

# Entwicklung eines Energiespar-Fensters mit regelbarer Abschattungsvorrichtung (i-Solar Control)

## Teilprojekt: Predictive Component Control: Entwicklung einer prädiktiven Betriebsführungsstrategie für die Steuerung von regelbaren Energiespar-Fenstern

**Projekt:** Entwicklung eines Energiespar-Fensters mit regelbarer Abschattungsvorrichtung (i-Solar Control)

**Laufzeit:** 01.06.2014 bis 31.08.2016

**Gesamtprojektkosten:** 172.707,74 €

**Davon Förderung:** 173.677,00 €

**Projektleiter:**

Prof. Dr.-Ing Arno Dentel

Institut für Energie und Gebäude

Technische Hochschule Nürnberg

Georg Simon Ohm

Wärmeschutz, lokale Energieproduktion und eine effiziente Klimatisierung sind Eckpfeiler für eine ausgeglichene Energiebilanz auf Gebäudeebene. Gleichzeitig sind diese Rahmenbedingungen Gegenstand der EU-Gebäuderichtlinie 2010, welche einen Schlüsselfaktor für die Energiewende in der europäischen Union darstellt. Eine entscheidende Komponente der Gebäudehülle stellt dabei das Fenster dar.

Das Verbundvorhaben i-Solar Control hat einen Prototyp eines energieeffizienten Fensters mit integriertem Verschattungssystem entwickelt und aktiv in die Gebäuderegulation eingebunden.

## Ziele

Ziel des Vorhabens war es, ein Dreischeiben-verglastes Passivhausfenster mit integrierter Beschattungseinrichtung zu realisieren. Darüber hinaus galt es im Teilprojekt eine Steigerung der Energieeffizienz, insbesondere eine Minimierung des Kälteenergiebedarfs des Gebäudes, bei gleichzeitiger Gewährleistung von thermischer und visueller Behaglichkeit zu ermöglichen.

## Projektverlauf

Im Projekt wurde ein Energiesparfenster mit integrierter Beschattungsvorrichtung entwickelt. Das Energiespar-Fenster besteht dabei aus einer innenliegenden Dreifachwärmeschutzverglasung und einer außenliegenden Einfachverglasung, die als Witterungsschutz dient. Das Kernstück des Fensters bilden drei selektivbeschichtete, textile Sonnenschutzbehänge, die sich im Zwischenraum der Fensterkonstruktion befinden. Die Sonnenschutzbehänge wurden vom Hohenstein Institut für Textilinnovation entwickelt und sind mit einer Funktionsbeschichtung von  $1 \text{ g/m}^2$  Indiumzinnoxid ausgestattet. Mittels der infrarotaktiven Beschichtung wird Wärmestrahlung zu großen Teilen reflektiert, während sichtbares Licht hauptsächlich transmittiert, also durchgelassen wird. Dies ermöglicht unter anderem eine Reduzierung von unerwünschter Sonneneinstrahlung im Sommer bei gleichzeitiger Nutzung von Tageslicht. Durch die Kombination mehrerer Sonnenschutzbehänge wird ein flexibler Abminderungsfaktor ( $F_c$ -Wert) erreicht. Es erfolgte sowohl eine praktische Umsetzung an einem Labordemonstrator als auch die Integration in ein Demonstrationsgebäude. Hierfür wurde sowohl ein Messtechnikkonzept für den Labordemonstrator als auch für ein Funktionsmonitoring des Fensters (Feldversuch) und ein Gebäudemonitoring erstellt.

Die Durchführung einer Systemanalyse geschah dabei mithilfe von thermisch energetischen Gebäudesimulationen und Tageslichtsimulationen.



Abb.1: Messungen am Labordemonstrator des Energie Campus Nürnberg. Foto: Kurt Fuchs/EnCN

Im weiteren Projektverlauf wurden neue Strategien für eine effiziente Steuerung des Sonnenschutzes untersucht:

1. Hysterese-Steuerung mit variablen monatlichen Grenzwerten, die mittels einer numerischen Optimierung für einen Büroraum berechnet werden
2. Steuerung in Abhängigkeit der solaren Einstrahlung und der Außentemperatur
3. Modellbasierte Steuerung in Abhängigkeit der solaren Einstrahlung und der Außentemperatur

Alle drei Ansätze haben die Steuerung in Abhängigkeit der solaren Einstrahlung und in direkter (für die variablen Monatswerte in indirekter) Abhängigkeit der Außentemperatur gemein. Der Sonnenschutz ist je nach Randbedingungen bereits bei geringer solarer Einstrahlung (ca.  $50 \text{ W/m}^2$ ) aktiv. Dies führt zu einer Vermeidung solarer Gewinne in sonnenreichen Monaten und damit verbunden zu einer Reduktion des Kühlenergiebedarfs. Aufgrund der relativ geringen solaren Einstrahlung ist es jedoch wichtig, dass der Sonnenschutz möglichst viel Tageslicht in den Raum lässt.

Nach der Entwicklung des Prototyps wurde das Energiespar-Fenster in das Demonstrationsgebäude integriert und ein erstes Funktionsmonitoring wurde durchgeführt. Das Funktionsmonito-

ring des Prototypen beinhaltete die Messung der äußeren Umgebungsbedingungen und die Erfassung des Raumklimas über einen Multifunktionsdeckensensor des Industriepartners ACX GmbH. Zusätzlich wurden die Schaltzustände der Motoren, auf die die Sonnenschutzbehänge gewickelt sind, aufgezeichnet. Das Gebäude war dabei mit einer geothermischen Wärmepumpe ausgestattet, die die Erdwärme über sieben Grabenkollektoren bezieht. Zur Temperierung des Gebäudes wurde ein Deckenheiz-/Deckenkühlflächensystem genutzt. Für das Demonstrationsgebäude wurde ein umfangreiches Gebäudemonitoringkonzept geplant. Des Weiteren wurde zusammen mit dem Projektpartner Variotec ein Konzept für eine separate Temperaturvermessung der Grabenkollektoren ausgearbeitet. Hierbei lag der Fokus auf dem Vergleich eines Grabenkollektors, der unter Pflastersteinen verlegt wurde, und eines Grabenkollektors, der unter Rasen verlegt wurde. Über eine Temperaturmessung im Vor- und Rücklauf beider Kollektoren und die zugehörigen Volumenströme können die Entzugsleistungen berechnet werden. Außerdem wurden Erdreichtemperaturen an den Kollektorflächen und im ungestörten Erdreich gemessen, um Rückschlüsse auf den Einfluss der Kollektoren auf die Erdreichtemperatur ziehen zu können. Sowohl eine Hysterese-Steuerung als auch der Algorithmus der im Projekt neu entwickelten modellbasierten Steuerung wurden für die praktische Anwendung aufbereitet und von der ACX GmbH in die Automation des Labordemonstrators beziehungsweise des Demonstrationsgebäudes implementiert. Hierbei wurde zudem eine grafische Benutzeroberfläche der Steuerung für den Anwender entwickelt. Die Messtechnik für das Funktionsmonitoring des Energiespar-Fensters und die Temperaturvermessung der Erdkollektoren des Demonstrationsgebäudes wurde installiert und zur Erfassung der Messdaten an einen Server der ACX GmbH angeschlossen. Bis November 2016 konnten Messdaten für den Zeitraum vom 15.09.2016 bis 13.10.2016 aufgezeichnet und ausgewertet werden. Diese Messdaten wurden dann in einer SQL-Datenbank gespeichert.

## Ergebnisse

Durch die praktische Umsetzung eines ersten Entwurfs des Energiespar-Fensters im Labordemonstrator konnten wichtige Erkenntnisse für den Feldtest gewonnen werden. So konnte die Montage der Motoren, auf die die Sonnenschutzbehänge gewickelt sind, die Installation der Messtechnik, die Konfiguration sowie der Test der Steuerung oder der Umgang mit der Microsoft SQL-Datenbank bestimmt werden. Aus den durchgeführten simulativen Untersuchungen zu den drei Strategien für eine effiziente Steuerung des Sonnenschutzes ließen sich folgende Eigenschaften ableiten:

- keine jährlich konstanten Grenzwerte zur Steuerung des Sonnenschutzes, sondern:
  - variable monatliche Schwellwerte (Hysterese-Steuerung)

Projektleiter

Prof. Dr.-Ing Arno Dentel

Telefon: 0911/ 5880-3121

E-Mail: arno.dentel@th-nuernberg.de

Institut für Energie und Gebäude

Technische Hochschule Nürnberg

Georg Simon Ohm

www.th-nuernberg.de

- oder Steuerung in Abhängigkeit der Intensität und der Außentemperatur
- Sonnenschutzzeigenschaften:
  - flexibler Abminderungsfaktor (im Sommer kleiner, im Winter größer)
  - hohe Transmission des Tageslichts (Reduzierung Energiebedarf für künstliche Beleuchtung und für Kühlen)

Im simulativen Vergleich der Steuerung zu den untersuchten Standardvarianten konnte der Energiebedarf mit den neu entwickelten Strategien gesenkt werden. Es konnte gezeigt werden, dass im Vergleich zur Standardlösung ca. 15 % Heizenergie und 28 % Kühlenergie mit den i-Solar-Fenstern gespart werden können.

## Fördergeber

Gefördert durch:



## Projektpartner aus der Wissenschaft



## HOHENSTEIN



## Projektpartner aus der Industrie

ACX GmbH

BavarianOptics GmbH

Faltenbacher Jalousienbau GmbH & CO. KG

VARIOTEC GmbH & CO. KG