Energie sparen mit lernfähiger Fassade

Autor(en): **Schlüter, Arno / Nagy, Zoltán / Rossi, Dino**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin.ch : Fachzeitschrift und Verbandsinformationen von Electrosuisse, VSE = revue spécialisée et informations des associations Electrosuisse, AES**

Band (Jahr): **105 (2014)**

Heft 8

PDF erstellt am: **04.06.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-856277

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Energie sparen mit lernfähiger Fassade

Soft-Robotics-Forschungsprojekt der ETH Zürich

Gebäude tragen mit rund 50 % zum Schweizer Endenergieverbrauch bei. Da zur Beheizung von Häusern oft fossile Energieträger eingesetzt werden, sind die CO_2-Emissionen heute noch entsprechend hoch. Eine an der ETH Zürich entwickelte, auf Soft-Robotics-Elementen basierende Fotovoltaik-Fassade könnte die Energienutzung in Gebäuden durch adaptive Abschattung und Solarstromerzeugung optimieren. Sie ist sogar in der Lage, vom Verhalten der Bewohner zu lernen.

Arno Schlüter, Zoltán Nagy, Dino Rossi

Aus thermodynamischer Sicht strebt der Innenraum eines Gebäudes stets einen Gleichgewichtszustand mit dem Aussenraum an. Der Zustand des Innenraumes wird im Wesentlichen durch die Benutzer bestimmt, der Aussenraum durch das Wetter sowie das Mikroklima um das Gebäude. Beide Zustände sind dynamisch – sie verändern sich während des Tages und mit den Jahreszeiten.

Fassade als Schnittstelle

Die Gebäudefassade trennt und verbindet innen und aussen. Sie bestimmt wesentlich, wie viel Energie benötigt wird, um den Innenraum in einem komfortablen Zustand zu halten. Konkret: Wie viel Wärme zugeführt werden muss, um die Wärmeverluste zu kompensieren, bzw. wie viel Wärme abgeführt werden soll, um Wärmeeinträge auszugleichen.

Die meisten heutigen Fassaden werden dieser Dynamik kaum gerecht; sie sind statisch und reagieren nicht auf die sich verändernden inneren und äusseren Zustände. Somit sind sie nicht in der Lage, die Potenziale auszuschöpfen, die sich aus den wechselnden Bedingungen ergeben – Potenziale zur Verringerung des Energiebedarfs, zur Erzeugung von Energie sowie zur Verbesserung des Wohlbefindens der Nutzer.

An der Professur für Architektur und Gebäudesysteme der ETH Zürich arbeitet man an einer adaptiven Solarfassade, mit der diese Potenziale genutzt werden können. Das Projekt – das erste grossmassstäbliche Demonstrationsobjekt von Soft Robotics in der Architektur – kombiniert aktuelle Entwicklungen aus der Architektur, der Energietechnik und der Robotik. [1] Zentrale Komponenten sind dabei sehr leichte, bewegliche Fotovoltaik-Module, die auf einer leichten Tragstruktur vor die Gebäudehülle montiert werden. Sie sind gleichermassen für Neubauten und Sanierungen geeignet. Da sie leicht sind, können sie auch an Orten installiert werden, die für konventionelle, schwerere Solarsysteme ungeeignet sind.

Die Module erfüllen mehrere Funktionen: Sie können Strom erzeugen, verschatten, das Tageslicht lenken und die Aussicht steuern. Sensorwerte, eine Programmierung sowie manuelle Steuereingaben der Benutzer können für das Ausrichten der Module berücksichtigt werden.

Es ist möglich, die Module individuell, in Gruppen oder gesamthaft auszurichten (Rotation in zwei Achsen). Dies geschieht mit einem selbst entwickelten, weichen pneumatischen Aktuator, der durch Soft Robotics **(Kasten)** inspiriert wurde.

Beim Projekt geht es aber nicht nur um die Entwicklung der nötigen elektronischen, mechanischen und pneumatischen Hardware, sondern auch der Steuerung auf Modul-, Gruppen- und Fassadenebene. Diese soll automatisch agieren und zugleich lernfähig sein. Sie soll beispielsweise die Vorlieben des Nutzers erfassen oder die Anforderungen an eine bestimmte Raumnutzung. Die Fassade beginnt mit einem vorprogrammierten Verhalten und lernt kontinuierlich die Bedürfnisse der Nutzer im örtlichen und klimatischen Kontext kennen. Ohne sich dessen bewusst zu sein, trainieren die Nutzer so die Fassade, die sich künftig immer besser ihren Erwartungen und ihrem Verhalten anpasst. In früheren Forschungsprojekten, beispielsweise für die individuelle Steuerung von Kunstlicht, konnte gezeigt werden, dass diese Art der Anpassung nicht nur Strom spart, sondern auch den Komfort erhöht. [2]

Empa, Gramazio+Kohler

Bild 1 Rendering des Nest-Gebäudes mit adaptiver Fassade an der Empa.

Andreas Thoma

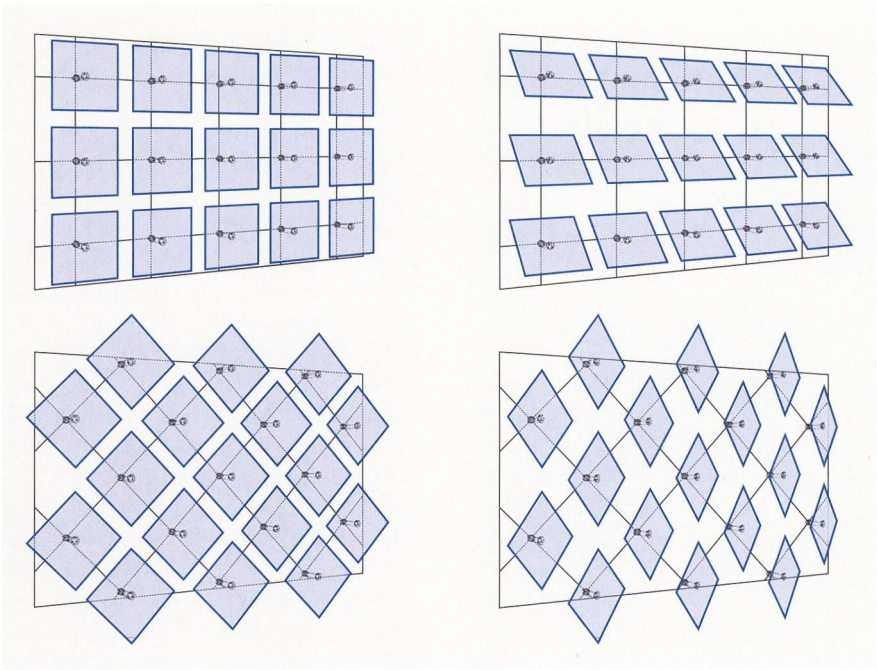


Bild 2 Designstudien der adaptiven Fassade mit verschiedenen Modulanordnungen.

Hintergrund

Soft Robotics

«Weiche Roboter» sind Roboter, deren Konstruktionsprinzipien von den optimierten Vorgängen der Natur inspiriert sind. Das Ziel ist die Entwicklung von einfachen Mechanismen, die eine bestimmte Aufgabe möglichst optimal ausführen. Die Roboter sind oft weich und somit ungefährlich für Menschen. Manche können deshalb auch im medizinischen und therapeutischen Bereich eingesetzt werden.
Das Spektrum der unter dem Begriff «Soft Robotics» zählenden Roboter ist sehr weit: Man findet beispielsweise aufblasbare Greifarmroboter, Tintenfischarme, die sich durch kleine Öffnungen quetschen und Arbeiten ausführen können oder plantoide Roboter, die mit flüssigkeitsbasierten Aktuatoren ins Erdreich dringen und Materialien extrahieren können.
Bulletin SEV/VSE 8 / 2013, S. 43

Die Fassade erzeugt nicht nur Strom, sondern kann Energie auch speichern: Bei einem Stromüberschuss wandelt die Fassade Strom in Druckluft um und speichert sie. Diese Druckluft kann später – bei schlechtem Wetter oder in der Nacht, wenn kein Strom erzeugt wird – für die Bewegung der Module verwendet werden.

Bezüglich architektonischer Wirkung ergibt sich ein interessantes, dynamisches Erscheinungsbild, da die Module auf die Veränderungen im Innen- und Aussenraum reagieren. Die Fassadenveränderungen geschehen über längere Zeiträume und sorgen für ein lebendiges, abwechslungsreiches Fassadenbild.

Aufbau der Module

Ein Prototyp eines Moduls wird in **Bild 3** gezeigt. Für die Sichtbarkeit ist hier die Solarzelle durch eine Kunststoffplatte ersetzt. Zukünftig soll eine hocheffiziente CIGS-Dünnschicht-Solarzelle (Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid-Zelle) auf einer dünnen Aluminiumplatte verwendet werden. Dadurch kann das Modul sowohl zur Stromerzeugung als auch zur Verschattung und Lichtlenkung eingesetzt werden.

Um der Sonne zu folgen oder die gewünschte Verschattung einzustellen, wird das Modul durch einen «weich-robotischen» Aktuator (engl. soft robotics; **Kasten**) mit drei Luftkammern geschwenkt **(Bild 4)**. Das Bewegungsprinzip beruht auf der Ausdehnung einer Kammer mit Druckluft. Die ungefüllten Kammern agieren ausdehungshemmend, was zu einer Neigung des Moduls führt. Der Zusammenhang zwischen dem Druck in der Kammer und der Modulneigung ist nicht linear und weist eine Hysterese auf (Unterschied zwischen Füllen und Leeren). Diese Eigenschaften stellen eine Herausforderung für die genaue Steuerung dar und sind Gegenstand unserer Forschung. [4]

Der Aktuator wird durch Abformen von flüssigem Silikon in einer Giessform hergestellt und anschliessend ausgehärtet. Im Labor können individuelle Giessformen mittels 3D-Druckens hergestellt werden, um verschiedene Aktuatoren schnell zu produzieren. Damit lassen sich Aktuatoren exakt gemäss den Spezifikationen dimensionieren und später kostengünstig in grosser Stückzahl durch einen Industriepartner herstellen.

Pneumatische Aktuatoren sind deutlich leichter als Elektromotoren und weisen eine wesentlich geringere Anzahl beweglicher Teile auf, was sie besonders für Fassadenanwendungen geeignet macht. Zudem erlaubt der pneumatische Antrieb einen weichen, natürlichen Bewegungsablauf für eine graduelle Veränderung der Fassade.

[4]

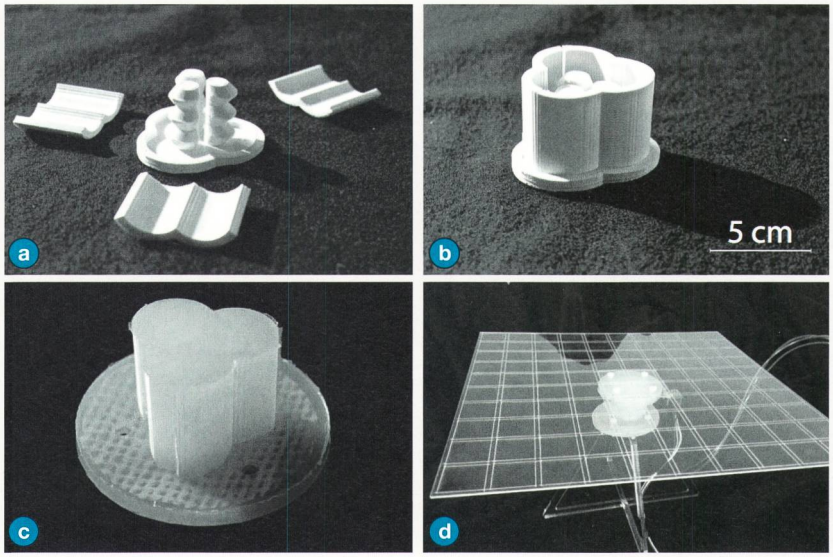


Bild 3 Prototyp eines Moduls. a) 3D-gedruckte Giessform, b) montierte Giessform, c) Aktuator aus Silikon, d) Modul mit Aktuator.

[4]

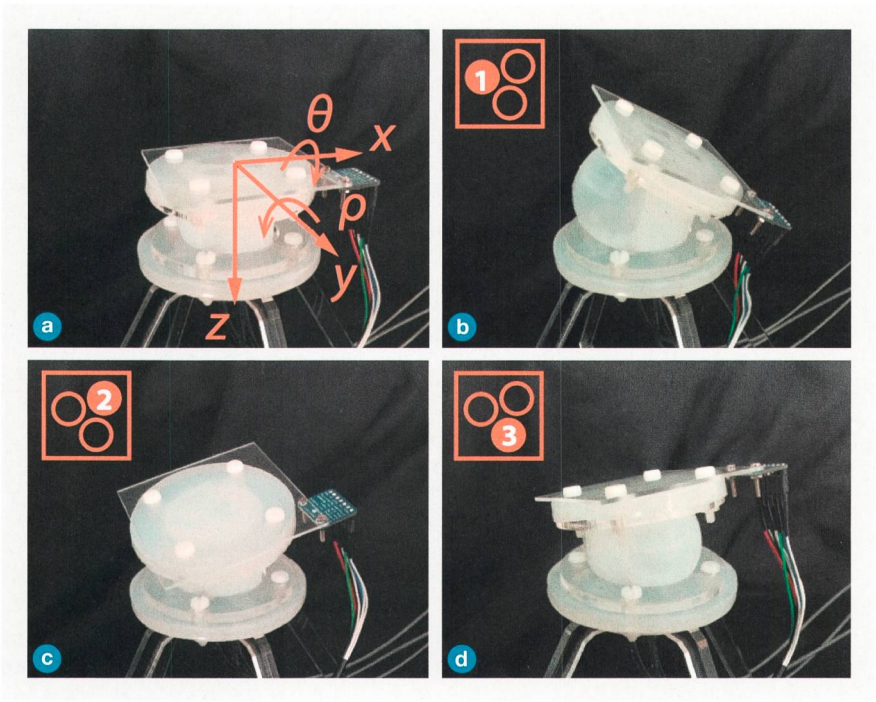


Bild 4 a) Der Aktuator hat drei Luftkammern und kann um zwei Winkel, θ und ρ, verdreht werden. b)–d) Verdrehung durch Druck in den Kammern 1–3.

Zusammenspiel mit Gebäudeautomation

Im Sinne eines Gesamtsystems kann die Fassade nicht isoliert betrachtet werden. Die Effizienz des Gesamtsystems kann am besten verbessert werden, wenn das Zusammenspiel mit anderen Systemen der Gebäudetechnik – Beleuchtung, Heizung, Belüftung – berücksichtigt wird. So kann die Sonneneinstrahlung über die Fassade genutzt werden, um Räume vorzuheizen. Teile der Fassade können verschatten, während andere Licht auf die Decke leiten und damit die künstliche Beleuchtung einsparen.

Mit parametrischen Simulationsstudien wurden hierfür unterschiedliche Zustände der Module für jede Stunde im Jahr untersucht, welche in einer Matrix optimaler Zustände für die maximale Reduktion von Heiz- und Kühlenergie resultieren (Bild 5). Dies verringert auch die «Lernzeit» der realen Fassade nach der Implementation und kann durch Nutzerinteraktionen und Messwerte aus der Gebäudeautomation weiter angepasst werden.

Die Forschung interessiert sich besonders für zwei Bereiche: einerseits für eine lernfähige, übergeordnete Steuerung der Raumklimasysteme in Verbindung mit der Fassadensteuerung, und andererseits für eine geeignete Eingabemöglichkeit für Nutzer (User Interface).

Im Bereich der lernfähigen Steuerungen für Gebäudetechnik gibt es bereits Vorgängerprojekte, unter anderem das «Neural Network House» der University of Colorado [4], oder das Neurobat-Projekt der ETH Lausanne (www.neurobat.net). Ein bereits verfügbares, kommerzielles Angebot im Bereich der Heizungssteuerung ist der Nest-Thermostat (www.nest.com).

Ebenfalls wesentlich für die Akzeptanz eines solchen Systems sind geeignete Mensch-Gebäude-Benutzerschnittstellen, um die Interaktion des Nutzers mit der Fassade möglichst unkompliziert und intuitiv zu machen. Nur durch das Feedback des Nutzers kann das System dazulernen und den Komfort kontinuierlich verbessern.

Implementierungen

Um die adaptive Fassade unter realen Bedingung erforschen zu können, werden in den nächsten zwei Jahren zwei Prototypen in sogenannten «Living Labs» implementiert. Bei diesen handelt es sich um Gebäude, die einerseits normal benutzt werden, z.B. als Büro oder Wohnung, und andererseits um Experimente zur Untersuchung von Innovationen am Bau in grossem Massstab.

Ein erster Prototyp der Fassade wird im «House of Natural Resources» (HoNR) der ETH Zürich realisiert. Das HoNR ist ein Bürogebäude auf dem Campus Hönggerberg, das als Pilotprojekt und Demonstrator für nachhaltige Technologien, z.B. mit Tragwerk aus Laubholz verwendet wird. Insgesamt beteiligen sich an diesem interdisziplinären Vorhaben sechs Professuren der ETH Zürich aus den Departementen Bauingenieurwesen (D-BAUG) und Architektur (D-ARCH).

Für die Untersuchung der adaptiven Fassade werden zwei identische, nach Süden ausgerichtete Büros gewählt. Vor einem dieser Büros wird die Fassade montiert, das andere Büro wird konventionell verschattet. Beide Fassadensysteme werden verglichen und ihre Eigenschaften im Zusammenspiel mit der Raumautomation analysiert. Der Fokus liegt dabei auf der energetischen Optimierung (z.B. Solarstromgenerierung, Tageslichtmaximierung) im Zusammenspiel mit dem Benutzerkomfort.

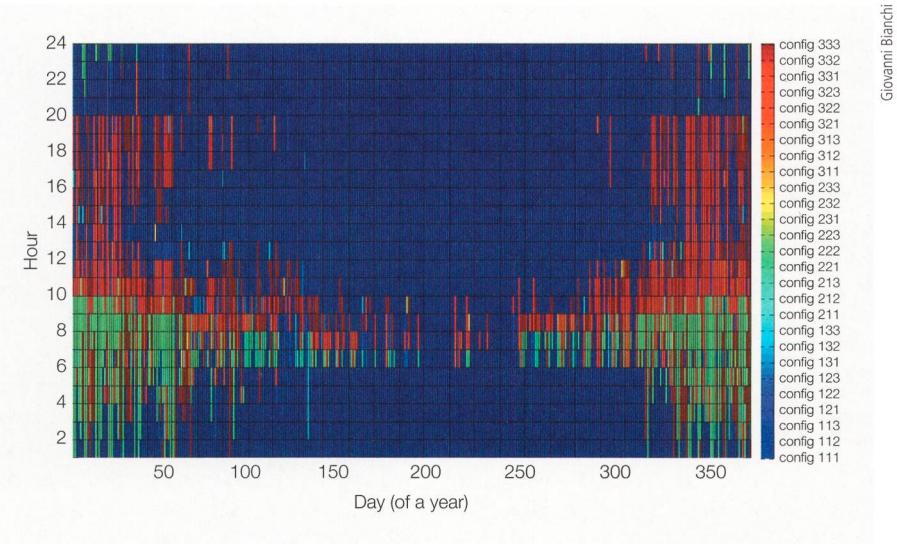


Bild 5 Optimale Orientierung der Fassade für jede Stunde im Jahr.

Der zweite Prototyp wird im Rahmen des «Nest» (Next Evolution in Sustainable Building Technologies) der Empa in Dübendorf implementiert (Bild 1). Nest ist ein modulares Gebäude, in dem Forschungsgruppen ihre Module errichten und Technologien erforschen können. Die adaptive Fassade ist eines von mehreren bautechnologischen Innovationen des «HiLo»-Moduls, eines zweistöckigen Wohnmoduls für akademische Gäste. HiLo wird in internationaler Zusammenarbeit von Industrie und Forschung als Plusenergie-Haus geplant und gebaut.

Die experimentell erzielten Resultate beider Prototypen werden es erlauben, das Verhalten, d.h. die Anpassungsfähigkeit, der Fassade an den Benutzer sowie die Interaktion für unterschiedliche Anwendungen zu vergleichen. Eine zusätzliche Herausforderung für den HiLo-Prototypen werden die wechselnden Nutzer sein, da das HiLo als Wohnung für akademische Gäste mit einer relativ kurzen Aufenthaltsdauer (einige Wochen bis Monate) geplant ist. Hier gilt es zu untersuchen, wie schnell sich das System an neue Bewohner anpassen kann.

Résumé **Économiser de l'énergie grâce à une façade capable d'apprendre**

Projet de démonstration de soft robotique de l'ETH Zurich

Les bâtiments sont responsables de près de 50 % de la consommation finale d'énergie en Suisse. Étant donné que des énergies fossiles sont souvent utilisées pour chauffer les maisons, les émissions en CO_2 restent aujourd'hui très élevées. Une façade photovoltaïque développée à l'ETH Zurich basée sur des éléments de soft robotique pourrait optimiser l'utilisation de l'énergie dans les bâtiments grâce à un ombrage et une production d'énergie solaire adaptifs. Elle est même capable d'apprendre à partir du comportement de ses occupants.

Les composants centraux sont des modules photovoltaïques légers et mobiles qui sont montés sur une structure légère placée devant l'enveloppe du bâtiment, et ce, même à des endroits qui ne conviennent pas à des panneaux solaires conventionnels plus lourds.

Les modules remplissent plusieurs fonctions : ils peuvent produire de l'électricité, ombrager, diriger la lumière naturelle et contrôler la vue. L'alignement des modules peut être basé sur des valeurs fournies par des capteurs, une programmation ainsi que sur une commande manuelle des utilisateurs.

Une des priorités du projet a été le développement de la commande au niveau des modules, des groupes et de la façade. Cette dernière doit non seulement agir automatiquement, mais aussi être capable d'apprendre à partir des préférences de l'utilisateur.

Afin de pouvoir étudier la façade adaptative dans des conditions réelles, deux prototypes seront installés dans des laboratoires dits « Living Labs » dans les deux années à venir. Il s'agit de bâtiments destinés d'une part à une utilisation normale comme bureau ou appartement et, d'autre part, à la recherche expérimentale d'innovations en construction à grande échelle.

No

Links

- www.arch.ethz.ch
- hilo.arch.ethz.ch
- nest.empa.ch

Referenzen

[1] D. Rossi, Z. Nagy, A. Schlueter. «Adaptive Distributed Robotics for Environmental Performance, Occupant Comfort and Architectural Expression», Int'l J of Architectural Computing Vol. 10 No. 3, pp. 341–360., 2012.

[2] Z. Nagy, M. Hazas, M. Frei, D. Rossi, A. Schlueter, «Illuminating Adaptive Comfort: Dynamic Lighting for the Active Occupant», in Proc. 8th Windsor Conference: Counting the Cost of Comfort in a Changing World, April 2014, London, UK.

[3] B. Svetozarevic, Z. Nagy, D. Rossi, A. Schlueter, «Experimental Characterization of a 2-DOF Soft Robotic Platform for Architectural Applications», Robotics: Science and Systems, Workshop on Advances on Soft Robotics, Berkley, CA, USA, 2014.

[4] M.C. Mozer, «The Neural Network House: An Environment that Adapts to its Inhabitants», in Proc. AAAI Spring Symp. Intelligent Environments, 1998.

Autoren

Prof. Dr. **Arno Schlüter** hat an der TU Karlsruhe Architektur studiert und an der ETH Zürich über Informationstechnologie und nachhaltige Gebäudesysteme promoviert. Seit 2010 ist er Assistenzprofessor, seit 2014 ordentlicher Professor für Architektur und Gebäudesysteme.

ETH Zürich, 8093 Zürich, schlueter@arch.ethz.ch

Dr. **Zoltán Nagy** hat an der ETH Zürich Maschinenbau studiert und promoviert. Er ist seit 2011 in der Forschungsgruppe von Prof. Schlüter tätig. Seine Forschung beinhaltet intelligente Gebäuderegelung und Geäudemodellierung.

ETH Zürich, 8093 Zürich, nagy@arch.ethz.ch

Dino Rossi hat an der Architectural Association (AA) und an der ETH Zürich Architektur studiert und ist seit 2010 als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Forschungsgruppe von Prof. Arno Schlüter im Bereich «Soft Robotics» in der Architektur tätig.

ETH Zürich, 8093 Zürich, rossi@arch.ethz.ch

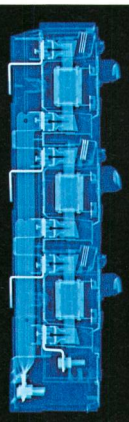
Anzeige

Durch und durch sicher.

Ausgereifte elektrische Produkte stehen für technische Errungenschaft, Erleichterung und Komfort. Das Sicherheitszeichen ⓢ des Eidgenössischen Starkstrominspektorats ESTI steht für elektrische Sicherheit.
Das ⓢ dokumentiert die Einhaltung der gesetzlichen Vorschriften, welche durch Prüfung und Marktüberwachung sichergestellt werden.

Infos finden Sie unter www.esti.admin.ch

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Starkstrominspektorat ESTI

ist das Label für nachgewiesene Sicherheit. Sichere Produkte sind gekennzeichnet.