

Gefördert durch das

Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Technologie

EnOB

Forschung für  
Energieoptimiertes Bauen

# Highlights des Abschlussberichtes der 3-Liter-Haus- Schule in Marktoberdorf

## Ist naerco ein Modell für die Zukunft?

Förderkennzeichen 0327430E

Projektlaufzeit:

01.01.2008 – 31.12.2014



# Projektbearbeitung



**Technische Hochschule Nürnberg  
Georg Simon Ohm  
Institut für Energie und Gebäude (ieg)**  
Prof. Dr.-Ing. Wolfram Stephan  
MAFM, Dipl.-Ing.(FH) Florian Büttner  
Kesslerplatz 12  
90489 Nürnberg  
[www.ieg.th-nuernberg.de](http://www.ieg.th-nuernberg.de)

**Hochschule Ulm  
Institut für Energie- und Antriebstechnik (IEA)**  
Prof. Dr.-Ing. Gerhard Mengedoht  
Dipl.-Wirtsch.-Ing.(FH) Tabea Seiffert  
Dipl. -Ing.(FH) Gunter Lindemann  
Eberhard-Finckh-Straße 11  
89075 Ulm  
[www.hs-ulm.de](http://www.hs-ulm.de)

Projekt in Zusammenarbeit mit:



# Sanierung Gymnasium Marktoberdorf



Schüler 1.061

Klassenzimmer 130

Bruttogeschossfläche 14.293 m<sup>2</sup>

2-fach WSV,  $U=1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$

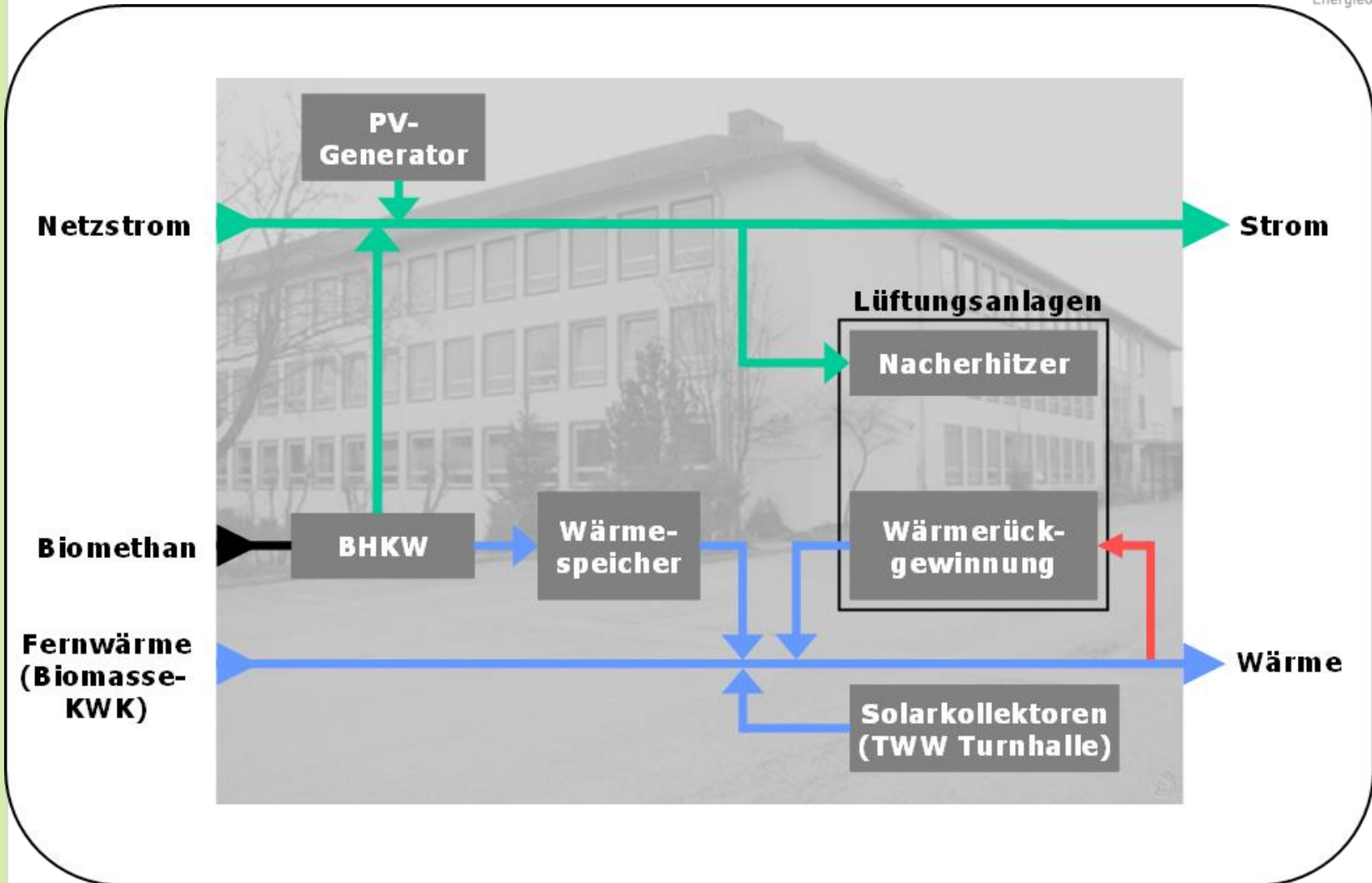


kleiner  
Fensterflügel  
öffenbar

24 cm, WLG 030;  $U=0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$



## Energiekonzept

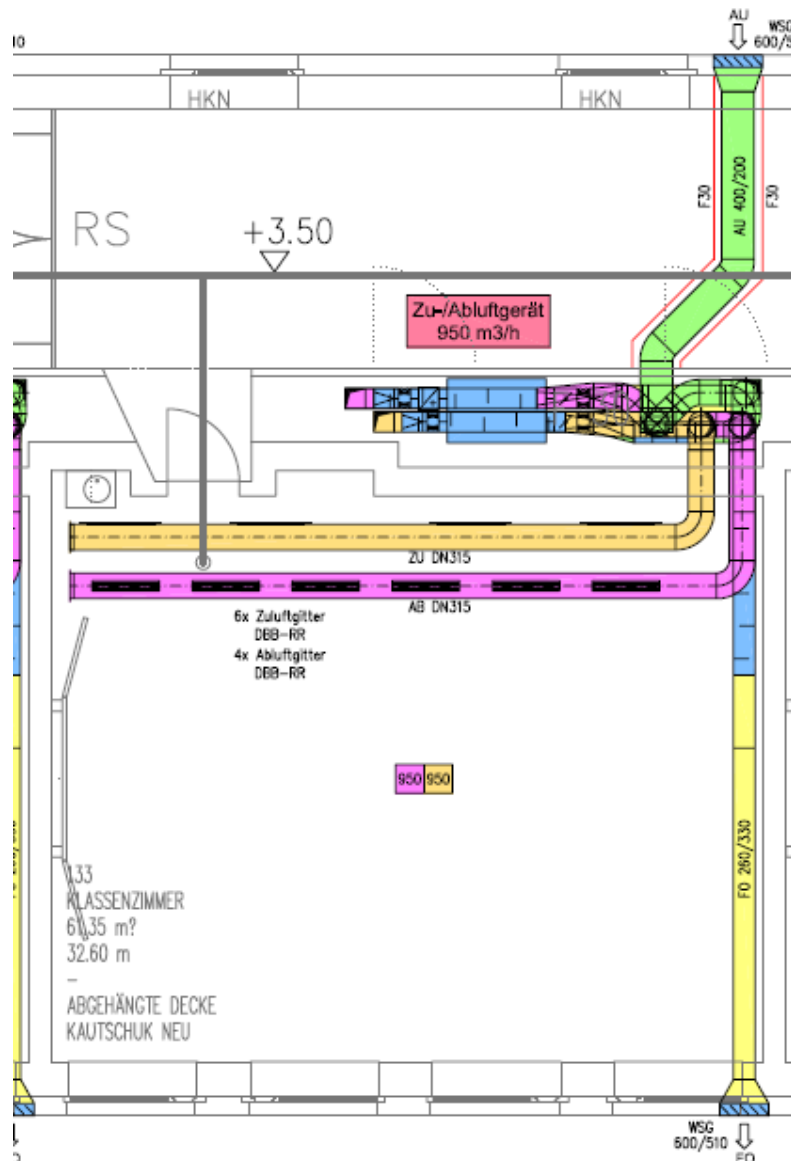


# BHKW

- 63,5 kW Gas
- 20 kW elektrisch
- 4000 L Pufferspeicher

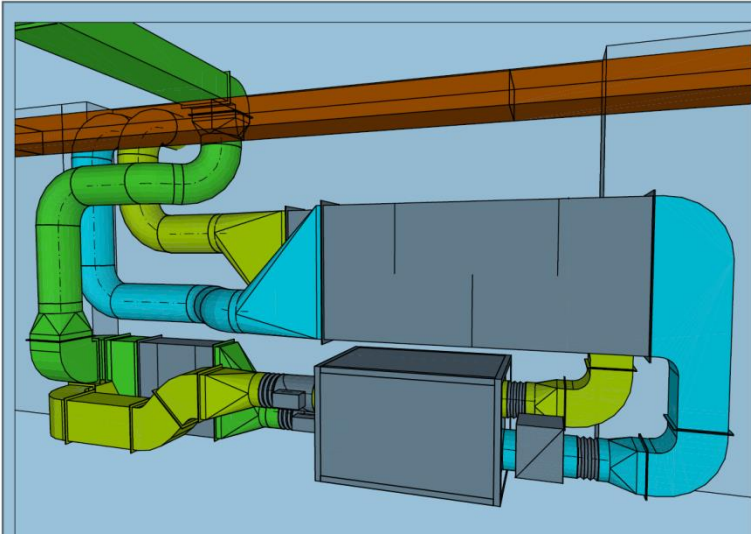


# Lüftungskonzept:



- Dezentrale Lüftung
  - Außenluftansaugung Innenhof
  - Montage (Wand zum Flur)
  - kanalintegrierte Zuluftauslässe
  - 850 m<sup>3</sup>/h Raum
  - Auslegung DIN 13779
    - (500) 800 ppm über Außenluft

## Lüftungsanlage:



## Raumkomfort:

- DIN ISO 7730 (Kat B)
- $w_{\max} < 0,18 \text{ m/s}$  bei  $20 \text{ °C}$
- Zulufttemperatur  $18\text{°C} - 20\text{°C}$

# Was ist Erfolgscontracting?

**15 Jahre Garantie auf Energie/Wärme/Licht/Luft  
durch kontrollierte Partnerschaft auf vertraglicher  
Grundlage**

## Erfolgscontracting - das Prinzip

### AG:

- plant (bis Vorplanung),
- schreibt Funktionen und Qualitäten aus
- kontrolliert.

### AN:

- plant (ab Entwurf),
- installiert
- betreibt
- verantwortet Qualität .

**Kontrollierte Partnerschaft  
auf vertraglicher Grundlage**



# Erfolgscontracting

## 1 Phase erprobt am Gymnasium Marktoberdorf:

- Vertragsmuster
- Funktionale Ausschreibung
- **Prognoseverfahren naerco-Energie**
- **Monitoring / Klärung Fragestellungen**
- **Qualitätssicherungsprozesse**
  - 100 % Funktionstests
  - 1 : 1 Prüfung aller Datenpunkte
  - Probetrieb
  - Hydraulischer Abgleich
- Umweltbildungsprojekte – Schülerbeteiligung

## Projektverlauf

- 2008 -2010: Modellprojekt am Beispiel des Gymnasiums Marktoberdorf entwickelt (Mustervertrag, Musterverfahren, NAERCO-Energie)
- 2009 : Planung Referenzsystem erfolgreich abgeschlossen, Funktionale Ausschreibung
- 2010: Energiewerte und Komfortbedingungen wie prognostiziert vertraglich anerkannt
- 2010 - 2012: Umsetzung durch den Contractor
- 09 - 2013: Gebäudebetrieb begonnen, ohne Abnahme der Anlagentechnik
- 2012-2015: Umweltbildungsprojekt
- 06.2013 - 12.2014: **Monitoring (Energie + Komfort)**
- 04.2016 Formale Abnahme

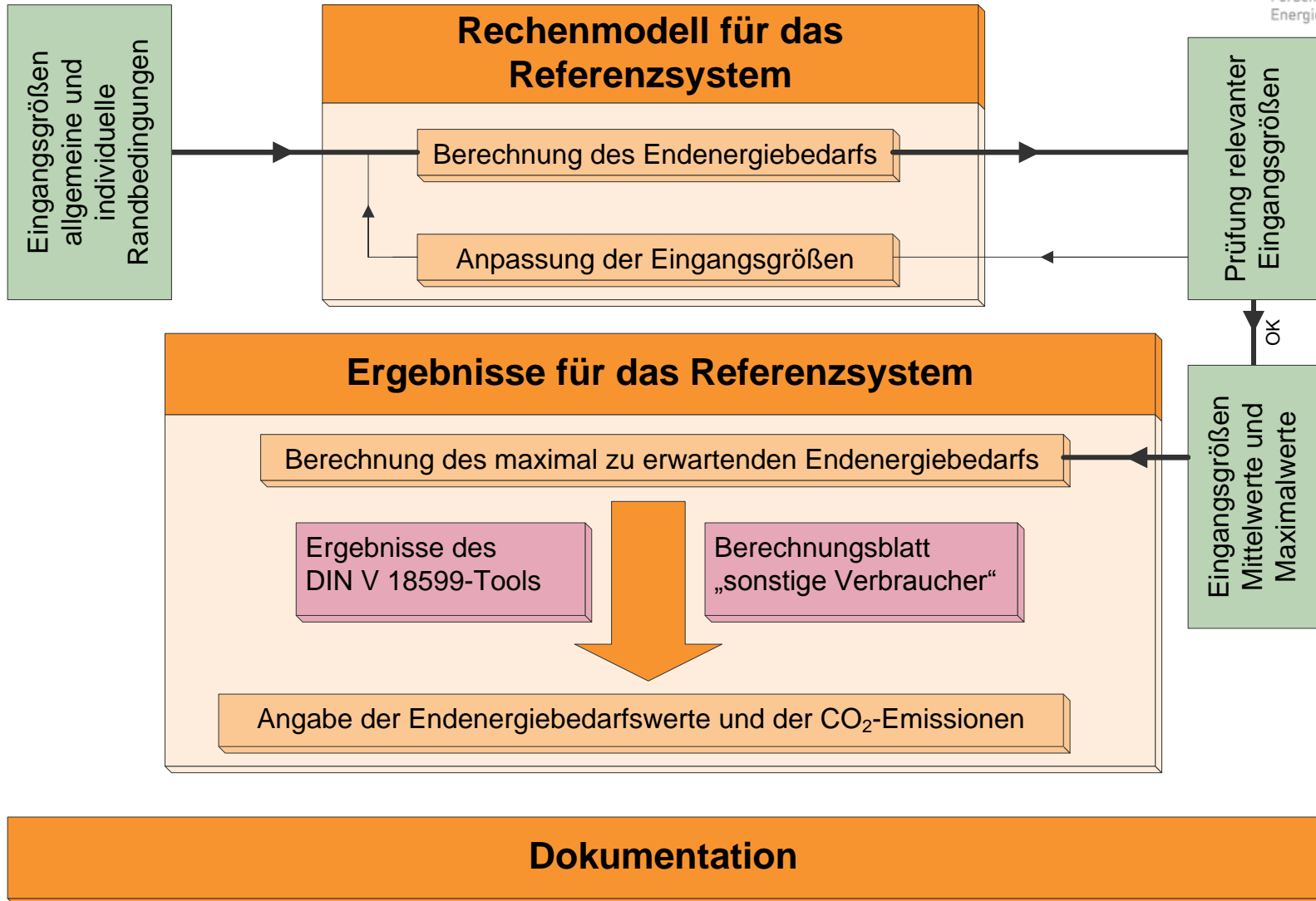
## Inhalte des Abschlussberichts

- Beantwortung Technisch wissenschaftlicher Fragestellungen
- Sanierungsmodell für das Gymnasiums Marktoberdorf
- Energieverbrauch und Energieprognosen
- Beurteilung des Raumkomforts und der Raumlufthqualität
- Beurteilung des Hydraulischen Abgleichs
- Beurteilung der Einzelraumregelung, des hydraulischen Abgleichs und des Nutzereinflusses durch Simulationsberechnung für ein typisches Klassenzimmer

## Ergebnisse (Monitoring 2014)

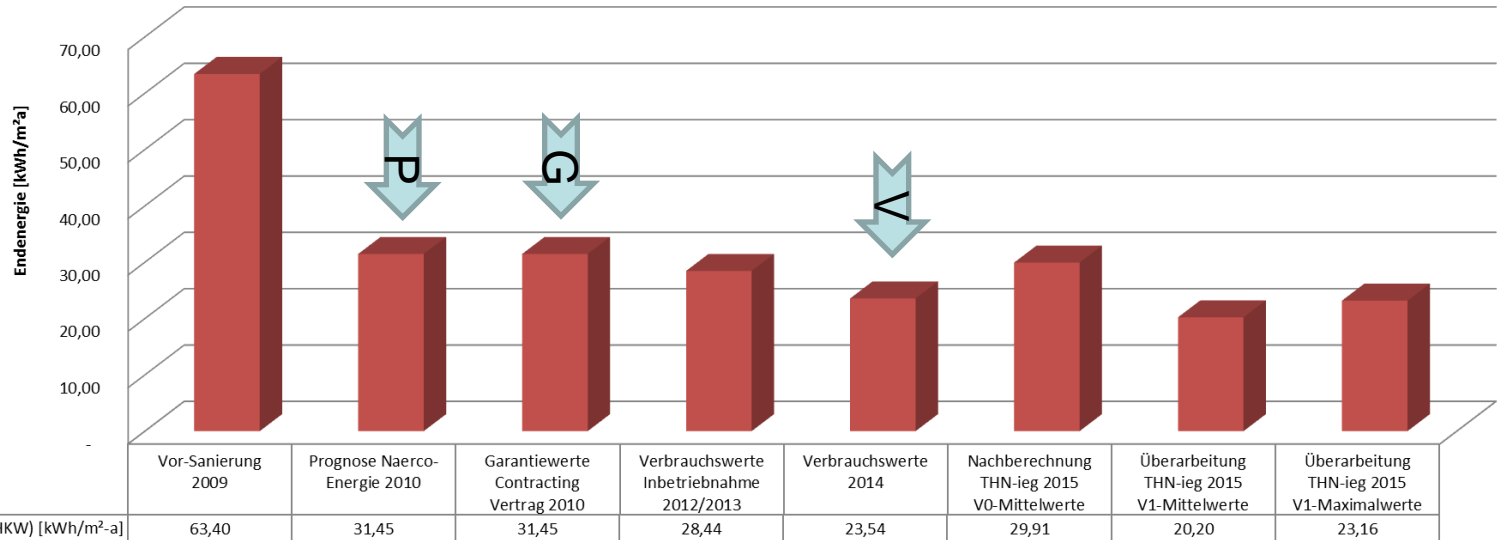
- Werte der Energieprognosen werden erreicht
  - 3 Liter-Haus-Standard erreicht, weitere Reduktionen möglich
- Vertraglich vereinbarte Komfortbedingungen werden bisher nicht erreicht
  - Temperaturwerte zu Nutzungsbeginn
    - Hydraulischer Abgleich, Heizzeitoptimierung, ...
  - CO<sub>2</sub>-Werte sind durch den technisch realisierbaren max. Außenluftvolumenstrom begrenzt (ca. 1200 ppm)
    - Einflussgrößen (Aktivität und Alter der Schüler, Raumdurchspülung, Sensorkalibrierung, ...)
  - Raumkomfort Lüftungsanlagen
    - Optimierung der Auslässe, Anpassung der Zulufttemperatur
- Daten werden nicht in der geforderten Art und Weise zur Verfügung gestellt

# Naerco Energie (Basis: DIN EN V 18599)



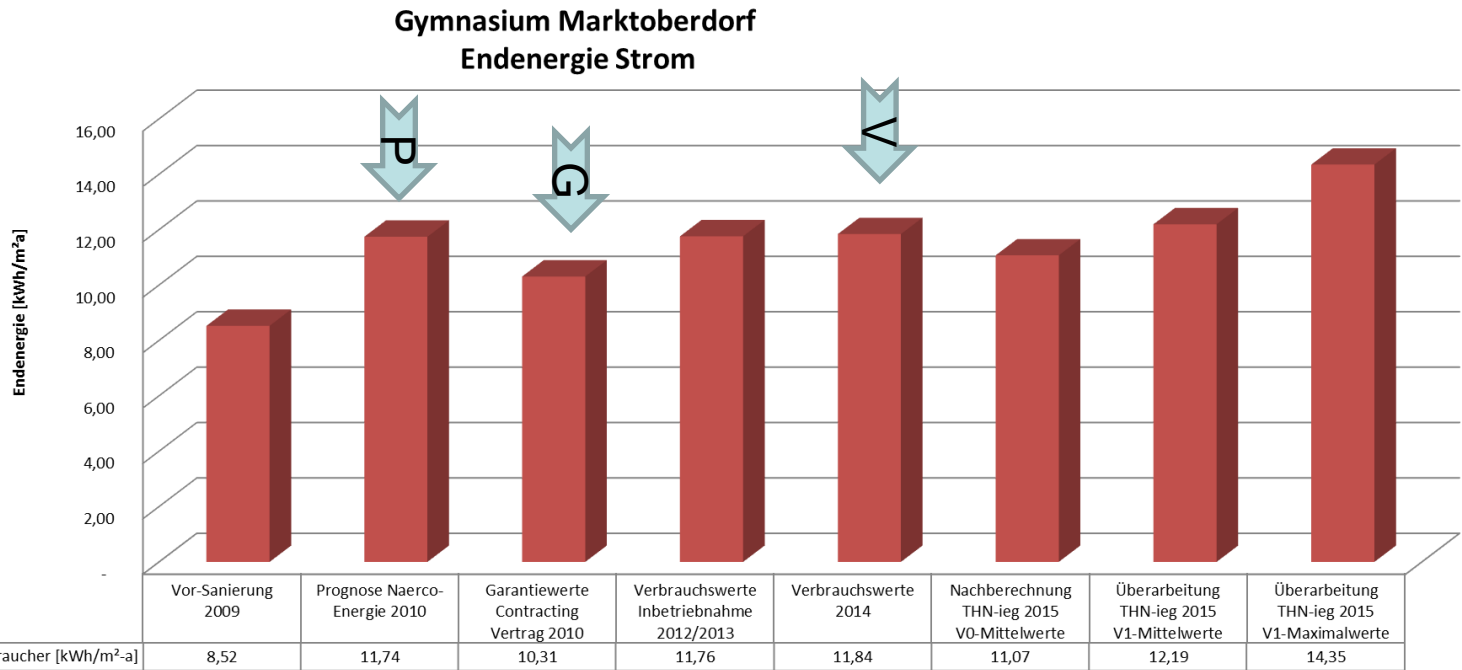
# Wärmeenergieverbrauch

Gymnasium Marktoberdorf  
Wärmeenergiebedarf (Fernwärme/BHKW/Heizkessel)



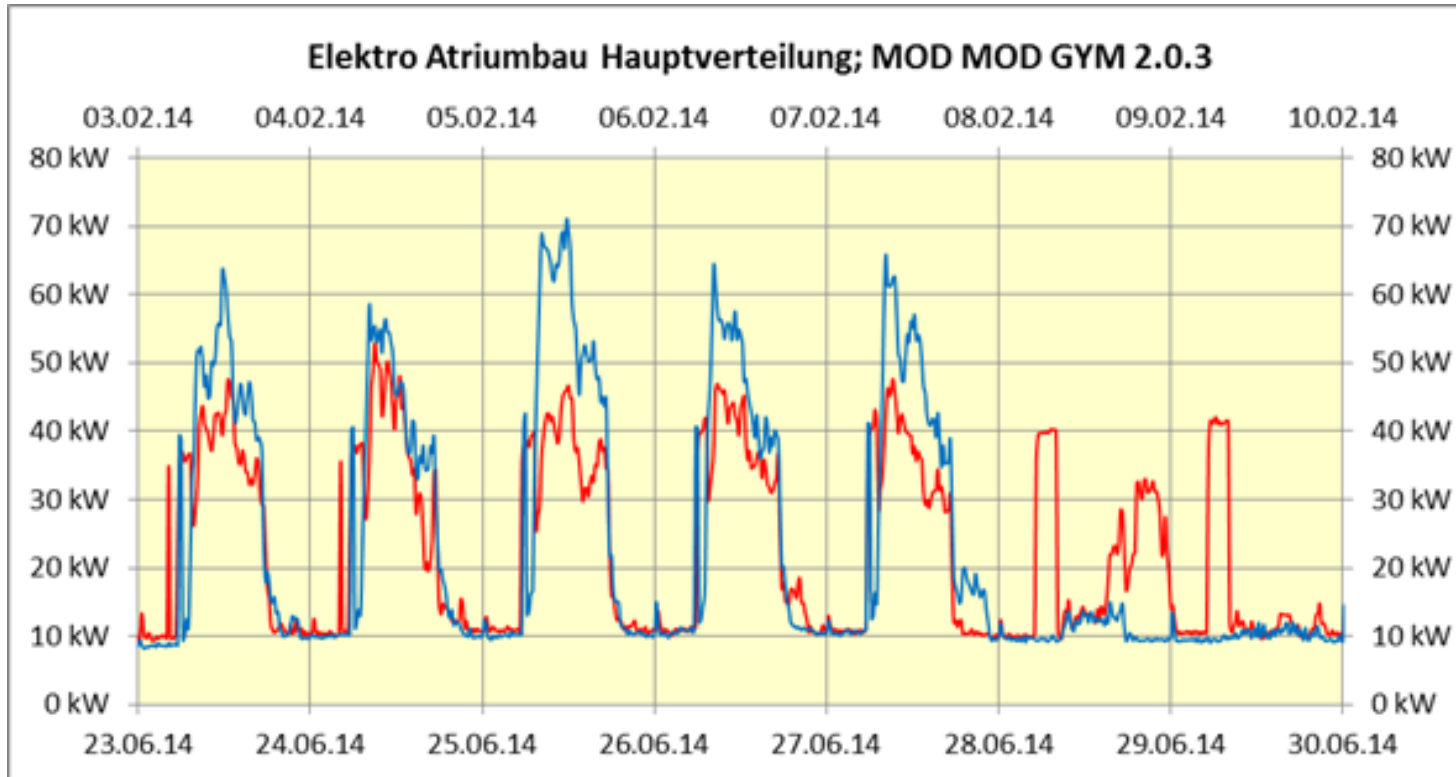
- **Verbrauchswerte 2014 (23,4 kWh/m²a)** unterschreiten die **Garantiewerte 2010 (31,45 kWh/m²a)**
- Unterschätzung der inneren Wärmequellen führte zu erhöhten Prognosewerten

# Stromenergieverbrauch



- **Verbrauchswerte 2014 (11,84 kWh/m²a)** entsprechen den **Prognosewerten 2010 (11,74 kWh/m²a)**
- **Überbewertung der Beleuchtung (450 h/a statt 750 h/a)**
- **Unterbewertung der Lüftung (hoher StandBy Verbrauch)**

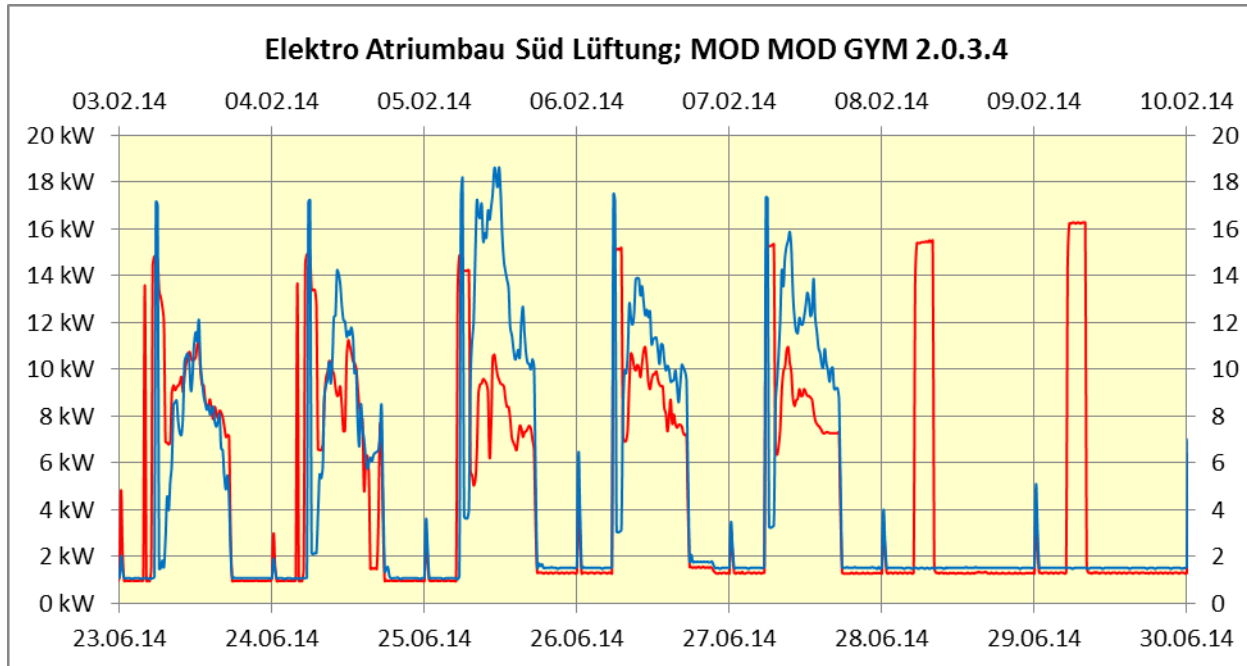
# Stromverbrauch, gesamt



- Sommer (rot) Winter (blau) gleich hohe Grundlast
- Allgemeinstrom ist mit 73 330 kWh/a zu 21 580 kWh/a um das 3,5-fache höher als prognostiziert

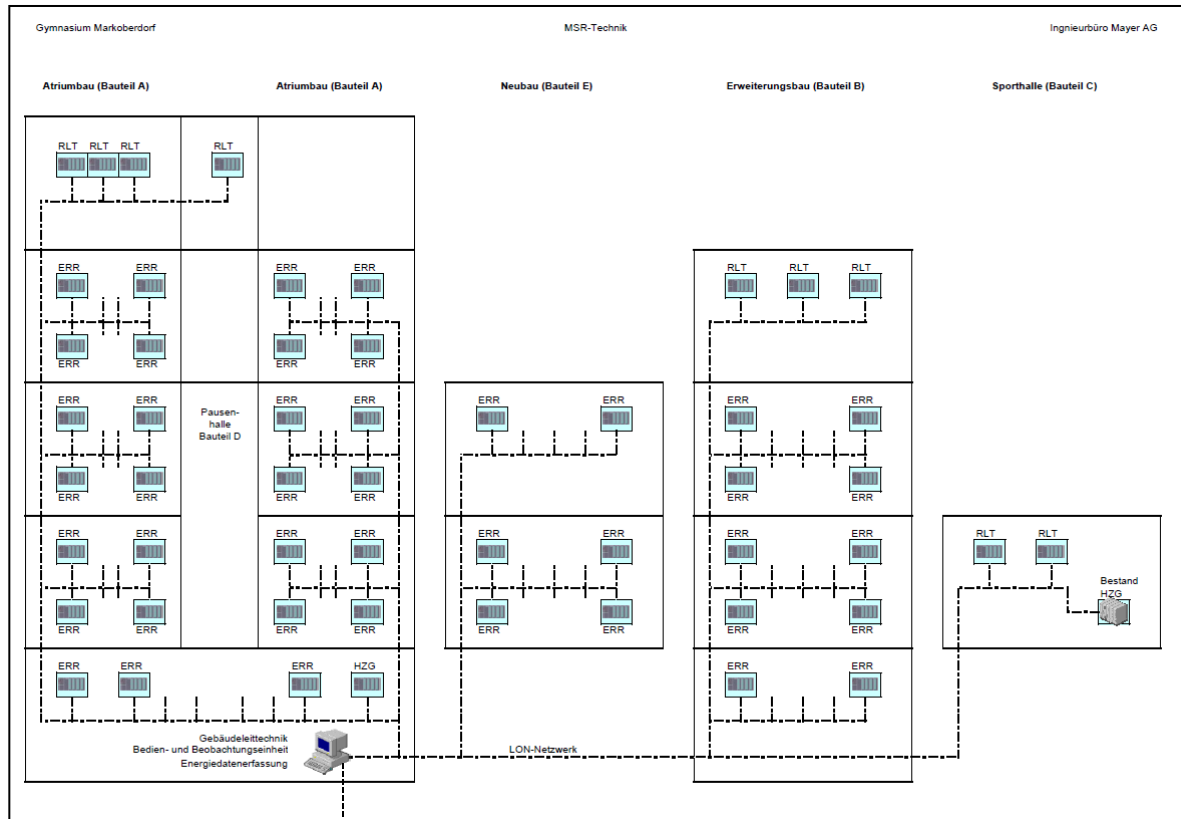


# Stromverbrauch Lüftungsanlagen



- Belegung der Räume: 53%
- Auslastung Lüftung: durchschnittlich 8,5 h/d an 195 d/a
- Grundlast von ca. 1,6-1,8 kW.
- ca. 70 W/Raum

# MSR und Daten - Konzept

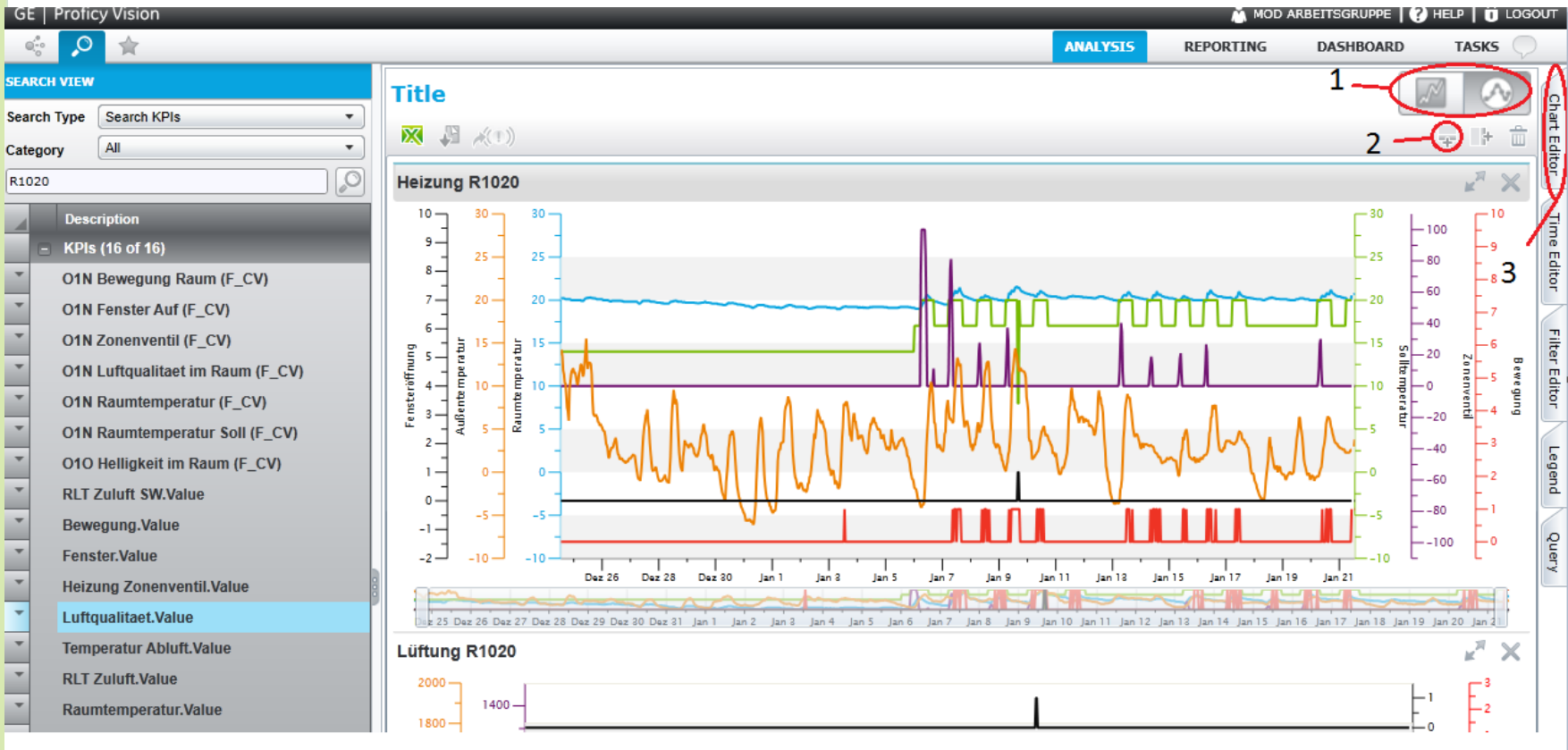


??  
**standardisierte  
Daten + Grafiken  
zum Monitoring + QS  
(Monisoft +  
Standardgrafiken)**

**EM Performer**  
**PHA Tool**  
**Intrawatt**

**Rechen-  
zentrum  
Datenbank**

# PHA Tool (Prozessdatenvisualisierung)



- Konfigurationsprobleme / Zugriffsrechte
- Für Qualitätskontrolle geeignet?

## Garantiebedingungen:

- Endenergie
- Min. Temperaturen im Nutzungszeitraum (insb. 8:00 Uhr)
- Max. Temperaturen (kein Überheizen)  
Ventile geschlossen + Nachlüften
- CO<sub>2</sub> Max.
- Raumkomfort nach DIN 13779 und DIN-ISO 7730 (Kat B)
  
- Vollständige Funktionsgarantie
  - 1 zu 1 Prüfung der Sensoren
  - Komfort in allen Räumen
  - Beteiligung der Nutzer

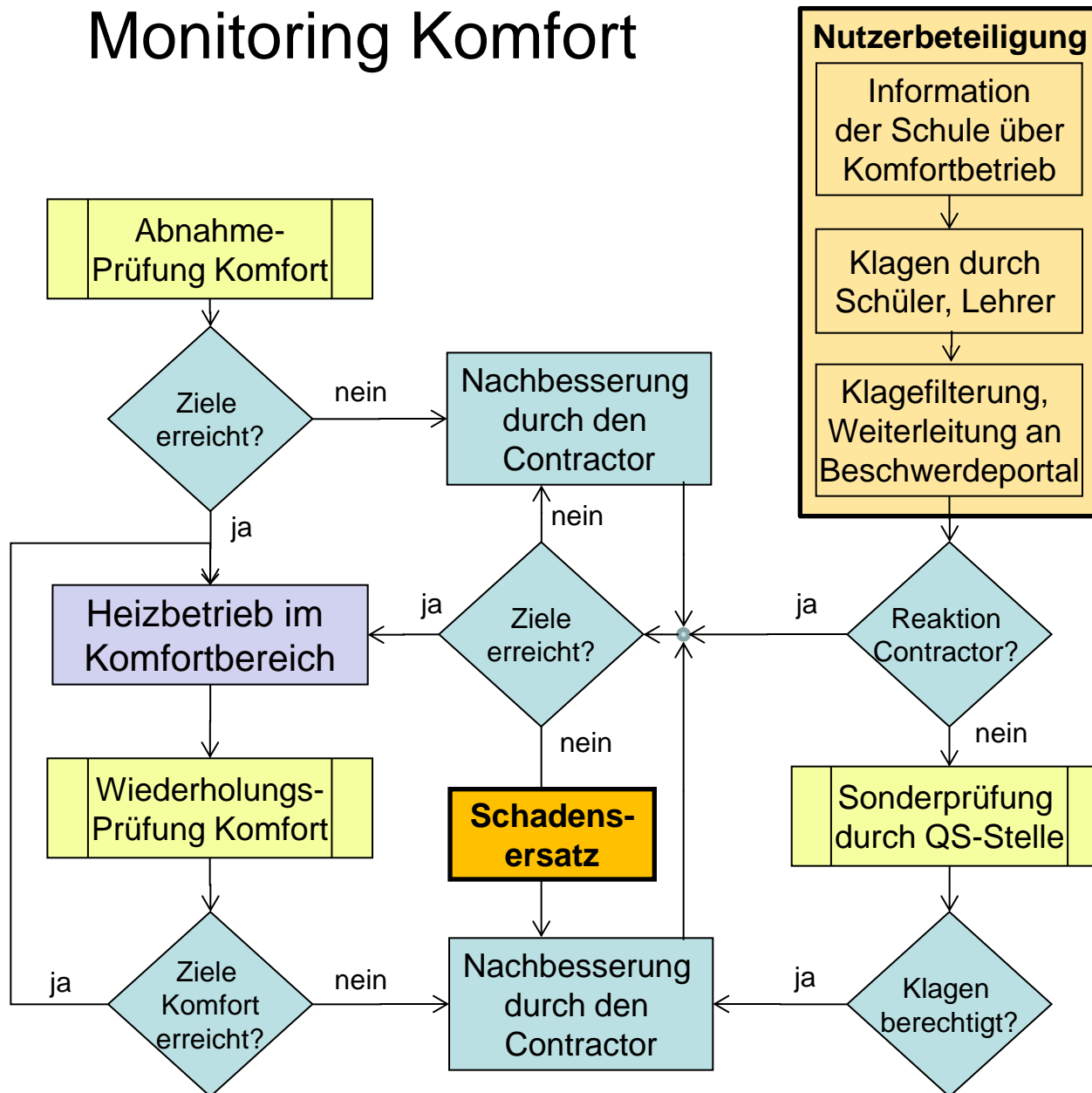
# Monitoring Komfort

Fertigstellung

1. Heizperiode

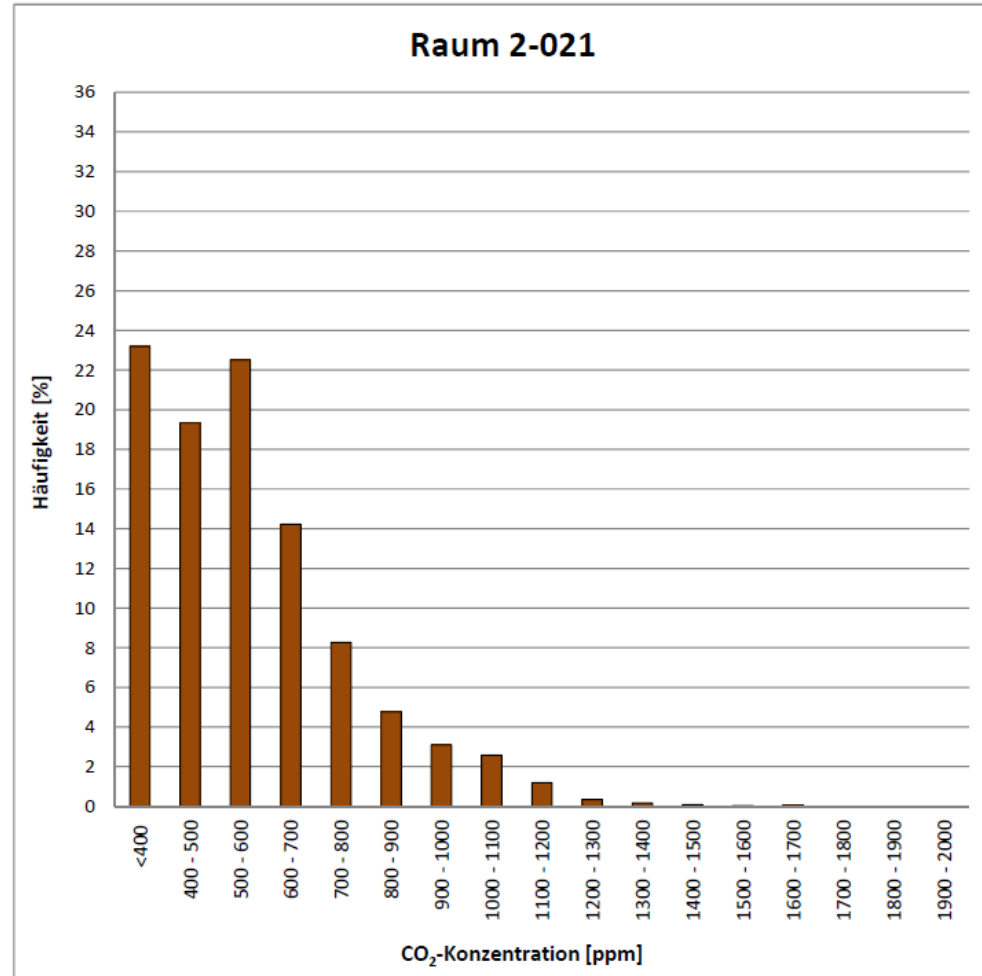
Betrieb

2.- n.te Heizperiode



# CO<sub>2</sub>-Gehalt

CO <sub>2</sub> -Konzentration [ppm]	Proz. Häufigkeit [%]
< 400	23,19
400 - 500	19,33
500 - 600	22,51
600 - 700	14,22
700 - 800	8,28
800 - 900	4,78
900 - 1000	3,10
1000 - 1100	2,58
1100 - 1200	1,20
1200 - 1300	0,36
1300 - 1400	0,18
1400 - 1500	0,09
1500 - 1600	0,04
1600 - 1700	0,06
1700 - 1800	0,02
1800 - 1900	0,02
1900 - 2000	0,02
Summe	100,00

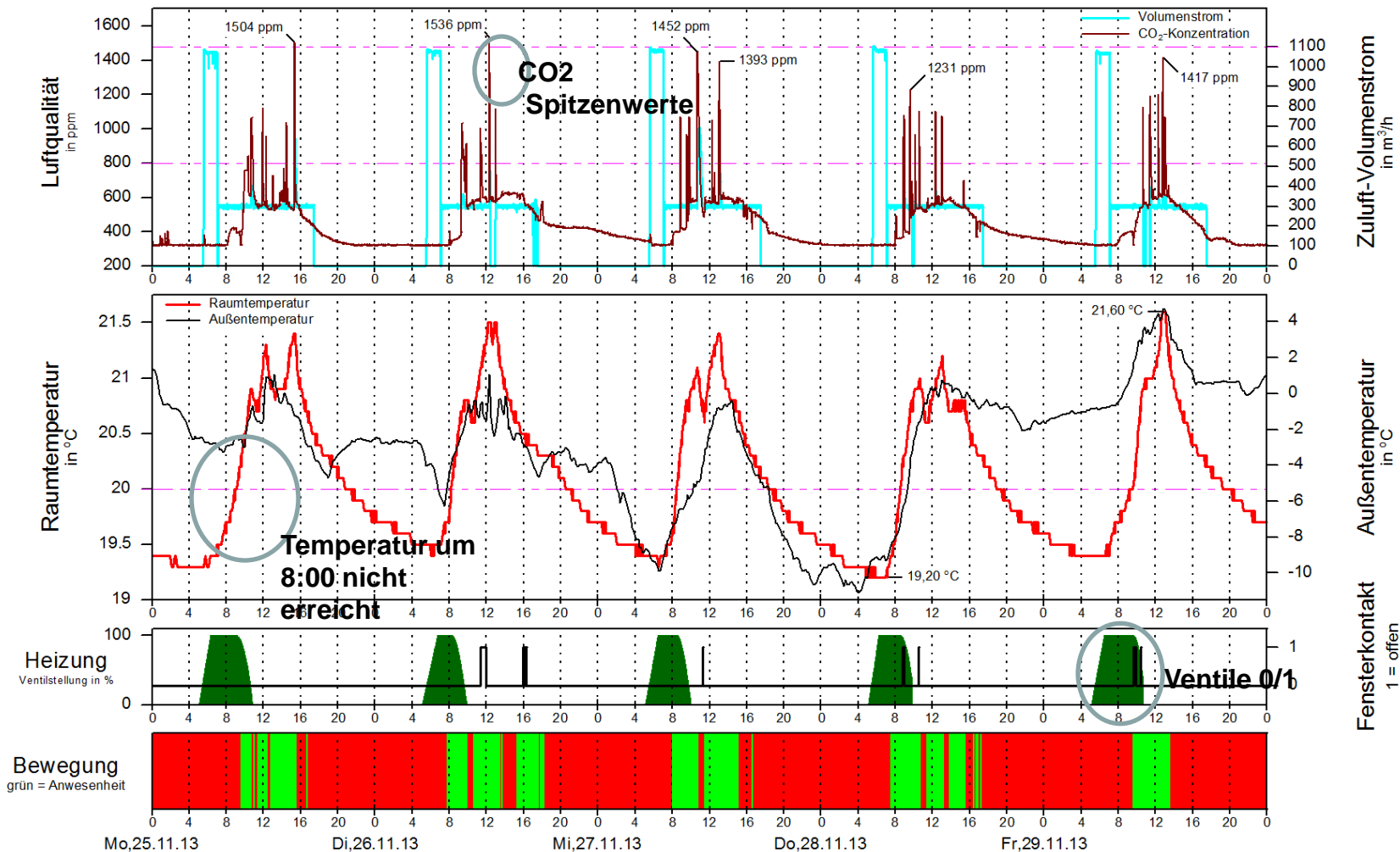


Bei Betrieb der Lüftungsanlagen sind 1200 ppm erreichbar  
 ! Vielfältige Einflussgrößen

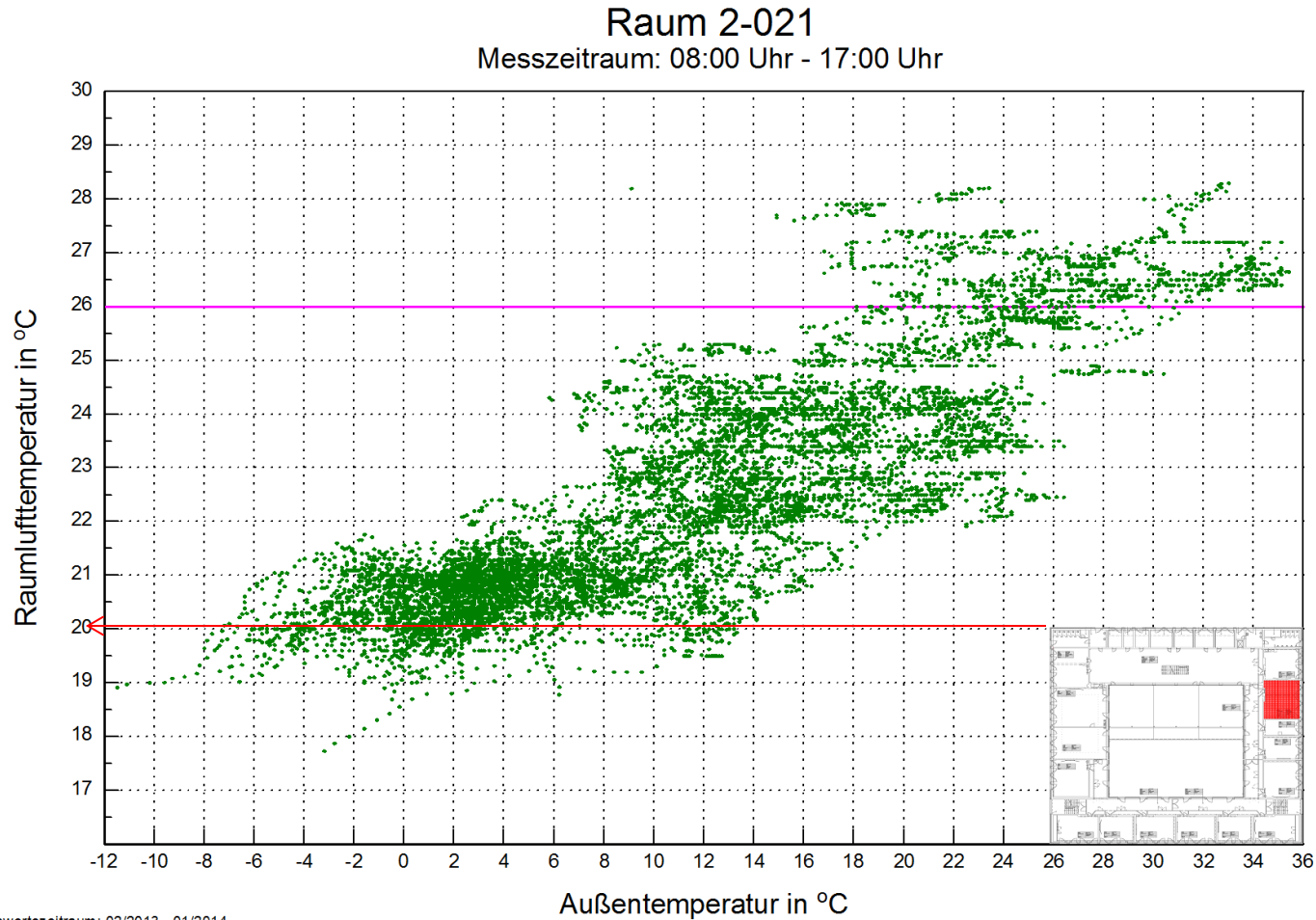
# Komfort: Raumtemperaturen / CO<sub>2</sub>

Raum 2-021

Auswertezeitraum: 25.11.2013 - 29.11.2013



# Raumtemperaturen



20 °C in der Nutzungszeit (8-17 Uhr) oftmals unterschritten  
Systematischer Fehler?



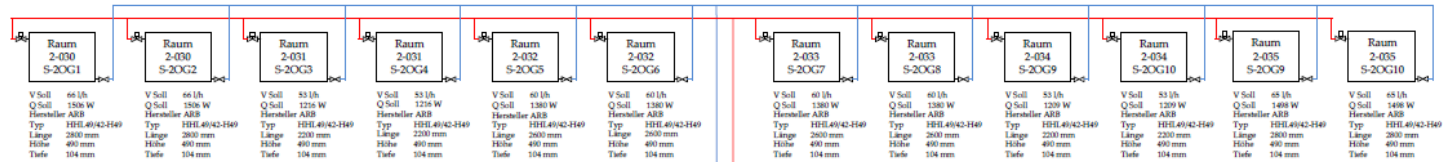
# Ursache Hydraulischer Abgleich?

## Südstrang

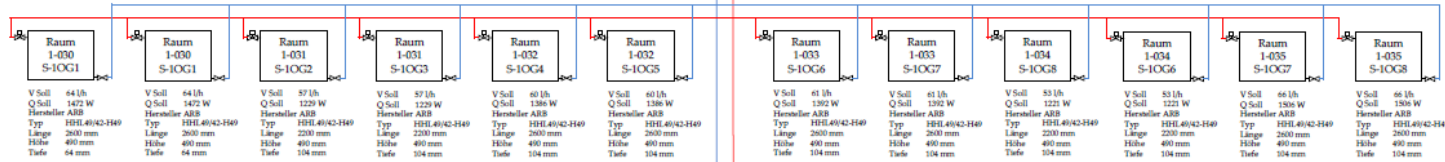
Südstrang Gesamtvolumenstrom 2564 l/h

Südstrang Gesamtvolumenstrom 2564 l/h

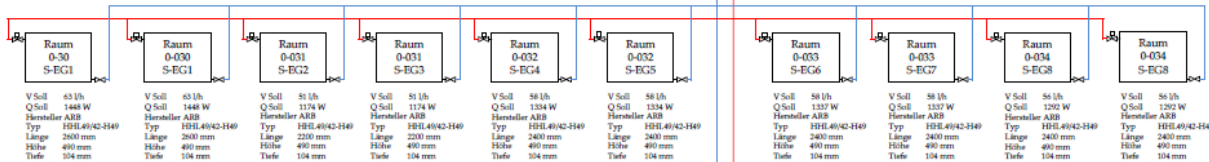
2OG



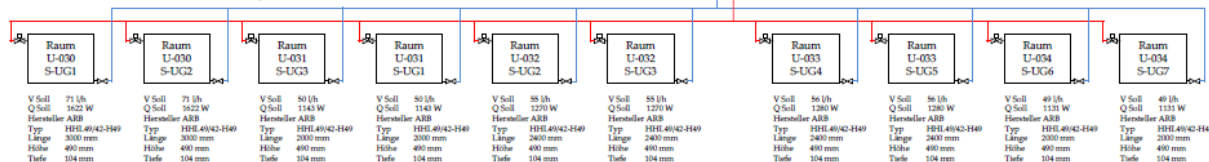
1OG



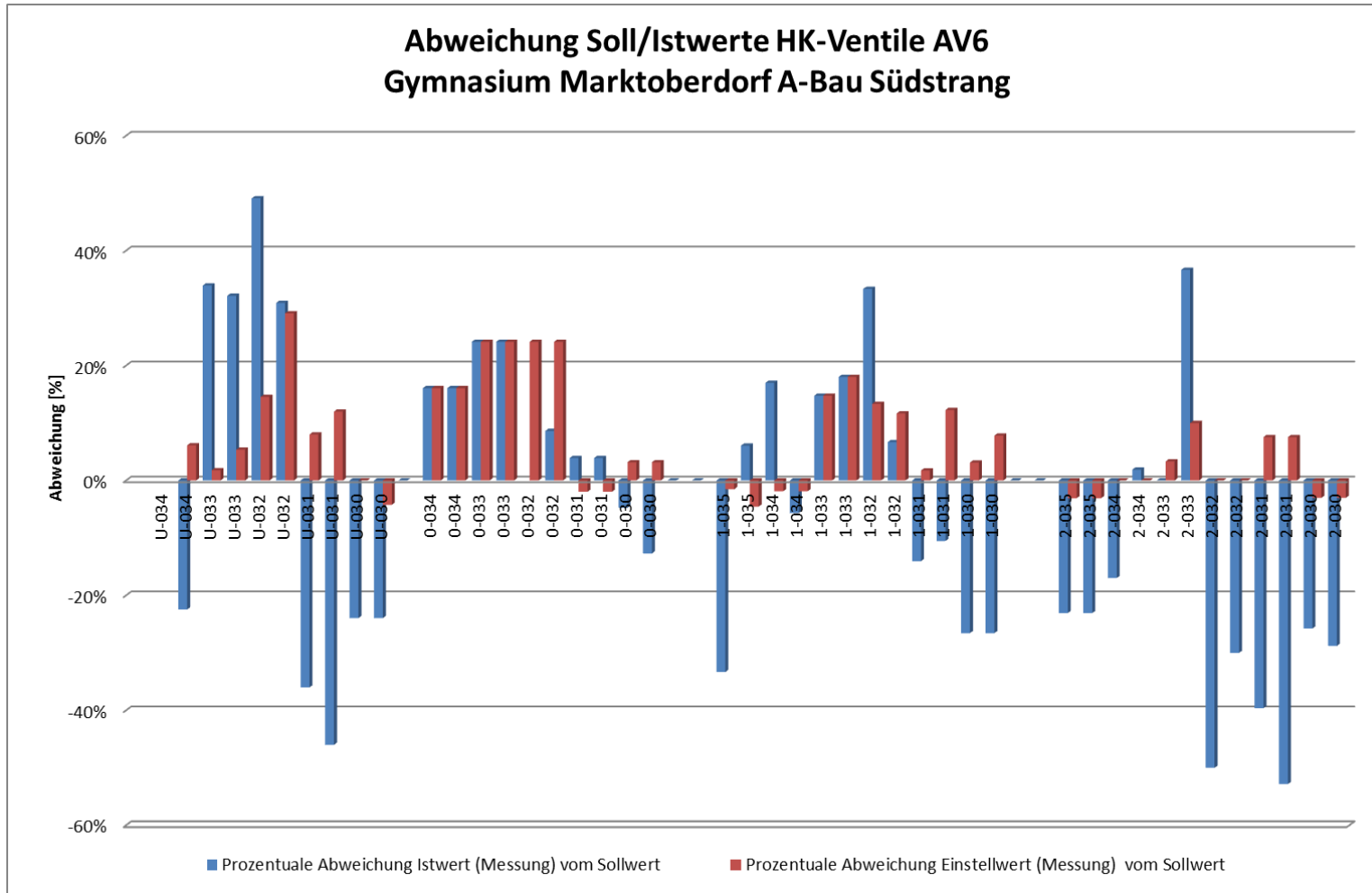
EG



UG



# Ursache Hydraulischer Abgleich?

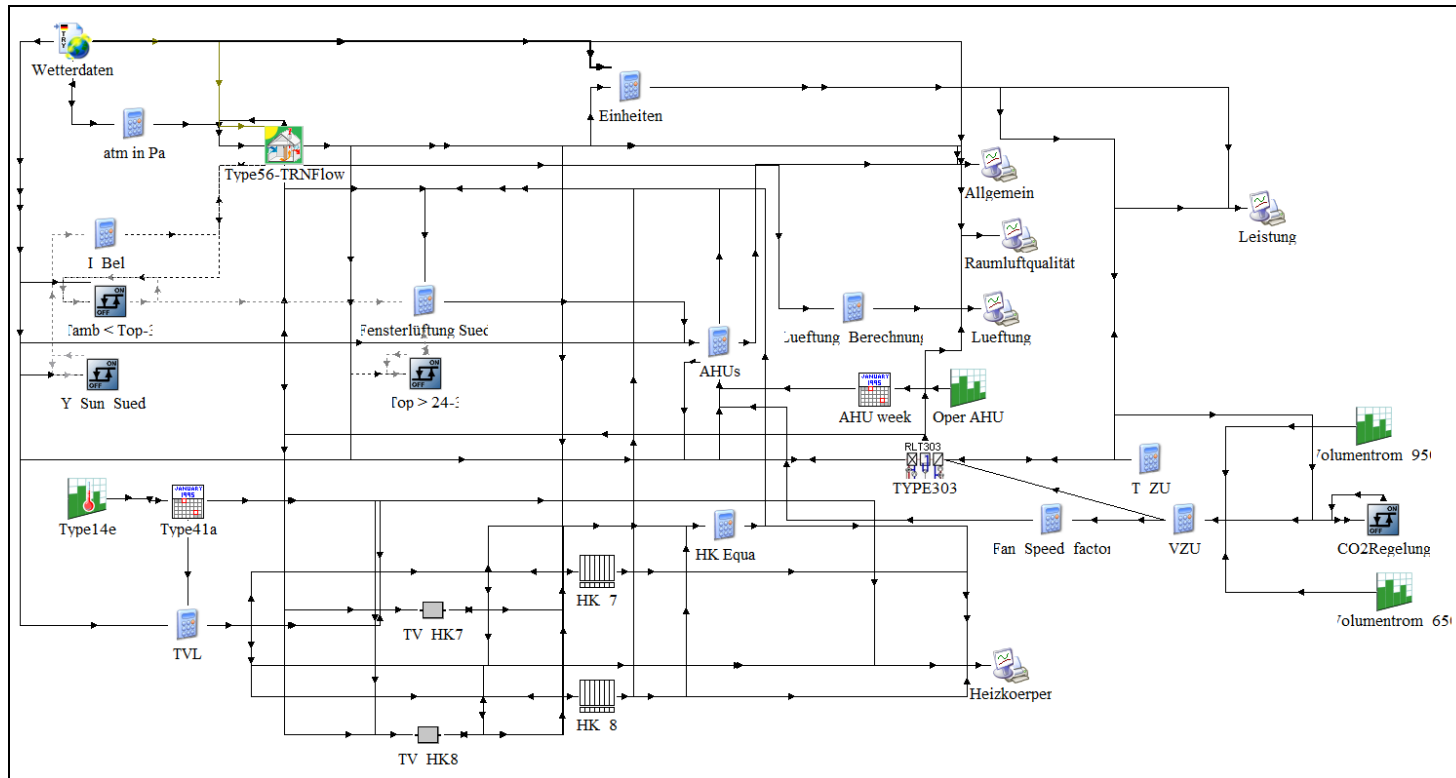


- erst nach Einstellung auf Basis von Messwerten abgeglichenes Netz

# Simulationsberechnungen

## TRNSYS 17-1 + TRNFlow Modell

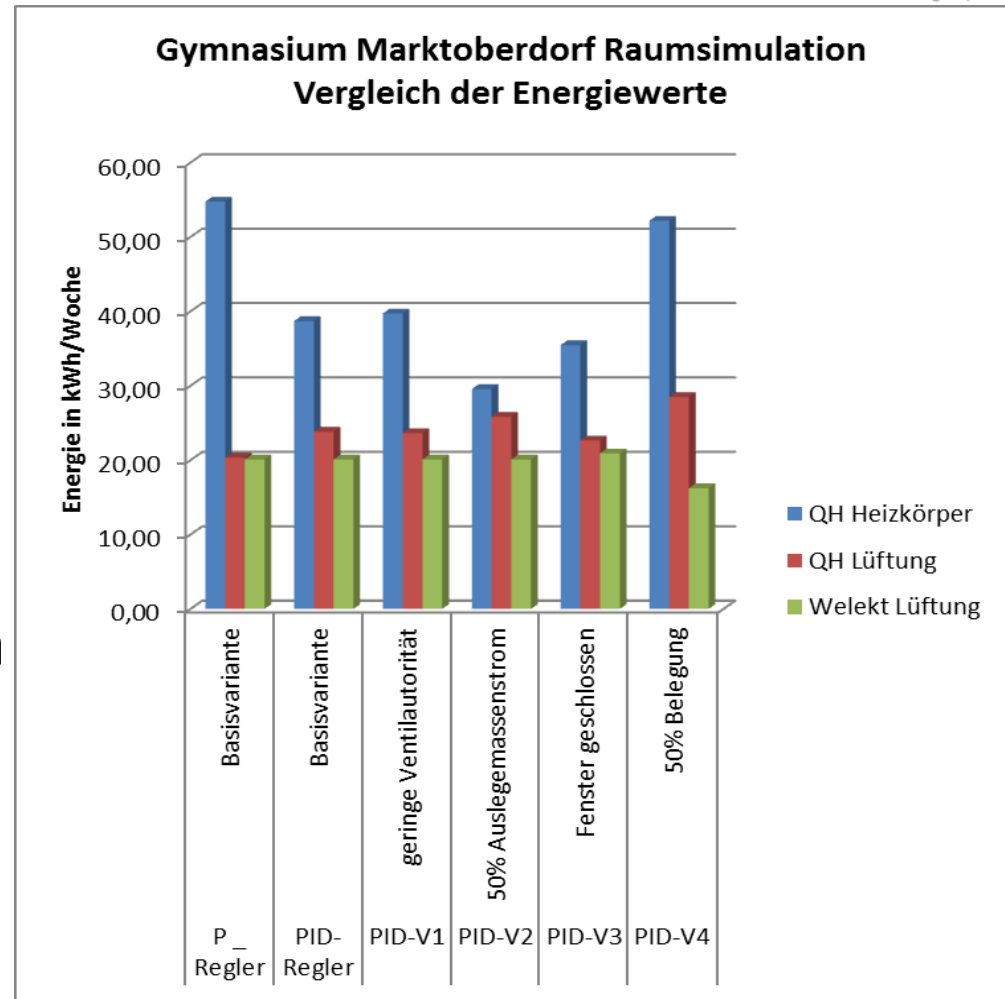
- Raummodell einschließlich natürlicher Lüftung und CO<sub>2</sub>
- Anlagenmodell: Heizkörper-Regelventil-Hydraulik



# Ergebnisse Simulationsberechnungen

## Einflüsse:

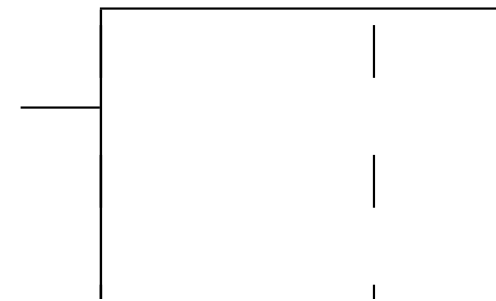
- Raumtemperaturregelung (P/PID): hoch
- Ventilauswahl  
Autorität: gering
- Hydraulik 50%  
Volumenstrom: hoch
- Fenster  
offen/geschlossen:  
hoch
- Belegung:  
hoch



# PI-Regelung mit Fensteröffnen

2000

1000

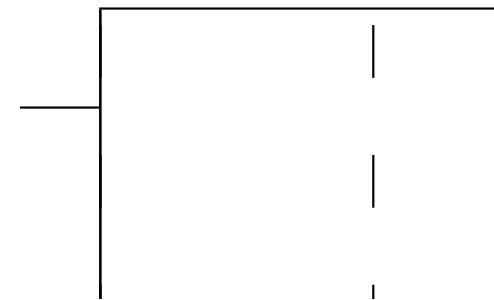


Simulation zeigt ähnliches Betriebsverhalten wie Messung

# PI-Regelung ohne Fensteröffnen

2000

1000



Einfluss des Fensteröffnens wird deutlich

## Schlussfolgerungen (1)

- Das Rechenverfahren Naerco-Energie ist geeignet, Garantiewerte für den Endenergiebedarf zu liefern.
  - Die größten Unsicherheiten liegen in der Prognose der Wärmegewinne, der Stillstandsverluste und dem Nutzerverhalten.
- Für eine Qualitätssicherung (hier u.a. auch für die wiss. Begleitforschung) sind offene Schnittstellen zu den Messdaten erforderlich
- Erst ein messtechnischer hydraulischer Abgleich gewährleistet eine sichere Versorgung aller Wärmeverbraucher.

## Schlussfolgerungen (2)

- Sämtliche qualitätssichernden Kontrollmaßnahmen sind zeitnah nach Erstellung auszuführen
- Die technischen Anlagen sind in der Lage die geforderten Bedingungen zu erreichen
- Naerco zeigt den Weg zu einer nachhaltigen Qualitätssicherungsstrategie
  - partnerschaftliche Zusammenarbeit AG / AN
  - Risiken: Änderungen der Prozesse  
Mangelnde Ressourcen



## Weiterer Forschungsbedarf

- **Funktionale Ausschreibung**
- **Qualitätssicherungsmaßnahmen**
- **Kontrollen** durch die Sanierungsgeber
- **Risikoverteilung zwischen AG und AN**
- **Musterausschreibung GLT – Daten / Visualisierung**
- **Energiebedarfsberechnung**  
(Evaluierung von „naerco-Energie“)
- Vertragliche Absicherung der **Zusammenarbeit mit den Schülern**

## Weitere naerco Projekte?

- Interdisziplinäres Projekt
  - Rechtlich
  - Sozialwissenschaftlich
  - Kommunikation
  - Technik
- Weiterentwicklung und Erprobung an bis zu 5 kommunalen Sanierungsprojekten
- Teilnahmewettbewerb