Tunnelwärme

Heizwärme aus dem Tunnel

Das Wärmepotenzial unterirdischer Infrastrukturbauten wird bislang kaum ausgeschöpft. Forschenden ist es nun gelungen, den Wärmetausch in einem Tunnel genau zu beziffern. Damit könnte die Tunnelwärme künftig zur Beheizung von Gebäuden genutzt werden.

Text **Antonio Suárez**
Bilder **LMS/EPFL, zVg**

In Tunneln gibt es zwei Wärmequellen: den Untergrund und die Luft. In Nahverkehrs- oder U-Bahntunneln entsteht durch den Transit der Passagiere, die Brems- und Beschleunigungsmanöver sowie die Motoren der Züge zusätzliche Wärme, die an die Luft abgegeben wird. Diese Luftwärme vermischt sich mit der vom Boden abstrahlenden Wärme. Erhitzt sich die Luft im Untergrund, so neigt sie dazu, die überschüssige Wärme an die Oberfläche abzugeben. Normalerweise wird diese Wärme über Ventilations- und Lüftungsschächte, aber auch über oberirdische Zugänge an die Umgebung abgeführt und bleibt damit thermisch ungenutzt.

Forschende des Labors für Bodenmechanik (LMS) der ETH Lausanne wollen dieses physikalische Phänomen nun zur Erzeugung zusätzlicher thermischer Energie nutzbar machen. Dafür wurden anhand digitaler Modelle Berechnungen zur Ermittlung des sogenannten thermischen Konvektionskoeffizienten durchgeführt. Die Resultate wurden letzten Sommer in der Zeitschrift «Applied Thermal Engineering» veröffentlicht. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse erlauben genauere Angaben zum Wärmepotenzial von Tunneln und damit zum Betrieb von oberflächennahen Geothermieanlagen zur Heizwärmeerzeugung.

Präzisere Angaben zur Abwärme

Die wissenschaftlichen Befunde beruhen auf der Masterarbeit der Ingenieurin Margaux Peltier: «Die Resultate meiner Forschung haben es ermöglicht, den Konvektionskoeffizienten besser zu ermitteln», sagt sie. «Damit kann man die Abwärme, die man aus einem Tunnel rückgewinnen kann, mit höherer Präzision bestimmen.» Für ihre Kalkulationen hat die Wissenschaftlerin erstmals auch die komplexen Luftströmungen und -wirbel, die in Tunnelsystemen erzeugt werden, in die Betrachtungen einbezogen. Ausserdem konnte sie nachweisen, dass das thermische Potenzial der Tunnelluft steigt, je unebener und rauer die Oberfläche der Tunnelinnenwände ist. Bis anhin waren solche Berechnungen für Tunnel ungenau. Für ihre Studie berechnete Peltier die Werte des Tunnels der Lausanner Metrostrecke M3, die nach geplanter Fertigstellung 2027 den Hauptbahnhof mit dem Flugplatz Blécherette im Nordwesten der Stadt verbinden wird.

«Unsere Forschung zeigt, dass bei Nutzung von 50 bis 60 Prozent der geplanten Trasse 60 000 Quadratmeter des Tunnels mit dieser Geothermieanlage betrieben und 1500 Standardwohnungen mit einer durchschnittlichen Grösse von 80 Quadratmetern und 4000 Minergie-Wohnungen mit Wärme versorgt werden könnten», erklärt Peltier. Der Vorteil dieses Systems ist, dass es Wärme speichern und zeitnah an die Haushalte verteilen kann. «Im Vergleich zur Beheizung mit Gas würde die Stadt den Ausstoss von 2 Millionen Tonnen CO_2 jährlich vermeiden», fügt die Forscherin hinzu.

Wärmetauscherrohre in Tunnelwänden

Bei Konkretisierung der Pläne würden in regelmässigen Abständen Wärmetauscherrohre in die Betonkonstruktion des U-Bahntunnels eingebracht und diese an eine Wärmepumpe angeschlossen. Durch das Einleiten von Kaltwasser in die Röhren gibt das System Heisswasser an die Oberfläche ab. Die Ausstattung des Tunnels mit diesen geothermischen Installationen würde es erlauben, die umliegenden Wohnhäuser im Winter zu beheizen. Bis zu 80 Prozent des Energiebedarfs könnten so gedeckt werden. Die Investitionen wären vernachlässigbar. Mit einer Lebensdauer von 50 bis 100 Jahren rechnet sich auch die graue Energie, denn Wärmepumpen müssten nur alle 25 Jahre ausgetauscht werden.

Mit umgekehrten Vorzeichen könnte im Sommer beim Einsatz von reversiblen Wärmepumpen auch Kälte für das Freecooling genutzt und gleichzeitig die Gebäudewärme im Untergrund gespeichert werden. «Der Tunnel würde so das ganze Jahr über eine sehr zuverlässige Heizungs- und Klimaanlage verfügen», sagt Peltier. Insbesondere könnte das System zur Heizung, aber auch zur Kühlung des zukünftigen Ökoquartiers «Métamorphose» genutzt werden. Dafür könnte man kleinräumige Tieftemperaturnetze bauen. Ein Anschluss an das bestehende Fernwärmenetz wäre allerdings nicht möglich, da es sich in Lausanne um ein Hochtemperaturnetz handelt, das sich aus der Abwärme der Müllverbrennung speist.

Schematische Darstellung des U-Bahntunnels mit Wärmetauscherrohren in der Tunnelinnenwand zur Rückgewinnung von Erdwärme und Konvektionswärme aus der Luft.

Ingenieurin Margaux Marie Valérie Peltier hat im Rahmen ihrer Masterarbeit die entscheidenden Modellberechnungen zur Ermittlung des thermischen Konvektionskoeffizienten durchgeführt.

Machbarkeitsstudie

«Diese Publikation zeigt, dass die Energietunnel-Technologie ausgereift ist und wir sie auf Quartierniveau nutzen können», sagt LMS-Direktor Lyesse Laloui zur Studie. «Es bleibt abzuwarten, ob die Schweizer Industrie bereit ist, auf diesem Gebiet eine Vorreiterrolle zu übernehmen.» Bislang wurde weltweit noch nirgends eine vollständige U-Bahntunnelstrecke mit solchen energetischen Geostrukturen ausgestattet. Pilottests wurden auf gewissen Streckenabschnitten bisher erst in London, Stuttgart und Wien realisiert. «Die technische Machbarkeit ist bereits seit Jahren erwiesen», präzisiert Peltier. «Bislang hat man jedoch den Energieertrag solcher Infrastrukturbauten unterschätzt.»

Die Forschenden des LMS haben die Ergebnisse ihrer Studie den Lausanner Stadtwerken (SiL) und Verkehrsbetrieben (TL), dem Kanton Waadt – dem Hauptauftragnehmer der künftigen U-Bahn – sowie der Stadtgemeinde Lausanne vorgelegt. Eine Machbarkeitsstudie wurde inzwischen in Auftrag gegeben. Peltier ist zuversichtlich, was die Realisierungschancen betrifft. «Politisch wäre es eine einzigartige Gelegenheit für die Stadt Lausanne, für den Kanton Waadt und die Schweiz im Allgemeinen», sagt sie. «Die Technologie der energetischen Geostrukturen fügt der Geothermie eine neue Dimension hinzu, die öfter genutzt werden sollte.» Zwar bewege man sich hier in der oberflächennahen Geothermie, die im Vergleich zur Tiefengeothermie geringere Leistungskapazitäten aufweise, schränkt die Forscherin ein. «Doch wenn man neue unterirdische Bauten und Infrastrukturen bereits bei Errichtung mit dieser Technologie ausrüstet, könnte der Energiebedarf nach und nach gesenkt und der Anteil der erneuerbaren Energien in der Schweiz erhöht werden.»

Die Forschungen am LMS gehen unterdessen weiter. Margaux Peltier arbeitet zurzeit an einer Weiterentwicklung der Technologie. So könnten energetische Geostrukturen auch bei existierenden Tiefbauten zum Einsatz kommen, etwa wenn bestehende Tunnel saniert werden. Aktuell befasst sich Peltier mit den Möglichkeiten, die beispielsweise die Erneuerung von Tunneltrassen bieten. So kann sie sich vorstellen, Wärmeabsorbersysteme auch unter Eisenbahnschienen zu installieren. Voraussetzung dafür wäre einzig, dass in der Nähe ein Abnehmer für die Abwärme vorhanden wäre, weil ansonsten beim Transport zu hohe Wärmeverluste auftreten würden. ■