

Solaraktive Fassaden im Bestandsbau

Sebastian Malz¹, Oliver Steffens², Walter Krenkel³

¹ Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg, 93053 Regensburg, E-Mail: sebastian2.malz@othr.de

² Ostbayerische Technische Hochschule Regensburg, 93053 Regensburg, E-Mail: oliver.steffens@othr.de

³ Universität Bayreuth, 95447 Bayreuth, E-Mail: walter.krenkel@uni-bayreuth.de

Einleitung

Die Wärmeversorgung des Gebäudesektors stellt mit Blick auf den globalen Klimawandel eine große Herausforderung dar. Neben der Nutzung regenerativer Energiequellen kommen im historischen Bestand auch denkmalpflegerische Aspekte ins Spiel. Der Bedarf an innovativen Ideen kann auch aus den Klimazielen der Bundesregierung bis 2050 abgeleitet werden: „Ziel [...] ist es, einen lebenswerten, bezahlbaren und nahezu klimaneutralen Gebäudebestand zu schaffen. Letzteres heißt, dass Gebäude nur noch einen sehr geringen Energiebedarf aufweisen, der verbleibende Energiebedarf durch erneuerbare Energien gedeckt wird und sonstige direkte Treibhausgasemissionen vermieden werden.“ [1]

Im Rahmen des Forschungsprojektes MAGGIE [2] das am Beispiel des historischen Quartiers Margaretenau in Regensburg innovative Lösungen für modernes und bezahlbares Wohnen erforscht, soll über eine solaraktive Fassade Sonnenwärme im Bestandsmauerwerk eingespeichert werden, um so den Energiebedarf des Gebäudes zu reduzieren.

Transparente und transluzente Wärmedämmungen finden mittels Ausnutzung verschiedener Systeme Anwendung in der Praxis. So werden zur Transmission von Strahlung nach [3] folgende Systeme angewandt:

1. Trennelemente parallel zur einfallenden Solarstrahlung (z.B. Mehrfachschichten bei vorgehängter Fassade)
2. Trennelemente senkrecht zur einfallenden Solarstrahlung (Waben-/Kapillarstrukturen)
3. Strukturen mit Kavitäten (transparenter Schaum) und quasi-homogene Strukturen (z.B. Aerogele)

In Systemen vom Typ 1 sorgen Schichten parallel zum Mauerwerk für eine Reduktion der Wärmeverluste durch langwellige Strahlung und Konvektion. Dies reduziert gleichzeitig die Transmissionseigenschaften des Systems und lässt sich etwa durch Mehrfachschichten aus Glas oder Polymeren realisieren. System beinhaltet Trennelemente, die durch gezielte Reflexion und Absorption einen großen Teil der Strahlung zum Mauerwerk führen. Bei der Verwendung muss beim Design der Elemente auf die Unterbindung von radiativen und konvektiven Effekten geachtet werden, da diese meist höher liegen als bei Varianten des Systems 1. Systeme, die Vorteile von beiden Systemen verwenden, finden sich im Typ 3. Meistens sind diese Systeme jedoch sehr teuer und ggf. durch zusätzliche Maßnahmen vor mechanischer und physikalischer Einwirkung zu schützen. [3]

Im historischen Bestand schränken die denkmalpflegerischen Anforderungen zum Erhalt des Erscheinungsbildes den Einsatz von solaraktiven Systemen ein. Viele verfügbare transparente und transluzente Dämmungen sind mit ihrem hohen Anteil an Glas- bzw. Kunststoffflächen nicht geeignet. Die Entwicklung eines solaraktiven Putzes, welcher den technischen und gestalterischen Anforderungen im Bestandsbau gerecht wird, wird im Projekt MAGGIE als Forschungsansatz verfolgt. Die angewandte Technologie basiert auf der Leitung von Strahlung durch transparente Elemente, welche in eine opake, mineralische Schicht eingebracht werden.

Beschreibung des solaraktiven Putzes und Analyse mittels Simulation

Abbildung 1 zeigt schematisch den Aufbau des solaraktiven Putzes. Auf den Putz auftreffende Solarstrahlung wird zunächst durch eine transparente Versiegelungsschicht geleitet (1). Anschließend werden die Solarstrahlen innerhalb eines lichtleitenden Elementes (2) bis zum Bestandsmauerwerk (4) geleitet. Die lichtleitenden Elemente (LE) befinden sich in einer Dämmputzschicht (3), welche ebenfalls auf das Bestandsmauerwerk aufgebracht wird.

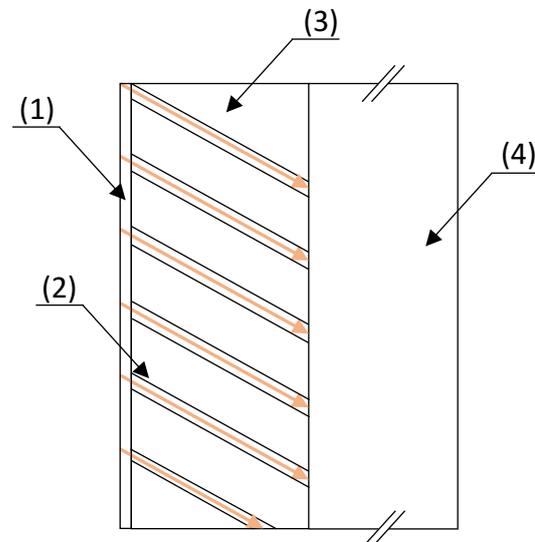


Abbildung 1: Schematischer Aufbau des Bestandsmauerwerks mit solaraktivem Putz.

Das Schema zeigt zudem eine stark verkürzte Darstellung des 39 cm tiefen Bestandsmauerwerks. Die Neigung der LE wird so gewählt, dass ein maximaler Ertrag an solarer Leistung für den jeweiligen Standort (hier Regensburg) in einem Zeitraum von November bis Februar erwirkt wird. Die Transmissionseigenschaften der LE sind so gestaltet, sodass der größte Anteil der Strahlung ans Mauerwerk gebracht werden kann. Die opake, mineralische Schicht dient als Trägermaterial und erfüllt den Zweck der Wärmedämmung basierend auf der Zugabe von Mikroholzglaskugeln in einem mineralischen Putz. Der Eintrag von solarer Leistung soll zur Reduzierung der resultierenden Temperaturgradienten zwischen Speicherschicht und Innenoberfläche führen und somit den Wärmestrom an die Umgebung verringern. Um dies zu ermöglichen, müssen transparente bzw. transluzente Elemente eine Lichtleitung in tiefere Schichten des Wandaufbaus gewährleisten. Zudem müssen diese transmittierenden Lichtleiter über eine niedrige Wärmeleitfähigkeit verfügen. Andernfalls kommt es in den Wintermonaten, vor allem bei Tagen mit geringer Sonnenscheindauer bzw. hoher Bewölkung, zu einem durch solare Strahlung nicht ausgleichbaren Wärmeverlust, höheren Wärmeströmen und niedrigeren Oberflächentemperaturen an der Wandinnenseite.

Die Effizienz des Systems steht dabei unter anderem in Abhängigkeit der Faktoren des lichtleitenden Elements wie etwa: Flächenanteil, Neigung, Transmissionsgrad, Durchmesser, Konvektionseffekten, Wärmestrahlung, Absorptionsgrad am Mauerwerk und dem Medium innerhalb des LE.

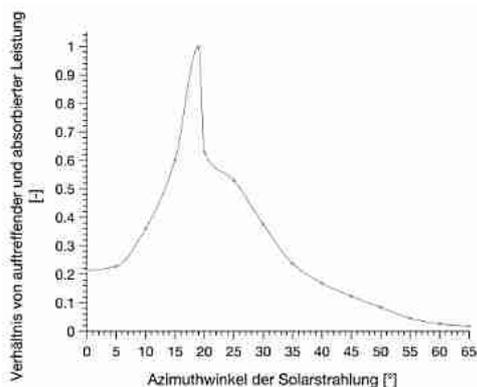


Abbildung 2: Transmissionsleistung durch das LE bei abweichendem Winkel zwischen Neigungswinkel und Azimutwinkel

Die Wirkung des ausgelegten Systems soll anhand von Simulationen bewertet werden. Als FEM-Simulationstool dient Comsol Multiphysics.

Hierfür wird zur Erzielung eines resultierenden Wärmestroms durch die Außenwand die Simulation in zwei Schritte unterteilt. Der erste Schritt beschreibt eine Strahlungsverfolgungssimulation, welche den Zweck erfüllt, die Transmission von solarer Strahlung bis zum Mauerwerk in Abhängigkeit verschiedener Neigungswinkel, den ver-

schiedenen Azimutwinkeln der Sonne und den physikalischen Eigenschaften des lichtleitenden Elements zu beschreiben. Für jeden betrachteten Zeitschritt entsteht so eine transmittierte Leistung, die am Ende der LE am Mauerwerk absorbiert wird. Die absorbierte Wärmemenge kann in Form einer äquivalenten Wärmequelle in die 3D-Wärmetransport und -speicherungssimulation überführt werden. Bei der Überführung ist darauf zu achten, ob die Strahlen diffuser oder direkter Strahlung zuzuordnen sind. Für die Implementierung der Diffusstrahlung, unter der Annahme, dass keine Vorzugsrichtung beim Einfall der Strahlung vorhanden ist, wird ein über die möglichen Winkeldifferenzen gemittelter Absorptionsfaktor für die solare Strahlung angesetzt. Für die Direktstrahlung kann eine äquivalente Wärmequelle für die Winkeldifferenz zwischen Azimutwinkel und Neigungswinkel des LE für jeden Zeitschritt ermittelt werden. Abbildung 2 zeigt das Verhältnis zwischen der auf die Öffnungsfläche auftreffenden und der am Ende durch das Mauerwerk aufgenommenen Leistung für verschiedene Winkeldifferenzen. Die unterschiedlichen Verhältnisse zeigen deutlich, dass ein Verhältnis von 1 erreicht werden kann, wenn der Neigungswinkel dem Azimutwinkel entspricht. Bei zunehmender Differenz der Winkel kommt es zum Auftreffen von Solarstrahlen auf die Grenzflächen des lichtleitenden Elements. Da bei jeder Reflexion ein Teil der Strahlung absorbiert wird, reduziert sich das Verhältnis der am Ende ankommenden Leistung entsprechend in Abhängigkeit der Zahl der Wandinteraktionen. Durch die Neigung kommt es zu unterschiedlichen Reduktionen und daher müssen die Winkeldifferenzen in jeder Richtung individuell betrachtet werden. Eine Vermeidung von Mehrfachreflexionen innerhalb des lichtleitenden Elements kann etwa durch einen höheren Radius unterstützt werden. Aufgrund von optischen sowie mechanischen Anforderungen beim Aufbringen der Versiegelungsschicht (vgl. Abb. 1) wurde ein maximaler Durchmesser in Höhe von 1,5 mm bestimmt.

Im zweiten Simulationsschritt ist das Ziel der Simulation, mit den Erkenntnissen aus Schritt 1, den Wärmestrom an der Wandinnenseite, welcher den Wärmeverlust aus dem Raum beschreibt, abzubilden. Das solaraktive Konzept soll neben der Energieeinspeisung gleichzeitig Schutz vor zusätzlichen Wärmeverlusten während Phasen mit geringen solaren Erträgen bieten. Zur Bewertung wird ein extrahierter Wandabschnitt in der Simulation untersucht. Das vorhandene Element in der Simulation ist in seinen Abmessungen an die Daten des Wohnquartiers Margaretenau angelehnt. So wird der solaraktive Putz mit einer Stärke von 10 cm auf das Bestandsmauerwerk, das eine Stärke von 39 cm aufweist, aufgebracht. Das Modell berücksichtigt auch langwellige Abstrahlung von Wärme vom Mauerwerk durch die LE an die Umgebung. Für die Untersuchungen wird ein Flächenverhältnis zwischen den Öffnungsflächen des LE und der verbleibenden Putzoberfläche von rund 25 % gewählt. In der Simulation werden konstante Innenraumbedingungen von 20°C Raumtemperatur angesetzt.

Die Grenzfläche zwischen Wand und Außenklima wird mit realen Messdaten in die Simulation eingebunden. So finden neben der Temperatur auch Direkt- und Diffusstrahlung, mit ihren spezifischen lokalen Werten, Einbindung in das Modell. Dies führt u.a. auch zur Berücksichtigung von Schlechtwetter-Perioden bzw. Nebelaufkommen in der Region Regensburg. Die Simulation basiert auf den Gleichungen (1) und (2), welche den 3-dimensionalen Wärmetransport und die Wärmespeicherung beschreiben [4].

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho c_p u \nabla T + \nabla q = Q \quad (1)$$

$$q = -k \nabla T \quad (2)$$

mit

ρ	Dichte	[kg/m ³]
c_p	Spez. Wärmespeicherkap.	[J/(kgK)]
k	Wärmeleitfähigkeit	[W/(mK)]
u	Geschwindigkeitsfeld	[m/s]
Q	Wärmequelle/-senke	[W]

Die Quellterme Q sind dabei lokale Wärmequellen, die die solare Einstrahlung abbilden. Die thermischen Eigenschaften für das Modell (Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärmespeicherkapazität und Dichte) wurden zuvor messtechnisch anhand von Proben aus der Laborentwicklung und dem Wohnquartier bestimmt.

In einer ersten Untersuchung wurde eine Simulation über den Zeitraum von 4 Monaten (01.02. bis 31.05.) durchgeführt. Dies führt zur Berücksichtigung von Wintermonaten als auch Monaten in den Übergangszeiten. Die Simulationsergebnisse in Abbildung 3 zeigen, dass durch die Einbringung der transparenten Elemente eine deutliche Verbesserung des Wärmestroms erreicht werden kann.

Ergebnisse

Abbildung 3 zeigt den erzielten Wärmestrom an der Wandinnenseite im Vergleich zu einem konventionellen Dämmputz mit gleicher effektiver Wärmeleitfähigkeit, aber ohne lichtleitende Elemente. Es ist ersichtlich, dass der Wärmestrom des solaraktiven Putzes konstant über der Vergleichsvariante liegt. Dies führt zu der Annahme, dass im Verlauf eines Tages genug Energie in das Wandsystem eingespeichert werden kann, um den Wärmestrom auch in der Nachtpphase geringer als in der Vergleichsvariante zu halten. Die durchgeführte Simulation ist in der Lage, die Konzeption eines hybriden Dämmstoffs, welcher aufgrund der Mischung aus opaken und transparenten Elementen als transparente Wärmedämmung klassifiziert werden kann, in seiner Wirkweise zu bestätigen. Die eingebrachten transparenten Elemente sind in der Lage, die Wärmestrombilanzen um einen erheblichen Anteil zu verbessern. In absoluten Zahlen liegt die Einsparung von Heizenergie in jedem Monat bei mindestens 20 % im Vergleich zum konventionellen Dämmputz.

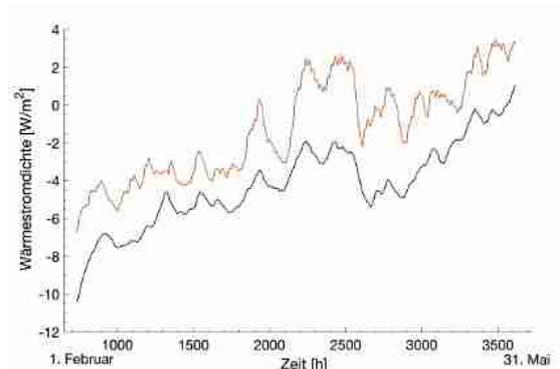


Abbildung 3: Vergleich zwischen dem solaraktiven Putz und einem Dämmputz

Literatur

- [1] Klimaschutzplan 2050, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. URL: <https://www.bmu.de/publikation/klimaschutzplan-2050/>
- [2] BMWi-Forschungsprojekt, Energetische Modernisierung des genossenschaftlichen Wohnquartiers Margaretenau in Regensburg, Förderkennzeichen: 03SBE0007A
- [3] Paneri A., Wong I.L., Burek S.: Transparent insulation materials: An overview on past, present and future developments, Solar Energy, Vol. 184, S. 59-83, 2019
- [4] Künzel H.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten, Dissertation, 1994

Curriculum Vitae

Sebastian Malz hat Gebäudeklimatik an der OTH Regensburg studiert. Anschließend absolvierte er an der OTH Regensburg ein Masterstudium „Applied Research in Engineering Sciences“ mit dem Schwerpunkt Bauphysik. Seit 2017 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter im Projekt „MAGGIE“ und Doktorand an der Universität Bayreuth.

Dr. Oliver Steffens ist Professor für Angewandte Physik und Bauphysik an der OTH Regensburg und Gründer des dortigen „Kompetenzzentrums Nachhaltiges Bauen“ (KNB) sowie Mitglied des Forschungsclusters „Nachhaltiges Bauen und Historische Bauforschung“. Seit 2017 leitet er das BMWi-Projekt „MAGGIE“ (Förderprogramm „Solares Bauen“).

Prof. Dr.-Ing. Walter Krenkel ist Ordinarius für keramische Werkstoffe der Universität Bayreuth. Seine Forschungsschwerpunkte liegen auf der Entwicklung von Faserverbundwerkstoffen, dem Hochtemperaturleichtbau sowie dem Technologie-Transfer in industriellen Anwendungen.