

DISS. ETH NO. 21713

EVALUATION OF CONTROL STRATEGIES FOR LOWEX  
RESIDENTIAL BUILDINGS

A dissertation submitted to

ETH ZÜRICH

for the degree of  
Doctor of Sciences

presented by

PHILIPPE GOFFIN  
Master of Science, ETH Zürich  
born 01.08.1985  
citizen of Zürich/Winterthur, ZH

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Hansjürg Leibundgut, examiner  
Prof. Dr. Colin N. Jones, co-examiner

2014



---

# Abstract

---

Roughly 25% of the global CO<sub>2</sub> emissions originate from the operation of the global building stock [5]. Several approaches, ranging from measures targeting the building envelope to improved integral building systems concepts, exist to reduce these emissions. At the Chair of Building Systems, ETH Zurich, a building systems concept based on the second law of thermodynamics has been developed. Its fundamental idea is to match the energetic qualities of the buildings' heat fluxes and to use renewable energy sources to operate the building systems. Some key components of this concept are the low-temperature lift heat pump, deep boreholes, the photovoltaic-thermal (PVT) collector and decentralized air handling units.

Within this research focus is put on Model Predictive Control (MPC) to control the interplay of the technical components. The idea is to use predictions of future disturbances and system states to estimate a control strategy that minimizes a specified cost function and guarantees a stable and robust system operation as well as comfort in the apartments.

Two approaches, centralized and hybrid, are studied in the context of thermal comfort. In the centralized approach a single MPC controller is used to evaluate the best control strategy for the building systems. In the hybrid approach each apartment has its own independent MPC controller. These controllers communicate with a rule-based control (RBC) controller that operates the primary building systems. The MPC control concepts are evaluated and compared with a state-of-the-art RBC controller on a virtual building test-bench.

The results demonstrate the potential of MPC as a control paradigm for lowEx buildings. The comfort performance as well as the exergy consumption are improved, compared with the state-of-the-art RBC controller. The model developed for the MPC controller is simple, modular and maps correctly the building dynamics. These results are rounded out by a discussion of the experiences from the operation of the B35, a lowEx multi-family residence, as well as the undertaken measures to improve the B35's operational robustness.

---

# Zusammenfassung

---

Der Betrieb des weltweiten Gebäudeparks erzeugt rund 25% der totalen CO<sub>2</sub> Emissionen [5]. Um diesen Emissionsausstoss zu senken werden unterschiedliche Ansätze verfolgt, von Massnahmen zur Erhöhung des Wärmewiderstands der Gebäudehülle bis hin zu verbesserten integralen Konzepten für die Gebäudetechnik. An der Professur für Gebäude-technik, ETH Zürich, wurde ein Konzept unter dem Begriff (*ZeroEmission*) *lowEx Gebäude-technik* entwickelt, welches auf dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik aufbaut. Die Leitidee ist die energetische Qualität der Energieströme im Gebäude anzugleichen und erneuerbare Energiequellen für den Betrieb der Gebäudesysteme einzusetzen. Verschiedene technische Komponenten werden verwendet, u.a. die Niederhub-Wärmepumpe, tiefe Erdsonden, der Photovoltaik-Thermie (PVT) Kollektor und dezentrale Zuluftsysteme.

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wird der Einsatz von Model Predictive Control (MPC) untersucht, um das Zusammenspiel der technischen Komponenten zu regeln. Dahinter steht die Idee, Vorhersagen der Störsignale sowie Systemzustände zu nutzen, um eine Regelstrategie zu berechnen, welche eine definierte Gütefunktion minimiert. Damit soll ein stabiler und robuster Betrieb sowie hoher Nutzerkomfort garantiert werden.

Es werden zwei Ansätze, ein zentraler und ein hybrider Ansatz, untersucht. Im zentralen Ansatz wird ein einzelner MPC Regler für die Berechnung der besten Kontrollstrategie der Gebäudesysteme verwendet. Dagegen wird im hybriden Ansatz ein unabhängiger MPC Regler für jede Wohnung eingesetzt. Diese Regler kommunizieren mit einem Rule-based Control (RBC) Regler, der den Betrieb der Wärmepumpen, PVT-Kollektoren, Free-Cooling Wärmetauschers sowie der Erdsonden übernimmt. Anhand von Simulationen werden beide Regelungsansätze untersucht und mit den Ergebnissen eines zentralen RBC Reglers, der dem Stand der Technik entspricht, verglichen.

Die Resultate zeigen deutlich das Potential von MPC als Regelungsparadigma für lowEx Gebäude. Im Vergleich zum zentralen RBC Regler wird der Komfort im Gebäude sowie der Exergieverbrauch verbessert. Das für den MPC Regler entwickelte Gebäudemodell ist einfach, modular aufgebaut und bildet die Gebäudedynamik korrekt ab. Diese Ergebnisse werden mit einer Diskussion der Erfahrungen aus dem Betrieb sowie der daraus resultierenden Systemanpassungen am realen Mehrfamilienhaus B35 abgerundet.