrad ganz wesentlich von der unter den Heiz- rohren angebrachten Isolation abhängig. Weiter wird der Wirkungsgrad noch durch die herrschenden Tempera- turen beeinflusst. Sofern die Räume über und unter der Decke gleiche Temperaturen aufweisen, ist der Decken- wirkungsgrad von den Werten k_D und k_B abhängig. In diesen Fällen spielt der Deckenwirkungsgrad eine unter- geordnete Rolle, da ja die Wärmeverluste nach unten gleichzeitig den Raum aufheizen. Von wesentlicher Be- deutung wird dieser Wirkungsgrad aber, wenn darunter- liegende Räume nicht beheizt werden. Dies ist zum Bei- spiel für unterkellerte Räume oder bei vorspringenden Gebäudeteilen mit darunterliegenden offenen Autoab- stellflächen usw. oder bei Erkern der Fall. Bei derartigen Konstruktionen muss ein möglichst guter Deckenwir- kungsgrad angestrebt werden, der, wie nachstehendes Bild zeigt, über einen hohen k_B -Wert leichter zu errei- chen ist. Für die Praxis heisst dies unter Umständen, dass ein Teppichboden die erforderlichen Wärmeabgabe nur bei ausreichender Isolation und eventuell unter Ver- zicht auf den Einsatz eines hochflorigen Teppichs er- bringt.

In diesem Zusammenhang ist folgende Frage zu beant- worten:

Welche Wärmemenge kann ein Fussboden bei einer Temperaturdifferenz von 25°C zwischen Heizmittel und Raumluft bei einem Wärmedurchgangswert k_B von $2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ und einem Deckenwirkungsgrad von $\eta = 0,8$ abgeben?

(Wärmedurchlasswiderstand des Teppichs $0,17 \text{ K m}^2/\text{W}$)

Mit der Gleichung

$$\dot{q} = k_B \cdot \eta \cdot \Delta T_m \quad (6-11)$$

Wird ein Wert von 50 W/m^2 errechnet.

Durch geeignete Konstruktion und Verwendung eines Teppichs mit einem Wärmedurchlasswiderstand von $0,1 \text{ m}^2 \text{ K/W}$, was einer Teppichstärke von ca. $7 \div 8 \text{ mm}$ entspricht, wird eine Heizleistung von $\dot{q} = 88 \text{ W/m}^2$ erreicht.

Dies stellt bereits den wärmephysiologisch höchsten Wert dar, der für Fussbodenheizungen zulässig ist.

Gleichzeitig kann aber auch festgestellt werden, dass die häufig publizierte Wärmedurchlasswiderstandsgrenze von $0,17 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ für Wärmepumpen-Fussbodenheizung geeignete Teppiche nicht ohne vorherige genaue Wärmebedarfsrechnung angegeben werden darf.

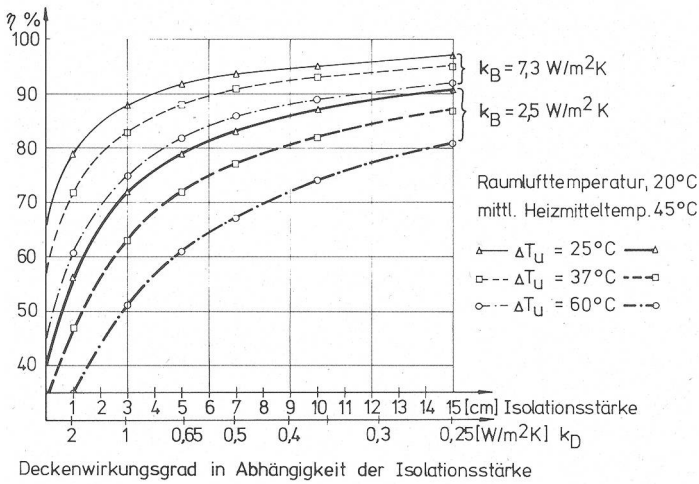


Abb. 5

6.6. Einfluss des Bodenbelages auf den Betrieb der Wärmepumpe

Die oben aufgeführte Berechnung der möglichen Heizleistung ist nur insofern gültig, als dabei von der an sich falschen Annahme einer konstanten Temperatur unmittelbar über den Heizrohren ausgegangen wird.

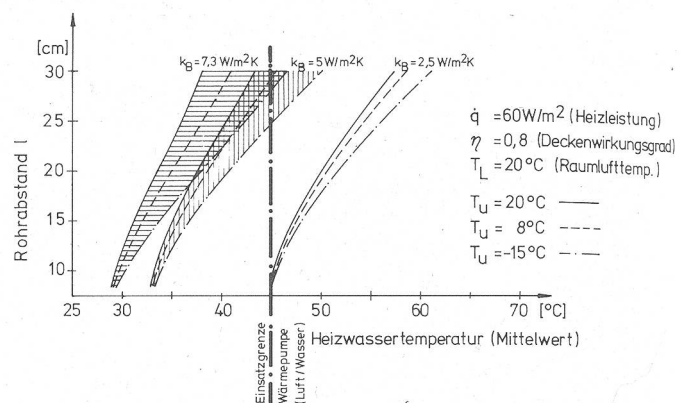
Neben dem Einfluss des Bodenbelages spielt auch noch die Rohranordnung beziehungsweise der Rohrabstand ℓ eine wesentliche Rolle beim wirtschaftlichen Einsatz einer Wärmepumpe. Der Rohrabstand lässt sich nach Kollmar und Liese unter Berücksichtigung folgender Werte berechnen (1):

- Mittlere Heizmitteltemperatur
- Lufttemperatur über dem Fussboden
- Lufttemperatur unter dem Fussboden
- Deckenwirkungsgrad
- Rohrdurchmesser
- Wärmeübergangswerte (oben + unten)
- Wärmedurchgangszahl k_B
- Wärmedurchgangszahl k_D

Die Ergebnisse dieser Rechnung sind in Abb. 6 und 7 zusammengefasst.

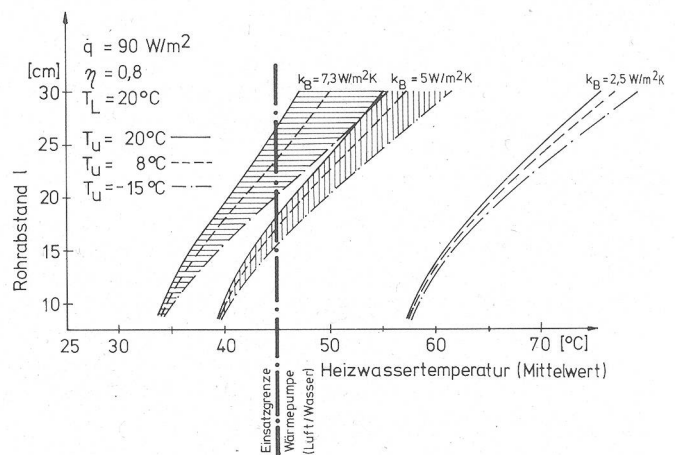
Für die Berechnung wurden folgende Werte zugrundegelegt:

- Deckungswirkungsgrad $\eta = 0,8$
- Rohrabstand (variabel) 10, 15, 20, 25, 30 cm
- Heizleistung Abb. 6 60 W/m^2
Abb. 7 90 W/m^2
- Wärmedurchgangszahl k (variabel) 2,5; 5; 7,3 $\text{W/m}^2\text{K}$
- T_U Temperatur unter der Decke 20; 8; -15°C
- T_0 Raumlufttemperatur 20°C



Rohrabstand in Abhängigkeit der Heizmitteltemperatur

Abb. 6



Rohrabstand in Abhängigkeit der Heizmitteltemperatur

Abb. 7

Die gewählten Wärmedurchgangszahlen k_B sind folgendermassen zu interpretieren:

- $k_B = 7,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ Dieser k-Wert wird bei Verwendung einer dünnen Fliese erreicht WDW $0,01 \text{ m}^2\text{K/W}$
- $k_B = 5 \text{ W/m}^2\text{K}$ Dieser Wert wird bei Verwendung eines dünnen Teppichs mit 5 bis 6 mm Stärke mit einem WDW von $0,07 \text{ m}^2\text{K/W}$ erreicht.
- $k_B = 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ Verwendung eines Hochflorteppichs. WDW $0,2 \text{ m}^2\text{K/W}$

Auf Grund der durchgeführten Berechnung lässt sich anhand der Abbildungen 6 und 7 vorerst einmal die Frage nach der Tauglichkeit von Teppichböden beim Einsatz von Wärmepumpen-Fussbodenheizungen klären. Es ist festzustellen, dass textile Bodenbeläge ohne Beeinträchtigung des wirtschaftlichen Wärmepumpenbetriebes selbst bei extremen Bedingungen (Abb. 7) geeignet sind. Dass dabei die mittlere Heizwassertemperatur nicht über 45°C ansteigen darf, ist ebenso unabdingbare Voraussetzung wie die saubere Wärmebedarfsrechnung unter Berücksichtigung der besonderen baulichen Verhältnisse.

Wie aus Abbildung 7 hervorgeht, beträgt die mittlere Heizwassertemperatur bei enger Rohranordnung und dünner Fliese bei einer Heizleistung von 90 W/m^2 ca. 35°C . Demgegenüber beträgt sie bei Verwendung eines Teppichs mit einem Wärmedurchlasswiderstand von $0,07 \text{ m}^2\text{K/W}$ ($k_B = 5 \text{ W/m}^2\text{K}$), was wiederum einem dünnen Teppich entspricht, ca. 40°C . Beim

Betrieb einer Wärmepumpe mit einer Verdampfungstemperatur von -5°C , resultiert im ersten Fall eine Leistungsziffer von ca. 3,3, und bei 40°C mittlerer Wassertemperatur ca. 3,1. Dies heisst nun, dass bei Belegung des Fussbodens mit einer dünnen Fliese eine Betriebskosteneinsparung von ca. 7% gegenüber einem textilen Bodenbelag resultiert. Dieses Ergebnis wurde unter der Voraussetzung einer vollflächigen Verklebung der Fliese auf dem Estrich erreicht. Beim Verteilen der Klebmasse mit dem üblichen Kamm, entstehen jedoch teilweise Luft einschlüsse, die den sauberen Wärmeübergang stark beeinträchtigen. Mit Berücksichtigung dieses Aspektes wird die Betriebskosteneinsparung weiter sinken, so dass schliesslich unter dem Strich maximal 4% an Energieeinsparung resultieren.

Bei der Durchführung der Berechnung wurde festgestellt, dass der Deckenwirkungsgrad ganz wesentlich die mittlere Heizmitteltemperatur beeinflusst. Die Frage der einwandfreien Isolation unter den Heizrohren erhält deshalb erste Priorität.

Mit den zu Beginn des Kapitels 6. 6. erwähnten Variablen erhält der planende Ingenieur eine Vielzahl von Möglichkeiten, um den wirtschaftlichen Betrieb einer Wärmepumpe unabhängig von der Wahl der Bodenbelagsart zu garantieren.

Es werden also auch weiterhin weniger die wirtschaftlichen als vielmehr die Fragen des Wohnkomforts und der Ästhetik den Einsatz der verschiedenen Bodenbelagsmaterialien bestimmen.

7. Zusammenfassung

Die Wahl des Bodenbelages hat bei richtiger Bemessung und Konstruktion der Bodenheizung einen verschwindend kleinen Einfluss auf den wirtschaftlichen Betrieb der Wärmepumpe.

Wichtig ist, dass die Art des Oberbodens bereits in der Planungsphase der Heizung genau definiert ist. Eine nachträgliche Änderung, vor allem in Richtung eines grösseren Wärmedurchlasswiderstandes, ist nicht ohne Beeinflussung der Heizwasservorlauftemperatur und damit des Wärmepumpenbetriebes möglich.

Heizenergieeinsparungen werden in erster Linie durch die Wärmedämm-Massnahmen an den Umfassungswänden sowie Dachpartien des Hauses und nur im geringen Masse durch die Wahl der Heizkörper realisiert.

Bei Beurteilung aller Kriterien wird der Teppich weiterhin eine führende Rolle im Wohnungsbau spielen. Die geringen wärmetechnischen Vorteile der Fliesen gegenüber textilen Bodenbelägen werden durch Kriterien der Ästhetik und Behaglichkeit bei weitem wettgemacht, so dass im Schlaf- und Wohnbereich der Teppichboden auch in Zukunft dominieren wird.

Die aufgezeichneten Tatsachen haben vor allem für Neubauten ihre Gültigkeit. Bei der Sanierung von bestehenden Bauten mit gegebenen Heizsystemen kann die Fliese keine Alternative zum textilen Bodenbelag sein.

Verwendete Formelzeichen

A	; Fläche	m^2
P	; Leistung	W
\dot{Q}	; Wärmestrom	W
\dot{Q}_H	; Wärmestrom (Kondensation)	W
\dot{Q}_U	; Wärmestrom (Verdampfung)	W
T_A	; Aussentemperatur	K
T_H	; Kondensationstemperatur	K
T_I	; Innenraumtemperatur	K
T_M	; mittlere Heizmediumtemperatur	K
T_O	; Raumlufttemperatur	K
T_U	; Temperatur unter der Decke	K
T_V	; Verdampfungstemperatur	K
WDW	; Wärmedurchlasswiderstand	$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$
k	; Wärmedurchgangskoeffizient	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$
k_B	; Wärmedurchgangskoeffizient Fussboden	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$
k_D	; Wärmedurchgangskoeffizient Decke	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$
l	; Rohrabstand	m
\dot{q}	; spez. Wärmestrom (Heizleistung)	W/m^2
\dot{q}_B	; Heizleistung Fussboden	W/m^2
\dot{q}_D	; Heizleistung Decke	W/m^2
\dot{q}_{ges}	; Gesamtheizleistung	W/m^2
α	; Wärmeübergangskoeffizient	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$
α_A	; Wärmeübergangskoeffizient aussen	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$
α_i	; Wärmeübergangskoeffizient innen	$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$
δ	; Wandstärke (Dicke)	m
ε	; Leistungszahl	
ε_c	; Leistungszahl Carnot-Prozess	
η	; Deckenwirkungsgrad	
λ	; Wärmeleitfähigkeit	W/mK
ΔT_O	; Temperaturdifferenz Raumluft-Heizmittel	K
ΔT_U	; Temperaturdifferenz Unterkante Decke Heizmittel	K

Literatur:

- (1) Kollmar und Liese: Die Strahlungsheizung
- (2) Recknagel-Sprenger: Taschenbuch für Heizung, Lüftung, Klimatechnik
- (3) Kirn/Hadenfeldt: Wärmepumpen Bd. I + II
- (4) P. Trapp: Teppichböden auf Fussbodenheizung TPI Juni/81
- (5) R. Hürzeler/T. Zimmerli: Wärmeleitung in textilen Bodenbelägen. «mittex» 6/81