



HEIZEN UND KÜHLEN ÜBER THERMISCH AKTIVIERTE AUSSENFLÄCHEN

POTENZIALSTUDIE

Jahresbericht 2010

Autor und Koautoren	Carsten Wemhöner, Andreas Genkinger, Prof. Dr. Thomas Afjei
beauftragte Institution	Institut Energie am Bau, Fachhochschule Nordwestschweiz
Adresse	St. Jakobs-Str. 84, CH-4132 Muttenz
Telefon, E-Mail, Internetadresse	061/4674573, carsten.wemhoener@fhnw.ch, www.fhnw.ch/iebau
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	103213/154235
BFE-Projektleiter	Dr. Charles Filleux
Dauer des Projekts (von – bis)	1.10.2009 – 28.2.2011
Datum	15.12.2010

ZUSAMMENFASSUNG

Projektziel ist die Ermittlung und Bewertung des Potenzials, über aussenliegende Gebäudebauteile eine Kühlfunktion für das Gebäude bereitzustellen. Dazu wurden zunächst Konzepte, Materialien und Systemlösungen analysiert. Marktverfügbare Komponenten beziehen sich hauptsächlich auf solarthermische Anwendungen, die in Kunststoffabsorber für die Schwimmbadbeheizung und unverglaste Metallabsorber für Solardächer unterschieden werden können. Die wichtigste Materialeigenschaft für den Kühlbetrieb stellt der Emissionsgrad für IR-Strahlung dar. Mit Ausnahme von unbehandelten Metallen weisen die meisten Materialien hohe Emissionsgrade für Wärmestrahlung auf, bei Metallabsorbern für solarthermische Anwendungen besteht aber häufig eine selektive Beschichtung, welche die Emission im langwelligen Bereich vermindert.

Hinsichtlich der Anforderung des Kühlkonzepts an das Gebäude wurden günstige Eigenschaften abgeleitet. So reduziert beispielsweise eine massive Bauweise den Kühlbedarf und bietet bei Bauteilaktivierung die Möglichkeit einer Speicherung der nächtlichen Kühlenergie in der Bausubstanz.

Zur Bewertung des Potenzials wurden die Systemkomponenten für die Simulationsumgebung Matlab-Simulink erstellt. Im Anschluss wurden Parametervariationen hinsichtlich der Eigenschaften der aktivierten Aussenfläche (Grösse, Neigungswinkel, Emissionsgrad) und der Randbedingungen hinsichtlich Nutzung, Standort und hydraulischer Einbindung durchgeführt. Für klimatisch normale Jahre nach SIA Merkblatt 2028 werden dabei mit einer Kollektorfläche der Grösse der halben gekühlten Nettogeschossfläche im Mittelland hohe Deckungsraten bis zu 100% der Nutzungszeit und mittlere Kühlleistungen von 50 W/m^2 Kollektorfläche während der Nachtstunden erreicht. Bei klimatisch wärmeren Bedingungen (Wetterdatensatz Lugano warmes Jahr) treten Hitzeperioden auf, die zur Überschreitung des operativen Temperaturbereichs nach SIA 382/1 führen, so dass nur etwa 50% der Nutzungszeiten durch rein passive Kühlung gedeckt werden können.

Im Hinblick auf die Auslegung ist eine hohe Einstrahlzahl zum Himmel vorteilhaft. Über eine Massenstromanpassung kann analog zu solarthermischen Systemen die Kühlleistung und die Austrittstemperatur des Kollektors beeinflusst werden. Bei Betrieb mit Temperaturen unter der Frostgrenze für Heizanwendungen ist eine Durchströmung der Aussenfläche mit Wasser-Glykol notwendig, so dass ein Wärmetauscher zur Medientrennung integriert werden muss. Da dieser das Potenzial im Kühlbetrieb vermindert, sollte der Wärmetauscher auf möglichst geringe Grädigkeit dimensioniert werden.

Projektziele

Für zukünftige Gebäude nach Anforderungen der 2000-Watt-Gesellschaft ist der Sommerbetrieb verstärkt zu beachten. Aufgrund von Klimawandel, Anforderungen an die Energieeffizienz der Gebäude, steigenden Glasanteilen in der Architektur sowie gestiegenen Komfortansprüchen an das Innenraumklima wird die Gebäudekühlung an Bedeutung gewinnen. Passive Kühlkonzepte bieten eine energieeffiziente Lösung für den zunehmenden Kühlbetrieb. Neben eingeführten passiven Kühlkonzepten wie Nachtlüftung oder erdgekoppelter Kühlung kann Wärme auch über aussenliegende Gebäudebauteile an die Umgebung abgeführt werden.

Ziel des Projekts ist daher eine Potenzialabschätzung dieser Lösung, welche Komponenten und Systeme hierfür geeignet sind, welche Leistungsfähigkeit und Effizienz sich für die Systeme ergeben, und welche Synergien für einen Heizbetrieb bestehen.

Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Das Projekt ist in unterschiedliche Etappen gegliedert. Im Folgenden werden Ergebnisse zu den einzelnen Etappen kurz zusammengefasst.

Etappe 1: Marktverfügbare Komponenten, einsetzbare Materialien, Anforderungen an das Gebäude Komponenten

Die auf dem Markt verfügbaren, für Kühlanwendungen geeigneten Absorber stammen im Wesentlichen aus solarthermischen Anwendungen und lassen sich hinsichtlich des Materials in Kunststoffabsorber zur Schwimmbaderwärmung und unverglaste Metallabsorber als Solardächer unterscheiden. Verglaste oder beschichtete Absorber eignen sich wegen verminderter Wärmeabstrahlung resp. selektiver Eigenschaften (reduzierter Emissionsgrad im langwelligen Strahlungsbereich) weniger für einen Kühlbetrieb, sind aber allenfalls für einen integrierten Heizbetrieb vorteilhaft. Als Varianten sind auch thermisch aktivierte Gebäudebauteile oder eine wassergekühlte PV- bzw. PV/T-Anlage für Kühlanwendungen geeignet.

Materialien

Hinsichtlich der Materialanforderung ist vor allem der Emissionsgrad im langwelligen Strahlungsbereich (IR-Strahlung) von Bedeutung. Nichtmetallische Materialien weisen einen hohen langwelligen Emissionsgrad auf. Die marktüblichen Kunststoffabsorber aus EPDM und PP erreichen Emissionsgrade von 0.9 und bieten daher gute Voraussetzung für den Kühlbetrieb. Sie sind weiterhin UV-beständig, begehrbar, im relevanten Bereich temperaturbeständig (-20°C bis über 100 °C) und haben nur geringes zusätzliches Gewicht. EPDM ist zudem frostsicher und hat eine gute Lebensdauer von über 30 Jahren auf.

Anforderungen an das Gebäude

Ein passiver Kühlbetrieb über Strahlung und Konvektion an die Umgebung hat die folgenden Eigenschaften:

- Beschränkte Leistungsfähigkeit der Umgebungswärmesenke je nach Wetterbedingungen (Ausstrahlung, Wind, Bewölkung)
- Periodische schwankende Umgebungsbedingungen, so dass nur ein Nachtbetrieb möglich ist
- Hohe mögliche Vorlauftemperaturen des Kühlsystems erhöhen das Potenzial

Für die Gebäudehülle und -technik ergeben sich damit folgende Anforderungen: Aufgrund der begrenzten Leistungsfähigkeit sollten bauliche Massnahmen einen guten sommerlichen Wärmeschutz in Form einer guten Wärmedämmung, massiver Bauweise, moderater Glasflächen und eines effizienten Verschattungssystems garantieren, um die Kühllasten möglichst zu reduzieren. Wegen des periodischen Betriebs sind Speicher in das System zu integrieren. Für den Kühlbetrieb mit hohen Vorlauftemperaturen sind Flächenübergabesysteme mit niedrigen Temperaturdifferenzen vorteilhaft. Aufgrund des Einstrahlverhältnisses zum Himmel sind horizontale oder gering geneigte Dachflächen am besten für die Gebäudeintegration geeignet. Für eine Integration in die Fassade sollten ausreichend opake Anteile vorhanden sein. Da die Gebäudehüllfläche begrenzt ist, eignet sich das Kühlkonzept vor allem für Gebäude mit niedriger Geschosshöhe mit entsprechend hoher Hüllfläche. Für die Integration ist das zusätzliche Gewicht von Absorber und Fluid hinsichtlich der Statik einzuplanen. Weiterhin sollten die aktivierte Aussenfläche bei guter Absorptionseigenschaft für kurzwellige Strahlung vom Gebäudeinneren durch eine entsprechende Dämmung thermisch entkoppelt werden.

Etappe 2: Systemlösungen zum Einsatz von aktivierten Aussenflächen

Gebäude mit Bauteilaktivierung bieten die besten Voraussetzungen für die Speicherung in einem periodischen Tag-Nacht Betrieb. Mit abnehmender Bauschwere oder für höhere Deckungsgrade müssen zusätzliche Speicher eingesetzt werden, damit auch kürzere wärmere (Behinderung Konvektion) und bewölkte (Behinderung Strahlung) Perioden gedeckt werden können. Aufgrund der meteorologischen Einschränkungen können verschiedene passive Kühlverfahren kombiniert oder ein zweiter, aktiver Kälteerzeuger integriert werden, für den die Aussenflächen als Rückkühlung dienen können. Damit lassen sich benötigte Speichervolumen reduzieren und es wird ein zusätzlicher Kühlbetrieb während des Tages ermöglicht.

Etappe 3: Komponentenmodellierung

Die Modellierung einer aktivierten Aussenfläche wurde anhand eines unverglasten Kollektors durchgeführt. Die Kollektorprüfnorm definiert für Solarkollektoren EN 12975-2 [1] auch Prüfbedingungen und ein Modell für unverglaste Kollektoren. In der Literatur sind weitere Modelle, z.B. in Frank [2], oder Erweiterungen des Normmodells, z.B. in Perers [3], zu finden. Darüber hinaus wird auch das in den USA verbreitete Hottel-Whillier-Bliss Kollektormodell mit dem Kollektorstufenwirkungsgradfaktor F' und dem Wärmeabfuhrfaktor F_R nach Duffie-Beckman [4] für den Kühlbetrieb angepasst, z.B. in Yannas, Erell und Molina [5].

Das implementierte Modell eines unverglasten Kollektors baut auf dem Modell für den Kollektortest nach EN 12975-2 auf. Abweichend werden allerdings für die zu prüfenden Parameter physikalische Gesetzmässigkeiten aus der Literatur für den Konvektions- und Strahlungswärmeübergang verwendet. Es ergeben sich die gleichen Leistungsbereiche für die Wärmeabgabe, wie diese auch in vereinzelt Feldmessungen dokumentiert sind.

Etappe 4: Parametervariationen

Aufbauend auf den implementierten Komponentenmodellen wurden die Deckungsanteile und die Effizienz der passiven Kühlung mittels aktivierten Aussenflächen simuliert. Parametervariationen wurden hinsichtlich der folgenden Aspekte durchgeführt:

- Eigenschaften der Aussenfläche (Grösse im Verhältnis zur Nettogeschossfläche, Neigungswinkel, Emissionsgrad)
- Standort (Mittelland (Zürich Meteoschweiz), Tessin (Lugano), Datensätze normal und warm nach SIA Merkblatt 2028 [7])
- Nutzung/Kühllast (Einzelbüro, Grossraumbüro, Ein- und Mehrfamilienhaus nach SIA Merkblatt 2024 [6])
- Betriebsart und Einbindung (Direkte Einbindung mit Fluid Wasser ohne Wärmetauscher, indirekte Einbindung mit Wasser-Glykol über Wärmetauscher)

Etappe 5: Potenzialbewertung und Synergien zum Heizbetrieb

Für die oben aufgeführten Anwendungen mit Wetterdatensatz normales Jahr und direkter Einbindung ergeben die Parametervariationen in Büro- und Wohngebäuden bei angepasstem Temperaturniveau des Übergabesystems hohe Deckungsanteile des passiven Kühlbetriebs. Beispielsweise können für die Nutzung Einzelbüro mit einer Grösse der Kollektorfläche der halben gekühlten Nettogeschossfläche und TABS als Übergabesystem die operativen Temperaturen während der Nutzungszeit nach SIA 382/1 [8] eingehalten werden.

Für den Klimadatensatz Lugano warmes Jahr sinken diese Deckungsanteile auf ca. 50% der Nutzungszeit durch wärmere Aussentemperaturbedingungen, da in Hitzeperioden bei höheren Aussentemperaturen als die Absorbertemperatur die Konvektion der Abstrahlung entgegenwirkt, so dass die Kombination verschiedener Kühlverfahren oder ein Zusatzkälteerzeuger notwendig wird.

Aufgrund des passiven Kühlbetriebs, der nur Hilfsenergieeinsatz erfordert, werden in den Simulationen abhängig von der abgeführten Kühlenergie gute Werte der Arbeitszahl von 10-15 erreicht.

Für die Auslegung der Komponenten lässt sich Folgendes ableiten:

- Je nach Wetterbedingungen werden in den Simulationen mit TABS im Sommer Kühlleistungen während der Nachtstunden von im Mittel $50 \text{ W/m}^2_{\text{Koll}}$ mit Spitzenwerten von $100 \text{ W/m}^2_{\text{Koll}}$ erreicht.
- Eine Kühlleistung grösser als $50 \text{ W/m}^2_{\text{Koll}}$ wird beim Wetterdatensatz Zürich Meteoschweiz normal während rund 70% der Nachtstunden von Mai bis September, bei Zürich warm in 50% der Nachtstunden, bei Wetterdatensatz Lugano in ca. 40% der Nachtstunden überschritten.
- Eine Dimensionierung des Kühlsystems auf hohe Vorlauftemperaturen verlängert die Betriebszeiten und erhöht damit die Deckungsgrade des passiven Kühlbetriebs über die Aussenflächen.

- Hinsichtlich der Ausrichtung der Fläche ist eine hohe Einstrahlzahl zum Himmel vorteilhaft, die am besten mit einer Dachintegration zu bewerkstelligen ist.
- Anders als bei alternativen passiven Kühlverfahren (z.B. Erdreich) lassen sich keine garantierten Kühlleistungen angeben, da sich abhängig von der Wettersituation bei bewölktem Himmel und hohen Umgebungstemperaturen ähnlich der Nachtlüftung auch Situationen ohne Kühlpotenzial ergeben können.
- Mit einer Anpassung des Massenstroms lässt sich, ähnlich wie bei der thermischen Solarenergienutzung nach high-flow und low-flow Konzept, das Verhältnis von abgegebener Energie und erreichbarer Kollektor-Austrittstemperaturen anpassen. Die aktivierten Flächen sind dabei so zu dimensionieren, dass sich bei Sollmassenströmen Austrittstemperaturen einstellen, die nicht wesentlich unter der zu erwartenden Umgebungstemperatur (Wetterdaten des Standorts) liegen.

Bei Warmwasser-Wärmebedarf ergeben sich Synergien im Sommerbetrieb, da sich die Aussenflächen tagsüber auch zur Wärmeerzeugung (Vorwärmung) nutzen lassen. In Bezug auf eine Integration eines winterlichen Heizbetriebs bestehen allerdings gegenläufige Tendenzen hinsichtlich optimalem Neigungswinkel sowie einer allfälligen selektiven Beschichtung. Bei Betrieb des Kollektors unter der Frostgrenze mit Wasser-Glykol ist zudem eine Einbindung über einen Wärmetauscher notwendig, die den Deckungsgrad des Kühlbetriebs aufgrund des Temperaturabfalls vermindert. Für eine allfällige Einbindung über einen Wärmetauscher sollte dieser daher auf eine möglichst niedrige Grädigkeit dimensioniert werden.

Nationale Zusammenarbeit

Es besteht bisher keine nationale Zusammenarbeit. Im Rahmen der Parametervariationen in Etappe 4 und der Auswertung in Etappe 5 werden die Potenziale der Kühlung über Aussenflächen in diesem Projekt bewertet und damit eine Grundlage erarbeitet, die Industrieunternehmen präsentiert werden kann.

Internationale Zusammenarbeit

Es besteht keine internationale Zusammenarbeit.

Bewertung 2010 und Ausblick 2011

In 2010 wurde die Marktrecherche verfügbarer Komponenten abgeschlossen und die Anforderung an Gebäude und System definiert. Daraus wurden mögliche Systeme für den Einsatz von wassergeführten Systemen in Wohn- und Verwaltungsgebäuden abgeleitet. Die notwendigen Komponenten wurde anhand von in der Literatur dokumentierten Ansätzen modelliert und in die Simulationsumgebung Matlab-Simulink implementiert.

In der verbleibenden Zeit werden die Parametervariationen und die Bewertung abgeschlossen und im Schlussbericht dokumentiert. Mit Hilfe des Schlussberichts sollen dann Hersteller aus der Solar- und Baubranche kontaktiert werden, für die die Anwendung interessant sein könnte. In Abhängigkeit der Reaktion von potenziellen Industriepartnern wird ein Folgeprojekt möglichst mit Vermessung einer Feldanlage konzipiert.

Referenzen

- [1] SN EN 12975-2: **Thermische Solaranlagen und ihre Bauteile - Kollektoren - Teil 2: Prüfverfahren**, Deutsche Fassung EN 12975-2:2006, Schweizerische Normen-Vereinigung, Winterthur, CH.
- [2] E. Frank: **Modellierung und Auslegungsoptimierung unabgedeckter Kollektoren für die Vorerwärmung von offenen Fernwärmenetzen**, Dissertation, kassel university press GmbH, 2007, DE.
- [3] B. Perers: **An improved dynamic solar collector model including condensation and asymmetric incidence angle modifiers**, Proceedings Eurosun 2010, 29.-30 Oktober 2010, Graz, AT.
- [4] J.A. Duffie, W. A. Beckman: **Solar Engineering in Thermal Processes**, 3rd Edition, Hoboken Wiley, 2006, US.
- [5] Yannas, X., Erell, E., Molina, J.: **Roof cooling techniques**, Earthscan, 2006, UK.
- [6] SIA Merkblatt 2024: **Standard-Nutzungsbedingungen für die Energie- und Gebäudetechnik**, Ausgabe 2006, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverband, Zürich, CH
- [7] SIA Merkblatt 2028: **Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik**, Ausgabe 2008, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverband, Zürich, CH
- [8] SIA 382/1: **Lüftungs- und Klimaanlage – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen**, Ausgabe 2007, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverband, Zürich, CH