

## Die Gebäudehülle als aktives Bauteil.

Optimierung der Interaktion  
von Gebäudetechnik und Sonnenschutzsteuerung  
am Beispiel des Roche-Towers in Rotkreuz.

*Energieapéro beider Basel, 17.02.2011*

*Dr. Axel Seerig*

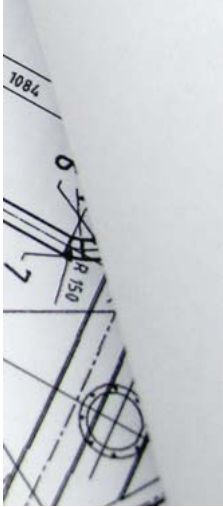
*Abteilungsleiter Bauklimatik, Simulationen*

*Gruner AG, Basel*

*Architektur: Burckhardt+Partner AG, Basel*

# Inhalt

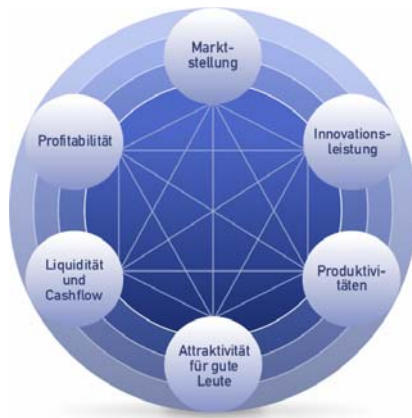
1. Motivation und Vorgehen
2. Roche-Tower Rotkreuz
3. Gebäude- und Anlagenoptimierung
  - Heiz- und Kühllast
  - Thermischer Komfort
4. Regelbasierte Betriebsoptimierung
5. Modellprädiktive Betriebsoptimierung



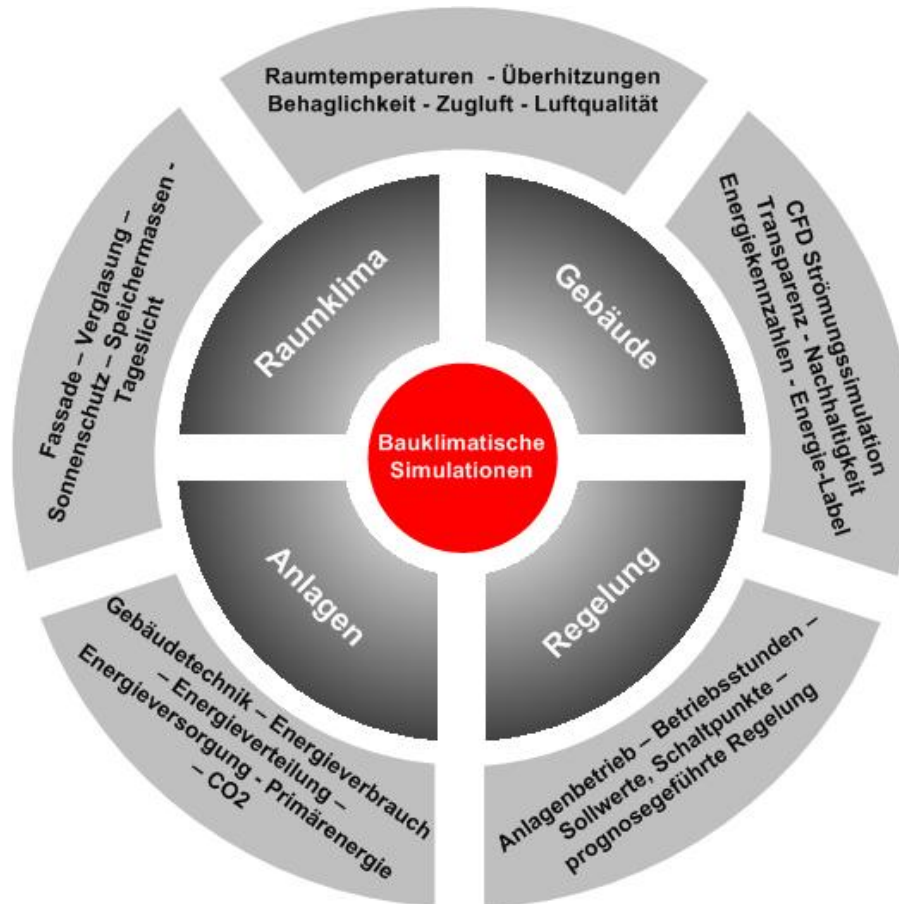
# Motivation und Vorgehen

# Simulation als Systembetrachtung

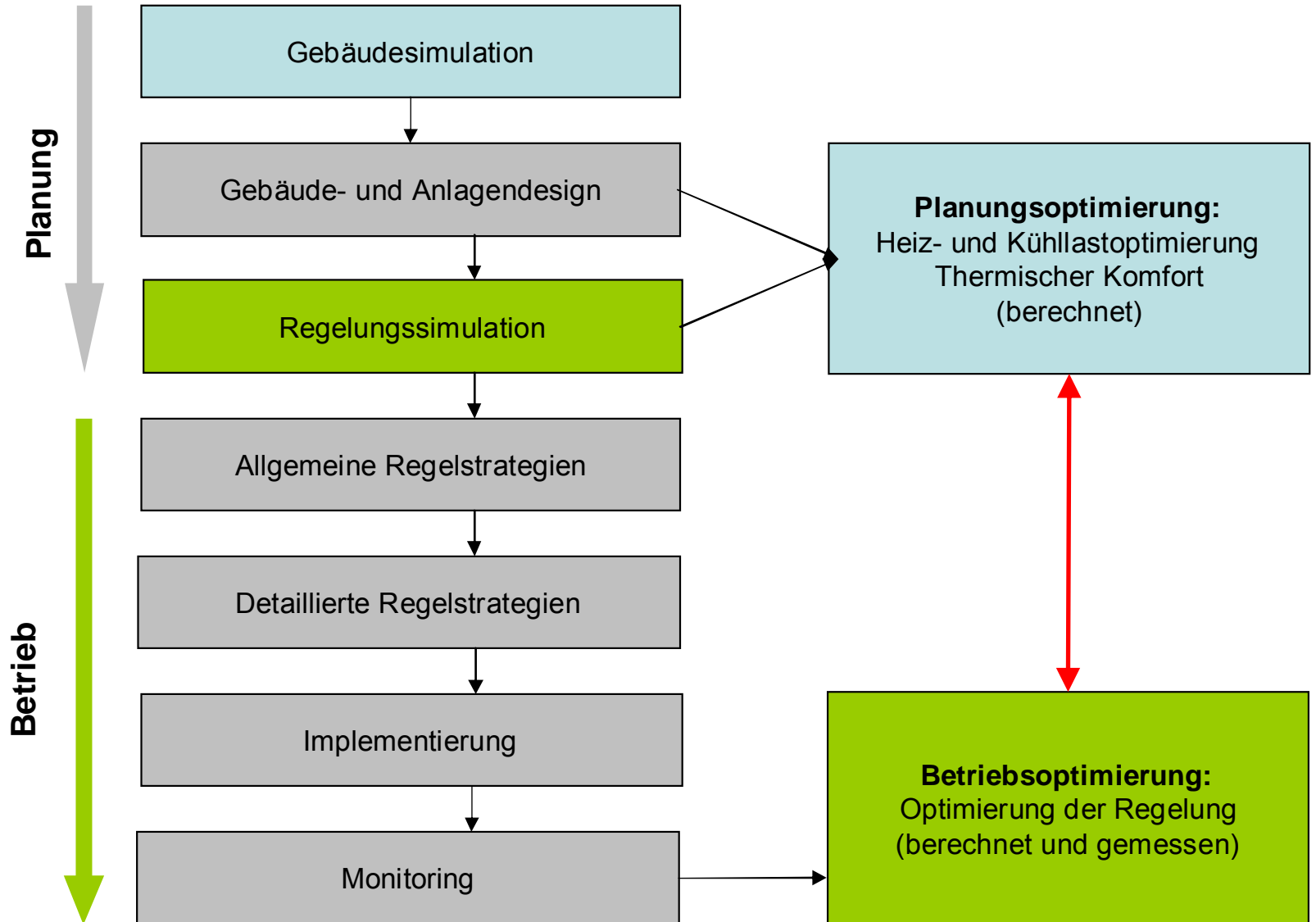
- > Simulation betrachtet das Gebäude als Gesamtsystem
- > Simulation ist „Building Performance Control“ - in allen Phasen.



Central Performance Control nach MALIK

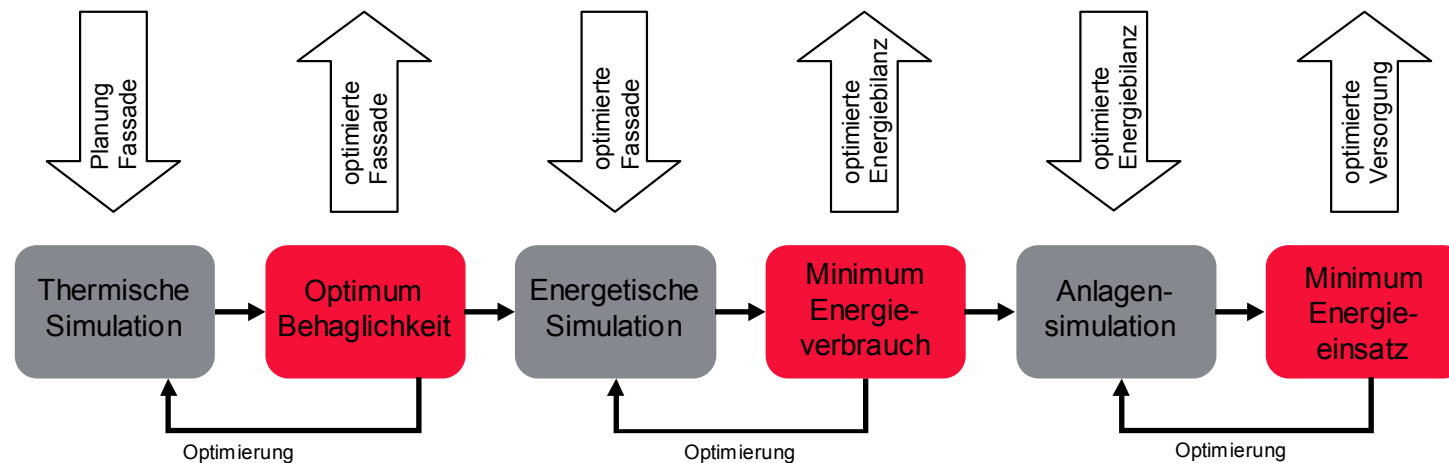


# Integraler Simulationsansatz



# Optimierung der Planung

## > Durchgeführte Untersuchungen für Rotkreuz, Bau 5



### 1. Fassade

- > Bewertung zweier Fassadenvarianten unter energetischen und behaglichkeitsrelevanten Gesichtspunkten
- > Optimierung Verschattungssteuerung

### 2. Gebäude

- > Ermittlung des Nutzenergiebedarfs einzelner Referenz-zonen

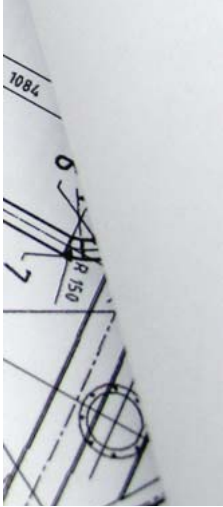
### 3. Anlagen

- > Nutzenergiebilanz für Gebäude und Anlagen
- > Ermittlung Endenergiebedarf

# Optimierung des Betriebs

- > Gleichzeitige Optimierung von **Kühllast und Betriebszeiten** der Storen (solare Einstrahlung auf Fassade)
- > Optimierung der Nachführung der Lamellen (Anpassung des Anstellwinkels) zur **Tageslichtnutzung**
- > Optimierung des Storenbetriebs in Abhängigkeit der Raumkühllast zur Senkung der Betriebszeiten der Storen; Freiheitsgrade hinsichtlich **Aussenbezug**

**Kühllast - Tageslichtnutzung - Aussenbezug**



# Roche-Tower Rotkreuz

# Das Gebäude

## Gebäude

- > 15 Geschosse, Höhe 68 m, BGF 17.000 m<sup>2</sup>, Skelettbauweise, 600 Arbeitsplätze
- > Closed Cavity Facade (Fa. Gartner), Sonnenschutzglas  
Glasflächenanteil ca. 80%
- > Raffstoren, automatisiert in Doppelfassade (Fa. Warema)
- > Kühlung über TABS
- > Erdgekoppelte Wärmepumpe
- > Luftmenge 50.000 m<sup>3</sup>/h

## Energie

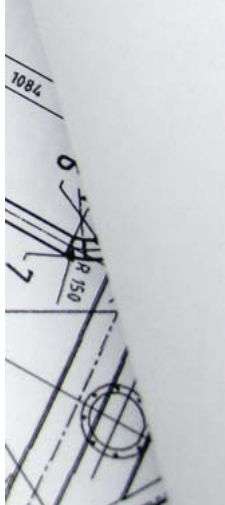
- > Heizung: 805 MWh/a, 550 kW
- > Kühlung: 630 MWh/a, 500 kW

## Baubeginn 2009

## Gebäude- und Anlagensimulation mit EnergyPlus 4.0



Architektur: Burckhardt+Partner AG, Basel



Roche-Tower Rotkreuz  
Impressionen vom Gebäude

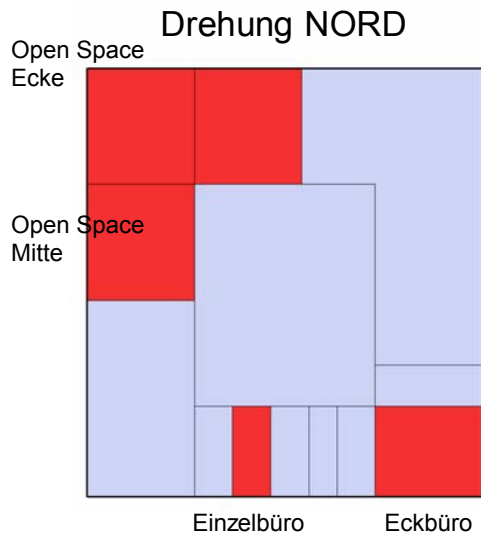




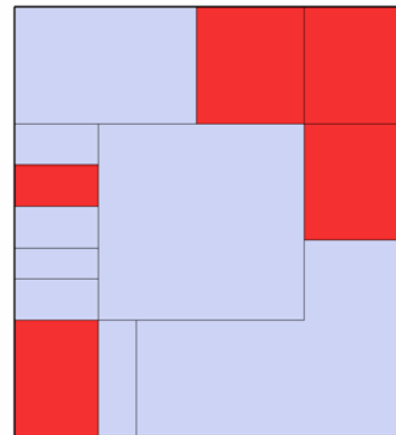
# Modell 1: Thermische Behaglichkeit, Raumenergie

## > Modell "Regelgeschoss"

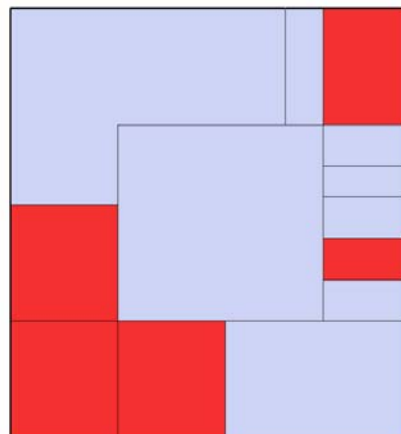
### > Horizontale Zonierung



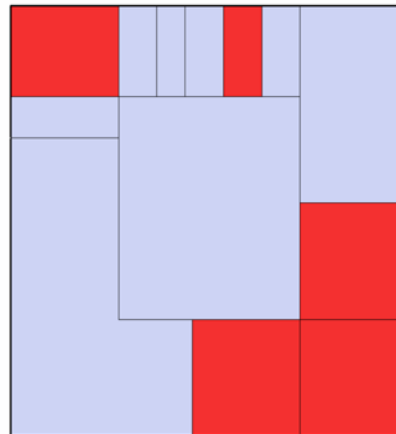
Drehung OST



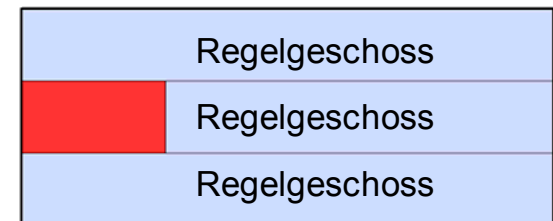
Drehung WEST



Drehung SÜD



### > Vertikale Zonierung

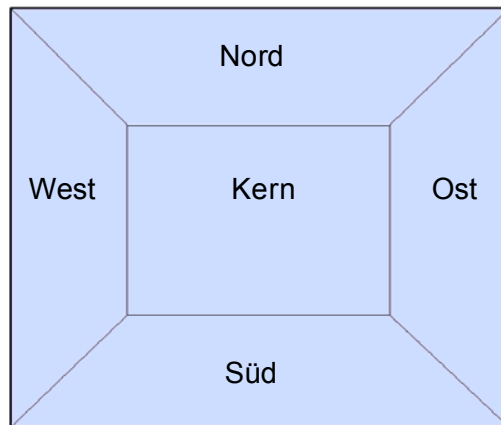


## Modell 2: Gesamtenergie

- > Zonierung der Geschosse in Abhängigkeit der Nutzung
- > Berücksichtigung der Speichermassen (Geschossdecken, Kern, Stützen)
- > keine Fremdverschattung durch umliegende Gebäude

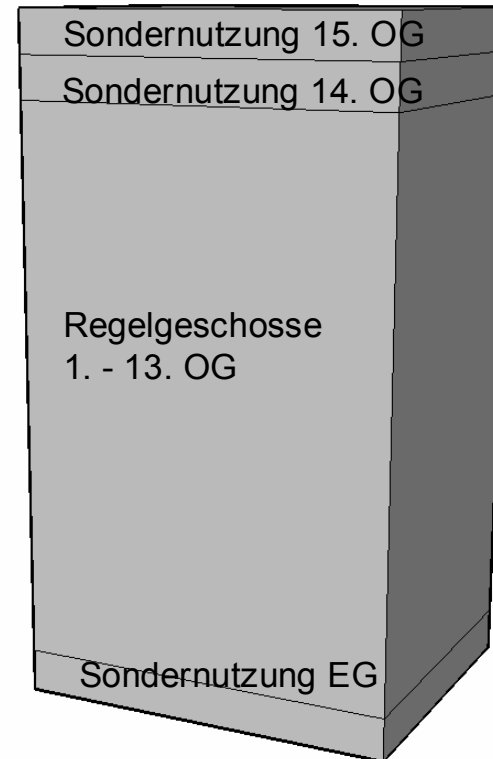
## Modell 2: Gesamtenergie

### > Horizontale Zonierung

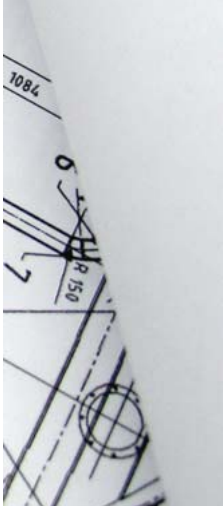


Kern- und Aussenzonen

### > Vertikale Zonierung

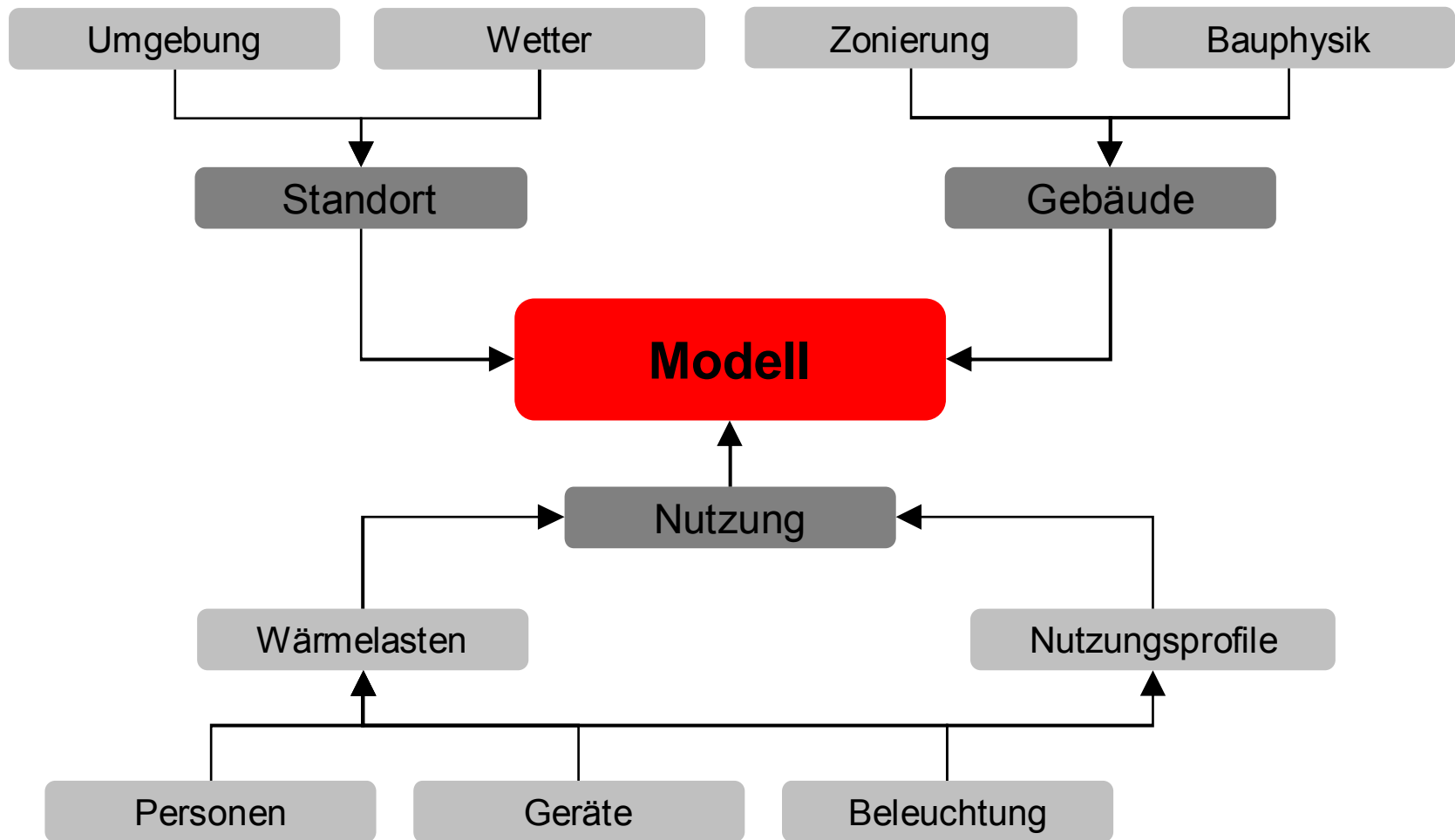


ohne Technikgeschosse im UG

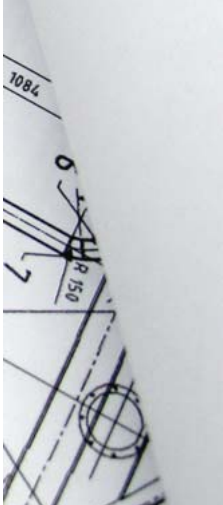


# Die Methode Simulation

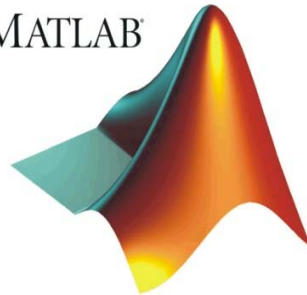
# Größen und Ablauf einer Simulation



# Qualitätsstandards der Simulationstools



MATLAB



TASK 34

- What's New
- Objectives
- Scope & Main Activities
- Subtasks
- Task Participants
- Publications / Outcomes
- Related Sites
- Task Work Area
- Home

SHC Home

## Task 34 - Testing and Validation of Building Energy Simulation Tools

### OVERVIEW

The IEA has created a number of procedures for testing and validating building energy simulation programs. This work was the product of IEA Solar Heating and Cooling (SHC) Programme Task 22, and an earlier collaboration of IEA SHC Task 12 and Energy Conservation in Buildings and Community Systems (ECBCS) Annex 21.

### Task Information

**Duration**  
October 1, 2003 to December 31, 2007

**Operating Agent**  
Ron Judkoff  
National Renewable Energy Laboratory  
1617 Cole Boulevard  
Golden, CO 80401  
[Ron\\_Judkoff@Nrel.Gov](mailto:Ron_Judkoff@Nrel.Gov)



### Task News

# Qualitätsstandards von Simulationen

Schweiz:

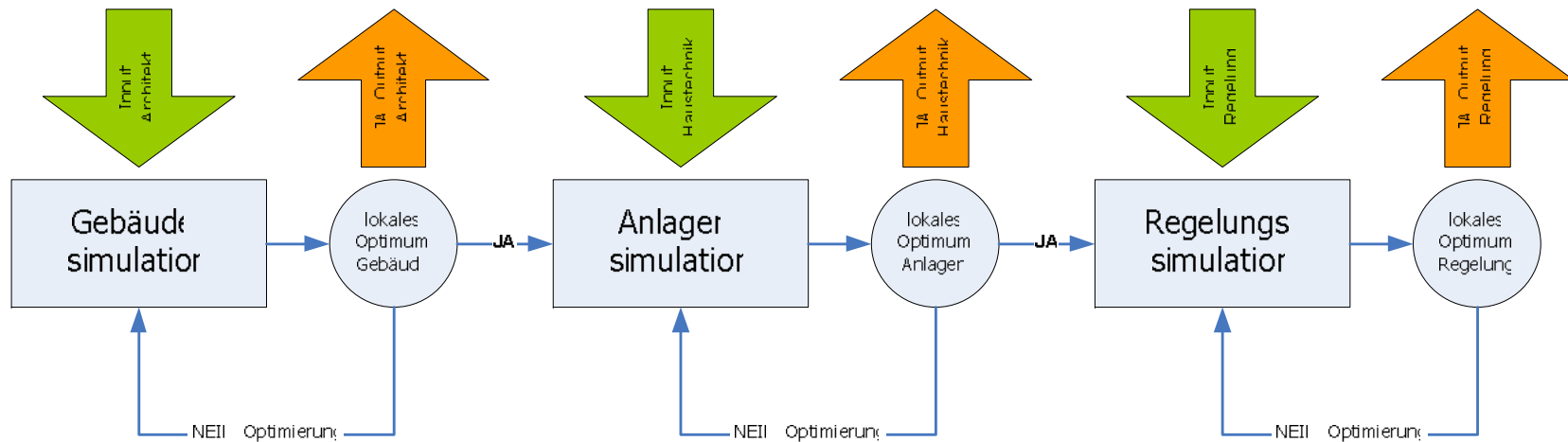
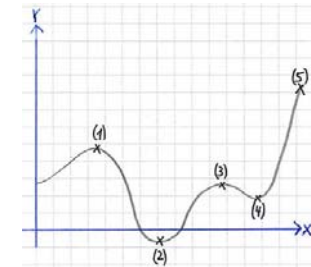
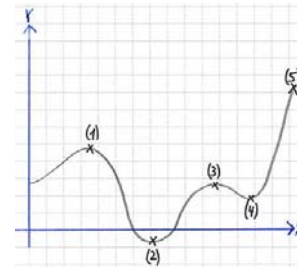
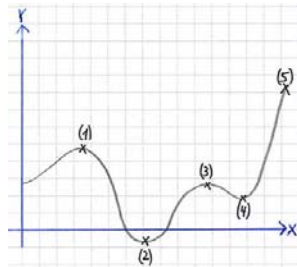
- SIA 382/1: u.a. Anforderungen an die Simulation des sommerlichen Wärmeschutzes
- SIA 2024: u.a. Nutzungsprofile
- SIA 2028: Klimadaten



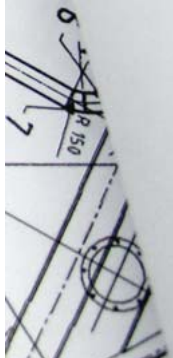
Definition von Anforderungen an:

- Simulationstools
- Simulationsingenieur (Qualifikation, Erfahrungen)
- Durchführung der Simulation
- Auswertung und Interpretation der Simulation

# Konventionelle Optimierung mittels Simulation



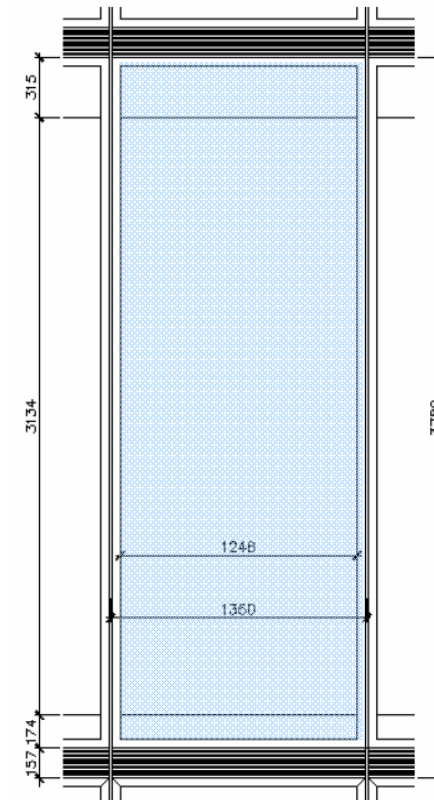
1084



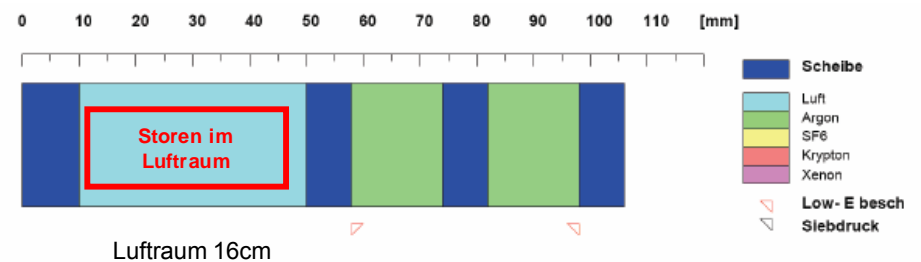
# Heiz- und Kühllast, Thermischer Komfort

# Untersuchung zweier Fassadenvarianten

- > Fassade: modular, nicht hinterlüftet
  - > Verhältnis Fenster / Wand 0.77
  - > Wandpaneele  $U = 0.55 \text{ W/m}^2\text{K}$
  - > 4 Glasschichten
    - >  $U_g = 0.51$ ,  $U_w = 0.92$
    - >  $g = 0.45$ ,  $\tau = 0.67$
  - > Raffstoren
    - > Storen zwischen Glas
    - > 80mm Lamellenbreite



Schichtaufbau Fassadenelement (prinzipiell)



# Untersuchung zweier Fassadenvarianten

## > Vergleich der Fassadenkonstruktionen "3 + 1" und "2 + 1"

### > gleicher Modellaufbau

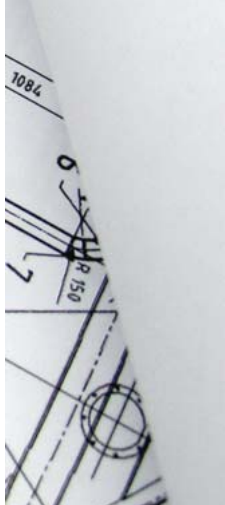
	3 + 1	2 + 1
Aufbau	<b>3-fach Isolierglas</b> 16cm Luftraum Einfachverglasung	<b>2-fach Isolierglas</b> 16cm Luftraum Einfachverglasung
$U_g$ [ W/m <sup>2</sup> K ]	0.51	0.75
$U_w$ [ W/m <sup>2</sup> K ]	0.92	1.11
g [ ]	0.41	0.51

ID : 19  
 Name : RotKreuz 2-fach  
 Tilt : 90.0  
 Glazings: 3  
 KEFF : -0.0091  
 Width : 99.810  
 Uvalue : 0.75  
 SHGCc : 0.51  
 SCc : 0.59  
 Vtc : 0.66  
 RHG : 375.74

Glass and Gas Data for Glazing System '19 RotKreuz 2-fach'

ID	Name	D(mm)	Tsol	1 Rsol	2 Tvis	1 Rvis	2 Tir	1 Emis	2 Keff
-----									
Outside									
11001	DIAMANT 12mm.SG#	12.0	.860	.077	.077	.901	.082	.082	.000
	1 Air	60.0							.837
4013	KGLASS6.PGL #	5.8	.664	.111	.092	.822	.109	.098	.000
	9 Air (10%) / Ar	16.0	SF6: 0%	Ar: 0%					.170
7140	ip-iple6.ipe #	6.0	.542	.344	.256	.874	.043	.050	.000
									.037
-----									
Inside									

# Untersuchung zweier Fassadenvarianten



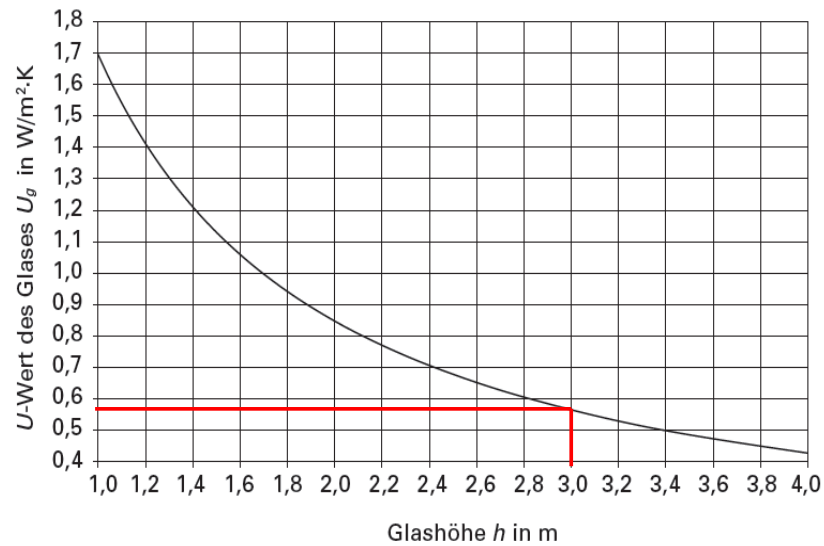
Quelle: Gartner

# Heiz- und Kühllast, Thermischer Komfort

## Thermische Behaglichkeit

### > Grundlagen

Figur 8 Maximal zulässiger  $U$ -Wert der Fensterverglasung  $U_g$  in Abhängigkeit der Glashöhe  $h$  zur Vermeidung von Komfortproblemen bei Kaltluftabfall. Gilt nicht für über Eck verglaste Räume.

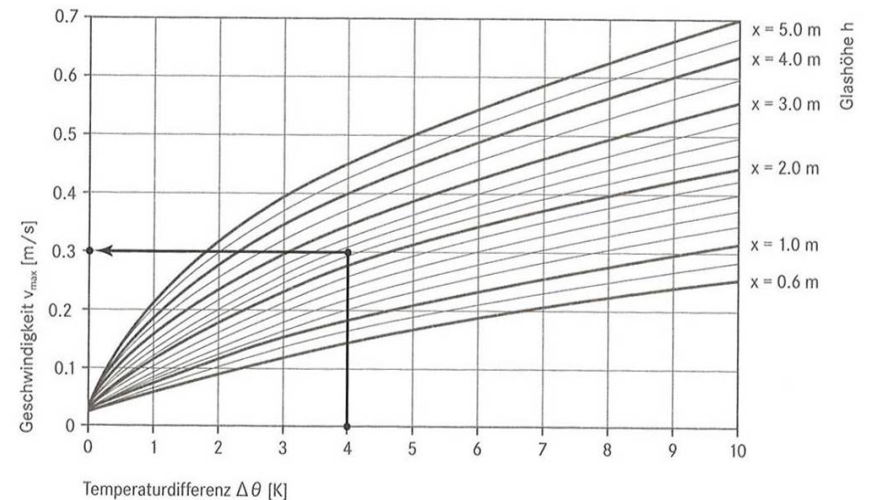


U-Werte von Fenstern in Abhängigkeit der Glashöhe (Auszug SIA 382/1, Ziffer 2.2.4.6)

- > Aus Behaglichkeitsgründen sollte die Grenzschichtgeschwindigkeit am Fenster nicht mehr als 0.3 m/s betragen
- Grenztemperatur der Glasoberfläche liegt bei ca. 18 °C

#### Maximale Geschwindigkeit $v_{max}$ der Grenzschichtströmung

In Funktion der Temperaturdifferenz zwischen Raumluft und Glasoberflächentemperatur und der Glashöhe  $h$ .

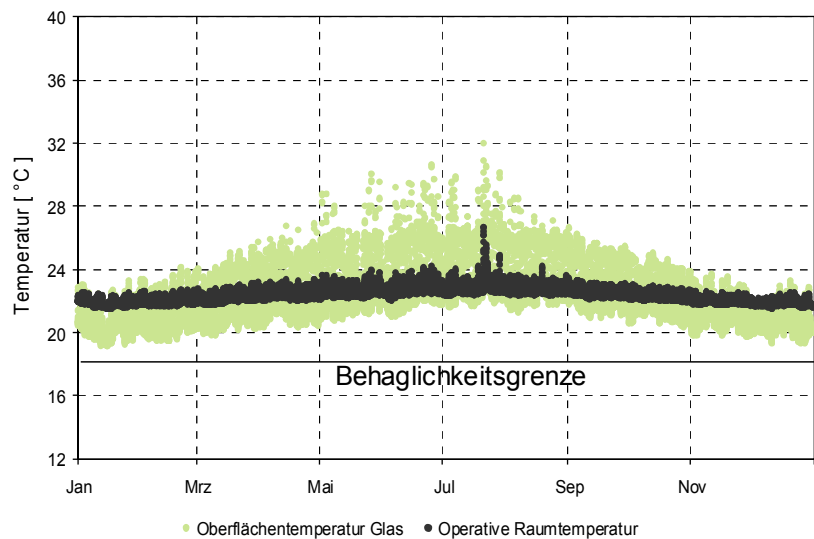


# Heiz- und Kühllast, Thermischer Komfort

## Thermische Behaglichkeit

### > Vergleich 3 + 1 / 2 + 1

- > Behaglichkeitsgrenze für Kaltluftabfall im Vergleich zu Oberflächentemperatur und operativer Raumtemperatur



### > 3 + 1

- > Nordzone, ohne Jalousie
- > Ohne Berücksichtigung von Bodenkonvektoren in Fassadennähe

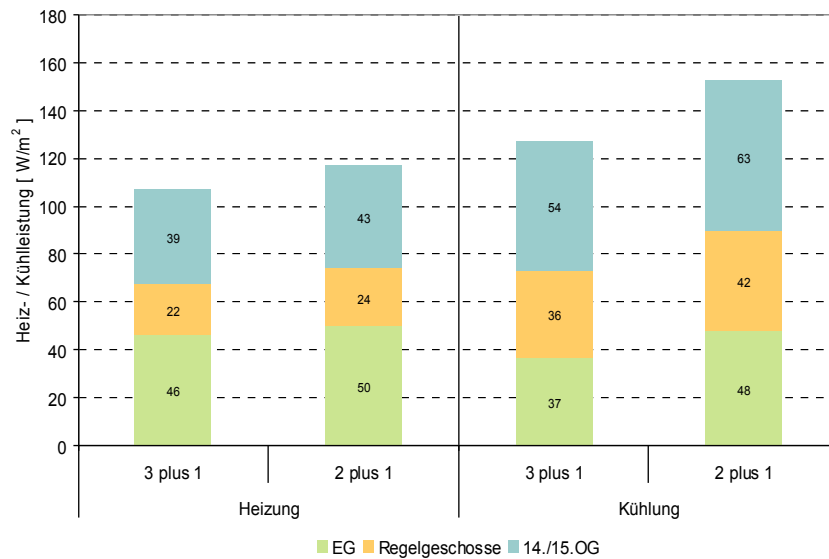
### > 2 + 1

# Heiz- und Kühllast, Thermischer Komfort

## Gesamtenergiebilanz

### > Nutzenergiebedarf Gebäude

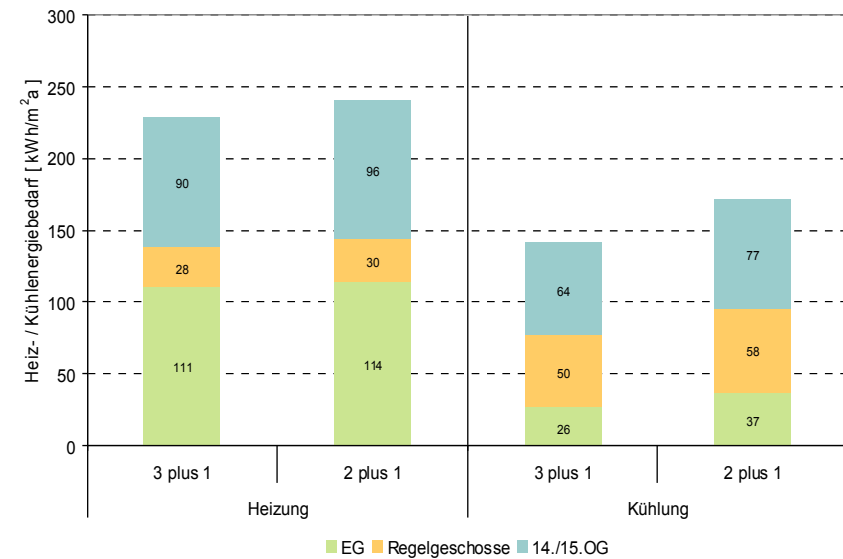
(ohne Technikräume)



### > max. spezifische Heiz- / Kühllast

[ W/m<sup>2</sup> ]

Bezugsfläche ist die Summe der jeweiligen  
Geschossflächen.



### > spezifischer Jahresenergiebedarf

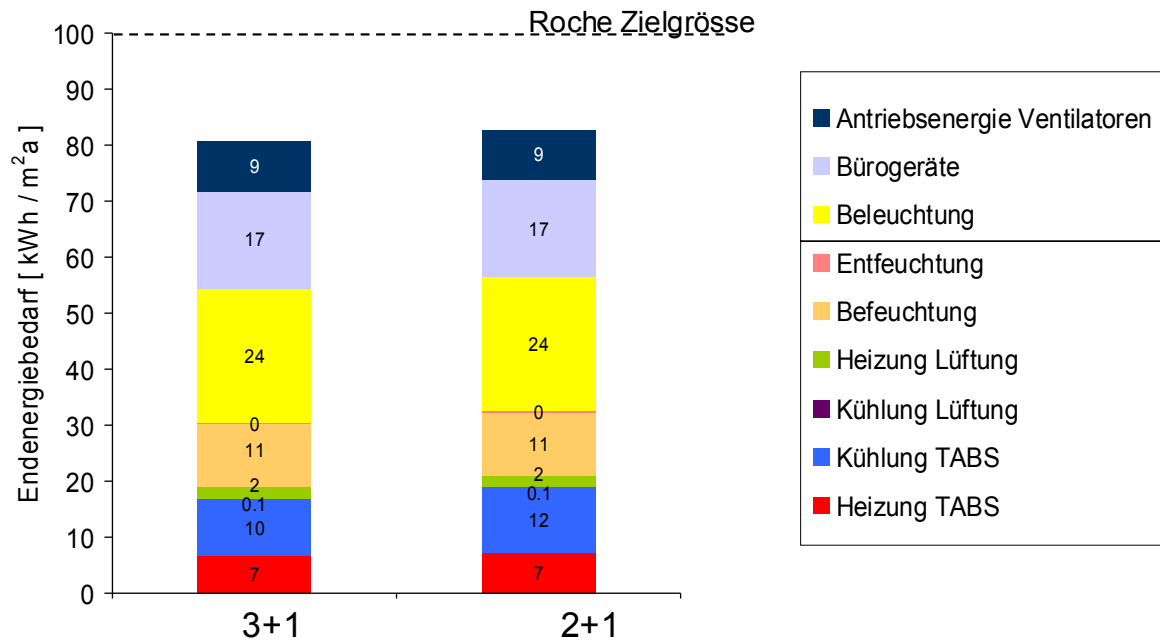
[ kWh / m<sup>2</sup>a ]

# Heiz- und Kühllast, Thermischer Komfort

## Gesamtenergiebilanz

### > Endenergiebedarf

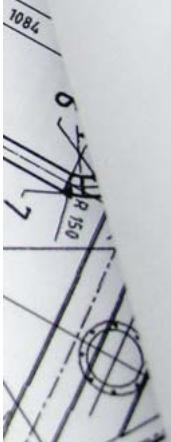
Heizung / Kälte / Lüftung + Antriebsenergie Lüftung + Beleuchtung + Bürogeräte



(exkl. Antriebsenergien Hgz, Kälte, Sanitär; Trafo, Sondergeräte, IT)

	3+1	2+1
Endenergiebedarf (ohne Ventilatoren, Beleuchtung, Geräte)	31 kWh/m <sup>2</sup> a	33 kWh/m <sup>2</sup> a (+ 6%)
Endenergiebedarf Gesamt	81 kWh/m <sup>2</sup> a	83 kWh/m <sup>2</sup> a (+ 2%)

Bezug = konditionierte Flächen: 14'750 m<sup>2</sup>

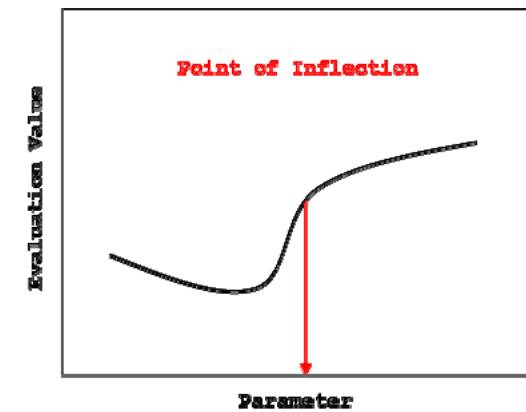
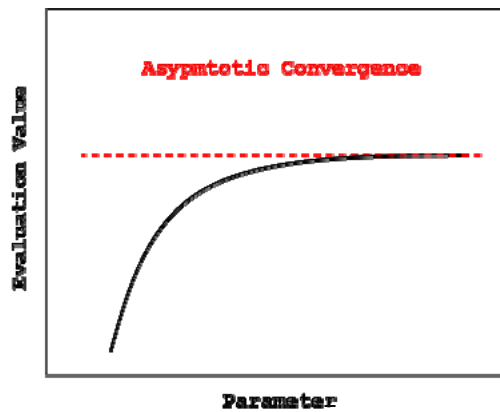
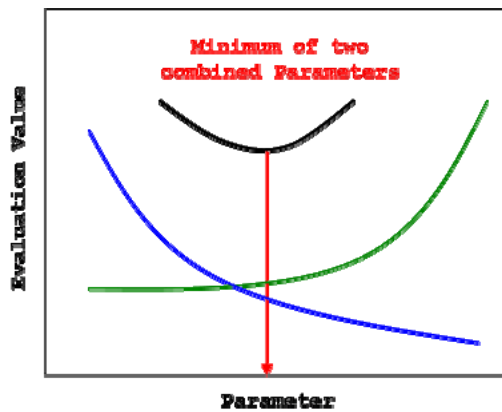
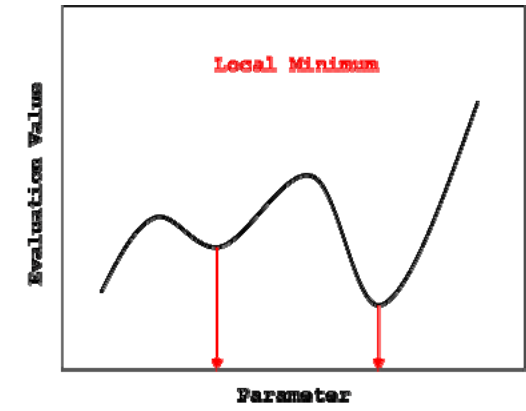
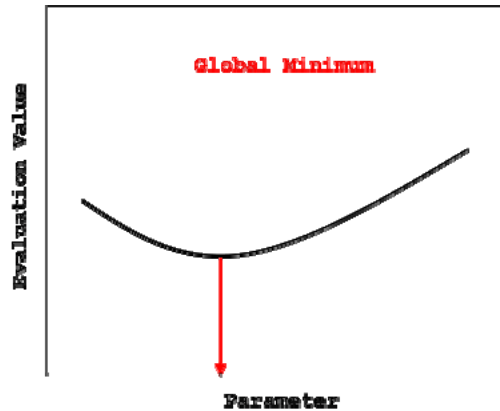
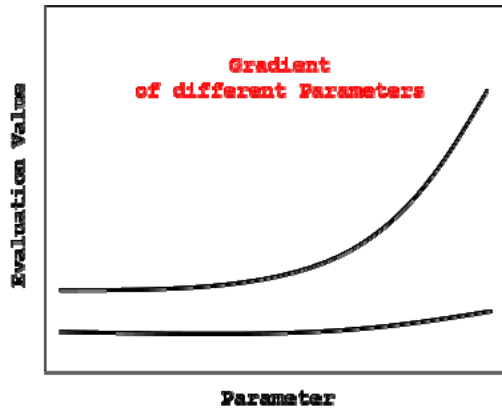


# Regelbasierte Betriebsoptimierung

## Ziele

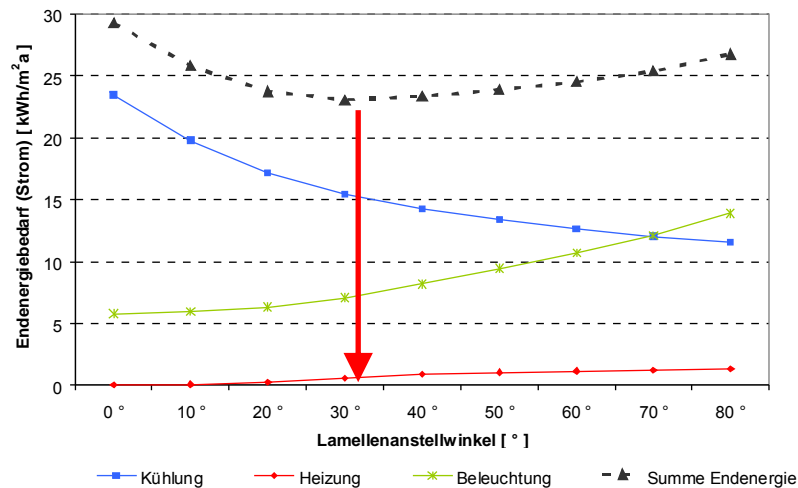
- > **Ziele einer Integrierten Raffstorensteuerung**
  - > Abstimmung des Storenbetriebs auf den aktuellen Betrieb der Heiz- und Kühlanlage
  - > Flexibilisierung des Storenbetriebs durch betriebsabhängige Schaltpunkte der Storen
  - > Einfache Integration der Storensteuerung in das Gebäudeautomationssystem
  - > Erhöhung der Durchsicht für den Nutzer bei Verfügbarkeit von freier Kühlung (Primärenergiebedarf wird nicht erhöht)
  - > Blendschutz unabhängig von Raffstoren (dzt. nicht integriert)

# Vorgehen = Parameterstudien

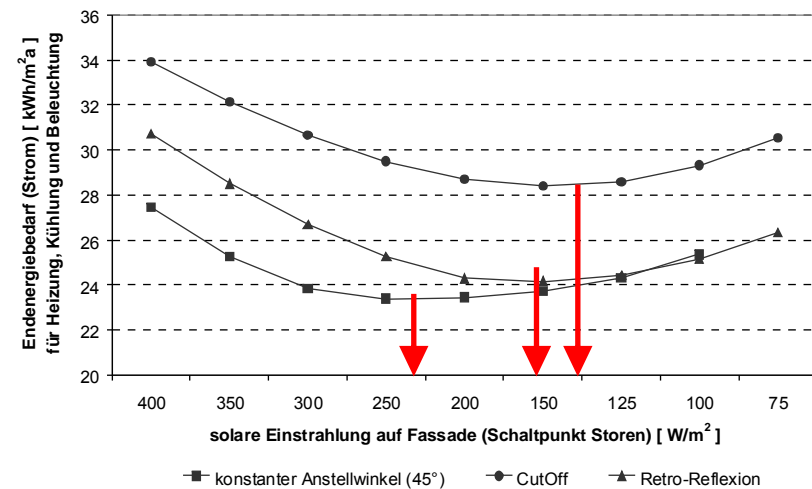


# Parameterstudien Winkel und Schaltpunkt

- > Parameterstudie zur Ermittlung von gebäudespezifischen Default-Werten für Lamellenanstellwinkel und Schaltpunkt



Endenergiebedarf bei verschiedenen, konstanten Lamellenanstellwinkeln



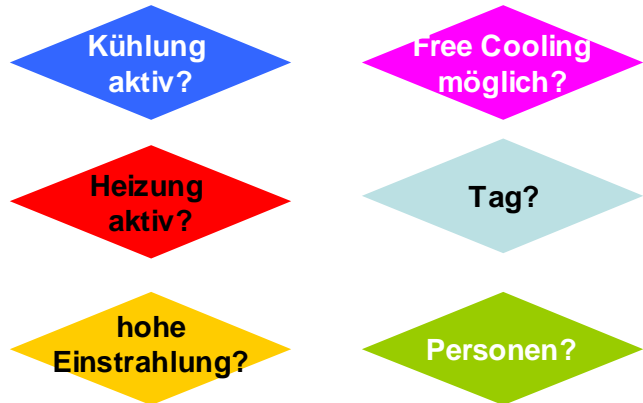
Endenergiebedarf für verschiedene Lamellenanstellwinkel-Strategien in Abhängigkeit des Schaltpunkts

# Ergebnisse = Ablaufpläne

> Rule-based Control (RBC)

> "Wenn → Dann" Regeln

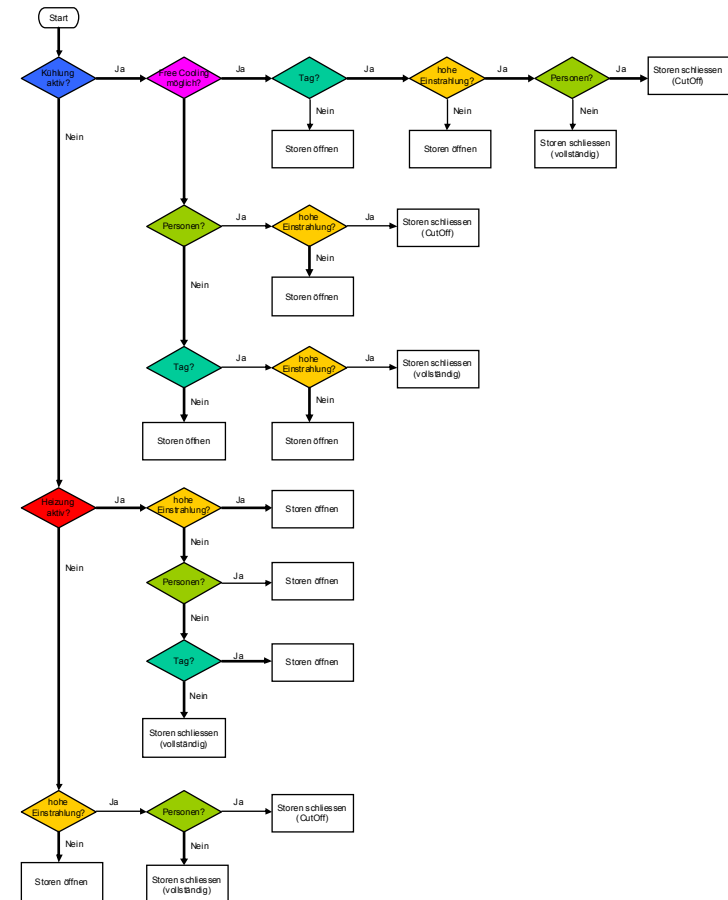
> Steuergrößen



> Stellgrößen

> Storenbetrieb (On/Off)

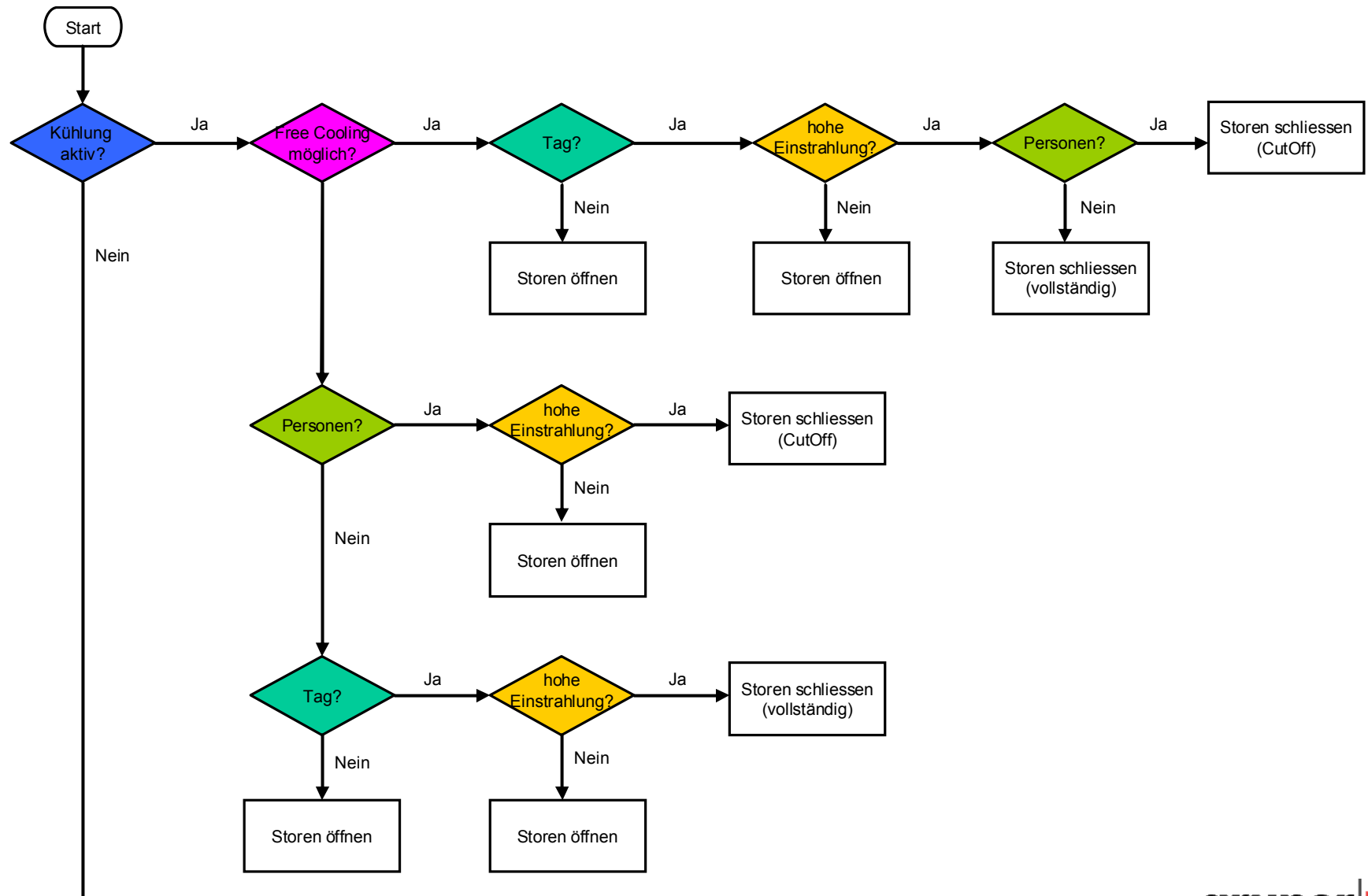
> Lamellenwinkel



Ablaufdiagramm einer integrierten Sonnenschutzsteuerung

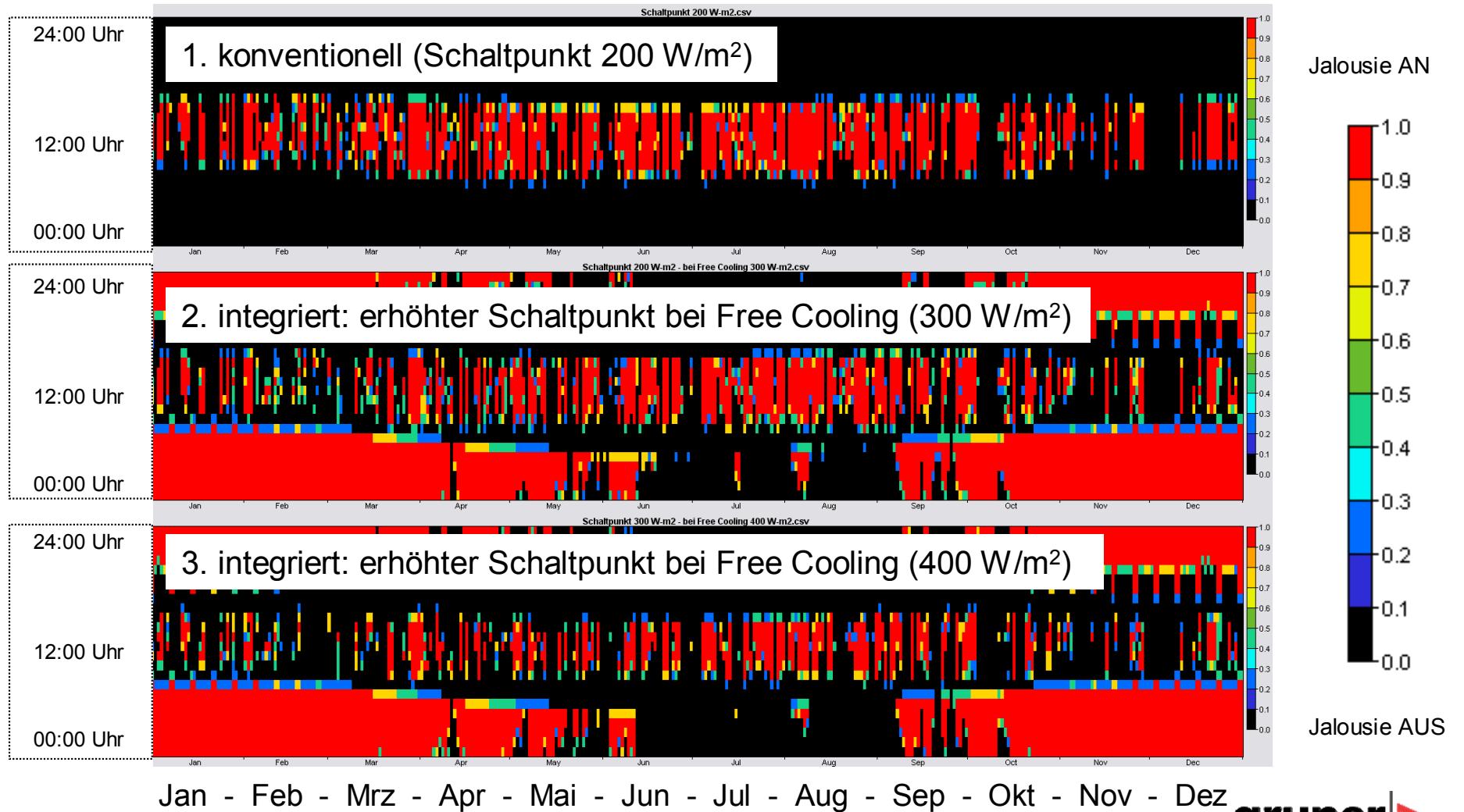
# Regelbasierte Betriebsoptimierung

## Ergebnisse = Ablaufpläne



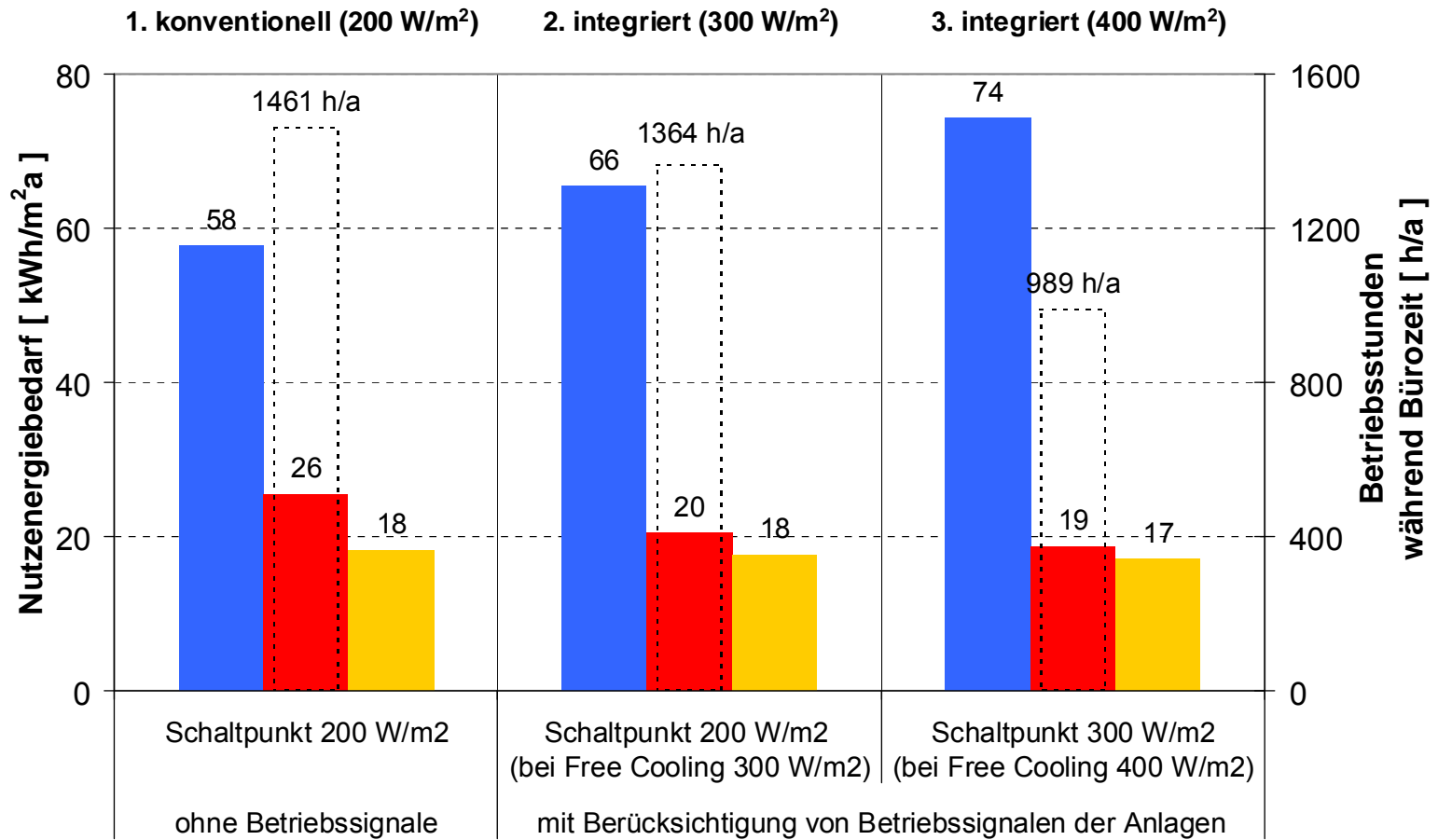
# Betriebscharakteristik der Fassade

## > Storenbetrieb: Beispiel Südzone (System: Warema)

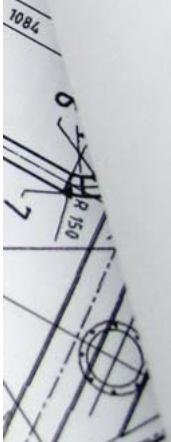


Jan - Feb - Mrz - Apr - Mai - Jun - Jul - Aug - Sep - Okt - Nov - Dez

# Nutzenergiebedarf der Varianten



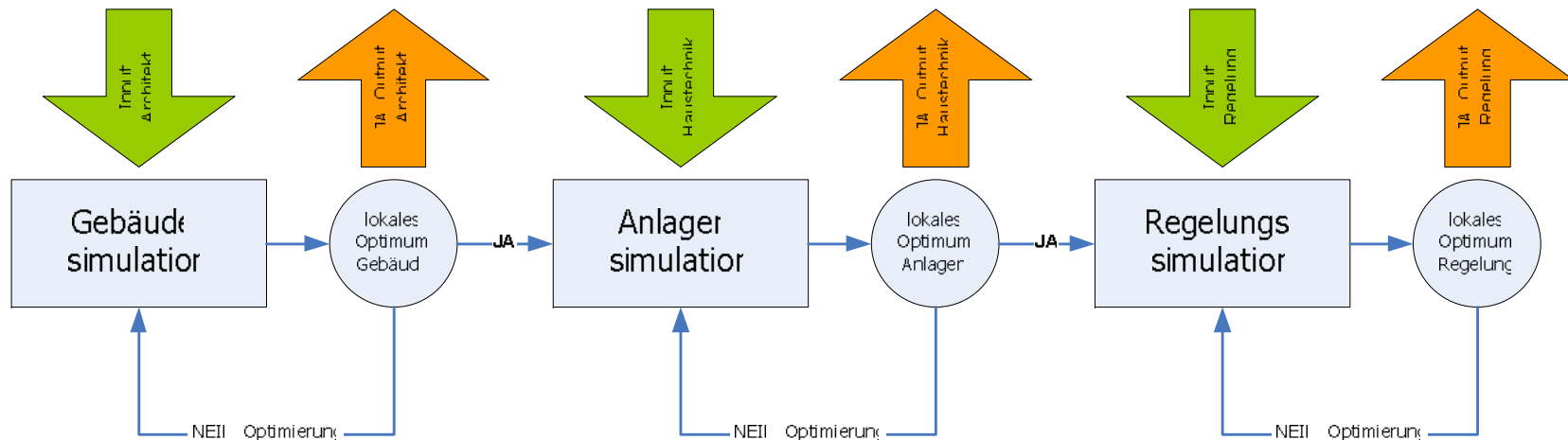
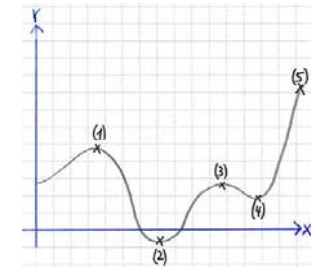
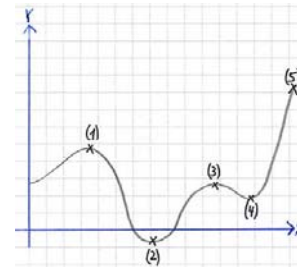
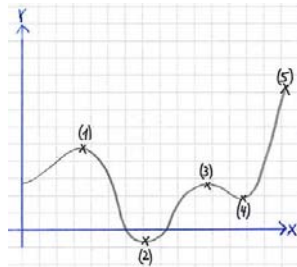
■ Nutzenergiebedarf Kühlung ■ Nutzenergiebedarf Heizung ■ Strombedarf Beleuchtung ∴ Betriebszeit (Tag)



# Modellprädiktive Betriebsoptimierung

# Modellprädiktive Betriebsoptimierung

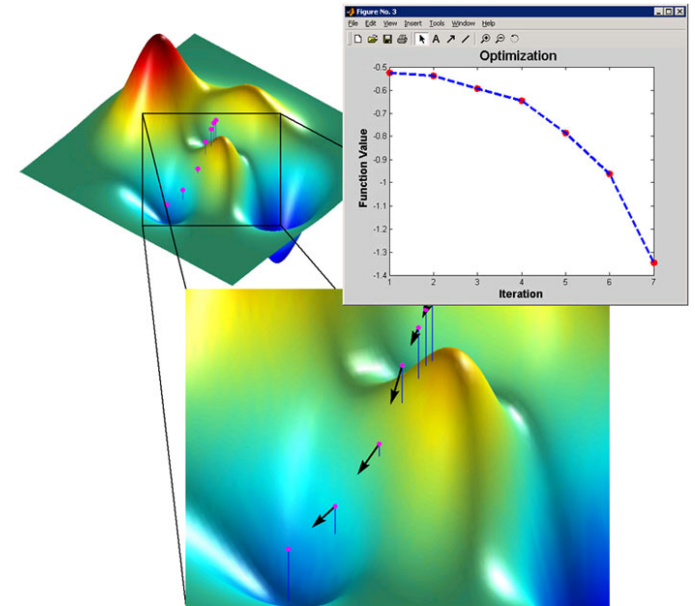
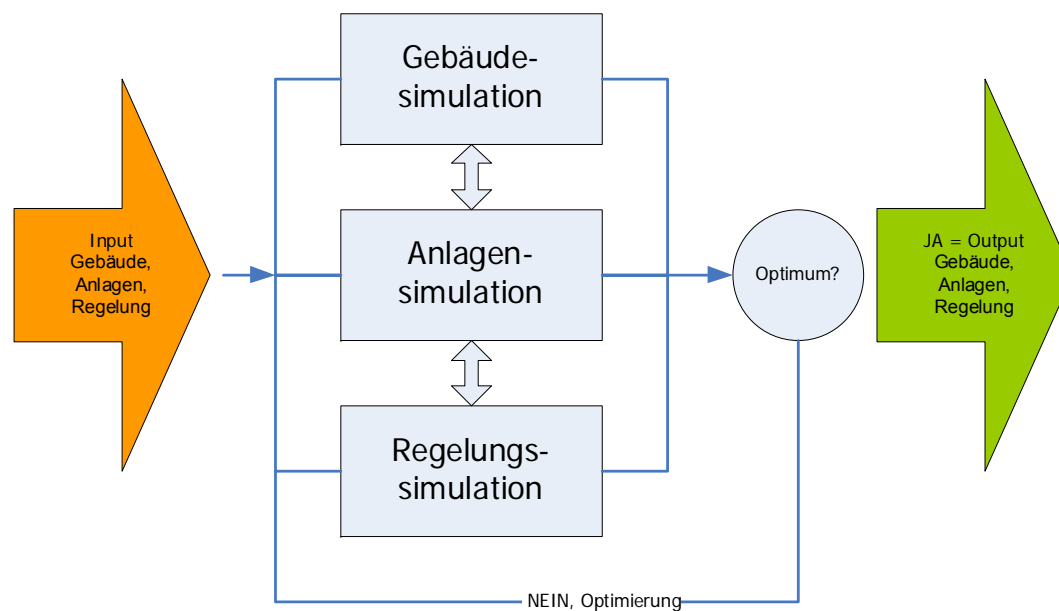
## Vorgehen und Unterschiede



*Regelbasierte Optimierung = lokale Optima*

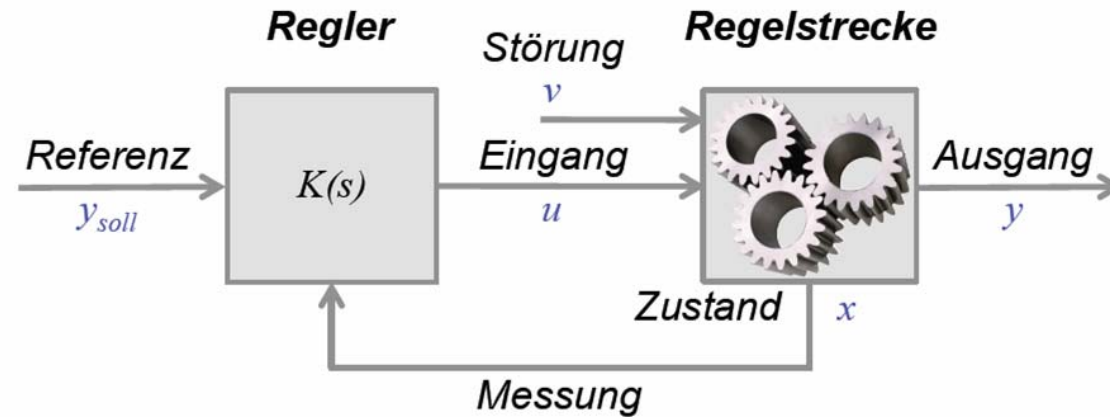
# Modellprädiktive Betriebsoptimierung

## Vorgehen und Unterschiede

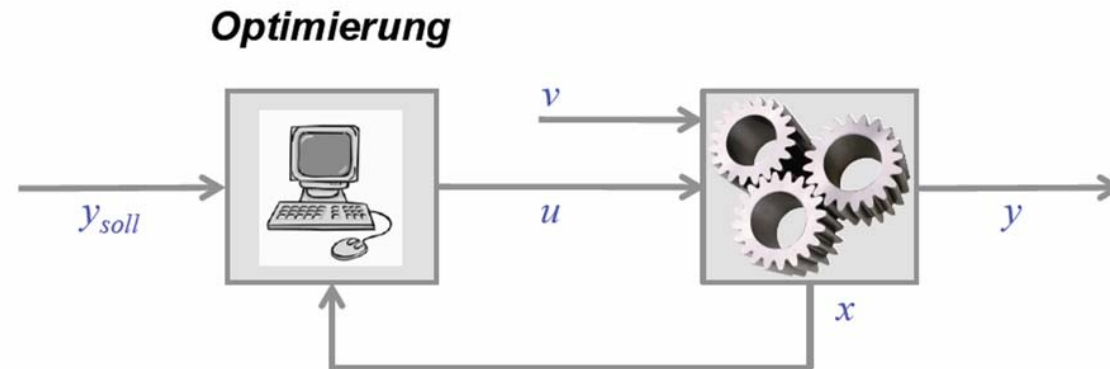


*Modellprädiktive Optimierung = globales Optimum*

# Vorgehen und Unterschiede



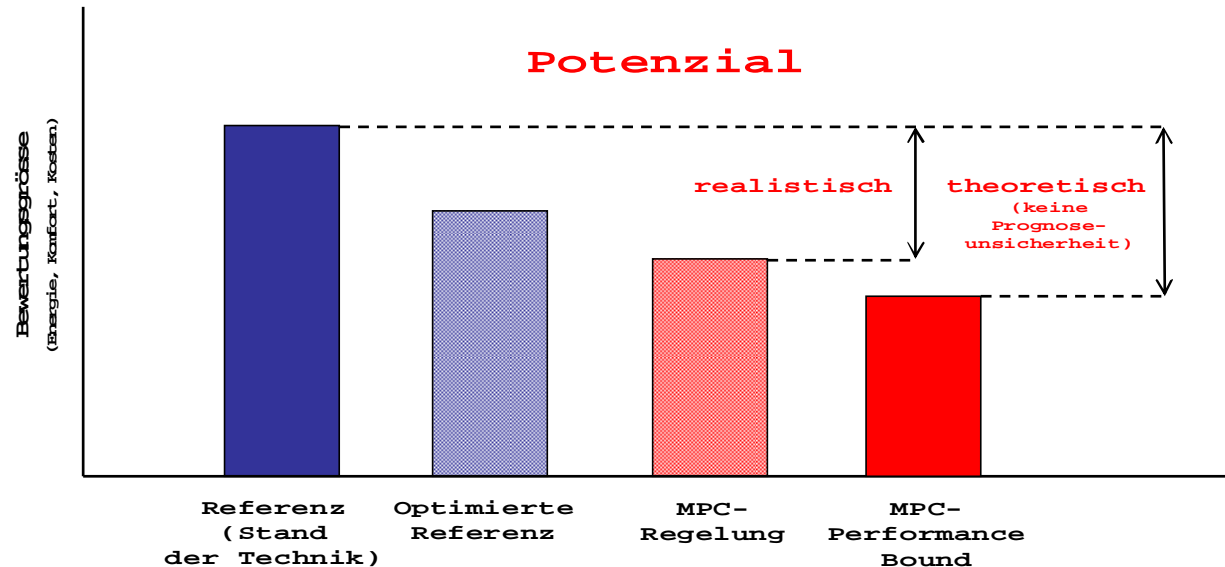
*Regelbasierte Optimierung: kein physikalisches Modell, Aufwand liegt im Regler*



*Modellprädiktive Optimierung: physikalisches oder statistisches Modell, Aufwand liegt im Modell-Optimierer*

# Vorgehen und Unterschiede

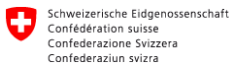
- > MPC wird derzeit häufig eingesetzt zur Bestimmung des "Performance Bound (PB)"
  - > = der theoretisch minimale Energieverbrauch bei 'perfekter' Kenntnis der zukünftigen Einflüsse von Wetter und Nutzung ('ideale Prognose')
  - > definiert die Grenze der Leistungsfähigkeit einer Regelung
  - > Analyse des Verbesserungspotentials von RBC-Regelstrategien



# OptiControl-Projekt

- > **Ziel: Entwicklung eines Echtzeit MPC-Reglers**
  - > Integration von Beleuchtung, Storen, Heizung, Kühlung, Lüftung
  - > Berücksichtigung innerer Wärmelasten
  - > Einbindung von Wetterprognosen
  - > Modell-prädiktive Regelstrategien (MPC) statt regel-basierten Strategien (RBC) → kein "Wenn - Dann"

- > **Projektteam**



- > [www.opticontrol.ethz.ch](http://www.opticontrol.ethz.ch)
- > Ziel: 2013 Prototyp des Reglers

Roche-Tower Rotkreuz

Architektur: Burckhardt+Partner | Fassade: Gartner | Storen: Warema

