Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 94 (1976)

Heft: 28/29

Artikel: Das Wärmerohr: Bericht von der "Second International Heat Pipe Conference" in Bologna

Autor: Bader, Emil

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-73131

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

versuche durchgeführt, wobei der Lastwagen über ein in Brükkenmitte bzw. in Randfeldmitte quer über die Fahrbahn gelegtes Brett zu fahren hatte. Diese Fahrten wurden mit dem gleichen Geschwindigkeits-Programm wie oben, aber nur bis zu einer Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h durchgeführt.

Die Stossempfindlichkeit der Brücke wurde sowohl für die gewöhnlichen Fahrversuche als auch für die Sprungversuche an mehreren Messstellen ausgewertet. Die grösste Wirkung der dynamischen Versuche ergab sich an jenen Messstellen, wo sich die überhaupt grössten Durchbiegungen infolge der statischen Belastungen zeigten. Aus den ermittelten Ergebnissen konnte bei der normalen Fahrt mit einer Geschwindigkeit von 15 km/h an der Messstelle WG 9 L ein maximaler Stosszuschlag von 34% berechnet werden. Wesentlich kräftigere Schwingungen wurden an der Brücke durch die Sprungversuche erzeugt, wo an der Messstelle WG 9 R bei einer Fahrgeschwindigkeit von 10 km/h ein maximaler Stosszuschlag von 156% ermittelt wurde.

Die Bilder 4 und 5 stellen die Durchbiegungs-Diagramme für einige Messstellen der Brücke bei den Fahrten ohne und mit Brett dar. Die Fahrzeuggeschwindigkeit betrug für die beiden Fahrten 10 km/h. Der aufgetretenen kleinsten Resonanzfrequenz, der Eigenfrequenz von $f_o = 2{,}5$ Hz entspricht eine durchschnittliche Dämpfung von $\delta_m = 0{,}085$.

Schwingversuche

Zur Überprüfung der theoretischen Untersuchungen über das dynamische Verhalten der Brücke wurde eine Universal-Schwingungs-Prüfmaschine (Losenhausen, Typ 2000)/4/20 verwendet, deren Frequenzen beliebig eingestellt werden konnten. Der Schwingversuch wurde mit zwei Erregeranordnungen in Brückenmitte und bei der Stellinie P 17 durchgeführt, und die erzeugten Schwingungen mittels 10 elektrischer Weggeber aufgenommen.

Mit der Schwungmasseneinstellung der Maschine von 6° bzw. 16° wurden Frequenzen von 1,6 bis zu 13,2 Hz erzeugt. Bei der Schwingungserregeranordnung in Brückenmitte konnte für die niedrigste Resonanzfrequenz (Eigenfrequenz) von 2,50 Hz an der Messstelle WG 9 R eine maximale Schwingweite von 1,17 mm gemessen werden. Die überhaupt grösste Schwingweite (1,28 mm) trat an der Messstelle WG 2 R bei einer Resonanzfrequenz von 5,35 Hz auf, wobei die Schwingungserreger im Bereich dieser Messstelle, bei Stellinie P 17 aufgestellt wurde. Weitere Angaben über die Schwingversuche sind [2] zu entnehmen.

Schlussbemerkungen

Die Brücke verhielt sich unter den aufgebrachten Lasten elastisch, und es wurden keine bleibenden Verformungen festgestellt. Die mit dem Betonhammer ermittelten Rückprellhärten bei den Stützen deuten auf eine gleichmässige Betonqualität hin; Risse wurden keine festgestellt. Die ermittelten Ergebnisse bezüglich kleinster Resonanzfrequenz bei den Fahr- und Schwingversuchen stimmen gut überein. Es wurde eine Eigenfrequenz bei beiden Versuchen von $f_o = 2{,}50$ Hz ermittelt.

Literaturverzeichnis

[1] *K. Wehrli:* Die Leichtbetonbrücke Schaffhausen. «Schweizerische Bauzeitung» *94* (1976). Erscheint demnächst.

[2] *H. Bachmann, R. Dieterle:* Versuche und Berechnungen zum dynamischen Verhalten einer Leichtbetonbrücke und einer analogen Betonbrücke. «Schweizerische Bauzeitung» *94* (1976), Heft 28/29, S. 419–426.

Adresse des Verfassers: *S. Balás,* dipl. Ing., Abteilung Massivbau, EMPA, Überlandstrasse 129, 8600 Dübendorf.

Das Wärmerohr

Bericht von der «Second International Heat Pipe Conference» in Bologna

Von **Emil Bader,** Zürich

DK 061.3:658.264

Im Ausstellungszentrum von Bologna haben sich vom 31. März bis 2. April 1976 Wissenschaftler aus Amerika, Indien und Europa getroffen, um die neusten Erkenntnisse der Wärmerohrtechnik auszutauschen. Die erste «International Heat Pipe Conference» – so der offizielle Name dieser Institution – hatte im Jahr 1973 in *Stuttgart* stattgefunden und zur 3. Konferenz wird man sich 1978 an Amerikas Westküste zusammenfinden. In Stuttgart wurden 44 und in Bologna bereits 80 Themen vorgetragen, woraus das wachsende Interesse am Wärmerohr hervorgeht. Jedem Redner standen 10 Minuten zur Verfügung und etwelche beherrschten die Kunst, die Forschungsresultate, oder den Stand der Technik innerhalb dieser kurzen Zeitspanne mit einfachen Worten zusammenfassend darzulegen.

Bologna wird von anderen italienischen Städten wegen der vielen Kongresse beneidet. Tatsächlich fühlt man sich in dieser Stadt wohl. Die Kongresseröffnung in der ehrwürdigen Universität, an der einst Keppler gewirkt hat, wie auch ein von den Veranstaltern gestiftetes Konzert eines Streichquintetts im Mozart-Saal der Reale Accademia Filarmonia, mit nachfolgendem Nachtessen im Circolo della Caccia liessen manche Teilnehmer Kulturgüter vergangener Epochen erahnen, deren Zeugnisse wohl in keinem anderen Land als in Italien noch so vielfältig vorhanden sind und so mühelos genossen werden können. Das «Instituto di Fisica Technica» der Universität Bologna hatte die Tagung gut organisiert. Bereits bei der Listeneintragung vor Konferenzbeginn erhielt jeder Teilnehmer die gedruckten Vorträge – ein Buch mit 682 Seiten! – vorgelegt.

Steckbrief

Jeder Behälter, in dem ein Stoff in flüssiger und dampfförmiger Phase hermetisch eingeschlossen ist, wirkt als Wärmerohr, sobald an beiden Enden von aussen ein Temperaturunterschied aufrecht erhalten wird. Dann leitet nämlich nicht

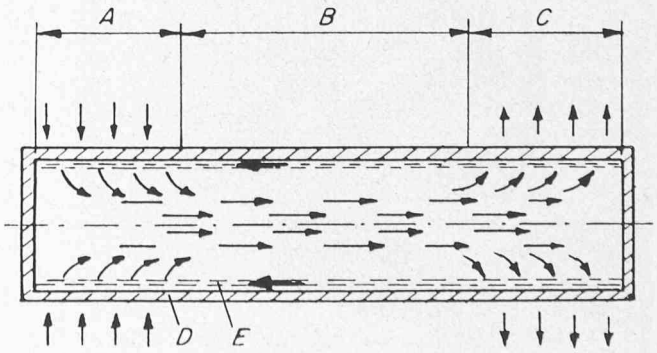


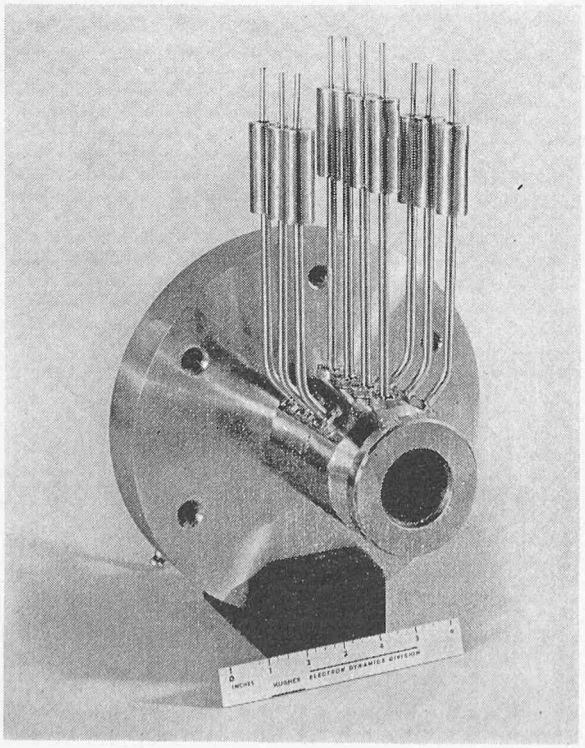
Bild 1. Prinzip des Wärmerohres. A Verdampfung, B Transportzone, C Kondensation, D Rohrwand, E Docht

nur die Rohrwand Wärme in Achsrichtung, sondern die Temperaturdifferenz ruft auch einen Massentransport hervor, wobei – als hervorragendes Merkmal des Wärmerohres – durch frei werdende Latentwärme des Wärmeträgers, z.B. ein *Freon,* ein grosser Energieaustausch durch enge Querschnitte erzielt werden kann. Denn am warmen Rohrende verdampft der Wärmeträger, der Dampf strömt in Richtung des Temperaturgefälles und kondensiert an der kälteren Rohrwand, wobei die Kondensationswärme – mengenmässig derselbe Betrag, wie jener der zur Verdampfung der Flüssigkeit von aussen eintritt – an die Umgebung abgegeben wird (Bild 1). Der Docht soll das Kondensat, z.B. bei Anwendungen ausserhalb des Gravitationsfeldes, der Verdampferzone zurückleiten, oder auf der Erdoberfläche das Kondensat gegen die Erdanziehung, d.h. aufwärts, fördern. Steht das Rohr senkrecht, oder neigt es sich unter Arbeitsbedingungen gegen die Verdampferzone hin, so erübrigt sich ein Docht, das Kondensat wird nun durch die Schwerkraft zurückgeleitet.

Die Erfinder

Das Prinzip des Wärmerohres war bereits 1944 von *R.S. Gaugler* für Anwendungen in der Kältetechnik patentiert worden; nachdem sich keine praktische Verwendung zeigte, geriet es wieder in Vergessenheit. *George Grover,* ehemals Wissenschaftler am Los Alamos Scientific Laboratory, entdeckte das Prinzip von neuem und verhalf ihm nicht nur in der *Raumfahrttechnik,* sondern auch für praktische Aufgaben auf der Erde zur Anwendung. So wurde er Mitbegründer der Firma Q-Dot Corporation in Dallas (in der Schweiz durch Scobatherm AG, 8050 Zürich, vertreten), die Wärmerohre zur Rückgewinnung von Heizenergie bei Lüftungsanlagen herstellt. George Grover gilt heute als Vater des Wärmerohres. Die amerikanische Ingenieurgesellschaft (ASME) zeichnete ihn 1975 mit der Holley-Medaille aus mit der Würdigung: «For his invention of a phenomenal heat transfer device, known as the heat pipe. The heat pipe is now being used throughout the world for innumerable terrestrial and space applications». Wen wird es angesichts dieser Worte erstaunen, wenn Grover an der Konferenz in Bologna einer der angesehensten Diskussionsteilnehmer war.

Bild 2. Eine Vielzahl von Wärmerohren mit veränderlicher Leitfähigkeit regeln die Temperatur in einer Düse auf einen konstanten Wert



Warum aber so grossangelegte Konferenzen über eine Vorrichtung, deren Prinzip mit einer Skizze und einigen Sätzen erläutert werden kann? Hierüber geben die Titel der 10 Sitzungen, die je vier bis acht Vorträge umfassten, Auskunft: «Durch Schwerkraft unterstützte Wärmerohre», «Tieftemperatur-Wärmerohre», «Flüssigmetall-Wärmerohre», «Wärmerohr-Dynamik», «Wärmerohre mit veränderlicher Leitfähigkeit», «Rotierende Wärmerohre», «Wärmerohr-Werkstoffe», «Wärmeübergang bei Verdampfung», «Anwendungen auf der Erde», «Anwendungen in der Raumfahrt». Auf zwei Ausführungsarten sei hier näher eingegangen:

Wärmerohre mit veränderlicher Leitfähigkeit

An und für sich ist das Wärmerohr eine *passive* Vorrichtung – wie *M.D. Kelleher* und *W.H. Batts* in ihrem Vortrag «Effects of Gravity on Gas-loaded Variable Conductance Heat Pipes» erklären, denn seine Arbeitstemperatur wird durch die Temperaturen von Wärmequelle, Wärmesenke und der übertragenen Leistung – hier Heizlast genannt – bestimmt. Quellentemperatur und Heizlast sind voneinander abhängig, d.h. wenn die Heizlast ändert, nimmt auch die Temperatur einen anderen Wert an. Bei manchen Gegebenheiten, so bei der Kühlung empfindlicher elektronischer Ausrüstungen, wird – auch bei wechselnder Heizlast – eine konstante Temperatur der Wärmequelle oder der Wärmesenke gefordert. Dank der Entwicklung des Wärmerohres mit veränderlicher Leitfähigkeit liegt nun tatsächlich ein Mittel vor, das die Quellentemperatur auch bei veränderlicher Heizlast, oder variierender Senkentemperatur konstant hält. Verschiedene Bauarten sind vorgeschlagen worden, um eine veränderliche Leitfähigkeit zu erzielen, aber von allen Versuchen hat jenes System sich am meisten durchgesetzt, bei dem ein *inertes Gas* mit im Spiel steht.

Beim Betrieb eines Wärmerohres, dessen Leistung durch ein Gaspolster geregelt wird, fördert der Dampf des Wärmeträgers das inerte Gas gegen das kalte Ende des Wärmerohres hin, wo es sich anreichert und einen Pfropfen aus Gas bildet. Dieser Stöpsel belegt einen Teil des Kondensators, in den der Dampf nur spurenweise gelangt. Folglich dient dieser Teil nicht zur Kondensation und die wirksame Wärmeübertragungsfläche des Kondensators ist geschmälert. Wächst die Heizlast des Wärmerohres, steigt der Druck und damit auch der Massenstrom des Wärmeträger-Dampfes. Infolgedessen wird der Gaspfropfen zusammengedrückt, wodurch dem Dampf automatisch eine grössere Wärmeübertragungsfläche dargeboten wird und sich auf diese Weise der vergrösserten Heizlast anpasst. Ist anderseits der Wärmeanfall vermindert, dehnt sich das Gas aus und belegt eine grössere Wärmeübergangsfläche.

Das *gegenseitige Verhalten von Gas und Dampf* spielt bei diesem System eine grosse Rolle, wobei die Löslichkeit und die Dichteunterschiede mit berücksichtigt werden müssen. Natürlich bildet sich zwischen den zwei Stoffen keineswegs eine scharf begrenzte, ebene Trennfläche, wie das Modell der ursprünglichen «flat-front»-Theorie es voraussetzte. Im Gegenteil, das gasgeregelte Wärmerohr ist Gegenstand vieler Untersuchungen, in denen auch das Verhalten von Ausführungen mit Ventilen und gasadsorbierenden porösen Stoffen studiert und gemessen wird.

Immerhin gibt es bereits viele erfolgreiche Anwendungen von Wärmerohren mit *veränderlicher* Wärmeleitfähigkeit, die sich schon jahrelang im Betrieb bewährt haben. Eine davon erwähnt *A. Basilius* in «Follow-up on the Heat Pipe Applica-

tion», bei der die Düse einer Kunststoff-Spritzmaschine durch eine Vielzahl gasgeregelter Wärmerohre auf konstante Temperatur gekühlt wird (Bild 2).

Rufen diese mit einem Gas gepolsterten Wärmerohre das Interesse des *Maschineningenieurs* hervor, so soll aus der grossen Auslese der in Bologna vorgetragenen Arbeiten eine weitere Ausführung herausgepickt werden, die eher den *Bauingenieur* anspricht.

Verwendung des Wärmerohres als Enteisungssystem

So lautet die Arbeit von *H.J. Suelau, E.J. Kroliczek* und *C.P. Brinkman,* worin Anlagen beschrieben werden, die zur *Enteisung* von Strassen, Auffahrtsrampen, Brücken und Flugplätzen mittels Wärme dienen.

Bei der Verfestigung der Pfeilerfundamente der *Alaska-Pipeline,* einem der Paradepferde für die Wärmerohr-Anwendung, geht es darum, die Erdoberfläche während des Winters so tief zu unterkühlen, dass sie im Sommer nicht auftaut. Anders bei den Enteisungsanlagen für *Verkehrswege.* Hier werden Rohre aus rostfreiem Stahl in das Erdreich versenkt, deren oberer, um etwa 90° abgewinkelter Teil in der Fahrbahnplatte einbetoniert ist. Die senkrechte Hälfte stellt die Verdampferseite dar, wo sich der flüssige Wärmeträger – in der Regel *Ammoniak* – sammelt und von der Wärme des umgebenden Erdreiches zur Verdampfung gebracht wird. Der Dampf steigt nach oben und kondensiert an den kalten Wänden der in der Fahrbahn eingebetteten Rohre (Bild 3).

Bei *Brücken* sind Verdampfer- und Kondenserteil durch eine längere, gut isolierte Leitung miteinander zu verbinden. *Flugplätze* können nach Ansicht der Autoren nicht mit Erdwärme enteist werden, weil der Energiebedarf dazu zu gross ist. Ihr Vorschlag: *Sonnenenergie* erwärmt während der warmen Jahreszeit ein Speichermedium, das in einem unterirdischen Kanal längs der Piste gestapelt ist. Im Winter dient die Speichermasse als Wärmequelle zur Enteisung der Piste über Wärmerohre.

Das Entwerfen von *Schneeschmelzanlagen* für Verkehrswege setzt Kenntnisse über den instationären Wärmefluss voraus. Denn die *Speicherfähigkeit* des Bodens, aber auch dessen Leitfähigkeit und allfällige *Grundwasserströme* sind beim Entwurf sorgfältig zu berücksichtigen. Die Vorteile sind allerdings derart einleuchtend, dass sich der grosse Aufwand lohnt: *keine Fremdenergie, keine Umweltverschmutzung, keine Wartung, lange Lebensdauer* und *keine zusätzlichen Spannungen in der Fahrbahn,* weil die auftretenden Temperaturunterschiede sehr klein sind. Erwähnt wird auch, dass in den USA durch vereiste Strassen jährlich 23000 Autounfälle verursacht werden.

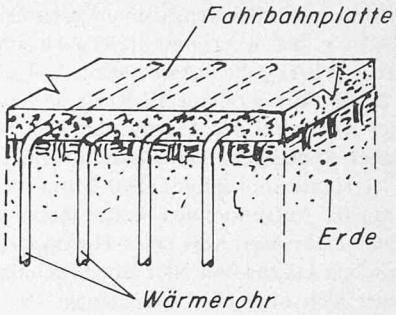


Bild 3. Enteisungsanlage einer Autobahn, wobei mit Wärmerohren die Schmelzenergie dem Erdreich entzogen wird

Zurzeit wird eine Autobahnrampe in *West Virgina* mit Wärmerohren ausgerüstet (Bild 3). Das Verdampferende wird bis auf 18 m abgeteuft und der Abstand beträgt 20 cm. Kleinere Ausführungen mit kürzeren Rohren sind diesen Grossversuchen vorangegangen. Die wichtigsten Daten für zur Zeit geltende amerikanische Verhältnisse sind: Bei 15 m tief abgesenkten Rohren im Abstand von 20 cm und 6 m beheiztem Fahrbahnstreifen beträgt die Heizleistung 218 W/m² und die Kosten 273 Dollar je m². Bei gleicher Leistung und Tiefe, aber mit 15 cm Abstand und 14 m breitem Fahrbahnstreifen machen die Kosten 197 Dollar je m² aus.

Auf meine Frage an einen Physiker, der die Wärmerohrentwicklung von Anfang an miterlebt hat, warum diese nützliche Vorrichtung auf dem weiten Feld der Technik immer noch nicht zum Durchbruch gekommen ist, war seine lakonische Antwort: Dies hängt von der Phantasie und Unternehmungslust des Ingenieurs ab, denn die Theorie für Anwendungen im üblichen Temperatur- und Leistungsbereich ist weitgehend bekannt und durch Versuche erhärtet. Worauf wir also aufgerufen sind!

Adresse des Verfassers: *Emil Bader,* dipl. Ing. ETH, Gubelhangstrasse 9, 8050 Zürich

Register der Ingenieure, Architekten und Techniker

Feier zum 25jährigen Jubiläum in Bern

DK 061.2:62

Neulich konnte die «Stiftung der schweizerischen Register der Ingenieure, der Architekten, der Ingenieur-Techniker, der Architekt-Techniker und der Techniker» (REG) ihr 25jähriges Jubiläum feiern. An einem Empfang in Bern ergriffen der Direktor des Bundesamtes für Industrie, Gewerbe und Arbeit, *Jean-Pierre Bonny,* der Präsident der Stiftung, *Hans Heinrich Hauri* und ihr Sekretär, *Marius Beaud,* das Wort.

Anlass zur Gründung eines Registers der technischen Berufe hatte die *Vielfalt und eine gewisse Unordnung innerhalb der Berufsbezeichnungen für Ingenieure und Architekten* gegeben. An der Gründung waren die grossen technischen Verbände unseres Landes beteiligt. Auf Grund einer klar umschriebenen Berufsbezeichnung sollte auch die Öffentlichkeit Aufschluss über die *Qualifikation* von Architekten, Ingenieuren und Technikern erhalten. Auch sollte dem *Missbrauch* von Titeln Einhalt geboten und damit gewisse Wettbewerbsverzerrungen aus der Welt geschafft werden. Ähnliche Bestrebungen waren zuvor schon in einigen Kantonen aufgestellt worden.

Der Gründung vom 6. Juli 1956 war Erfolg beschieden, liessen sich doch über 17000 Mitglieder ins Register aufnehmen.

Zehn Jahre später erfolgte die *Umwandlung des Registers in eine Stiftung.* Dies geschah im Anschluss an eine auch in der Öffentlichkeit geführte Diskussion über die Titelbezeichnung von Absolventen von Höheren Technischen Lehranstalten. Die Techniker fühlten sich durch ihren Titel diskriminiert und forderten nach deutschem Vorbild die Bezeichnung Ingenieur. Im Bundesgesetz über die Berufsbildung aus dem Jahre 1963 wurde aber diesem Begehren nicht Folge geleistet. Der *«Schweizerische Technische Verband»* ergriff gegen die im Gesetz verwendeten Berufsbezeichnungen «Ingenieur-Techniker HTL» bzw. «Architekt-Techniker HTL» das Referendum, drang damit aber nicht durch.

So blieb dann dieser grosse Verband bei der Umwandlung des Registers in eine Stiftung fern. Die wichtigsten *Trägerverbände* sind heute: der «Schweizerische Ingenieur- und Architektenverein» (SIA), der «Bund Schweizer Architekten»