MODELLIERUNG EINES BÜRORAUMES MIT MULTIFUNKTIONELLER FASSADE

M. A. Waser[1], H. Schranzhofer[1], R. Heimrath[1], T. Mach[1], W. Streicher[1],
H. Wascher,[2] und M. J. Mueller,[2]
[1]Institut für Wärmetechnik, Graz University of Technology, Österreich
Tel: +43-316-873-7301, Fax: +43-316-873-7305
E-Mail: office.iwt@tugraz.at Homepage: http://www.iwt.tugraz.at
[2]Hans Höllwart – Forschungszentrum für Integrales Bauwesen AG, Stallhofen
E-Mail: office@fibag.at Homepage: http://fibag.at/

KURZFASSUNG

In diesem Beitrag werden detaillierte Ansätze für eine thermische Simulation eines Büroraumes mit einer multifunktionellen Fassade vorgestellt. Der Büroraum, inklusive der Wechselwirkung zwischen Gebäude und der in die Fassade integrierten Anlagenkomponenten, wird in der Simulationsumgebung TRNSYS 17 (Transsolar, 2009) abgebildet.

Wesentliche Komponenten sind hier die thermischen Fassadenkollektoren, die unterschiedlichen photovoltaischen Systeme (opake PV und in die Verglasung integrierte semitransparente PV), elektrochrome Verglasungen und das dezentrale Fassadenlüftungsgerät.

Ein derartig multifunktionelles System wurde im Rahmen des laufenden österreichischen Comet K-Projektes „Multifunctional Plug & Play Facade“ (im weiteren kurz MPPF) in Stallhofen am Hans Höllwart - Forschungszentrum für integrales Bau-wesen AG (FIBAG) inklusive des Büroraumes aufgebaut und mit Messtechnik versehen.

Die Modellierung wird den dort vorgegebenen Rahmenbedingungen unterworfen.

ABSTRACT

This paper shows a concept of a detailed thermal simulation of an office room equipped with a multifunctional façade. The thermal roomzone and its interaction with the multufunctional modules are built up in the software package TRNSYS 17.

The multifunctional modules which are placed in the façade are a thermal solar panel, an opaque photovoltaic panel, semitranparental photovoltaic cells built in a glazing, an electrochromic glazing and a hvac module.

Such a system was built up at the ‘Hans Höllwart - Forschungszentrum für integrales Bauwesen AG’ (FIBAG) researchlab. It is part of the five year project Multifunctional Plug & Play Façade (MPPF).

For the simulation model the parameters of the real prototype were used as boundary conditions.

MULTIFUNKTIONELLE PLUG & PLAY FASSADE - MPPF

Das Ziel des K-Projektes MPPF ist die Entwicklung einer Technologieplattform für eine multifunktionelle Fassade in Modulbauweise mit einem möglichst hohen Vorfertigungsgrad für den Neubau von größeren Gebäuden sowie die Renovierung von bestehenden Objekten. (Detailinformation siehe Streicher et al., 2009, Schranzhofer et al., 2009, Streicher et al., 2008).

Neben den klassischen Funktionen einer Gebäudehülle soll die MPPF zusätzliche Aufgaben folgender Themengebiete erfüllen:

- Raumklimatisierung (HLK)
- Künstliche Beleuchtung über die Fassade
- Energiebereitstellung durch Photovoltaik und Solarthermie und deren Verteilung
- Steuerung und Regelung der einzelnen Komponenten

Das Projekt befindet sich im 3. Projektjahr und es wurde bereits eine Prototypenfassade am Standort Stallhofen realisiert. Der Büroraum hinter dieser Fassade stellt die Grundlage für die im Folgenden beschriebene thermische Simulation dar.

BESCHREIBUNG DER MPPF PROTYPENFASSADE

Die multifunktionellen Komponenten wurden in eine bestehende Fassade des Bürogebäudes der FIBAG integriert. Zwei Räume in zwei Stockwerken stehen für das Projekt zur Verfügung, wobei nur im zweiten Geschoß MPPF Module eingebaut wurden. Der Büroraum im ersten Geschoß dient als Referenz. Abbildung 1 zeigt die Flächenaufteilung der installierten Elemente in der multifunktionellen Prototypenfassade. Die Fassade besteht aus einer Pfosten-Riegel-Konstruktion, welche in Ihrer Standardvariante abwechselnd opake Elemente, Fixverglasungen und Fensterelemente trägt.

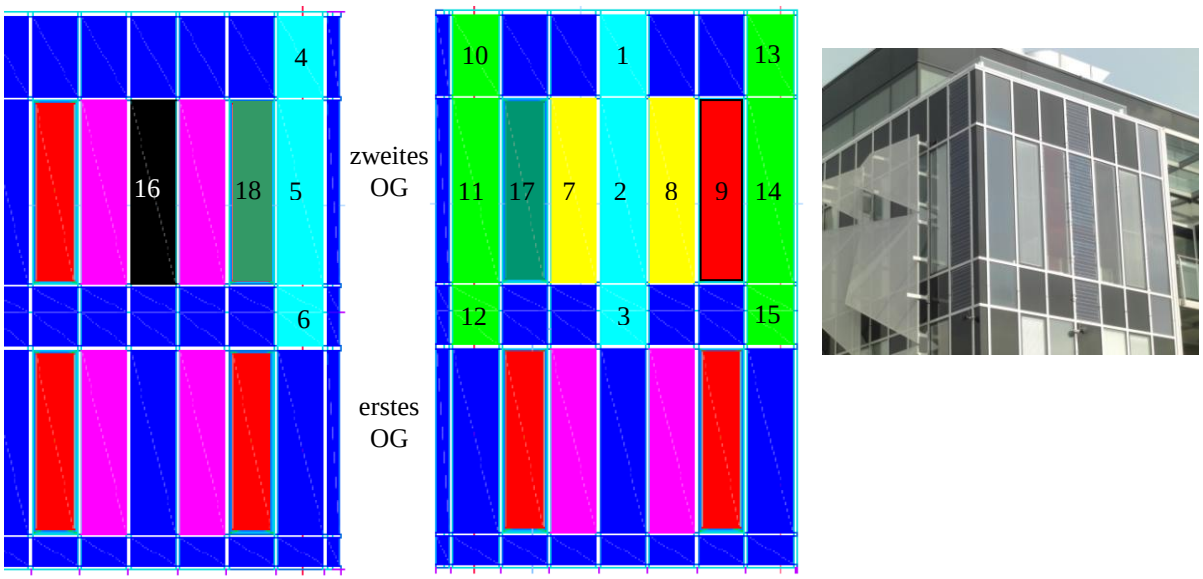

Abbildung 1: Flächenaufteilung der Prototypenfassade (links Westfassade, mitte Südfassade) und Außenaufnahme der Prototypenfassade (rechts). Blau: opake Paneele, gelb: Fixverglasung mit Photovoltaik (7-8), rot: Fenster, cyan: opak mit Photovoltaik (1-6), grün: solarthermisches Modul (10-15), schwarz: HLK-Modul (16), dunkelgrün: elektrochrome Verglasung (17 und 18), magenta: Fixverglasung mit Verschattung (9) (Quelle: MPPF).

Bei der MPPF-Variante wurden in der Südfassade anstatt der opaken Module zwei solarthermische Kollektoren (grün), sowie opake Photovoltaikmodule (cyan) verbaut. Um die vorhandene Fassadenfläche besser zu nutzen wurden diese Komponenten zusätzlich auch in den kleineren Zwischenmodulen auf Höhe der Geschoßdecken bzw. des Daches verbaut. Anstatt der normalen Fensterelemente und der Fixverglasung wurden zwei elektrochrome Gläser (dunkelgrün), sowie zwei Glaselemente mit integrierter PV (gelb) eingebaut. Das dezentrale Lüftungsgerät (schwarz) wurde ebenso wie ein weiteres opakes PV-Modul und eine elektrochrome Verglasung auf der Westfassade integriert. Der Grundriss des Büroraumes ist in Abbildung 2 zu sehen.

AUFBAU DES BÜRORAUMES MIT GOOGLE SKETCHUP

Für die Simulation wird das Programmpaket TRNSYS 17 verwendet. Diese seit November 2009 erhältliche Version ermöglicht es erstmals dreidimensionale Gebäudegeometrien einzulesen und zu verarbeiten. Über das PlugIn Trnsys3d können in Google SketchUp konstruierte Modellgeometrien in TRNSYS verwendet werden. Vorteil der 3D-Gebäudedaten ist die verbesserte Berücksichtigung der externen Verschattung, der Direkt- und Diffusstrahlungsverteilung sowie des langwelligen Strahlungsaustausches zwischen internen Flächen.

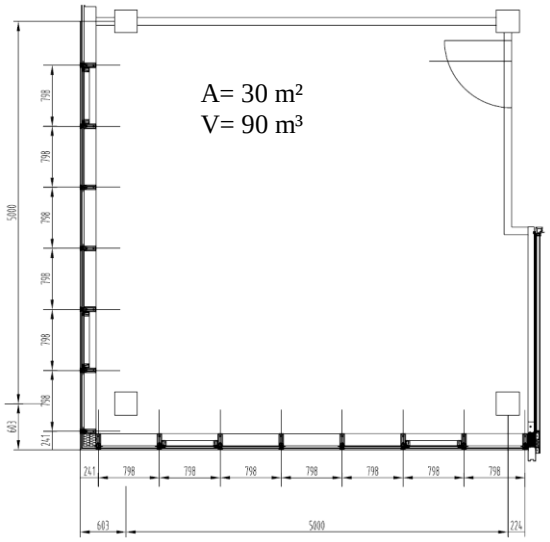

Abbildung 2: Grundriss des zu untersuchenden Büroraumes. Links Westfassade, unten Südfassade (Quelle: MPPF)

Die Nutzung dieser in TRNSYS 17 implementierten Verbesserungen ist jedoch mit Einschränkungen in der Modellierung der Gebäudegeometrie verknüpft. Die Simulation der internen Strahlungsverteilung ist nur für konvexe Geometrien möglich (siehe Abbildung 3) (Trnsys3d Tutorial 2009). Weiters können bisher keine Wärmebrücken im 3D-Modus berücksichtigt werden.

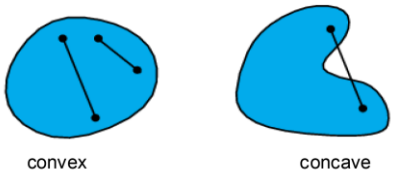

Abbildung 3: Vergleich zwischen konvexer und konkaver Geometrie (Quelle: Transsolar 2009).

Modellierung der Standardfassade

Der Büroraum wurde in Google SketchUp anhand seiner Innenmaße gezeichnet. Aufgrund der oben beschriebenen Einschränkungen wurde die Grundfläche des Büroraumes als Reckteck modelliert. Der Büroraum hat einen aufgeständerten Boden und eine abgehängte Decke, welche als eigene Zonen modelliert wurden. Abbildung 4 zeigt das erste einfache SketchUp Modell samt Schattenwurf an einem Nachmittag im September.

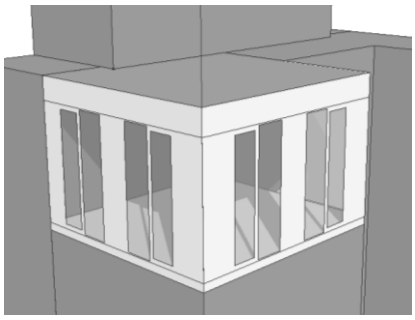

Abbildung 4: 3-Zonen SketchUp Modell ohne MPPF (links Westfassade, rechts Südfassade).

Modellierung der MPPF

Von der Standardvariante ausgehend wurden die einzelnen Module in das Modell integriert, um die MPPF abzubilden. Da die Module neben ihrer Funktion als Anlagenkomponeten im wesentlichen auch Wandaufbauten darstellen, sind die thermischen Vorgänge im Inneren dieser Module von Interesse. Ein solarthermischer Kollektor kann bei hoher solarer Einstrahlung in Stagnation gehen. Dies stellt an die Anlage selbst keine neuen Anforderungen. Für die Betrachtung als Wandaufbau sind Stagnationstemperaturen inmitten der Wandschicht jedoch von hohem Interesse. Gleiches gilt für das dezentrale Lüftungsgerät. Im Winterbetrieb saugt, das HLK-Gerät an der Fassade Außenluft an. D.h. man hat im Inneren dieser "Wand" Lufttemperaturen von z.B. -12 °C.

Um diese Auswirkungen auf das thermische Gebäudeverhalten und den Energiebedarf darstellen zu können wurden die solarthermischen Kollektoren als eigene Zonen modelliert. Da das dezentrale Lüftungsgerät unterschiedliche Temperaturzonen besitzt, wurden für die Modellierung sechs Zonen verwendet. In Abbildung 5 ist das HLK Modul und das daraus abgeleitete Zonenmodell dargestellt.

Im Betrieb wird kalte Außenluft an der Unterseite des Moduls angesaugt und bis zur Wärme- und Feuchterückgewinnung (WFRG) transportiert. Die warme Raumluft wird raumseitig im oberen Bereich angesaugt und ebenfalls zur WFRG geleitet. Nach der Wärmerückgewinnung wir die vorgewärmte Außenluft (Zwischenluft) zur Nachheizung geleitet und dort auf die Zulufttemperatur erwärmt. Die abgekühlte Abluft wird an der Außenseite im oberen Bereich an die Umgebung abgeführt.

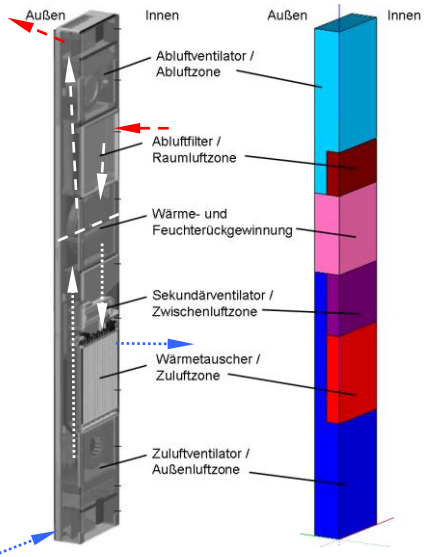

Abbildung 5: HLK-Gerät und daraus abgeleitetes Zonenmodell (Quelle: LTG 2009, eigene Nachbearbeitung).

Da die einzelnen Zonen außen an den Büroraum grenzen, haben diese somit einen Einfluss auf die externe Verschattung. Um diesen Einfluss zu minimieren, wurden die Zonen in SketchUp sehr dünn (1cm) gezeichnet. Die dadurch fälschlicherweise berechneten Volumina wurden jedoch nachträglich auf die korrekten Werte korrigiert.

Abbildung 6 zeigt das 11-Zonen Modell mit allen integrierten MPPF Komponenten.

SIMULATIONSRANDBEDINGUNGEN

Büro mit Standardfassade

Für die Standardfassade wurde die Berechung des U-Wertes nach Norm (ÖNORM EN 13947, 2007) angewendet. Die Verschattung des Büroraumes erfolgt durch innenliegende Jalousien. Die Regelung erfolgt über eine Kombination aus Belegungszeiten des Büroraumes und der Strahlungssumme auf die Fassadenfläche. Gleiches gilt für die Steuerung des Kunstlichtes. Die inneren Wärmeeinträge sind auf ein 3-Personen Büro mit PC-Arbeitsplätzen ausgelegt. Der Büroraum hat

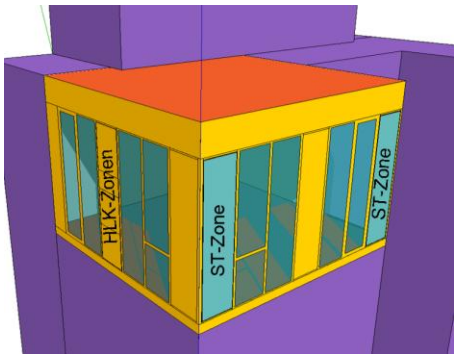

Abbildung 6: SketchUP Modell mit allen MPPF-Komponenten (HLK-Zonen und Solarthermie-Zonen, links Westfassade, rechts Südfassade).

eine Infiltration von 0,1 h^{-1}. Während den Belegungszeiten wird konditionierte Frischluft mit einem Luftwechsel von 1,3 h^{-1} eingebracht. Dies entspricht der Luftwechselzahl die ein derartiges HLK-Gerät erreichen kann. Die hier an-genommenen Werte und Regelparameter stammen aus der Haustechnikauslegung des Gebäudes oder wurden sinnvoll gewählt.

Büro mit MPPF

Ausgehend von der Modellierung des Büroraumes mit der Standardfassade wurde diese in die einzelnen Modulflächen unterteilt. Anschließend wird jeder Einzelfläche das entsprechende Modul (Solarthermie und HLK) samt Wandaufbau zugewiesen. Die opake PV wird nur als Wandaufbau betrachtet. Die in die Verglasung integrierten Photovoltaikzellen werden sich im Betrieb deutlich erwärmen. In der Gebäudesimulation wurden diese Elemente als Verglasung mit interner fixer Verschattung interpretiert. Die elektrochromen Gläser verfügen auf der Innenseite über eine Wärmeschutzverglasung. Die Erwärmung der Glasscheibe ist Außen zu erwarten. Daher wurde im Simulationsmodell für diesen Fall eine externe Verschattung angenommen. Zusätzlich benötigen diese Gläser ca. 15 Minuten um ihre volle Verschattungswirkung zu erlangen. Dies wurde mit Hilfe eines Tot-Zeit-Gliedes modelliert.

Wie bereits erwähnt werden die solarthermischen Kollektoren mit je einer eigenen Zone und das HLK-Gerät mit sechs Zonen abgebildet. Um den Temperaturverlauf in den Zonen zu berücksichtigen wird zusätzlich zur Gebäudesimulation eine Anlagensimulation des thermischen Kollektors sowie des HLK Gerätes durchgeführt. Für die Anlagensimulation wurde im ersten Schritt einfache Komponenten verwendet. Sie dienen in diesem Fall hauptsächlich der Ermittlung der Temperaturen für die Gebäudesimulation und nicht der Berechnung von Energiemengen.

Die thermische Kollektorzone besteht aus einer Außenfläche welche nur aus einer einfachen Glasfäche besteht. Wie bereits erwähnt muss der Kollektor in SkechUp sehr dünn gezeichnet werden, um den Einfluss der Eigenverschattung vernachlässigen zu können. Die Mantelfläche der Kollektorzone wurde für den Wärmeaustausch vernachlässigt. Das Zonenvolumen entspricht dem Kollektorvolumen und musste nachträglich korrigiert werden. Mit diesem Aufbau kann der Stagnationsfall des Kollektors simuliert werden, da der Zone (sprich dem Kollektor) abgesehen von den Verlusten in die Umgebung und den Raum, keine weitere Energie entzogen wird. Vergleichsrechnungen mit dem Kollektorsimulationsprogramm Kolektor 2.2 (Matuska et al., 2010) haben gezeigt, dass gute Übereinstimmungen der Oberflächentemperaturen im Stagnationsfall erzielt werden. Um den Wärmeeintrag der thermischen Anlage in den Wandaufbau zu berücksichtigen wird aus der Anlagensimulation die mittlere Absorbertemperatur benötigt. Auf diesen Temperaturverlauf wurde die Kollektorzone konditioniert.

Ähnlich wurde beim HLK-Modul vorgegangen. Als Betriebsfall wird der Außenluftbetrieb mit 120 m³/h (entspricht einem Luftwechsel von 1,3 h^{-1}) aus dem Datenblatt ausgewählt. Für die Simulation der Temperaturen nach der Wärme- und Feuchterückgewinnung wird der TRNSYS Type Sensible Air to Air Heat Recovery verwendet. Die Wandaufbauten bestehen im wesentlichen aus gedämmten Aluminiumpaneelen. Die internen Wärmegewinne der Ventilatoren mit einer Leistung von je 27 Watt werden in der Zone Aussenluft und Abluft berücksichtigt. Für jede der sechs Zonen wird ein eigener Ventilationstyp in TRNBuild definiert. Dieser hat im Betriebsfall einen Luftvolumenstrom von 120 m³/h und die jeweilige Zonentemperatur als Randbedingung. In der Zone “Zuluft“ wird die Nachheizung der HLK-Anlage simuliert. Unabhängig von der tatsächlichen Leistung des HLK-Moduls wird hier die Luft auf die geforderte Einblasetemperaturen konditioniert. Außerhalb der Betriebszeiten der HLK-Anlage entspricht diese einem konventionellen Wandaufbau.

SIMULATIONSERGEBNISSE

Für den Vergleich zwischen Standardfassade und der Prototypenfassade mit MPPF-Modulen wurde eine Jahressimulation durchgeführt. Der verwendete Wetterdatensatz wurde mit dem Programm Meteonorm V4 (Meteotest 2002) für den Standort Stallhofen generiert. Die daraus resultierende Energiebilanz wurde in Gewinne (linke Säule) und Verluste (rechte Säule) unterteilt. Auf der Gewinnseite werden solare Erträge, interne Ge-

winne, Heizung, Infiltrationsgewinne, Lüftungsgewinne und Transmissionsgewinne bilanziert. Auf der Verlustseite werden Transmissionsverluste, Infiltrationsverluste, Lüftungsverluste und die Kühlung erfasst. Die beiden Balken müssen über das Jahr gesehen gleich groß sein. Abbildung 7 zeigt den Vergleich der Standardfassade als 3-Zonen-Modell (wie in Abbildung 4) und der Prototypenfassade als 11-Zonen Modell mit allen MPPF-Modulen (wie in Abbildung 6). Trotz der unterschiedlichen Aufbauten und verwendeten Komponenten ist in diesem Vergleich kaum ein Unterschied zu sehen. Auf der Ertragsseite unterscheiden sich die solaren Erträge nur um 1 %.

Dies liegt daran, dass einerseits die Empfangsfläche bei beiden Varianten gleich groß ist und großteils mit einer internen Verschattung simuliert wurde. Die elektrochrome Verglasung wurde zwar als externe Verschattung angenommen, jedoch ist der Abschattungsgrad geringer. Dies und die als fixe interne Verschattung angebrachte semitransparenten PV, vermindert den solaren Eintrag um ca. 3 kWh/(m²*a). Gründe für den generell sehr hohen spezifischen Solareintrag von ca. 265 kWh/(m²*a) sind die interne Verschattung und der hohe Glasanteil der Fassade.

Die Transmissionsverluste durch die Außenwände sind für beide Varianten ebenfalls annähernd gleich. Das bedeutet, dass die MPPF über ähnliche Wärmedämmeigenschaften wie die Standardfassade verfügt.

Die Ventilationsverluste sind bei der Variante mit HLK-Gerät etwas geringer. Dies liegt an der unterschiedlichen Eingabe der Luftwechselzahl. Das HLK-Modul saugt im Betrieb konstant 120 m³/h (entspricht einem Luftwechsel von 1,3 h^{-1}). Abhängig von der Außenluftdichte ergibt dies unterschiedliche Massenströme. Beim 11-Zonen Modell wird aufgrund der Anlagensimulation mit Massenströmen gerechnet. Das 3-Zonen Modell rechnet hingegen der Einfachheit halber mit einer konstanten Luftwechselzahl von 1,3 h^{-1}.

Charaktaristisch für eine Büroraum mit einer Fassade mit hohem Glasanteil ist, dass der Kühlbedarf meist höher als der Heizbedarf ist. Durch den Einbau von MPPF-Modulen erhöht sich der Kühlbedarf in diesem Szenario geringfügig.

Neben der Energiebilanz, die hier kaum nennenswerte Unterschiede liefert, ist die thermische Behaglichkeit von hohem Interesse. Oftmals befinden sich die Arbeitsplätze im Bereich der Außenwände. Große Temperaturschwankungen der Wandoberflächen werden als unbehaglich empfunden und müssen vermieden werden. Durch den Einbau der MPPF-Module sind vor allem die Wandflächen hinter den solarthermischen Kollektoren und der PV bezüglich Überhitzung, sowie die Oberflächentemperaturen des HLK-Gerätes im Winterbetrieb, von Interesse. Der generierte Wetterdatensatz hat eine Kälteperiode von 24. bis 26. Jänner. Die dabei auftretenden Oberflächentemperatuen an der Innenseite der außenluftansaugenden HLK-Zone sind in Abbildung 8 abgebildet. Im Vergleich dazu ist die Oberflächentemperatur an der Innenseite der Standardfassade zu sehen. Die grüne gepunktete Linie stellt den Verlauf der Außenluft dar. Sie erreicht ihr Jahresminimum in dieser Zeit mit ca. -17 °C. Die blaue Linie zeigt die Lufttemperatur in der außenluftansaugenden HLK Zone. Gut erkennbar sind die Betriebszeiten der HLK-Anlage. Zum Zeitpunkt der kältesten Außenlufttemperatur geht das HLK-Gerät in Betrieb. Dadurch hat die Luft in dieser Zone kurzzeitig eine Temperatur von ca. -15 °C. Dies ergibt an der Innenoberfläche der HLK-Zone eine Wandtemperatur von ca. 4 °C. (erkennbar an der violetten Linie).

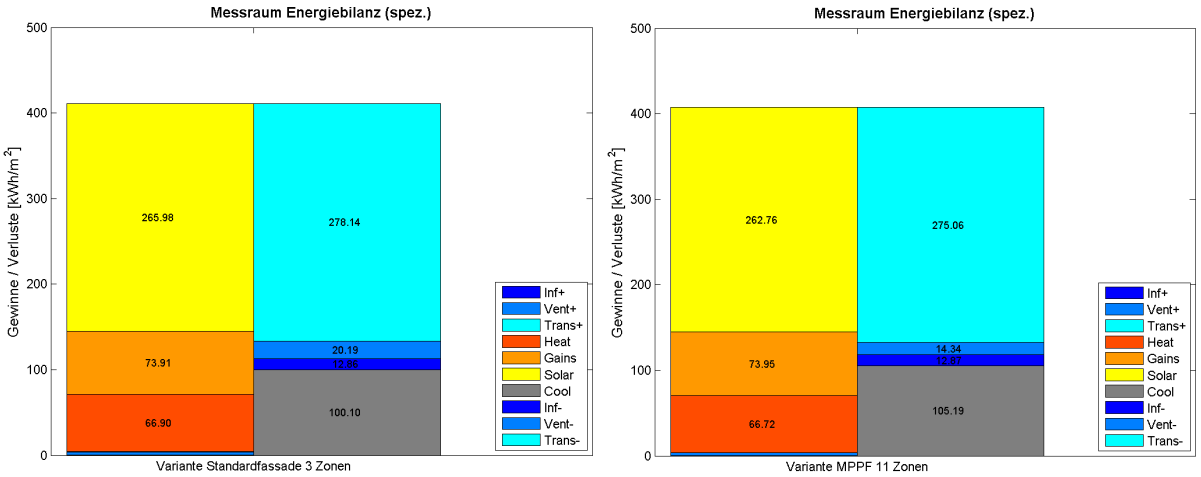

Abbildung 7: Vergleich der spezifischen Energiebilanz des Büroraumes mit Standardfassade (links) und MPPF-Fassade als 11-Zonen-Modell (rechts)

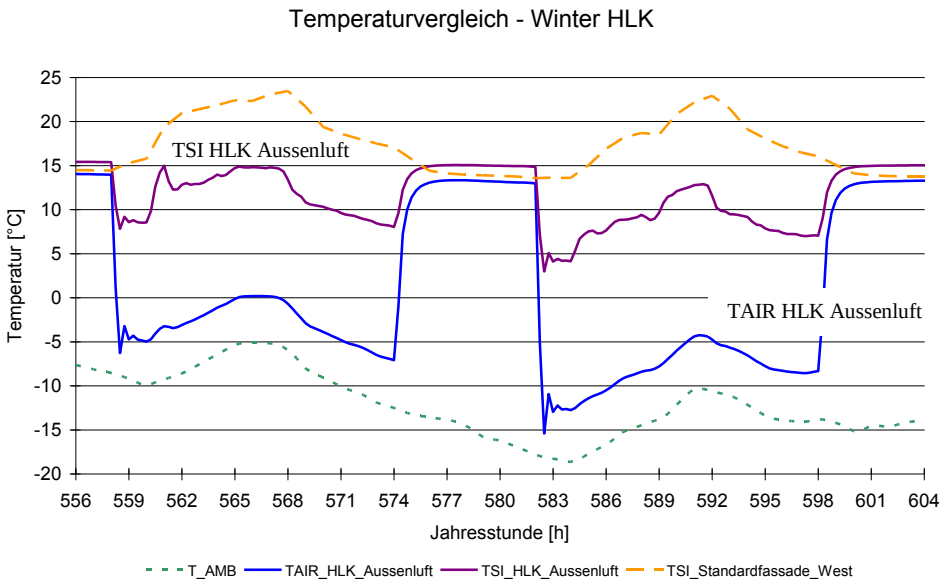

Abbildung 8: Vergleich der Oberflächentemperatur am HLK-Gerät mit der Oberflächentemperatur der Standardfassade von 24.01. 04:00 Uhr bis 26.01. 04:00 Uhr

Diese niedrigen Temperaturen an der Innenoberfläche der Fassade sind einerseits für den Benutzer sehr unangenehm und haben andererseits Kondensation an der Wandoberfläche zur Folge. Im Vergleich dazu ist die Oberflächentemperatur der Standardfassade mit West Ausrichtung als orange strichlierte Linie dargestellt. Sie beträgt zum Zeitpunkt der kältesten Außenlufttemperatur ca. 14 °C und liegt somit 10 K über der Temperatur am HLK-Gerät.

Im Sommerfall ist der Temperaturverlauf an der Innenobefläche des solarthermischen Kollektor-Fassaden-Modules von wesentlichem Interesse (vor allem im Stagnationsfall). Abbildung 9 zeigt dazu den Temperaturvergleich zwischen Standard und MPPF Fassade. Dieser Tag (07.09. 0:00 Uhr bis 08.09. 0:00 Uhr) liegt in einer Schönwetterperiode in der ersten Septemberwoche. Kurz nach Sonnenaufgang beginnt die Temperatur an der Absorberoberfläche stark anzusteigen. (blaue Linie). Bereits am Vormittag geht die Anlage aufgrund des durchgeladenen Speichers kurzzeitig in Stagnation und erreicht beinahe 120 °C. Dies hat natürlich Auswirkungen auf die Oberflächentemperatur an der Innenseite des Kollektor-Fassaden-Modules. Wie an dem violetten Kurvenverlauf (TSI Kollektor) erkennbar, erreicht die Temperatur ihr Maximum kurz nach dem Stagnationszustand der Anlage mit ca 37 °C. Nachdem die direkte Solarstrahlung ab dem Nachmittag aufgrund der Gebäudeverschattung nicht mehr am Absorber auftrifft, nimmt die Oberflächentemperatur kontinuierlich ab und fällt erst gegen 17:00 Uhr unter 30 °C. Zu diesem Zeitpunkt erreicht die Außenlufttemperatur ihr Maximum bei ca. 27 °C . Die Standardfassade erreicht auf der selben Position ein maximales Temperaturniveau von ca. 28 °C und ist somit wiederum ca. 10 K kühler.

Einfluss des neuen Strahlungsmodells in TRNSYS 17

Von zusätzlichem Interesse ist der Einfluss des neuen dreidimensionalen Strahlungsmodells, welches erstmals in TRNSYS 17 verwendet werden kann. Dazu wurde der Büroraum mit seinen 11 Zonen mit dem bisherigen Strahlungsmodell simuliert. Abbildung 10 zeigt die Energiebilanz unter Verwendung des alten Strahlungsmodells. Die Aufteilung der Strahlung im inneren einer Zone wird hier entweder flächengewichtet oder über die Eingabe sogenannter Geosurf Faktoren bestimmt. In diesem Fall wurde die Strahlung flächen-gewichtet aufgeteilt.

Im Vergleich zum neuen Strahlungsmodell in TRNSYS 17 ergibt sich mit dem alten Strahlungsmodell TRNSYS 16 ein um 10 % höherer Eintrag an solaren Gewinnen. Bedingt durch den erhöhten Strahlungseintrag steigen der Kühlbedarf um 15 % und die Transmissionsverluste um 4 % an. Der verminderte solare Eintrag bei Verwendung des neuen Strahlungsmodells in TRNSYS 17 beruht auf der Berücksichtigung der Gebäudeeigenverschattung, welche, im Gegensatz zu TRNSYS 16, durch die Verwendung von Trnsys 3d für Google SketchUp sehr einfach realisiert werden kann.

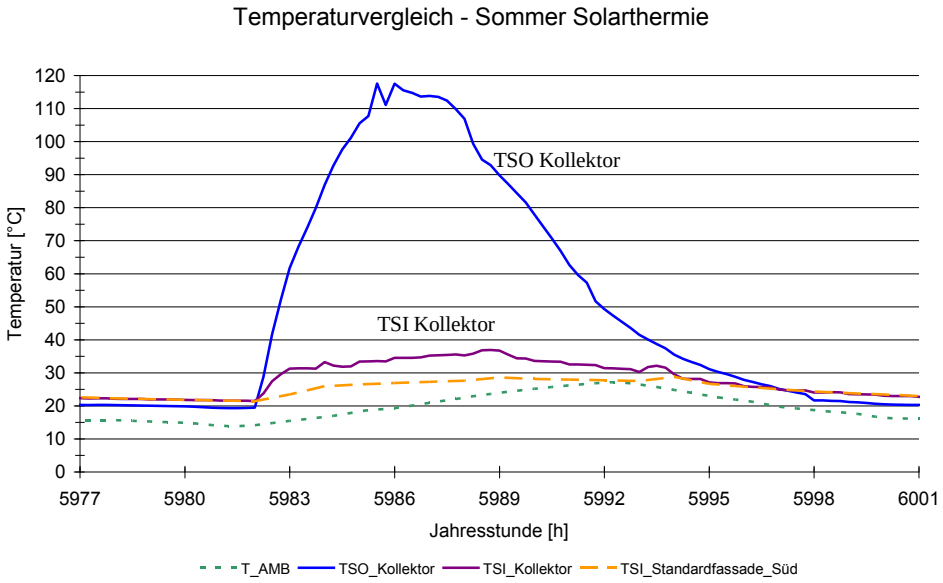

Abbildung 9: Vergleich der Oberflächentemperaturen an der Innenseite des Kollektor-Fassaden-Modules mit der Oberflächentemperatur an der gleichen Position der Standardfassade von 07.09. 0:00 Uhr bis 08.09. 0:00 Uhr

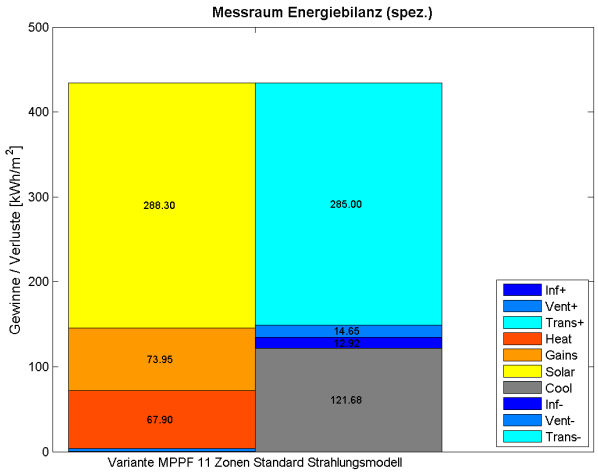

Abbildung 10: Energiebilanz der MPPF-Variante mit 11 Zonen unter Verwendung des einfachen Strahlungsmodells

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Diese Arbeit zeigt Ansätze und Ideen für die detaillierte thermische Modellierung einer multifunktionellen Fassade mit Büroraumes. Im weiteren Verlauf des Projektes müssen die einzelnen Modelle auf ihre Plausibilität überprüft und bei Bedarf verbessert werden.

Für den Vergleich zwischen Messung und Simulation ist es notwendig, die tatsächlichen Randbedingungen (Klimadaten, Nutzungsprofile) im Vergleichszeitraum zu erfassen.

Wichtige Regelparameter (Verschattungssteuerung, Kunstlichsteuerung), die aufgrund fehlender Messung oder Informationen noch angenommen werden, müssen in das derzeitige Messkonzept aufgenommen, oder in Erfahrung gebracht werden.

Trotz des noch nicht mit der Messung validiertem Simulationsmodells (im Prototypen sind derzeit erst wenige Messstellen in Betrieb), können bereits jetzt Paramaterstudien durchgeführt, und für die weitere Entwicklung von MPPF-Modulen herangezogen werden.

Das Ziel der Fassadenentwicklung muss unter Anderem darin liegen, in der MPPF Fassade gleichwertige oder sogar behaglichere Oberflächentemperaturen der Fassadeninnenseite im Vergleich zu einer konventionellen Fassade zu erreichen. Hierfür kann das aufgestellte Simulationsmodell nach seiner Validierung eingesetzt werden.

DANKSAGUNG

Das Projekt MPPF (Projektnummer 815075) wurde im Rahmen des Comet-Programmes gefördert. Besonderer Dank gilt den Fördergebern, insbesondere der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG).

LITERATUR

LTG Aktiengesellschaft, 2009, Technischer Prospekt, abgerufen von http://www.ltg-ag.de/

Matuska, T., Zmrhal, V., 2010, Software tool KOLEKTOR 2.2, available from http://www.fsid.cvut.cz/

Meteotest 2002, Meteonorm, V 4, Bern, Schweiz, http://www.meteonorm.com/

ÖNORM EN 13947, 2007, Waermetechnisches Verhalten von Vorhangfassaden - Berechnung des Wärmeduchgangskoeffizienten, Wien, Österreich

Schranzhofer, H., Streicher, W., Mach, T., Mueller, M. J., 2009 MULTIFUNCTIONAL PLUG & PLAY FACADE (MPPF) K-PROJEKT (COMET PROGRAMM), 19. Symposium Thermische Solarenergie, Bad Staffelstein, Deutschland

Streicher, W., Mueller, M. J., 2009. Multifunktionelle Plug & Play Fassade (MPPF) / K-Projekt (Comet Programm), Erneuerbare Energie - Zeitschrift für eine nachhaltige Energiezukunft, Band 2 2009, AEE-Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie, Gleisdorf, Österreich

Streicher, W., Mueller, M. J., 2008. Multifunktionelle Plug & Play Fassade (MPPF) / K-Projekt (Comet Programm), 10. Symposium Energieinnovation, Graz, Österreich

Transsolar 2009, TRNSYS 17.00.0008TS, Transsolar Energietechnik GmbH, Stuttgart Deutschland, http://www.transsolar.com/

Trnsys3d Tutorial 2009, TRNSYS 17 Dokumentation, Transsolar Energietechnik GmbH, Stuttgart, Deutschland, http://www.transsolar.com/