

Neue Technologien

Autor(en): **Leibundgut, Hansjürg**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Tec21**

Band (Jahr): **137 (2011)**

Heft Dossier (Modell) **Sanierung HPZ**

PDF erstellt am: **19.03.2021**

Persistenter Link: <http://doi.org/10.5169/seals-170247>

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.

NEUE TECHNOLOGIEN

DAS GEBÄUDE IM SYSTEM – ANERGIENETZ DER ETH

Das Gebäude HPZ wurde gebaut und wird betrieben, um rund 100 Menschen einen guten Arbeitsplatz zu bieten. Ein solcher weist ganzjährig eine Temperatur zwischen 21 und 26 °C auf, muss also künstlich beheizt und gekühlt werden. Dazu muss dem Gebäude ein Wärmefluss zugeführt oder entzogen werden. Die LowEx-Theorie beschreibt unter anderem Methoden, nach denen ein Wärmefluss zwischen «kalt» und «warm» mit kleinem Aufwand an Arbeit (Exergie) erzwungen werden kann.

Auf dem Campus Höggerberg wird ab 2012 ein System betrieben, in dem sechs grosse Erdsondenfelder im Sommer als Senken für Abwärme aus den Gebäuden und im Winter als Quelle für einen Wärmestrom in die Gebäude dienen.

1 Grossraumbüro im
Gebäude HIL

Im Sommer wird die aus den Gebäuden abzuführende Wärme nicht an die wärmere Umgebungsluft, sondern in das relativ kühle Erdreich in einer Tiefe zwischen 10 und 200m abgegeben. Der Strombedarf für die Kühlung im Sommer wird dadurch deutlich reduziert. Im Winter wird die eingelagerte Wärme dem Erdreich wieder entzogen und mit einer Wärmepumpe auf 32°C erhöht. Die Kältemaschine im Sommer wird im Winter zur Wärmepumpe, ein Kühlturm ist nicht mehr erforderlich.

Betrachtet man den Prozess aus der Situation im Sommer, so wird deutlich, dass der Speicher im April geleert sein muss, das Erdreich im Erdsondenfeld also wieder abgekühlt sein muss.

Das Gebäude HPZ wird zum «Winter-Kühlturm» des Erdspeichers. Das Erdreich ist im Winter wärmer als die Aussenluft, aber kühler als die Raumluft. Mit dem technischen System der Wärmepumpe und den Heizflächen im Raum zwingt man den Wärmefluss auf einen nutzbringenden Umweg durch das Gebäude, bevor er durch die alte Fassade in die kalte Winterumgebung fliesst. Das Gesamtsystem ist ausbalanciert zwischen Materialeinsatz für den Umbau (den Kosten), den Emissionen im künftigen Betrieb und der Ästhetik.

Die Optimierungsaufgabe betrifft ein System mit sehr vielen beeinflussbaren Variablen. Die Komplexität ist derart gross, dass mit klassischen Methoden keine optimale Lösung gefunden werden kann.

HANSJÜRG LEIBUNDGUT

Professur für Gebäudetechnik



Foto: Professur für Gebäudetechnik

BELEUCHTUNG: LED- UND FL-LEUCHTEN

Fluoreszenzleuchten (FL-Leuchten) sind heutzutage in der Bürobeleuchtung weit verbreitet. Unter der Prämisse, den Strombedarf der Leuchtmittel zu reduzieren, wurden in den letzten Jahren Light Emitting Diods (LED-Leuchten), die in anderen Anwendungsbereichen bereits weit verbreitet sind, für die Raumbelichtung entwickelt. Im HPZ wird nun die eine Hälfte der Räume mit neuartigen LED-Leuchten, die andere aber mit FL-Leuchten ausgerüstet.

Neben den Anschaffungskosten war auch die Frage der spezifischen Treibhausgas-Vermeidungskosten ausschlaggebend. Die Anschaffungs- und Ersatzkosten inklusive Vorschaltgerät sind bei FL-Leuchten zurzeit noch deutlich geringer als für LED-Leuchten. Die Annahme, dass ein geringer Strombedarf und eine höhere Lebensdauer der LED-Leuchten auch niedrigere Treibhausgas-Emissionen im Betrieb verursacht, ist allerdings nur bedingt richtig. Da es möglich ist, Strom mit höherer oder geringerer CO₂-Belastung zu beziehen, beeinflusst dieser Aspekt den Ausstoss im Betrieb der Leuchten genauso stark wie die Effizienzsteigerung des Leuchtmittels. LED-Leuchten erreichen bei einer Lebensdauer von etwa 50000 Stunden gegenwärtig etwa 80lm/W. Im Vergleich dazu besitzen handelsübliche Fluoreszenzleuchten heute eine Effizienz von 45–100lm/W bei einer Lebensdauer von etwa 20000 Stunden.

Für das oberste Geschoss des Gebäudes HPZ wurde deshalb eine FL-Leuchte mit niedrigen Anschaffungskosten entwickelt. Somit können die Mehrkosten für ein ZESI-Zertifikat (ZESI = Zero Emission Supply Investment)¹ getragen werden, welches über die gesamte Lebensdauer den Betrieb mit geringsten Emissionen garantiert. Über das Zertifikat wird die Installation von PV-Elementen an einem guten Standort finanziert, die dann den für den Betrieb der Leuchten benötigten Strom produzieren. Diese Zusatzkosten sind im Vergleich zu den Gesamtkosten nach 10 Jahren Betrieb weniger als 19 %. Zusätzlich stellt der einfache Aufbau von Chassis und Reflektor eine deutliche Materialersparnis bei der FL-Leuchte dar, die zu einer Reduzierung der verbauten Emissionen gegenüber anderen Leuchten führt.

Dies verdeutlicht nicht nur den Kostenunterschied zwischen den Leuchten, sondern auch die Möglichkeit einer Reduzierung der Emissionen trotz einem höheren Strombedarf der FL-Leuchte. Es ist zu erwarten, dass in naher Zukunft bei den LED-Leuchten, im Gegensatz zu den FL-Leuchten, weitere Kos-



1 Foto: Professur für Gebäudetechnik

tensenkungen und Effizienzsteigerungen möglich sind. Allerdings können erst bei einer Verfünffachung der gegenwärtigen Effizienz der LED-Leuchte in Kombination mit dem Schweizer Strommix die Emissionen im Betrieb auf das Niveau gesenkt werden, das jetzt die FL-Leuchte mit einem Zertifikat erreicht (basierend auf einem 10-jährigen Betrieb). Gleichzeitig müssten die Erstellungs- und Ersatzkosten um 33 % gesenkt werden, um ein kostengünstigeres Produkt zu bieten.

Ein grosser Vorteil einer LED-Leuchte gegenüber einer FL-Leuchte ist ihre Eigenschaft, die Abwärme auf der Rückseite abzugeben. Ist die LED-Leuchte im multifunktionalen Deckenpaneel der Firma BS2 eingebaut, kann die Abwärme im Betrieb über die Abluft aus dem Raum geführt werden, ohne dass durch die Beleuchtung weitere Kühllasten im Raum entstehen.

Die hier dargestellte Lösung der FL-Leuchte kann stellvertretend für viele Ansätze in der Gebäudetechnik stehen. Die isolierte Effizienzsteigerung einer Komponente allein macht nur dann Sinn, wenn nicht deutlich höhere Kosten oder indirekt höhere Emissionen entstehen. Die integrierte Betrachtung einer Komponente in einem System ermöglicht oft kostengünstigere Wege, Emissionen zu reduzieren – hier ist dies über Zertifikate möglich.

VOLKER RITTER

Professur für Gebäudetechnik

¹ Der ZESI-Wert wird von der Organisation viaGialla bestimmt und vom Hersteller BS2 auf den Gerätepreis draufgeschlagen

1 In den Geschossen E und G werden ZESI-zertifizierte FL-Leuchten in die Deckenpaneele eingesetzt, im Geschoss G LED-Leuchtmittel



Fotos: Professur für Gebäudetechnik



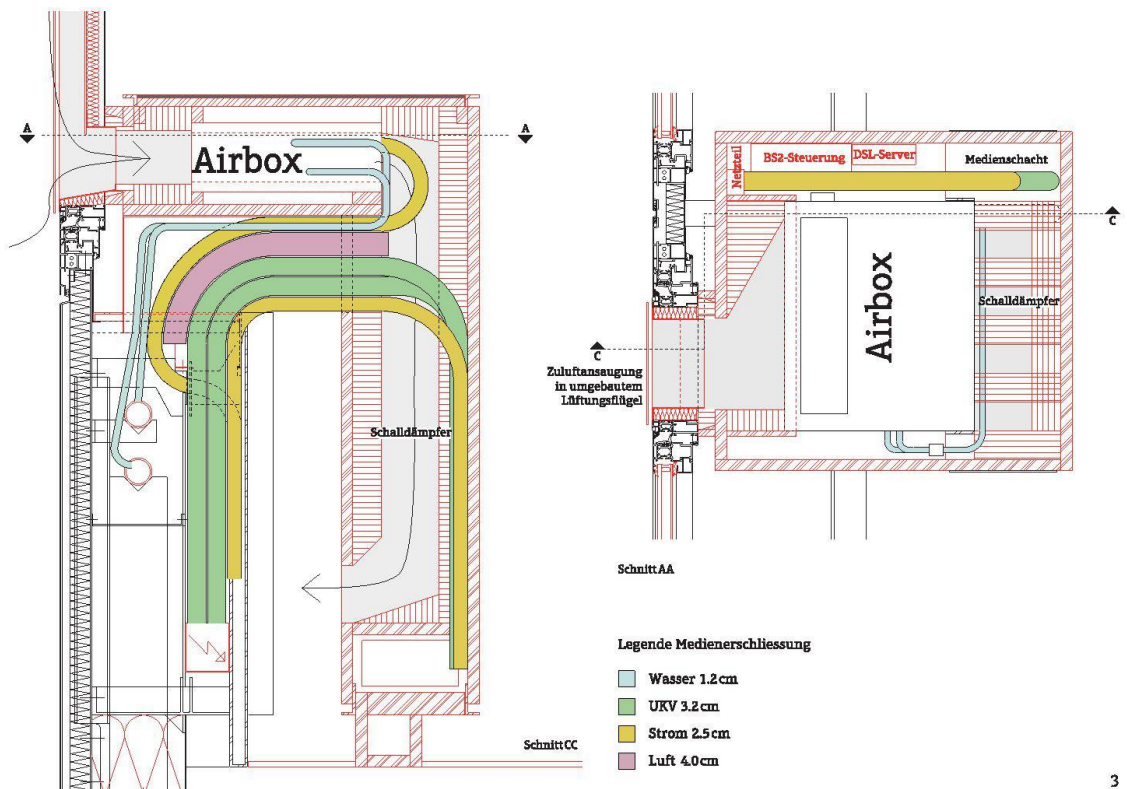
Foto: Roger Frei

DEZENTRALE ZULUFT

Der Lüftung kommt die Aufgabe der Lüftererneuerung zu. Wie für alle technischen Systeme gilt der Anspruch, dies mit minimalem Aufwand und minimalen Kosten zu bewerkstelligen. Die Lüftung kennt eine Abluft- und eine Zuluftseite. Über die Abluft wird gesteuert, wann, wo, wie viel gelüftet werden soll; denn alle Informationen zur Raumluftqualität befinden sich in der Luft, die abgesaugt wird. Die Aufgabe der Zuluft ist somit lediglich das Ersetzen jener Luft, die dem Raum entzogen wurde, durch frische Aussenluft. In Anlehnung an die Fensterlüftung ist es naheliegend, die Zuluft über kurze Transportwege zum Ort des Bedarfs zu führen, also über die Fassade in den Raum. In einem Umbauprojekt wie beim HPZ muss auf die bestehende Fassadensituation eingegangen und idealerweise eine Lösung gefunden werden, die sowohl funktional als auch ästhetisch zu

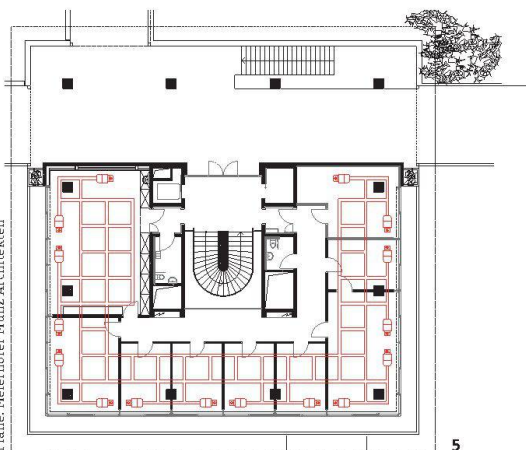
befriedigen vermag. Ausserdem soll die bestehende Bausubstanz nach Möglichkeit erhalten werden, dass heisst, der Umbau soll mit einem minimalen Eingriff erfolgen.

Im Gebäude HPZ wurde die Zuluft zwecks Erfüllung der definierten Ansprüche dezentral ausgeführt. Die Airbox, ein dezentrales Zuluftgerät, ist die treibende Kraft für die Luftförderung. Anstatt die Technik wie gewohnt zu verstecken, wurde sie in Form eines aufgesetzten Möbelstücks inszeniert. Es dient sowohl als Zuluftspender als auch als Stehpult und Konsole für Netzwerk- und Stromanschlüsse. Eine weitere Besonderheit dieser Installationslösung ist, dass das Gerät die Brüstung im Winter mit trockener Luft «aufblasen» und erwärmen kann. Dies verhindert, dass sich an der nur schlecht isolierten bestehenden Fassade Kondensat bildet.





Pläne: Nelerbofer Munz Architekten



Frischlufte wird über einen ehemals zu öffnenden, schmalen, opaken Fensterflügel eingebracht, dessen Innereien ersetzt und mit einer Aussenluftfassung über eine Schattenfuge erweitert wurden. Damit behält der Fensterflügel seine Funktion als Lüftungselement und Verbindung nach aussen.

Die gefundene Lösung für die Zuluftinstallation kombiniert Funktion und Ästhetik und ermöglicht zudem eine äusserst energieeffiziente Luftförderung dank minimalen Strömungswiderständen. Auf Gesamtsystemebene kann der Stromverbrauch für den Lufttransport und die Luftkonditionierung durch die Vernetzung mehrerer dezentraler Zuluftgeräte weiter reduziert werden. Einzelne Geräte können selektiv ausgeschaltet werden, je nach Aussenbedingung betreffend Winddruck oder solarer Einstrahlung. Die lufttechnische Vernetzung ist dabei implizit über den

Spalt unter den Zimmertüren gegeben. Eine explizite Vernetzung wurde im E-Geschoss realisiert. Dort wurden dieselben kompakten Zuluftgeräte in den Unterlagsboden integriert und an ein stark vernetztes Rohrsystem angeschlossen. Dadurch kann die Zuluftleistung flexibel gesteuert und bei Bedarf auf wenige Räume konzentriert werden. Dies ist insbesondere interessant für Sitzungszimmer oder Seminarräume, wie sie sich im E-Geschoss finden.

In Zukunft lassen sich mit dem vernetzten Zuluftsystem verschiedene Regelansätze, zum Beispiel eine Konstant-Volumenstrom- oder eine Differenzdruck-Regelung, testen.

LUCA BALDINI

Professur für Gebäudetechnik

- 1-2 Multifunktionales Zuluftmöbel Airbox® als Prototyp und fetig installiertes Objekt. Es kann sowohl als Stehpult als auch als Konsole für Netzwerk und Stromanschlüsse genutzt werden
- 3 Detailschnitt und -grundriss der Airbox®, die in die Geschosse F und G eingebaut wird
- 4-5 Vernetztes Rohrsystem mit dezentralen Zuluftgeräten an der Peripherie. Situation im Pauli-Saal im Geschoss E vor dem Einbetonieren
- 6 Bodenaufbau Geschoss E mit eingelassener Airbox® für die Luftansaugung von Geschoss D

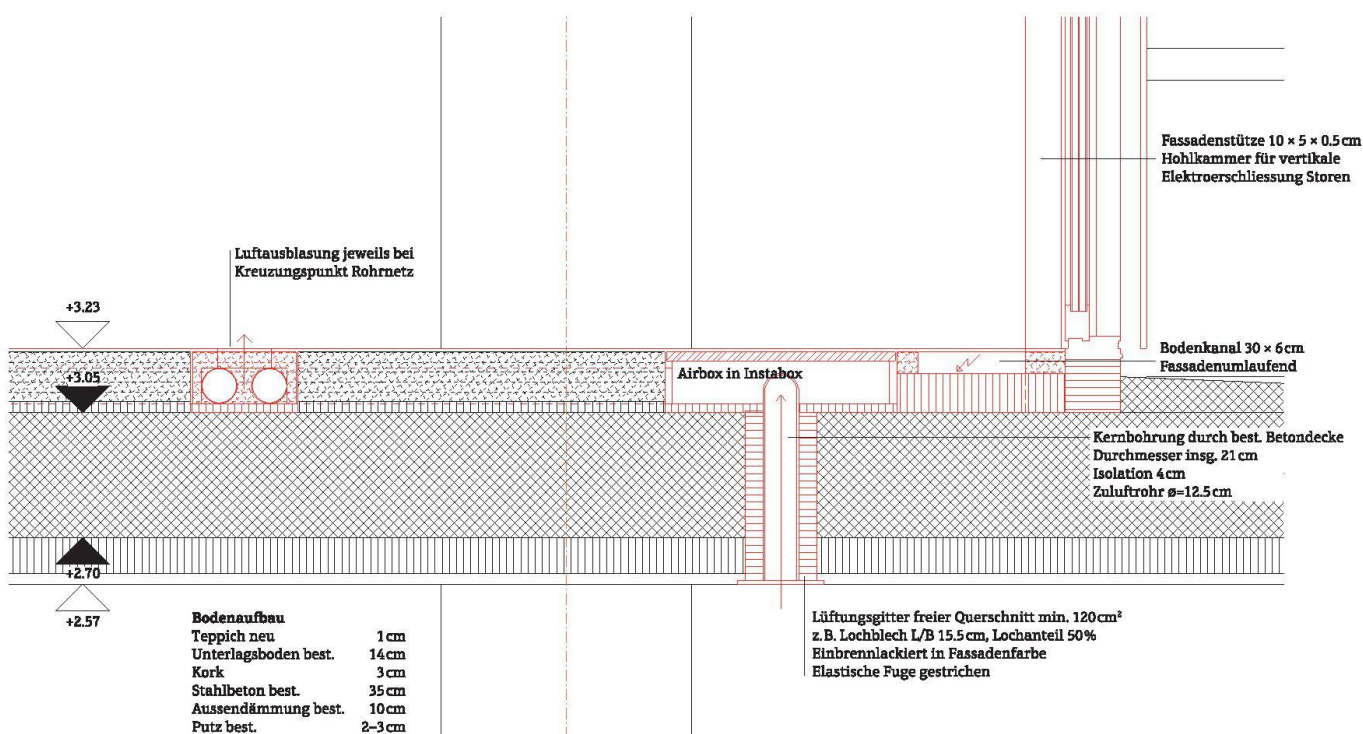




Foto: Professur für Gebäudetechnik

1-2 Multifunktionales Deckenpaneel Heptapanel®, Untersicht mit montierten LED und CO₂-Klappe

MULTIFUNKTIONALE DECKENLÖSUNG

Innenräume gelten als komfortabel, wenn verschiedene physikalische Grössen wie die Lufttemperatur, die Luftfeuchtigkeit, die Konzentration von flüchtigen Kohlenwasserstoffen, die Verteilung der Lichtintensität und die akustische Nachhallzeit in einem gewissen, begrenzten Bereich bleiben. Ein Abweichen von mehreren oder teilweise einzelnen Grössen von den

Grenzwerten führt dazu, dass der Mensch den Raum als unbehaglich empfindet. Die Aufgabe der Gebäudehülle und der Gebäudetechnik ist es nun, die genannten Grössen in einem gewünschten Band zu halten und so die Behaglichkeit den Nutzern zu garantieren. Dieses Aufrechterhalten eines Zustands gegen einen von aussen getriebenen Ausgleichsvorgang erfordert Energie, die wiederum einen Preis hat. Es besteht also die Anforderung an die Gebäude und ihre technischen Systeme, einen Komfort zu gewährleisten und diesen mit dem Einsatz möglichst geringer Mittel zu erreichen.

Eine weitere Anforderung an Gebäude und Technik stellt die Ästhetik. Für das HPZ-Gebäude wurde deshalb das multifunktionale, an der Decke anzubringende Heptapanel entwickelt. Es heizt respektive kühlt den Raum via Konvektion und über Strahlungsaustausch, und es sorgt für den indirekten Wärmeaustausch und die Wärmespeicherung über externe Bauteilaktivierung. Hinzu kommen Funktionen wie die akustische Konditionierung des Raums durch Schallabsorption, die lokale, sensorgesteuerte Abluftabsaugung und die integrierte Beleuchtung. Eine weitere sogenannte Joker-Funktion ist die einfache Integration von nahezu beliebigen Elementen wie Sprinkler, Bewegungsmelder, Lautsprecher etc. in eine flexibel bestückbare Mittelschiene. Mit dieser Kombination der Funktionen wird im Raum Behaglichkeit gewährleistet. Dank der sehr schlanken Konstruktion und der zusätzlichen Inszenierung des Raumes über eine Deckenaufhellung gelingt es auch, den visuellen Komfort zu befriedigen.



Foto: Professur für Gebäudetechnik

Aufgrund der sehr moderaten Wassertemperaturen, die für die thermische Bewirtschaftung des Systems erforderlich sind, lässt sich das Heptapanel optimal im Verbund mit Wärmepumpen betreiben. In der Installation, wie sie im HPZ eingesetzt wird, ermöglichen die grosse Wärmetauschofläche des Panels und der durch die Bauteilaktivierung bedingte 24-h-Betrieb zudem eine effektive Regeneration des Erdreichs. Die Lüftung, die über die gezielte und bedarfsgesteuerte Abluftfassung ins Panel integriert

ist, kommt ebenfalls mit minimalem Strombedarf aus, braucht aber eine adaptive Gegenseite, die ebenso effizient arbeitet. Diese Gegenseite ist mit einem dezentralen Zuluftsystem, wie es im HPZ installiert ist, gegeben.

LUCA BALDINI

Professur für Gebäudetechnik

STEUERUNGSKONZEPT HPZ

Für den effizienten Betrieb und das richtige Zusammenspiel der verschiedenen dezentralen Komponenten ist ein abgestimmtes Steuerungskonzept nötig. Die Steuerung soll nach Möglichkeit vorausschauend (prädiktiv) agieren, um den Nutzern den gewünschten Komfort möglichst effizient zu gewährleisten, gleichzeitig aber Einflussgrössen wie die Sonneneinstrahlung oder die Personenbelegung optimal ausnutzen. Ein möglicher prädiktiver Regelalgorithmus ist die Modell-Prädiktive Regelung (MPC, Model Predictive Control). Dieser Algorithmus wurde bereits für die Regelung der HLK- und Warmwasserinstallationen in der Neuen Monte-Rosa-Hütte (vgl. TEC21 41/2009) getestet.

Für das HPZ lässt sich MPC verwenden, um Entschiede bezüglich Heizen und Kühlen zu treffen. Dies ist von Bedeutung, da das Heiz- und Kühlsystem träge reagiert. Für die Lüftung ist MPC nicht notwendig, da das Lüftungssystem schnell reagieren kann. Mit Hilfe von Wetterprognosen, Belegungsangaben und Kosteninformationen kann in einem Optimierungsschritt entschieden werden, ob die Wärmepumpe eingeschalten werden muss oder ob erst später damit begonnen werden kann.

Für die Umsetzung von MPC wird ein Modell benötigt, welches das System beschreibt. Meist wird dazu ein mathematisches Modell verwendet, das die physikalischen Zusammenhänge mittels Differentialgleichungen abbildet. Dabei gilt es einen guten Kompromiss zwischen Abstraktion und Modellgenauigkeit zu treffen, damit der Rechenaufwand

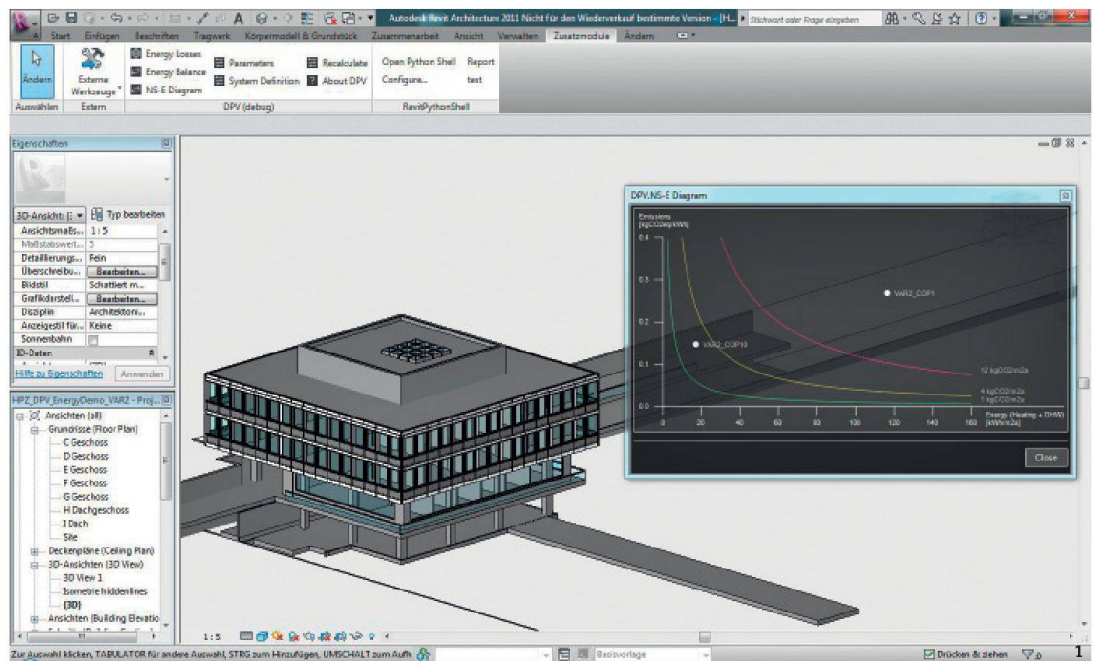
erträglich bleibt. Um die MPC-Algorithmen möglichst wirtschaftlich zu machen, gilt es Methoden zu implementieren und zu testen, die ein automatisches Bestimmen der Modellparameter ermöglichen. Ziel ist es, einen Algorithmus zu entwickeln, der es ermöglicht, die für das HPZ entwickelten Regler ohne grösseren Aufwand auf andere Gebäude zu übertragen.

Um die Vorteile der vorausschauenden Regelung zu bewerten, wird in einem Forschungsprojekt zusammen mit Siemens Building Technologies ein klassischer Regel-basierter Ansatz für die Regelung der HLK-Komponenten entwickelt und implementiert. Dieser basiert auf der bestehenden Desigo-Gebäudeautomationsplattform von Siemens und soll als Benchmark dienen, um die neuen MPC-Algorithmen bezüglich Effizienz, Umsetzbarkeit und Wirtschaftlichkeit zu bewerten.

Das HPZ bietet damit interessante Perspektiven für das Testen neuartiger Regelungsverfahren. Aus den hier gewonnenen Erkenntnissen können neue Algorithmen für Gebäudeautomationssysteme entwickelt werden, die den Betrieb von gebäudetechnischen Anlagen sowohl in Neu- als auch in Umbauten kostengünstiger und effizienter machen werden. Somit wird das HPZ auch in Zukunft der Forschung dienen – sowohl als Arbeitsplatz für verschiedene Professuren als auch als Versuchsplattform für neue intelligente Gebäudetechnik.

PHILIPPE GOFFIN

Professur für Gebäudetechnik



Screenshot: Professur für Gebäudetechnik

- 1 Darstellung des HPZ im Design Performance Viewer

DESIGN PERFORMANCE VIEWER

Die Professur für Gebäudetechnik der ETH entwickelte in den Jahren 2007 bis 2010 einen Berechnungskern, mit dem die komplexe Optimierungsaufgabe gelöst werden kann. Als Basis für das Instrument Design Performance Viewer (DPV) dient eine objektorientierte Gebäudedatenbank (Building Information Model, BIM), in der alle relevanten Daten der Gebäudeelemente (Bauteile) abgelegt sind. Aus den Daten kann unter anderem eine 3D-Darstellung erzeugt werden.

Der Datensatz wird in einen neuen Rechenkern importiert, in dem die Wärmeflüsse durch die Hülle bei vorgegebenem Aussenklima innert Sekunden berechnet werden. Ebenfalls integriert ist eine Exergieflussberechnung, mit der die exergetische Qualität eines Systems sehr rasch bestimmt werden kann.

DIGITALSTROM

Das HPZ ist eines der ersten Gebäude in der Schweiz, das mit Digitalstrom ausgerüstet worden ist. Das auf einem Hochvolt-Chip basierende System wurde an der ETH Zürich mitentwickelt. Dabei werden Daten für die Steuerung von elektrischen Geräten über die herkömmliche Stromverteilung im Gebäude übertragen.

Im HPZ werden die Zuluftgeräte, Abluftklappen sowie die FL- und LED-Leuchten über Digitalstrom angesteuert, wodurch für diese Komponenten der Bedarf für eine herkömmliche Gebäudeautomatisierung entfällt. Dies ermöglichen der intelligente dSID-

Die Resultate werden schliesslich im NS-E-Diagramm dargestellt, ebenso die Energiekennzahl und der spezifische CO₂-Emissionswert.

Ein wichtiger Ansatzpunkt für die Optimierung des Systems ist die Frage der Emissionen, die ein Gerät oder eine bauliche Massnahme verursachen. Dieses Abwägen von Emissionen und Kosten lässt sich beispielhaft für die Wahl der Leuchten und der entsprechenden Leuchtmittel aufzeigen.

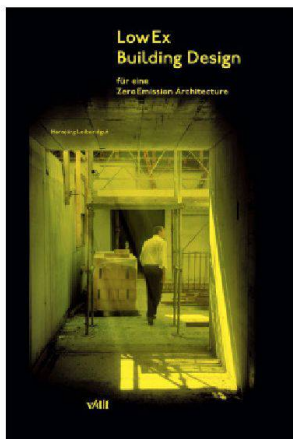
HANSJÜRG LEIBUNDGUT

Professur für Gebäudetechnik

Chip (jeweils direkt beim oder im Gerät eingebaut) sowie ein dS-Stromsensor (dSM-Meter) in der Unterverteilung. Die Daten werden im Basisband in der Nähe des Nulldurchganges des Wechselstromes übertragen. Dadurch ist eine bisher unerreichte Übertragungssicherheit ohne Störungen möglich. Die Topologie der elektrischen Netze wird mit der Digitalstromtechnik enorm vereinfacht.

MATTHIAS MAST

Professur für Gebäudetechnik



LowEx Building Design für eine ZeroEmissions Architecture

Hansjürg Leibundgut

1. Auflage 2011

184 Seiten, Format 15 × 22.5 cm, broschiert

zahlreiche Abbildungen und Tabellen, durchgehend farbig

ca. CHF 39.90 / EUR 29.80 (D)

ISBN 978-3-7281-3409-7

Wärmespeicher, Erdspeicher, Wärmepumpe, Solartechnologie, Hybridkollektoren, LED-Leuchten, Nullemissionshaus

Die Reaktion auf den Klimawandel gilt als die schwierigste Herausforderung für die heutige Gesellschaft. Für einen grossen Teil des Energieverbrauchs wie auch des CO₂-Ausstosses sind Immobilien verantwortlich, also der Betrieb und die Errichtung sämtlicher Gebäude.

Dieses Buch stellt sich der Herausforderung und zeigt auf, wie Gebäude nachhaltig und CO₂-frei betrieben werden können. Nicht mehr das «Energiesparen um jeden Preis» steht im Vordergrund, sondern das Vermeiden von Emissionen aus der Energieversorgung der Gebäude – Null-Emissions-Architektur. Dies wird ermöglicht durch die sinnvolle Verwendung vorhandener Technologien wie Solarnutzung, Erdspeicher oder Wärmepumpen bei zugleich hochwertiger Architektur.

Nach der Einführung in den neuen, auf alle Gebäudetypen anwendbaren Lösungsansatz wird die Umsetzung anhand von vier Projektbeispielen, unter anderem einem Neubau und einem Umbau, aufgezeigt.

«Es geht nicht darum, Energie zu sparen. Unser Anspruch zielt höher. Das unbescheidene Ziel muss die Emissionsfreiheit bei den Gebäuden sein, und dies bei zugleich hochwertiger Architektur. Das schliesst sich keineswegs aus. Unser Ziel ist mit dem heute etablierten Stand der Gebäudetechnik umsetzbar und entspricht auch dem ökologischen Postulat der Zeit.»

Hansjürg Leibundgut

WEITERFÜHRENDE LINKS

Zero Emission LowEx www.viagialla.ch

ETH -Infrastrukturbereich Immobilien www.immobilien.ethz.ch

Professur für Gebäudetechnik www.gt.arch.ethz.ch

Institut für Technologie in der Architektur www.ita.arch.ethz.ch