



Neues Forschungsmodul in Horw zum Projekt «Das perfekte Haus».

# Forschungsmodul für «Das perfekte Haus»

**Vielseitiges Labor für Gebäudesysteme** | Das Entwickeln von innovativen Lösungen ist ein Kernziel des Projektes «Das perfekte Haus» der Hochschule Luzern. Ein neues Forschungsmodul ermöglicht nun solche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Mit seinen virtuellen Bauteilen, die Untersuchungen von Leicht- bis Massivbauten zulassen, ist es selbst eine Innovation.

MARKUS KOSCHENZ, FRANK GUBSER

**D**as Projekt zielt nicht auf «das» einzige perfekte Haus ab, sondern stellt vielmehr einen Denkansatz dar. Am Anfang steht immer die Frage: Über welche Funktionalitäten müssen Gebäude, technische Systeme oder Komponenten verfügen, damit die gestellten Aufgaben im Sinne des Menschen perfekt gelöst werden können. Es geht um das Festlegen der gewünschten Funktionalität in einem Pflichtenheft. Zwänge

und Einschränkungen werden in diesem Schritt vorerst ignoriert, damit innovative Lösungen nicht bereits zu diesem Zeitpunkt verworfen werden. Basierend auf dem Pflichtenheft wird identifiziert, welche Technologien bereits bestehen und was weiter oder neu entwickelt werden muss. Während dem Entwicklungsprozess der perfekten Lösung werden digitale Instrumente, beispielsweise Simulationen, aber auch Experimente im

realen Raum mit Menschen eingesetzt. Dazu wurde im Rahmen des Projektes das nachfolgend beschriebene Forschungsmodul entwickelt und gebaut.

Finanziert wird das Projekt durch eine grosszügige Spende des HSLU-Alumnus Leo Looser aus Bad Ragaz. Er hat ermöglicht, dass am Departement Technik & Architektur in Horw während mindestens zehn Jahren daran geforscht werden kann. Der Ingenieur

und Unternehmer absolvierte vor rund 60 Jahren am damaligen «Technikum» in Luzern die Ausbildung zum Gebäudetechnikingenieur.

### Thermische Masse

Der Wärmeeintrag durch Sonneneinstrahlung, durch Personen, Geräte sowie Heiz- und Kühlsysteme verändert die Raumtemperatur. Diese beeinflusst den Raumkomfort und das Behaglichkeitsempfinden der Menschen. Wie der Wärmeeintrag die Raumtemperatur verändert, hängt massgeblich von der thermischen Masse der Raumumschliessungsflächen ab. Massive Bauteile ändern ihre Temperatur weniger stark als leichte Bauteile. Bei Ersteren tritt eine starke Dämpfung der Temperaturamplitude sowie eine Phasenverschiebung gegenüber dem zeitlichen Auftreten des Wärmeeintrags auf. Dies hat einen Einfluss auf den Heiz- und Kühlleistungsbedarf zur Sicherstellung eines akzeptablen Raumklimas und verändert auch das Regelverhalten des Raumes.

### Was man baut, misst man

Bisher war die Bauweise eines Forschungsmoduls – Massiv- oder Leichtbau – auch mit einer bestimmten thermischen Trägheit verbunden: In einem thermisch trägen Raum waren keine Experimente mit Leichtbau möglich und umgekehrt. Der haushälterische Umgang mit Bauressourcen zwingt uns jedoch dazu, die Materialwahl und den Materialverbrauch zu hinterfragen: Was können die unterschiedlichen Bautypen bezüglich Raumkomfort, Energie- und Materialverbrauch leisten? Wie sind sie am besten kombinierbar? Welche Gebäudetechniksysteme und welcher Bautyp interagieren am besten miteinander?

Um solche Fragen zu beantworten, muss die Bauweise des Forschungsmoduls ohne grosse bauliche Eingriffe an die jeweiligen Aufgabenstellungen angepasst werden können.

### Virtuelle Bauteile im realen Forschungsmodul

Mit der Wärmeleitungsgleichung – einer partiellen Differenzialgleichung – kann der zeitabhängige Temperaturverlauf an der Oberfläche und innerhalb eines beliebigen Bauteilaufbaus, bei einem zeitlich variierenden Wär-



**Bild 1** Rückseite eines Wandelementes aus Aluminium mit integrierten Kapillarrohren (Beka) und Dämmung.



**Bild 2** Frontansicht eines Wandelementes mit integrierten Kapillarrohrmatten in einem der zwei Forschungsräume.

meffluss, berechnet werden. Gelingt es also, den Wärmefluss – der beispielsweise durch die Personen, die Sonne oder Geräte entsteht – an einer realen Oberfläche im Raum laufend zu messen, kann die zeitlich variierende Oberflächentemperatur durch das Lösen der Differenzialgleichung berechnet werden. Wird die so ermittelte Oberflächentemperatur umgehend auf die reale Oberfläche im

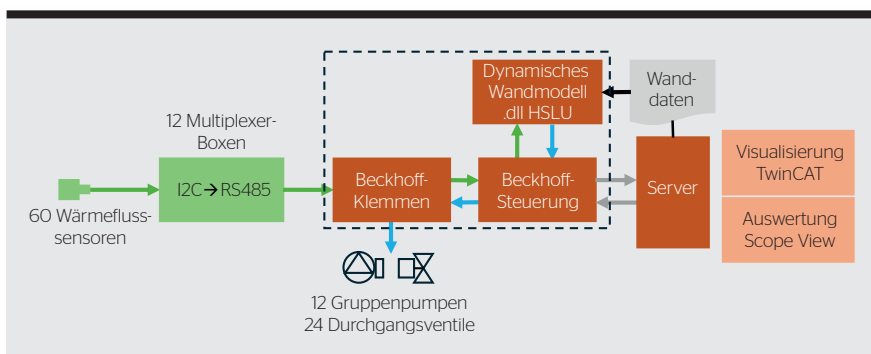
Raum übertragen, verhält sich der Raum so, wie wenn der berechnete Bauteilaufbau physisch vorhanden wäre. Dadurch ist die Untersuchung der Interaktion der Gebäudetechnik mit unterschiedlichen Bauweisen ohne physischen Umbau des Forschungsmoduls möglich.

Um diese Idee zu verwirklichen, verfügt das Forschungsmodul über speziell entwickelte Aluminiumelemente

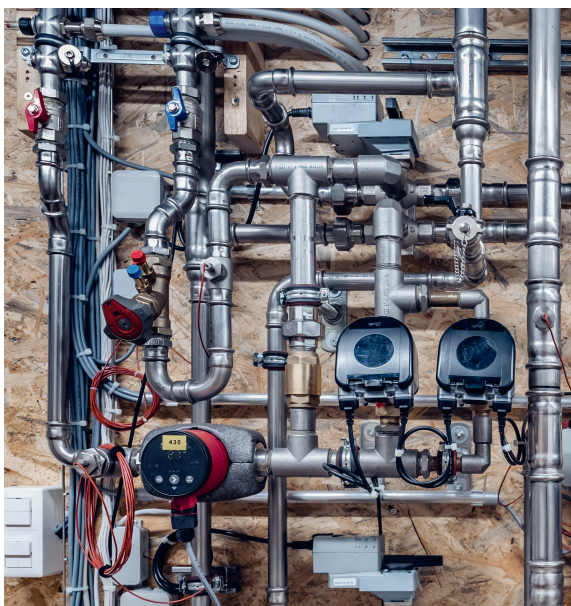


**Bild 3** Im Forschungsmodul sind sechzig 30 x 30 x 3 mm grosse Wärmefluss-sensoren auf alle Raumflächen verteilt installiert.

mit wasserdurchflossenen Kapillar-rohren (Bild 1). Dies sind gezogene Aluminiumprofile mit integrierten Vertiefungen für die Aufnahme der Kapillarrohrmatten. Die 24 cm breiten Elemente verfügen über eine Nut-Kamm-Verbindung und sind demon-tierbar. An den raumseitigen Oberflächen der Wandelemente (Bild 2) sind die Wärmeflussensoren (Bild 3) ange-bracht. Sie messen den Wärmefluss und übermitteln ihn an das Rechen-modell, das dynamische Wandmodell. Dieses ermittelt die jeweiligen Ober-flächentemperaturen, indem es die Differenzialgleichung löst. Es sendet die Werte in Form von Sollwerten an einzelne Regler, die die Heiz- und Kühlventile so regeln, dass die errechneten Oberflächentemperaturen umgehend auf den mit Wasser durch-flossenen Aluminiumelementen erreicht werden. So spürt der Raum die unterschiedlichen Bauteiltypen, ohne dass diese real vorhanden sein müssen.



**Bild 4** Systemübersicht zur Integration der Wärmeflussensoren und des dynamischen Wandmodells in die Gesamtsteuerung.



**Bild 5** Ansicht der Hydraulik für eines der zwölf Wandsysteme bestehend aus der Gruppenpumpe, den zwei Durchgangventilen und dem Sechswegegelhahn Heizen/Kühlen.

## Dynamisches Wandmodell und Wärmeflussensoren

Das dynamische Wandmodell ist eine an der Hochschule Luzern entwickelte C++-Anwendung, welche die beschriebene partielle Differenzialgleichung löst. Die Software in Form einer DLL wurde direkt in die Beckhoff-Automatation integriert. Eine Konfigurations-datei enthält den durch die Anwenden veränderbaren Bauteilaufbau der zwölf Raumumschliessungsflächen. Die Beckhoff-Automatation kommuniziert mit dem dynamischen Wandmodell über ein ADS-Protokoll (Automation Device Specification).

Die eingesetzten thermoelektrischen Wärmeflussensoren der Firma Greenteg, mit einem Trägermaterial aus Polyamid, sind mit einem sehr dünnen doppelseitigen Klebeband auf die Aluminiumplatten aufgebracht. Eine Steckverbindung ermöglicht das Entfernen der Sensoren bei einem Umbau der Wandelemente.

Die Sensoren sind über I2C mit speziell entwickelten Multiplexer-Boxen verbunden. In der Box wird die Kommunikation von I2C auf RS485 umgestellt. Dieses Signal wird von der Beckhoff-Automatation ausgelesen (Bild 4).

## Anlagenhydraulik der virtuellen Bauteile

Die vom dynamischen Wandmodell kontinuierlich berechneten Oberflächentemperaturen werden durch die Regelung mit Durchgangventilen laufend über die wasserdurchflossenen Kapillarrohrmatten auf den Raumboflächen nachgeführt. Jedes Wandsystem verfügt über einen eigenen Wasserkreis mit zugehöriger Pumpe. Bei einem Wärmeeintrag an der Oberfläche verändern unterschiedliche Bauweisen ihre Oberflächentemperatur unterschiedlich stark und schnell. Um diesem Verhalten Rechnung zu tragen, wird für jedes Wandsystem ein Ventil mit grossem und eines mit kleinem Regelbereich eingesetzt. Zusätzlich wird die Wärmeflussrichtung (Wärmefluss ins Bauteil: Heizen; Wärmefluss aus dem Wandsystem: Kühlen) auf Basis der Messungen durch die Wärmeflussensoren mit je einem Sechswegegelhahn gesteuert. Bild 5 zeigt die im Forschungsmodul verbaute Technik und Hydraulik.

### Visualisierung und Interaktion

Die Anlagenvisualisierung und Interaktion mit den Nutzenden erfolgt via der plattformunabhängigen Web-Lösung TwinCAT-HMI. Die Anlagenvisualisierung umfasst die zwölf virtuellen Wandsysteme sowie die Lüftungsanlage, die Wärme- und Kälteversorgung für die Experimente und die Anbindung an das Wärme- und Kältenetz der HSLU.

Für die Überwachung der Anlagenparameter und die Auswertung der Messresultate wird TwinCAT-Scope eingesetzt. Das Auswerteelement ermöglicht die Auswertung der physischen und virtuellen Datenpunkte.

### Forschungsmodul als Plattform für vielfältige Untersuchungen

Das Forschungsmodul bietet viele Möglichkeiten für die Durchführung von unterschiedlichen Forschungs-, Dienstleistungs- und Ausbildungsprojekten im Bereich Energie- und Ressourcenverbrauch, Behaglichkeit sowie Automation. Es können beispielsweise unterschiedliche Wärme- und Kälteabgabesysteme, Lüftungssysteme, Beleuchtungssysteme, Beschattungssysteme aber auch Raumautomations- und Regelsysteme untersucht und (weiter)entwickelt werden. Durch die rasch veränderbare

Gebäudemasse lässt sich beispielsweise das daraus resultierende, unterschiedliche Regelverhalten sichtbar machen. Mit dem Standort auf dem Dach des Laborgebäudes kann auch die Wirkung des Aussenraums auf die Menschen in die Untersuchungen einbezogen werden.

#### Autoren

Prof. **Markus Koschenz** ist Dozent am Institut für Gebäudetechnik und Energie der HSLU.  
→ HSLU, 6048 Horw  
→ markus.koschenz@hslu.ch

**Frank Gubser** ist Senior Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Gebäudetechnik und Energie der HSLU.  
→ frank.gubser@hslu.ch

#### RÉSUMÉ

### Module de recherche pour « La maison parfaite »

Un laboratoire polyvalent pour les systèmes des bâtiments

Le développement de solutions innovantes constitue l'un des objectifs principaux du projet «Das perfekte Haus» (« La maison parfaite ») de la Haute école de Lucerne. Le projet ne vise pas à créer « la » maison parfaite, mais plutôt à proposer une approche conceptuelle.

Au départ, la première question à se poser est toujours la suivante : de quelles fonctionnalités les bâtiments, les systèmes techniques ou les composants doivent-ils disposer pour que les tâches qui leur sont assignées puissent être parfaitement remplies dans l'intérêt des utilisateurs ? À ce stade, les contraintes et les restrictions, liées par exemple à l'espace disponible ou au financement, sont dans un premier temps ignorées afin de ne pas écarter trop tôt des solutions innovantes. Les technologies existantes ainsi que celles qui doivent être développées ou perfectionnées sont alors identifiées en se basant sur le cahier des charges.

Le processus de développement de la solution parfaite repose non seulement sur l'utilisation d'outils numériques – des simulations par exemple –, mais aussi sur des expériences avec des utilisateurs dans des espaces réels. Il est

ainsi possible de modifier le comportement lié à la masse du bâtiment de manière calculatoire. Pour ce faire, les conditions environnementales extérieures sont mesurées par de nombreux capteurs et reproduites, en fonction de la masse simulée, à l'intérieur d'un module de recherche développé et construit dans le cadre du projet. Ce module offre de nombreuses possibilités pour la réalisation de projets de recherche, de prestation de services et de formation dans les domaines de la consommation d'énergie et de ressources, du confort et de l'automatisation. Il est ainsi possible d'étudier, de développer et de perfectionner différents systèmes de chauffage et de refroidissement, de ventilation, d'éclairage et d'ombrage, mais aussi des systèmes d'automatisation et de régulation des locaux. La possibilité de modifier la masse du bâtiment rapidement permet, par exemple, de visualiser différents comportements de régulation. L'emplacement du module de recherche sur le toit du laboratoire permet également d'intégrer dans les études l'influence de l'environnement extérieur sur les personnes.

## Datendienstleistungen für Energieversorger



### Wir unterstützen EVU/VNB kompetent in den Bereichen:

- Mess- und Energiedatenmanagement (Strom, Gas, Wärme, Wasser)
- Metering und Zählerfernauslesung
- Visualisierung, Auswertung und Reporting
- Energieprognosen, Energieabrechnung von EVG / ZEV / vZEF / LEG
- Datenschutz und Datensicherheit (ISO 27001 zertifiziert)
- Arbeitsunterstützung und Support

### Sysdex AG

Im Schörli 5  
CH-8600 Dübendorf

Tel. 044 537 83 10

www.sysdex.ch

NEUTRAL



SICHER



ZUVERLÄSSIG