

12 (1985) Neue Forschungsergebnisse, kurz gefaßt

Fraunhofer-Institut für Bauphysik

E. Boy und J. Mohr

Können Schutzkabinen mittels Wärmerohren gekühlt werden?

Problemstellung

Zur Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit von Einrichtungen in Schutzkabinen darf die von Einrichtungen und Personen abgegebene Wärme die Lufttemperatur nicht über einen vorgegebenen Schwellenwert erwärmen. Häufig reicht die Wärmeabfuhr über die Schutzkabinenwand an die Umgebung aus. Zusätzliche Kühlung ist im hiesigen Klima oft nur an wenigen Tagen im Jahr oder nur bei bestimmten seltenen Betriebszuständen erforderlich. Die Installation von Klimageräten ist in solchen Fällen häufig unangemessen.

In einer von der Forschungsgesellschaft der Gips-Schule-Stiftung geförderten Studie [1] wurde untersucht, unter welchen Voraussetzungen WÄRMEROHRE als Kühlelemente für Schutzkabinen in Frage kommen.

Funktion der Wärmerohre

In Bild 1 ist ein Beispiel eines Wärmerohres schematisch dargestellt [2]. In einem hermetisch abgeschlossenen System befindet sich ein Wärmeträgermedium. Der Wärmetransport erfolgt in einem Verdampfungs-/Kondensationsprozeß mit diesem Wärmeträgermedium. In der Heiz- oder Verdampfungszone des Wärmerohres erfolgt die Wärmeaufnahme durch Verdampfung des Wärmeträgers und in der Kühl- oder Kondensationszone die

Wärmeabfuhr. Der Kondensatrücktransport von der Kondensationszone in die Verdampfungszone erfolgt durch Kapillarkräfte oder durch Schwerkraftausnutzung (Kapillarstruktur an der Innenoberfläche oder Anwendung der Wärmerohre in von der Horizontalen abweichenden Einbaulage). Die Betriebstemperatur bestimmt die Wahl des Wärmeträgermediums [3].

Wärmerohre sind völlig passive Wärmeübertragungselemente, zu deren Betrieb keinerlei Zusatzenergie erforderlich ist. Sie sind deshalb wartungs- und verschleißfrei. Die Funktionsweise ist selbstregulierend: Der Wärmetransport erfolgt automatisch bei Wärmeanfall. Die Arbeitsweise ist damit auch völlig geräuschlos. Die Wärmeübertragung bei Phasenwechselforgängen flüssig/gasförmig oder gasförmig/flüssig, wie sie im Wärmerohr vorliegt, ist um den Faktor 1000 größer als bei natürlicher Luftkonvektion. Das heißt, für relativ große Wärmeübertragungsleistungen muß im Wärmerohr nur eine geringe Kondensatmenge bewegt werden. Vom und zum Wärmerohr hingegen erfolgt die Wärmeübertragung konvektiv. Durch Verwendung von Rippenrohren (wie in Bild 1 skizziert) kann eine gewisse Erhöhung der Wärmeübertragungsleistung über die Oberflächenvergrößerung erzielt werden.

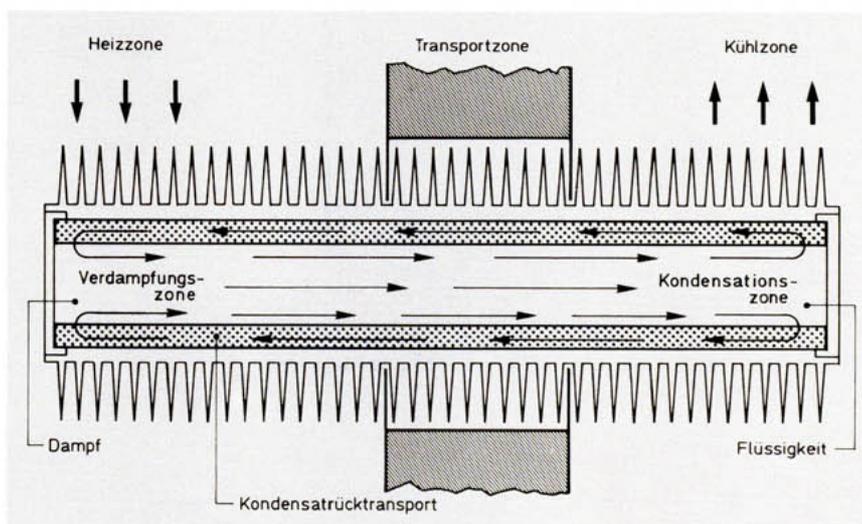


Bild 1:
Schematische Darstellung eines
Wärmerohres

Kühlung von Schutzkabinen mittels Wärmerohren

Die Anwendbarkeit von Wärmerohren zur Schutzkabinenkühlung hängt von verschiedenen Kriterien ab. Zur Diskussion dieser Kriterien ist in Bild 2 eine Schutzkabine mit den auftretenden Temperaturen und Wärmeströmen schematisch dargestellt. Um in der Schutzkabine ein thermisches Gleichgewicht aufrechtzuerhalten, muß die darin anfallende Wärme kontinuierlich abgeführt werden. Die intern anfallende Wärme Φ_Q wird dann durch Transmission Φ_H über die Schutzkabinenhülle, durch Luftaustausch Φ_L und über die Wärmerohre Φ_{WR} abgeführt:

$$\Phi_Q = \Phi_H + \Phi_L + \Phi_{WR} \quad (1)$$

In einer Abschätzung kann bei einer Temperaturdifferenz zwischen der Schutzkabineninnenluft ϑ_i und der Umgebungsluft ϑ_a :

$$\Delta\vartheta = \vartheta_i - \vartheta_a \quad (2)$$

der Transmissionswärmestrom durch die Schutzkabinenhülle A_H über den mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten der Schutzkabinenhülle k_H berechnet werden:

$$\Phi_H = k_H \cdot A_H \cdot \Delta\vartheta \quad (3)$$

Die über den Luftwechsel ausgetauschte Wärme kann aus der Luftwechselrate und dem Schutzkabinenvolumen V_S abgeschätzt werden:

$$\Phi_L = \beta \cdot V_S \cdot \rho \cdot c_p \cdot \Delta\vartheta \cdot f \quad (4)$$

wobei ρ die mittlere Luftdichte, c_p die spezifische Wärmekapazität der Luft und f ein die Dimensionen der Kenngrößen berücksichtigender Faktor ist.

Die Wärmeübertragung durch das Wärmerohr kann in analoger Weise abgeschätzt werden:

$$\Phi_{WR} = k_{WR} \cdot A_{WR} \cdot \Delta\vartheta_{WR} \quad (5)$$

Dies ist die Wärmeleistung der Heiz- und der Kühlzone. In Gleichung (5) ist mit k_{WR} ein Wärmedurchgangskoeffizient des Wärmerohres für die Wärmeübertragung definiert und mit A_{WR} eine wirksame Wärmeübertragungsfläche. Bei symmetrischem Einbau der Wärmerohre in der Schutzkabinenwand ist das die Wärmeübertragungsfläche A_a der Heiz- oder der Kühlzone. Mit $\Delta\vartheta_{WR}$ ist das am Wärmerohr wirksam treibende Temperaturpotential bezeichnet. Um dieses zu ermitteln, muß der Temperaturverlauf im Wärmerohr zwischen Innen- und Außenluft betrachtet werden. Der Temperaturverlauf wird durch die Einzelwiderstände längs des Wärmeübertragungsweges bestimmt. Im Vergleich mit den relativ hohen Widerständen der Wärmeübertragung zwischen Luft und Wärmerohr spielen die Leitungswiderstände in der Wärmerohrwand, die thermischen Widerstände des Verdampfungs- und Kondensationsprozesses, des Dampftrans-

portes von der Verdampfungs- in die Kondensationszone und des Kondensationsrücktransportes nur eine untergeordnete Rolle. Unter der Annahme symmetrischer Verteilung der Einzelwiderstände liegt im Mittel etwa die halbe Temperaturdifferenz zwischen innen und außen als treibendes Potential vor:

$$\Delta\vartheta_{WR} = \vartheta_i - \frac{1}{2}(\vartheta_i - \vartheta_a) - \vartheta_a = \frac{1}{2}\Delta\vartheta \quad (6)$$

Die Kühlleistung Φ_{WR} eines Wärmerohres kann somit in guter Näherung mit dem Übergangswiderstand α der konvektiven Wärmeübertragung zwischen Luft und Wärmerohr angegeben werden:

$$\Phi_{WR} \approx 0,5 \cdot \alpha \cdot A \cdot \Delta\vartheta \quad (7)$$

Für die in Frage kommenden Rohrgeometrien werden von den Rohrherstellern auf die Rohrlänge bezogene Außenoberflächen A_a angegeben. Werte zwischen ca. 0,5 und 1,8 sind üblich. Zusätzlich werden Nomogramme angegeben, aus denen in Abhängigkeit von der Luftbewegung an den Rohren und in Abhängigkeit von der Rohranordnung für die entsprechende Außenoberfläche ein "scheinbarer Wärmeübergangskoeffizient α_s " ermittelt werden kann. Für anwendungsrealistische Verhältnisse können Werte zwischen 10 und 100 W/m²K erzielt werden. Zur Dimensionierung und zur Abschätzung der Funktionsfähigkeit oder der einzusetzenden Wärmeübertragungsfläche oder Gesamtröhrlänge ist diese Abschätzung ausreichend.

Zusammenfassung und Folgerungen

Die Anwendung von Wärmerohren zur Schutzkabinenkühlung setzt ein gewisses Temperaturgefälle zwischen dem Temperaturniveau in der Kabine und der Umgebung voraus:

$$\vartheta_{i,max} - \vartheta_{a,max} \geq \Delta\vartheta_{min} \quad (\text{Bedingung 1})$$

Falls diese Bedingung erfüllt ist, ist zu prüfen, ob die maximal geforderte Kühlleistung bei minimaler Wärmeabfuhr der Wärmerohre erbracht werden kann:

$$\Phi_{Q,max} \leq \Phi_{WR,min} \quad (\text{Bedingung 2})$$

Für diesen Vergleich kann das größtzulässige Wärmerohrbauvolumen angenommen werden. Falls auch diese Bedingung erfüllt ist, kann eine Dimensionierung nach den Gleichungen (1) bis (7) erfolgen. Der Einsatz von Wärmerohren als passive, wartungsfreie, geräuschlos arbeitende Kühlelemente ist dann eine brauchbare Alternative zu den herkömmlichen Kühlmethoden.

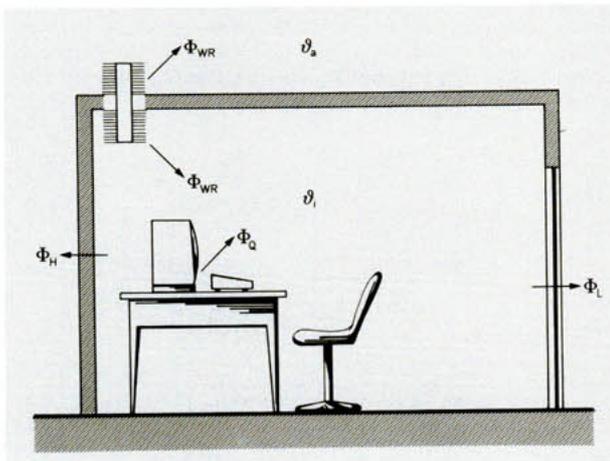


Bild 2: Schemaskizze der Meßkabine mit Temperaturen und Wärmeströmen

Literatur

- [1] E. Boy; J. Mohr; K. Bertsch:
Schutzkabinenkühlung mit Wärmerohren.
IBP-Bericht SA 6/85
- [2] S.W. Chi:
Heat Pipe Theory and Practice, Hemisphere
Publishing Corporation, McGraw-Hill book Company,
Washington, London (1976)
- [3] O. Brost und M. Groll:
Wärmerohre.
Mitteilung des IKE Stuttgart (1981)