



Der Autor:

Prof. Dr. Mathias Fraaß

Professor für Gebäudeauto-
mation und Facility
Management, Beuth Hoch-
schule für Technik Berlin;

WOF-Planungsgemeinschaft

ZUKUNFTS-DIALOG: GASTBEITRAG VON PROF. DR. MATHIAS FRAAß

Bessere Nutzung von Umweltenergie durch bessere thermische Ankopplung

Im Forschungsvorhaben COP 100 wurden an der Beuth Hochschule Heiz- und Kühlsysteme einer dritten Generation untersucht, die konventionelle Energie aus Heiz- und Kühlaggregaten nur in Spitzenzeiten nutzt. Herzstück dieser Systeme sind Kapillarrohrmatten mit ihrer besonders guten thermischen Ankopplung an das Gebäude.

Bild 1 zeigt anhand einer Fußbodenheizung den Unterschied in der Ankopplung zwischen einem konventionellen System mit dicken Rohren tief in der Bodenkonstruktion (links) und Kapillarrohrmatten im Fliesenbett (rechts), wenn bei mittlerer Außentemperatur (5°C) Umweltenergie direkt oder unter Zwischenspeicherung genutzt wird und das Fluid in den Rohren nur noch eine mittlere Temperatur von 23 °C hat.

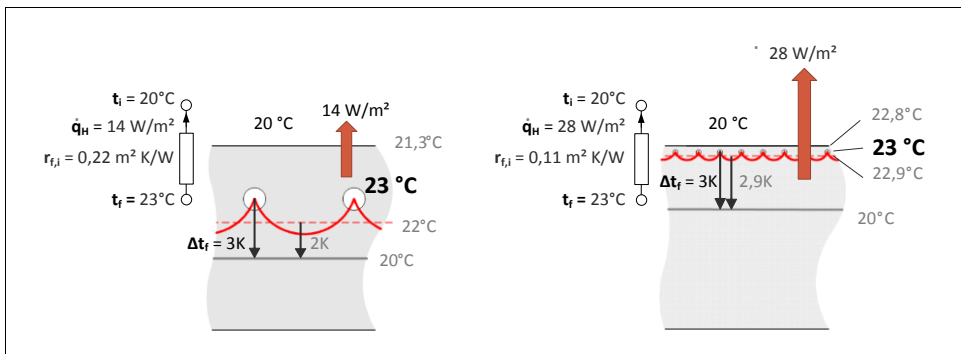


Bild 1: Heizen mit 23 °C

Die Temperaturdifferenz Δt_f zwischen Fluid und Raum treibt eine Heizleistung \dot{q}_H in den Raum. Es lässt sich ein Transportwiderstand $r_{f,i}$ bilden, der in den elektrischen Analogien neben den Aufbauten gezeigt ist:

$$r_{f,i} = \frac{\Delta t_f}{\dot{q}_H}$$

Links, beim Dickrohrsystem ist $r_{f,i} = (23^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) / 14 \text{ W/m}^2 = 0,22 \text{ m}^2 \text{ K/W}$. Rechts, bei den Kapillarrohrmatten ist $r_{f,i}$ wegen des geringeren Abstands der Rohrachsen zur Oberfläche und dem geringeren Durchhängen des Temperaturverlaufs zwischen den Rohren nur $3 \text{ K} / 28 \text{ W/m}^2 = 0,11 \text{ m}^2 \text{ K/W}$. Halber Widerstand, doppelt so gute Ankopplung.

Um die gleiche Leistung zu bringen, braucht das Dickrohr ca. die doppelte Temperaturdifferenz. Die Vorlauftemperatur liegt dann bei 30°C anstatt bei 25°C . Eine Wärmepumpe mit einem Gütegrad von 50% hat unter diesen Bedingungen mit Dickrohr eine Leistungszahl (Coefficient of Performance) von 4,7 anstatt von 5,7 mit Kapillarrohrmatten. Bessere Ankopplung, niedrigerer Energieverbrauch.

Eine Heizleistung von 28 W/m^2 bei einer Außentemperatur von $5 \text{ }^\circ\text{C}$ würde ausreichen, wenn die Heizlast bei -10°C nicht höher als 56 W/m^2 ist. Wenn die Sonne diese Leistung bringt, könnte man auch bei tiefen Außentemperaturen noch solar heizen. Diesen Fall zeigt Bild 2, rechts im Bild wieder in einer elektrischen Analogie.

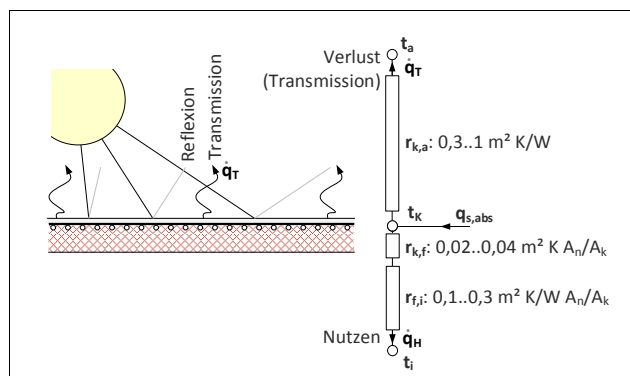


Bild 2: Heizen mit der Sonne

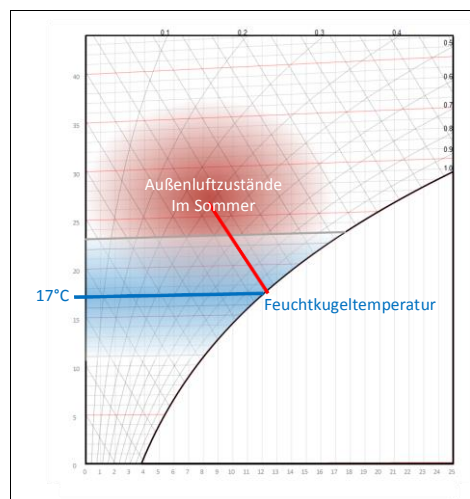


Bild 3: Kühlen aus der Umgebung

Der Kollektor reflektiert einen kleineren Teil der Sonnenstrahlung und heizt sich mit dem absorbierten Teil, $\dot{q}_{s,abs}$ auf eine Temperatur t_k auf. Die Temperaturdifferenz $t_k - t_i$ treibt die Heizleistung \dot{q}_H ins Gebäude. Aber es gibt auch einen Transmissionsverlust an die Außenluft \dot{q}_T , der von der Temperaturdifferenz $t_k - t_a$ getrieben wird.

Es gilt also $\dot{q}_{s,abs} = \dot{q}_T + \dot{q}_H$ oder, unter Verwendung der Transportwiderstände,

$$\dot{q}_{s,abs} = \frac{t_k - t_a}{r_{k,a}} + \frac{A_k}{A_n} \frac{t_k - t_i}{r_{k,f} + r_{f,i}}$$

$r_{k,a}$ ist der Isolationswiderstand des Kollektors. Er reicht von Werten um $0,33 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ (Flachkollektor) bis zu Werten um $1,00 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ (Vakuüm-Röhrenkollektor). $r_{k,f}$ ist der Transportwiderstand des Fluids auf seinem Weg vom Kollektor zum Dickrohr bzw. zur Kapillarrohrmatte. Je nach Durchfluss nimmt er Werte zwischen $0,02$ und $0,04 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ an.

$r_{f,i}$ ist wieder wie schon in Bild 1 der Transportwiderstand zwischen Fluid und Raum, mit Werten von $0,1 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ bei guter thermischer Ankopplung bis hin zu $0,3 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ bei schlechter. Bei $r_{k,f}$ und $r_{f,i}$ muss hier noch das Verhältnis zwischen der Kollektorfläche A_k und der Nutzfläche A_n berücksichtigt werden, welches in Einfamilienhäusern Werte bis zu 50% annimmt.

Mit den Werten $A_k/A_n = 50\%$, $\dot{q}_{s,abs} = 100 \text{ W/m}^2$, $r_{k,a} = 0,33 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ (Flachkollektor), $r_{k,f} = 0,04 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ (kleiner Durchfluss) und $r_{f,i} = 0,11 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ (Kapillarrohrmatten) ergibt sich $t_k = 28,5 \text{ }^\circ\text{C}$ und, ähnlich wie in Bild 1, $\dot{q}_H = 28,5 \text{ W/m}^2$. Die thermische Ankopplung der Kapillarrohrmatten sorgt hier dafür, dass bei $t_a = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ mit Flachkollektoren geheizt werden kann.

Bei Dickrohr mit $r_{f,i} = 0,3 \text{ m}^2 \text{ K}$ sinkt \dot{q}_H dagegen auf $19,3 \text{ W/m}^2$. Ursache der geringeren Heizleistung ist der höhere Wert von t_k , hier $31,6 \text{ }^\circ\text{C}$, und der damit verbundene höhere Transmissionsverlust. Hier zeigt sich ein weiterer Effekt: Die bessere thermische Ankopplung der Kapillarrohrmatten schützt die Kollektoren auch besser gegen Überhitzung und damit vor Stillstand, wenn die Sonneneinstrahlung steigt.

Eine Anwendung für den Kühlfall zeigt Bild 3. Man erkennt ein hx-Diagramm mit einer Häufigkeitsverteilung der Außenluftzustände im Sommer und den sich daraus ergebenden Feuchtkugeltemperaturen. Ein typischer Wert ist 17°C . Die Zustandsänderung ist eine adiabate Kühlung, also eine Verdunstungskühlung.

Mit direkt eingebundenen Verdunstungskühlern ist es möglich, Vorlauftemperaturen um $21 \text{ }^\circ\text{C}$ in einer Kühldecke zu erreichen. Das ist eine ausreichende Temperatur, wenn die Decke mit Kapillarrohrmatten belegt ist. Auch dieses Beispiel zeigt: Soll der Betrieb von Heiz- und Kühlaggregaten auf die Spitzenlast beschränkt werden, ist eine besonders gute thermische Ankopplung unerlässlich.