



ETH
Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

SIEMENS

gruner >

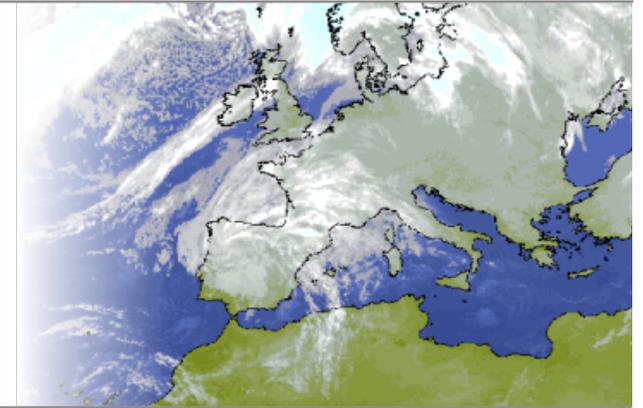
EMPA 
Materials Science & Technology

 Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

swisselectric
research

 **CCEM-CH**
Competence Center Energy and Mobility

 **ACTELION**



Von der Vision einer zukunftsweisenden Gebäudeautomation zu den Ergebnissen am Demonstratorgebäude

Fachveranstaltung «Gesamtheitliche vorausschauende Gebäudeautomation»
Allschwil, 20. September 2012

Dimitrios Gyalistras
ETH Zürich, Institut für Automatik
Physikstrasse 3
8092 Zürich

gyalistras@control.ee.ethz.ch

Inhalt

1. Einleitung
2. Überblick zum OptiControl-Projekt
3. Beurteilung von Regelstrategien
4. Einführung zu den untersuchten Regelstrategien
5. Ausgewählte Resultate aus OptiControl „Phase I“
6. Ziele und Vorgehen in „Phase II“

Die Vision einer zukunftsweisenden Gebäudeautomation...

... gibt es schon seit langem – z.B.:

- **J. Tödtli (1985):** Optimierungsideen für den Betrieb von HLK-Anlagen

„Fünf Regeln bei der Suche nach Optimierungsideen“

1. Stationäre Betriebszustände verbessern
2. Wärmespeichernde Elemente berücksichtigen – mit dynamischen Modellen optimieren
3. Prognosen und Statistiken für das Wetter verwenden
4. Anpassung der Steuerung verbessern
5. Vermehrtes Systemdenken

SGA-Zeitschrift, Vol. 5, 1985-1, www.opticontrol.ethz.ch/Lit/Toed_85_SGA-Zeitschrift_5.pdf

Die Vision... – weitere Arbeiten

- **Cooper & O'Suaird (1989)**: Energy management system.
UK patent application.
- **Nygaard-Ferguson & Scartezzini (1992)**: Evaluation of an optimal stochastic controller in a full-scale experiment. *Energy and Buildings, 18(1): 1-10.*
→ Einsparung Heizenergie 27%, verbesserter thermischer Komfort
- **Loveday et al. (1997)**: Intelligence in buildings: the potential of advanced modelling. *Automation in Construction 6(5-6):447-461.*
→ Energieeinsparung bis 10%, bessere Temperaturregelung
- **Berglund & Lundberg (2000)**: Comfort control system incorporating weather forecast data and a method for operating such a system.
United States Patent 6,098,893.
- **Gwerder & Tödtli (2005)**: Predictive control for Integrated Room Automation. *8th REHVA World Congress (Clima 2005), Lausanne, Switzerland.*

Weitere Referenzen und Downloads:

www.opticontrol.ethz.ch/07E-Literature.html

Das OptiControl-Projekt

- Initiative im Jan. 2006 Thomas Frank (EMPA) und Dimitrios Gyalistras (ETHZ)

- Projektstart im Mai 2007



swiss**electric**
research

ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Manfred Morari, Colin Jones, Roy Smith, Frauke Oldewurtel,
David Sturzenegger, Alessandra Parisio, Fabian Ullmann,
Tobias Baltensperger, Alexander Domahidi, Andreas Fischlin,
Dimitrios Gyalistras

EMPA

Materials Science & Technology

 Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Thomas Frank, Beat Lehmann, Katharina Wirth,
Viktor Dorer, Stephan Carl

MeteoSchweiz: Philippe Steiner, Vanessa Stauch, Francis Schubiger

SIEMENS

Jürg Tödtli, Dominic Habermacher, Markus Gwerder, Bruno Illi,
Conrad Gähler, Marc Hubacher, Stephan Bötschi

gruner >

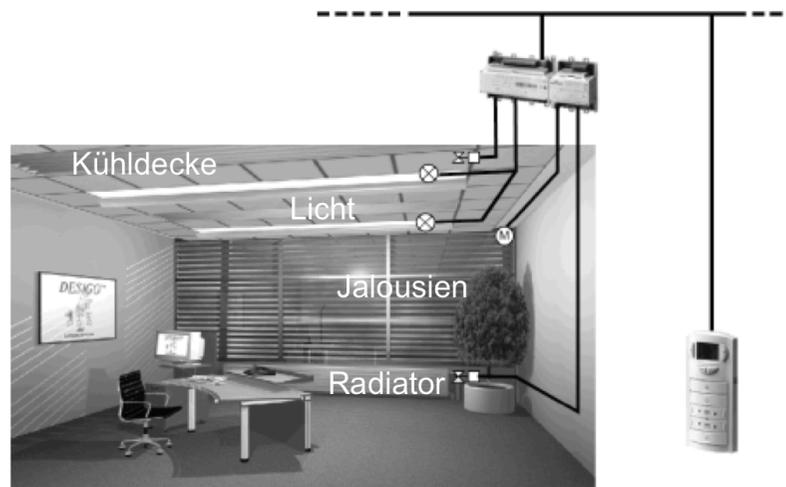
Bauklimatik, Simulationen: Axel Seerig
Roschi+Partner: Carina Sagerschnig

 **ACTELION**

Andreas Gaiser, Giovanni Maltese

OptiControl Phase I: Regelstrategien, Werkzeuge und Simulationen

- Fokus **nicht-standardisierte Automationslösungen**
 - Regelung wird auf das Gebäude, dessen technische Systeme und die Nutzerbedürfnisse massgeschneidert (programmiert)
- Anwendung **Integrierte Raumautomation (IRA)**



Automatisierte Regelung von Jalousien, Beleuchtung, Heizung, Kühlung und Lüftung einer Gebäudezone oder eines Raums

Beurteilungskriterien für nicht-standardisierte Automationslösungen

- **Regelungsgüte** (“Performance” – Energie, Nutzerkomfort, Kosten)
- **Robustheit** (Reglereinstellung, technische Störungen, Nutzerverhalten)
- **Flexibilität und Einstellungsaufwand** (Inbetriebnahme, Anpassungen)
- **Akzeptanz durch die Ingenieure** (Einstellung, Inbetriebnahme, Service)
- **Akzeptanz durch die Endnutzer**
- **Modularität** (Element in Portfolio von Lösungen)
- **Kosten** (Investition, Wartung)
- **Entwicklungsaufwand**
- **Neuigkeitswert und Verkaufsargumente**

Nach Gyalistras, Gwerder & Tödtli (2010)

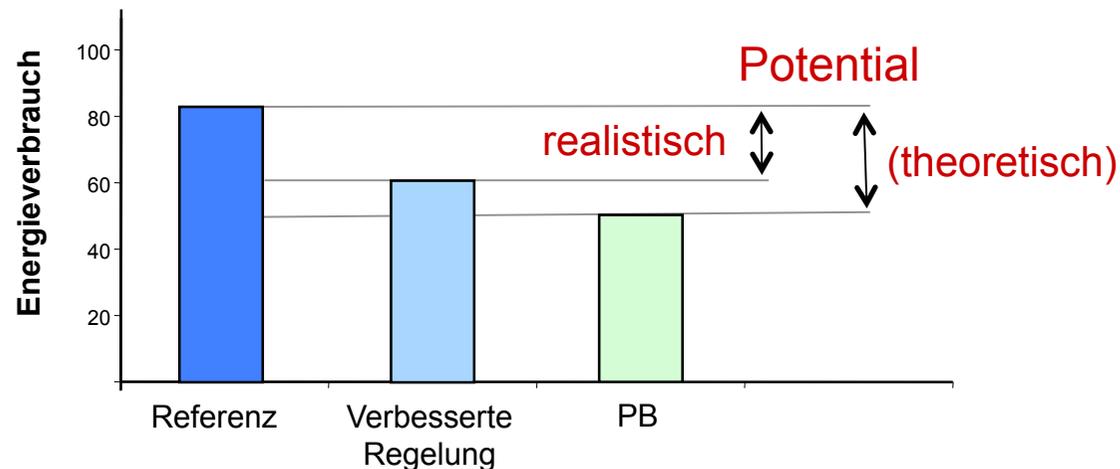
www.opticontrol.ethz.ch/Lit/Gyal_10_OptiControl2YearsReport.pdf

Beurteilung der Regelungsgüte: der „Performance Bound“ (PB)

Definition Performance Bound:

Der minimal mögliche Energieverbrauch für eine gegebene Anwendung
(definiert durch Standort, Gebäude, Haustechniksystem, Betriebsführung, Komfortanforderungen)

- Berechnet unter idealen Bedingungen („alles“ perfekt bekannt)
- Analog zum Carnot-Wirkungsgrad für Wärmekraftmaschinen
- Kann durch keinen Regelalgorithmus unterboten werden



Regelstrategien – Rule-Based Control (RBC)

- **Grundidee:** „wenn *Bedingung* dann *Aktion*“
- **Beispiel** für Jalousiensteuerung (Sonnenschutz):

```
wenn ( Wert aus Strahlungssensor < Schwellwert ) dann
    Jalousien werden voll hinaufgefahren
sonst
    wenn ( Raum ist nicht belegt ) dann
        Jalousien werden voll hinuntergefahren
    sonst
        Jalousien werden auf vordefinierte Position gefahren
        (so dass der Beleuchtungsstärke-Sollwert möglichst erreicht wird)
    ende
ende
```

- Mehrere Blöcke für die verschiedenen Gewerke werden zu einem Gesamtprogramm verknüpft

Regelstrategien – Modellprädiktive Regelung (MPC)

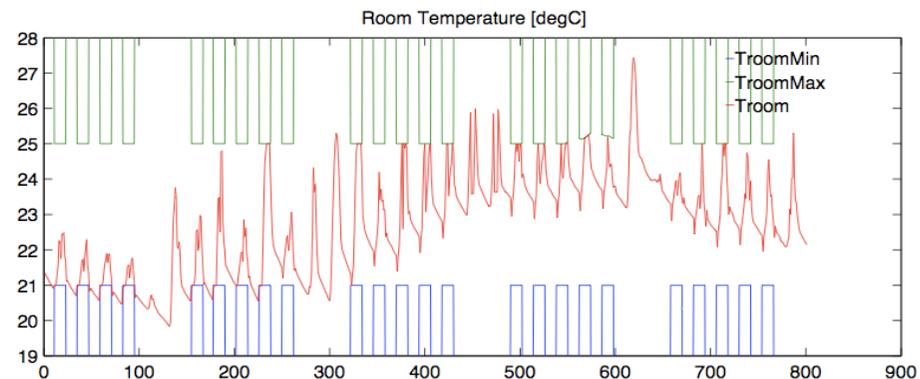
- **Grundidee:** Mathematische Optimierung basierend auf Gebäudemodell

Nr	Vorgabe	Beispiel
1	Optimierungsziel	Minimieren des totalen Energieverbrauchs über die nächsten 72 h
2	Stellgrößen	Vorlauftemperaturen, Jalousienstellung, Volumenströme, ...
3	Randbedingungen	Komfortanforderungen, max. Heiz-/Kühlleistung, Betriebszeiten, ...
4	Ist-Zustand	Temperaturverteilung im Gebäude
5	Zukünftige Störgrößen	Wetter, interne Lasten, ...
6	Gebäudeverhalten	Modell der Regelstrecke: Temperaturen = $f(\text{Wärmeflüsse})$

→ Computer berechnet **optimale Stellgrößen** (Vorgang wird alle 15 min. wiederholt)

- **Beispiel:** Resultat aus Computersimulation

- Verlauf stündliche Raumtemperatur
- Optimierungsziel: Energieaufwand für Heizen/Kühlen minimieren
- Randbedingung: Raumtemperatur innerhalb Komfortbereich halten
- Perfektes Modell und Vorhersagen (PB)



Regelstrategien – Gegenüberstellung

RBC – „So hat es zu funktionieren“



Vorteile

- Ansatz in der Gebäudeautomation weit verbreitet
- Die einzelnen Regeln sind *im Vornhinein* durch Fachleute gut nachvollziehbar

Herausforderungen

- Finden passender Regeln (z.B. für die vorausschauende Regelung)
- Ermitteln der Parameterwerte (z.B. der Schwellwerte)

MPC – „Bitte Resultat XY“



Vorteile

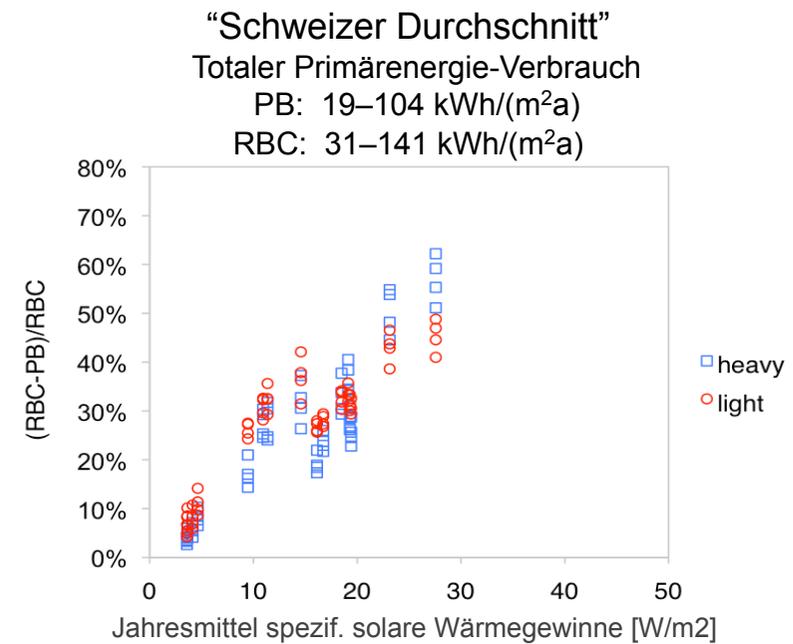
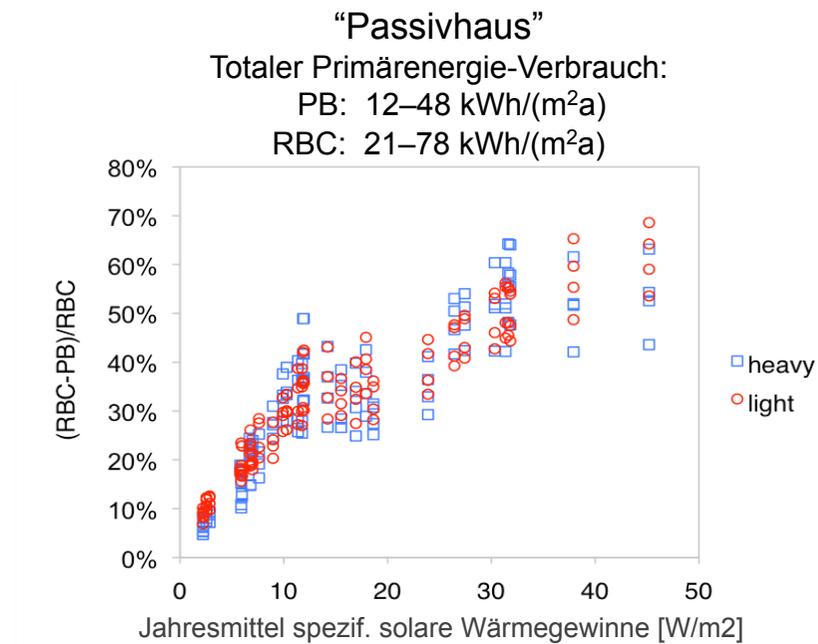
- Mächtigkeit: Handhabung vieler Eingangs- und Ausgangsgrößen
- Flexibilität: unterstützt variable Randbedingungen, Kosten etc.
- Resultierendes Reglerverhalten *im Nachhinein* gut nachvollziehbar

Herausforderungen

- Ermitteln eines geeigneten Modells
- Umsetzung – Fachwissen für die Anwendung und den Service

Resultate (1): Theoretisches Einsparpotential der vorausschauenden Regelung

Systematische Untersuchung einer Vielzahl von Fällen für IRA mittels Simulation (versch. Standorte × Gebäude × Haustechnik-Systeme)



- Viele Fälle mit erheblichem Potential
- Potential nimmt mit solaren Wärmegewinnen zu
- Grosse Streubreite

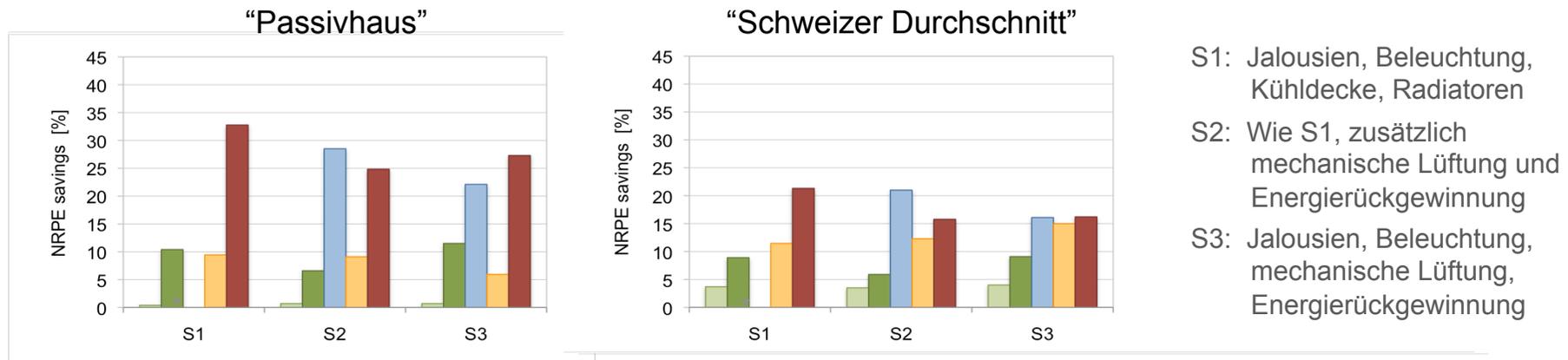
Nach Gyalistras et al. (2010), www.opticontrol.ethz.ch/Lit/Gyal_10_Proc-Clima2010.pdf

Resultate (2): Vergleich von Massnahmen zur Energieeinsparung mittels Gebäudeautomation

- Mittlere Einsparungen Primärenergie (versch. Standorte, Gebäudezonen und Haustechnik-Systeme)

■ a) Temperaturabsenkung nachts und am Wochenende	0 – 18%
■ b) Temperatur-Komfortbereich um $\sim 1.5^{\circ}\text{C}$ erweitert	6 – 16%
■ c) CO_2 -abhängige Lüftung	13 – 28%
■ d) Fortgeschrittene nicht-prädiktive RBC-Regelung	1 – 15%
■ e) Theoretisches Potential der prädiktiven Regelung (PB)	16 – 41%

- Bsp.: Mittlere Einsparungen für Zonen mit Fassade N or S, schwere Bauweise



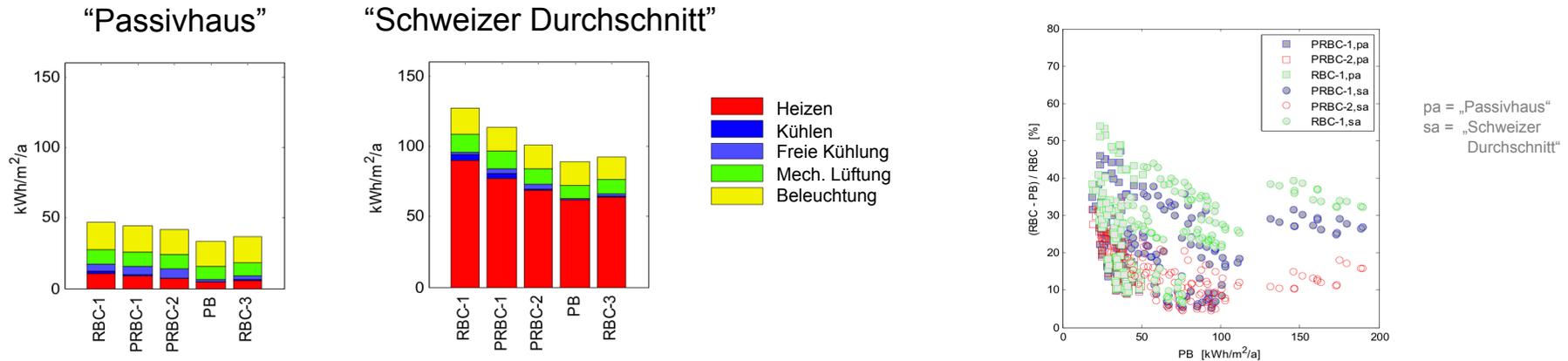
Nach Gyalistras et al. (2010), www.opticontrol.ethz.ch/Lit/Gyal_10_Proc-Clima2010.pdf

Resultate (3): Neue RBC-Strategien

- Übersicht RBC-Strategien

Abkürzung	Beschreibung	Jalousienpositionen	Aktualisierung Jal.pos.
RBC-1	In der Praxis häufig verwendete Strategie	Drei (offen, zu, Beschattung)	Stündlich
PRBC-1	Neue prädiktive Strategie	Drei (offen, zu, Beschattung)	Stündlich
PRBC-2	Neue prädiktive Strategie	Beliebig	Stündlich
RBC-3	Neue nicht-prädiktive Strategie	Beliebig	Kontinuierlich
PB	Performance Bound (bestmögliche Regelung)	Beliebig	Kontinuierlich

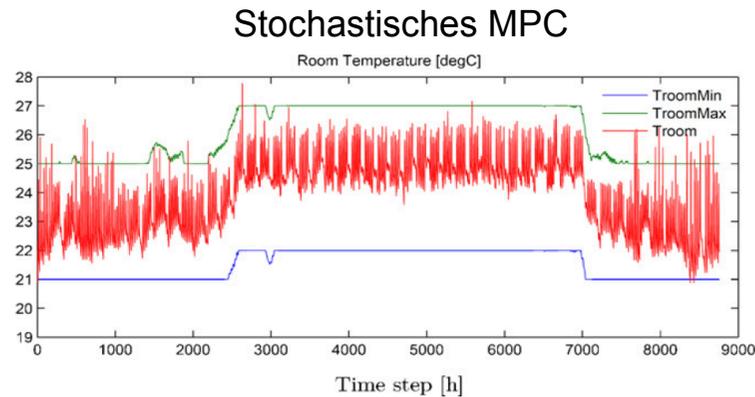
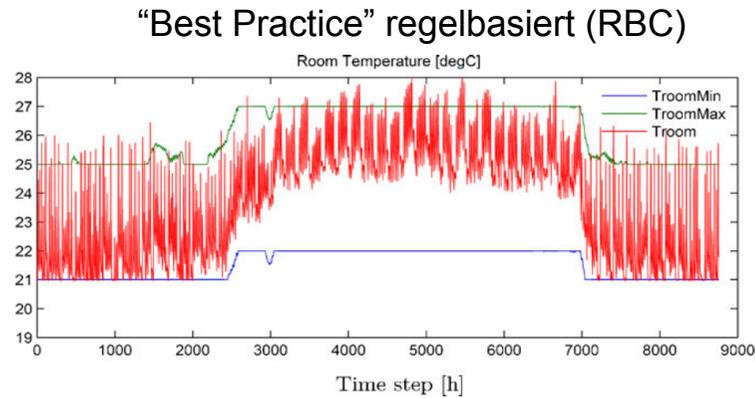
- Bsp.: Vergleich Primärenergieverbrauch (Standort Zürich, versch. Gebäudezonen, Haustechnik-System „S2“)



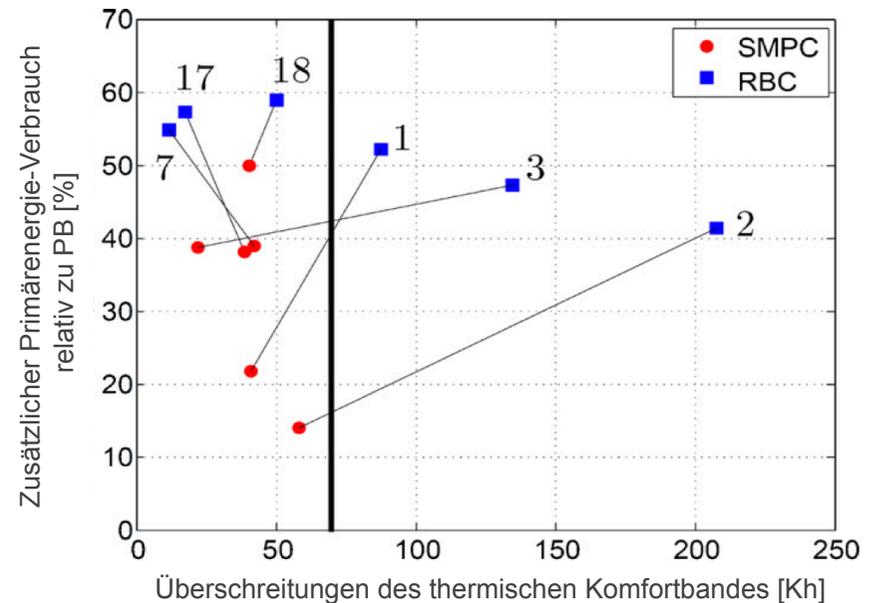
Nach Gwerder et al. (2010), www.opticontrol.ethz.ch/Lit/Gwer_10_Proc-Clima2010.pdf

Resultate (4): Neue MPC-Strategien

Jahressimulationen für Gebäudezone in Marseille, 2007
 (Fall Nr. 3: Bauweise „Schweizer Durchschnitt“, schwer;
 Fassade Süd, Glasanteil 30%; hohe interne Lasten)



Vergleich der Regelungsgüte von RBC und MPC für ausgewählte Gebäudezonen im Jahr 2007
 (1,2: Lugano; 3: Marseille; 7,17: Zürich; 18: Wien)



→ MPC schneidet in Simulationen besser ab als RBC

Oldewurtel et al. (2012), *Energy and Buildings* 45:15–27

Resultate (5): Interaktive Potentialabschätzungen auf dem Internet

Building Automation and Control Tool (BACTool)

BACTool
Assessment of control algorithms for buildings

- Introduction
- Buildings Selection
- Quick Selection**
- Building A
- Building B
- Performance Analysis
- Comparison
- Building A
- Building B
- Further Info

BACTool
Assessment of control algorithms for buildings

Home | Contact

Energy | Comfort | Power demand | Multicriteria | Time series

Aggregation: Total

Comparison type: Absolute

Type of Investigation

- Theoretical potential of prediction
- Comparison of rule-based control
- Custom

Building

Typical Swiss office building at

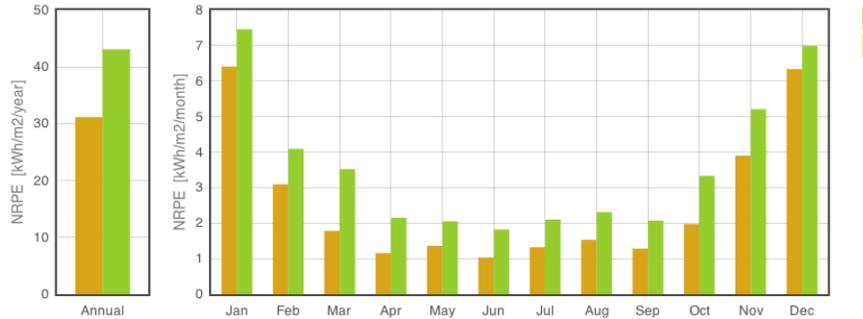


HVAC system
S1: Blind
S2: Sun
S3: Blind

Very well insulated, highly glazed



HVAC system
S1: Blind
S2: Sun
S3: Blind



Category	Building A [kWh/m ² /year]	Building B [kWh/m ² /year]
Annual	~31	~43
Jan	~6.5	~7.5
Feb	~3.0	~4.0
Mar	~1.8	~3.5
Apr	~1.2	~2.2
May	~1.5	~2.0
Jun	~1.0	~1.8
Jul	~1.5	~2.0
Aug	~1.8	~2.2
Sep	~1.5	~2.0
Oct	~2.0	~3.2
Nov	~3.8	~5.2
Dec	~6.2	~7.0

© 2011 ETH Zurich | [Imprint](#) | [Top](#) | 22.11.2011

© 2011 ETH Zurich | [Imprint](#) | [Top](#) | 22.11.2011

www.bactool.ethz.ch

Vorausschauende Gebäuderegulung in der Forschung

Vielzahl von neuen Studien:

Anwendungsgebiet	Referenz
Heizung	Liao & Dexter (2009), Ghiaus & Hazyuk (2010), Morosan et al. (2010), Siroky et al. (2010, 2011)
Kühlung	Henze et al. (2008; 2010), Lee & Braun (2008), Armstrong et al. (2009), Gayevski (2009), Sun et al. (2010) Coffey et al. (2010), Ma et al. (2009; 2010)
Heizung+Kühlung	Freire et al. (2008), Yu & Dexter (2009), Moon & Kim (2010), Balan et al. (2011), Petersen & Svendsen (2011), Ma et al. (2012)
Lüftung	Yuan & Perez (2006), Xi et al. (2007), Mahdavi & Proglhof (2008), Xu et al. (2009), Huang & Wang (2008), Spindler & Norford (2009), Huang et al. (2009; 2010)
Jalousien	Daum (2011)
Speicherbewirtschaftung	Projekt "Neue Monte-Rosa Hütte SAC"; Ma et al. (2012)

Besonderheiten des OptiControl-Projektes:

- Gewerkübergreifende Regelung (IRA)
- „Performance Bound“ und sorgfältiger Vergleich RBC–MPC
- Anwendung auf repräsentatives Gebäude

Weitere Infos zu Referenzen: www.opticontrol.ethz.ch/07E-Literature.html

Publikationen aus OptiControl-Projekt: www.opticontrol.ethz.ch/04E-Publications.html

OptiControl Phase II: Demonstration

- **Ziele:**

- **Ausrüstung und Modellierung des Demonstratorgebäudes**
für eine rigorose Beurteilung von Regelalgorithmen
- **Demonstration der Machbarkeit prädiktiver Regelalgorithmen**
unter Verwendung von Wettervorhersagen
- **Beurteilung der Regelalgorithmen**
(Energieverbrauch, Energiekosten, Nutzerkomfort und Leistungsspitzen im praktischen Einsatz)
- **Erhebung der Akzeptanz**
(Betreiber, Nutzer)
- **Nutzen/Kostenanalysen für Gebäudebesitzer**
ausgehend vom konkreten Beispiel

- **Vorgehen:**

Kombination von **Feldtests**, **Modellierung/Simulation** und **Nutzerumfragen**

Weiteres Programm

14.10 Uhr

FACHREFERATE (TEIL I)

Von der Vision einer zukunftsweisenden Gebäudeautomation zu den Ergebnissen am Demonstratorgebäude (20')

Dr. Dimitrios Gyalistras, Projektleiter OptiControl, ETH Zürich

Erkenntnisse aus Sicht des Planers: Neue Wege in der Gebäudeautomation = neue Wege in der Gebäudeplanung (20')

Carina Sagerschnig, Gruner AG

Erkenntnisse aus Sicht des Anbieters von Gebäudeautomation: Vorfeldentwicklung und Bewährungsprobe für Lösungsideen (30')

Markus Gwerder, Siemens Schweiz AG

15.20 Uhr

Pause

15.40 Uhr

FACHREFERATE (TEIL II)

Predictive Building Control: Insights from the Research Perspective (30')

Prof. Roy Smith, Institut für Automatik, ETH Zürich

Erkenntnisse aus Sicht des Nutzers (20')

Andreas M. Gaiser, Head Facility Management Actelion

16.30 Uhr

Fragen und Antworten

16.40 Uhr

Schlussworte

Dr. Dimitrios Gyalistras, Projektleiter OptiControl, ETH Zürich

16.45 Uhr

Netzwerk-Apéro

Möglichkeit zu Gruppenführungen durch das Demonstratorgebäude

ca. 17.30 Uhr

Ende der Veranstaltung