

# Energie optimiertes Datacenter (EoD)

## Planungssoftware für Energie- und Kostenoptimierung

### Ein Werkzeug für Entscheidungsträger



KTI-Projekt am  
Institut für Mobile und Verteilte Systeme

Christoph Meier  
BSc. Computer Science FH  
Student MSc. in Engineering ICT

Advisor  
P. Gysel

In Zusammenarbeit mit

**green.ch**  
The Internet Company

**R + B** engineering ag

## Projektpartner

---

**R + B** engineering ag

---

Elektro- und Gebäudetechnik-Engineering  
Datacenter Gesamtplanungen  
80 Personen an 10 Niederlassungen

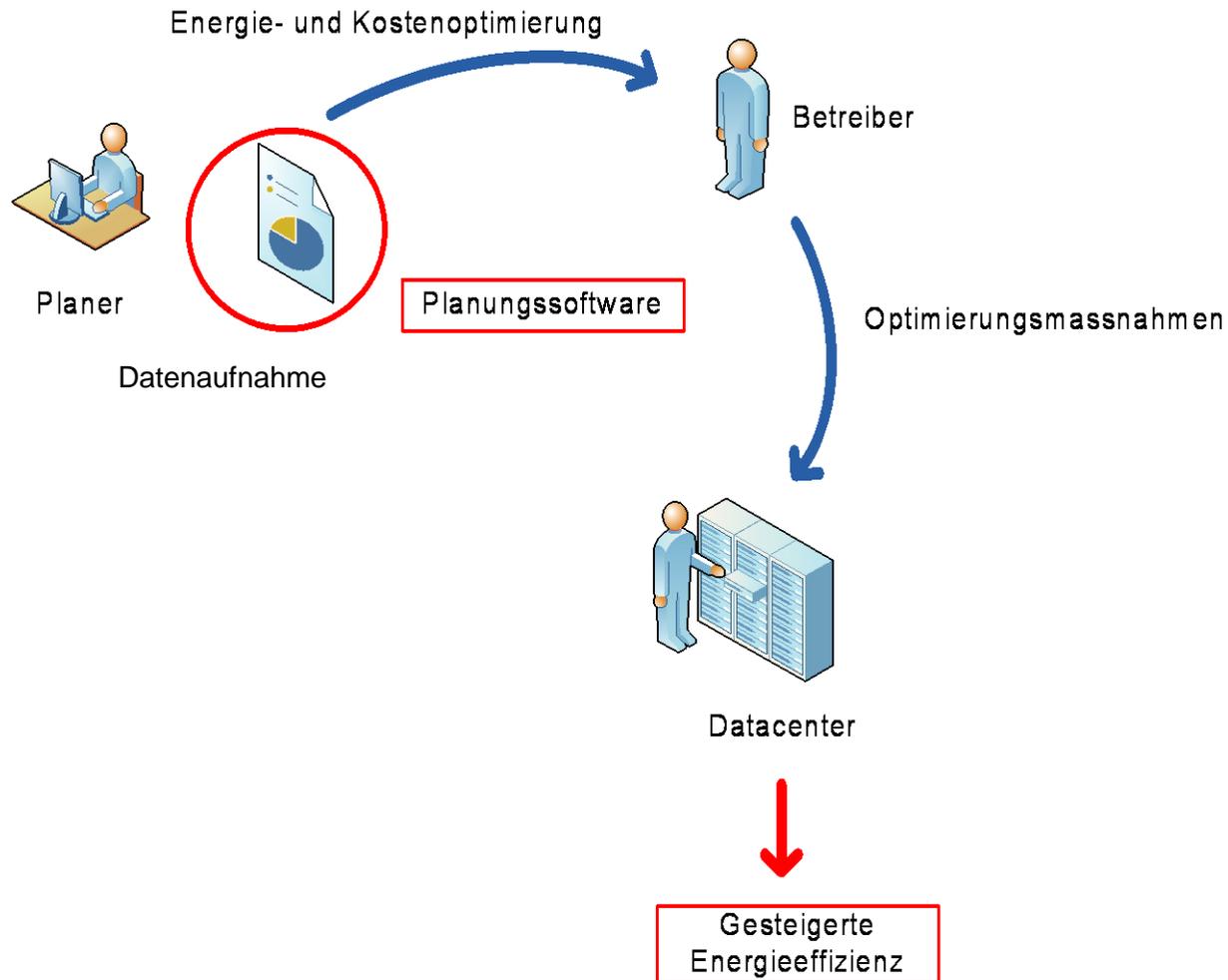
**green.ch**  
The Internet Company

Internetdienstleister für KMU,  
nationale und internationale Grosskunden  
sowie Privatpersonen

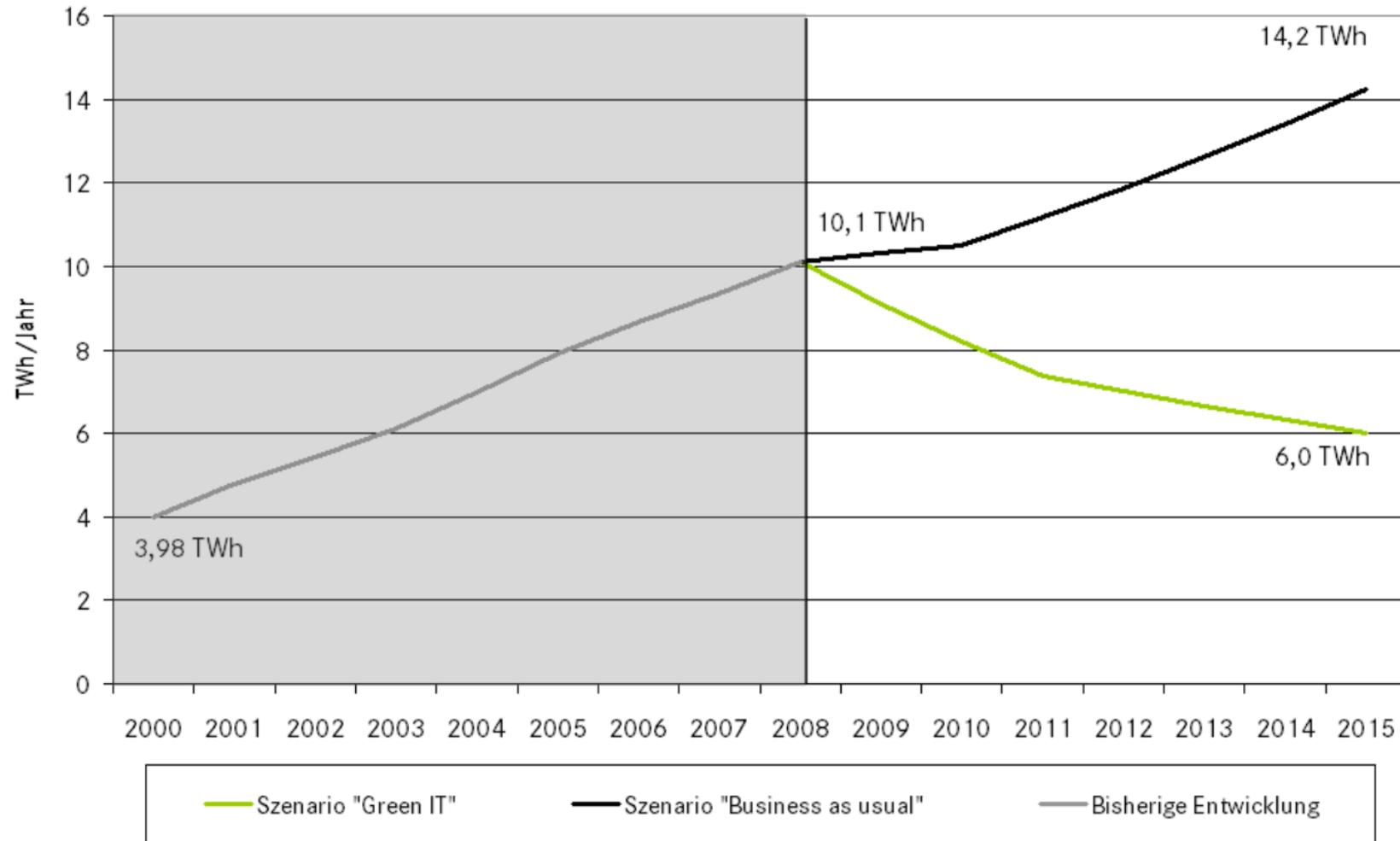
## **Agenda**

- 1. Einstieg / Ziel des Projekts**
- 2. Modellierung Kühlgeräte**
- 3. Modellierung ICT Geräte**
- 4. Software (EoD Designer)**
- 5. Ergebnisse und Ausblick**

## Ziel des Projekts



## Stromverbrauch von Servern und Rechenzentren in Deutschland



Quelle: Umweltbundesamt 2010

## Datacenter: Gebäude für den sicheren Betrieb von Datacom Equipment

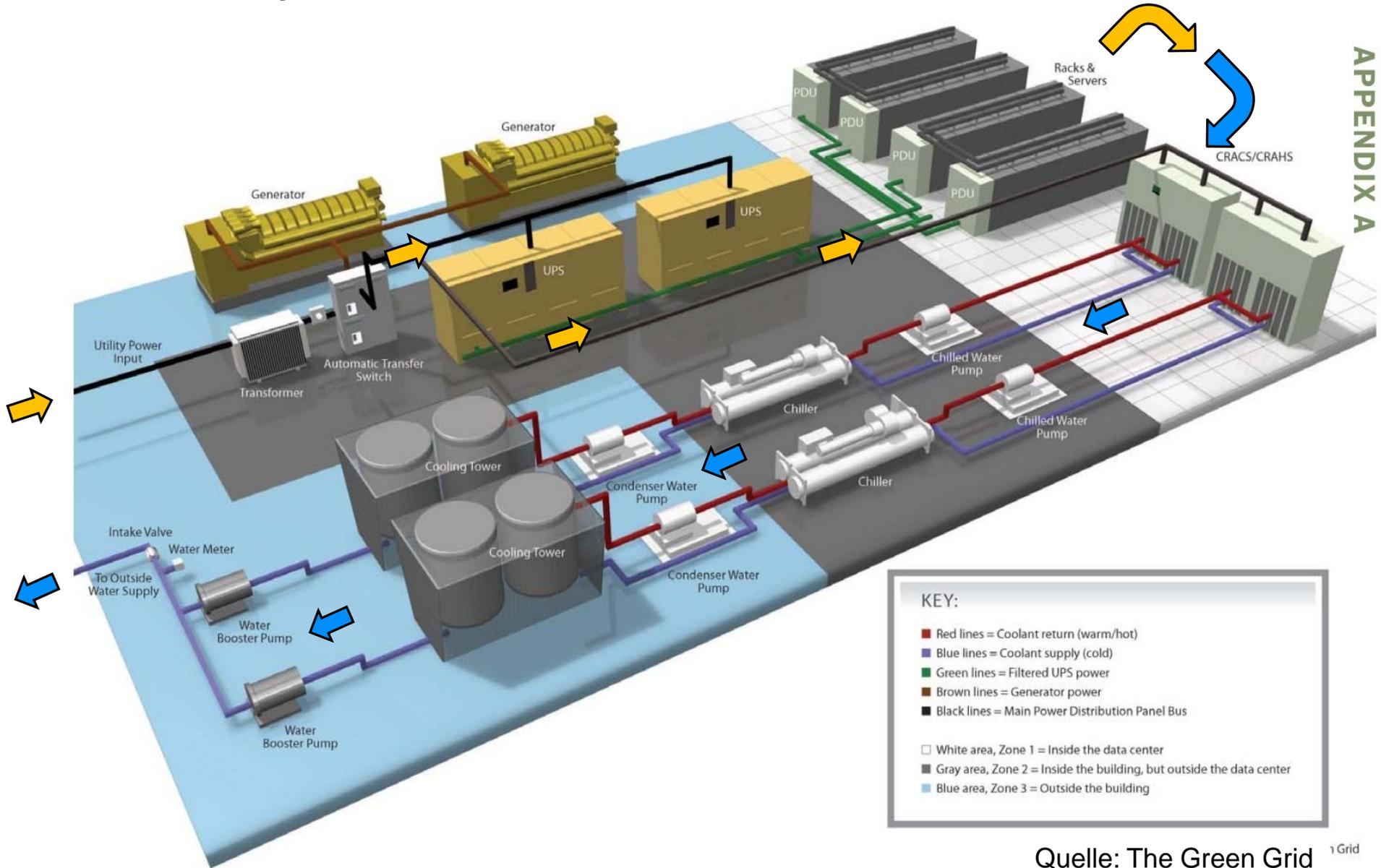


Quelle: green.ch

## Datacenter: Datacom Equipment in Racks

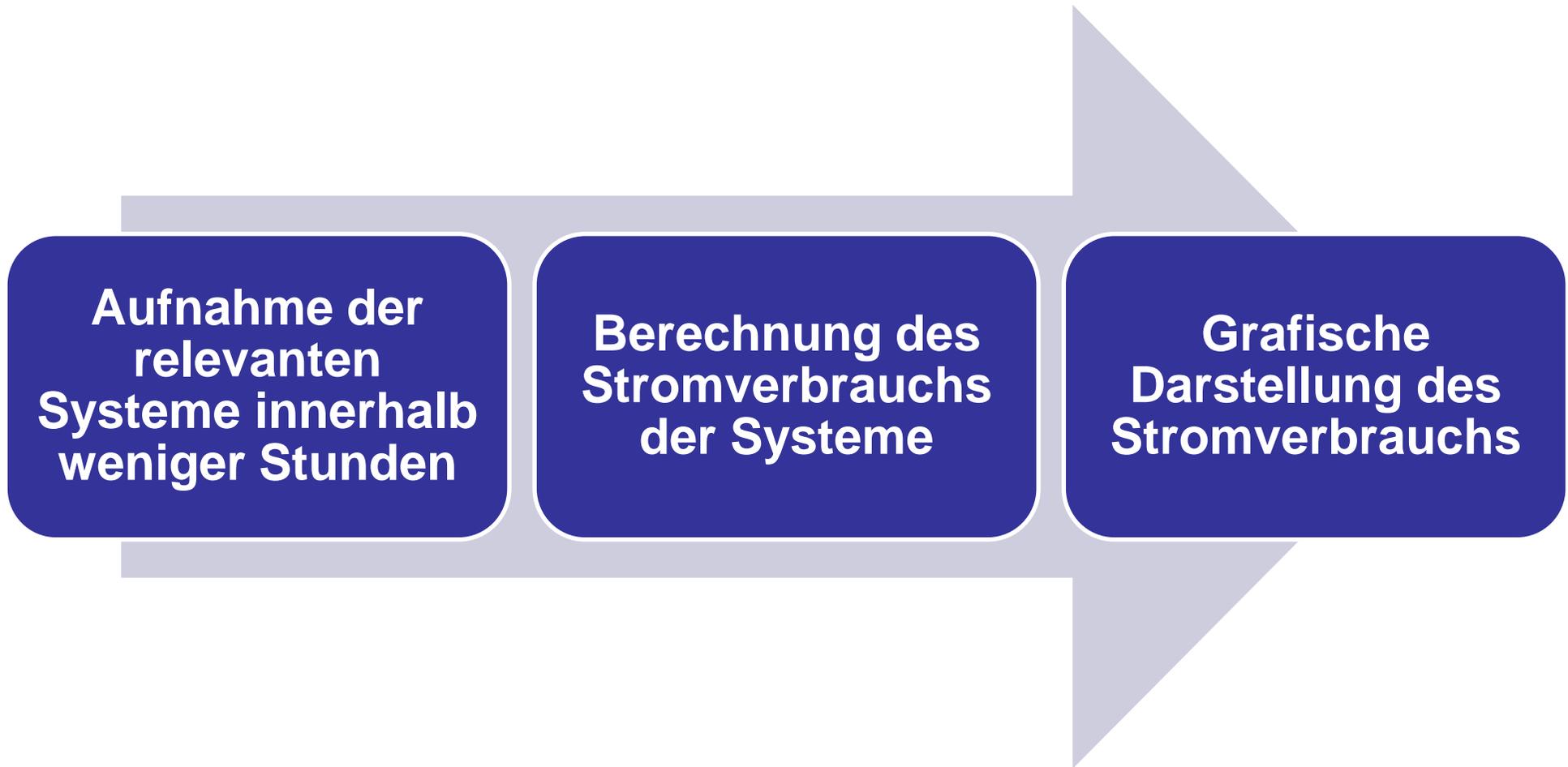


# Datacenter: Systeme

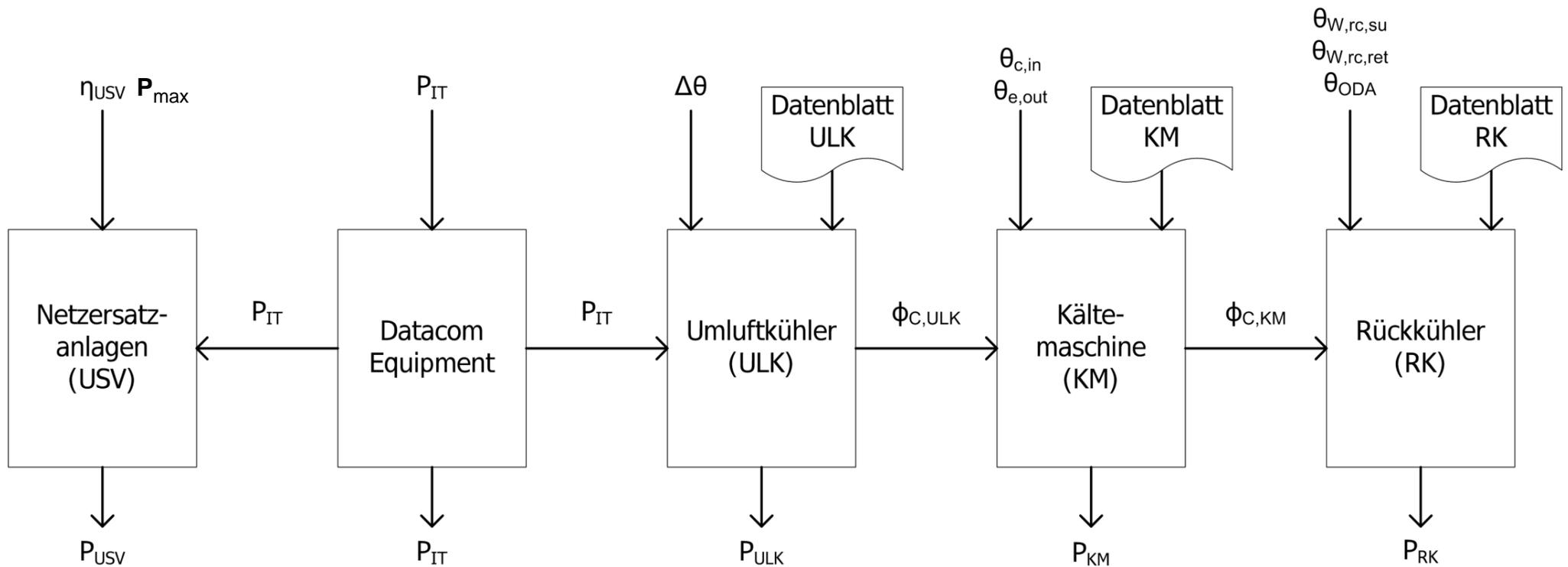


Quelle: The Green Grid <sup>1 Grid</sup>

## Realisierung der Modelle - Anforderungen



## Realisierung der Modelle - Gesamtmodell



# Modellierung Kühlsysteme

- **Mathematische und physikalische Grundlagen für die Modelle**
- **Umluftkühlgeräte (ULK)**
- **Kältemaschine inkl. Rückkühler**

## Basis: physikalische Grundgleichung für den Wärmetransport

$$P_{th} = \rho \cdot q_V \cdot c_p \cdot \Delta\theta$$

$P_{th}$	Wärmeleistung in einem Medium in W
$\rho$	Luftdichte in $\text{kg}/\text{m}^3$
$q_V$	Volumenstrom in $\text{m}^3/\text{s}$
$c_p$	Wärmekapazität $\text{Ws}/\text{kg}$
$\Delta\theta$	Temperaturhub in K

## Basis: Näherung für die Kältemaschine nach SIA

$$\eta_{COP,C} = \frac{273 + \theta_{e,out} - \frac{\Delta\theta_{cor}}{2}}{\theta_{c,in} - \theta_{e,out} + \Delta\theta_{cor}} \cdot (a \cdot f_{PLR}^3 + b \cdot f_{PLR}^2 + c \cdot f_{PLR} + d)$$

$\eta_{COP,C}$  Aktuelle Leistungszahl der Kältemaschine

$\theta_{e,out}$  Verdampfer-Austrittstemperatur des Kaltwassers

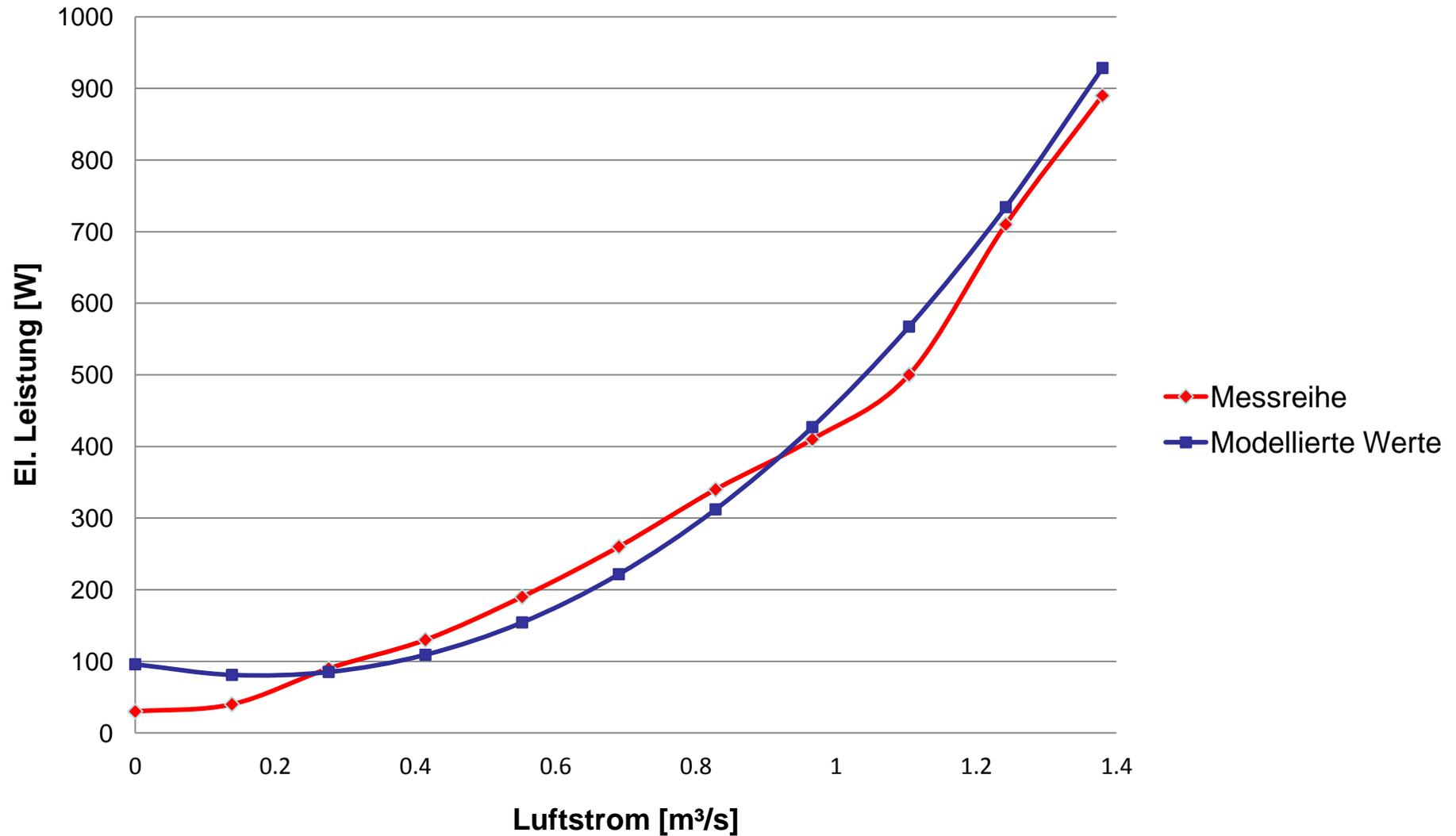
$\theta_{c,in}$  Verflüssiger-Eintrittstemperatur des Kühlwassers

$\Delta\theta_{cor}$  Korrektur-Temperaturdifferenz, um von der Differenz zwischen Verdampfer-Austrittstemperatur und Verflüssiger-Eintrittstemperatur auf den Temperaturhub des Kältemittels zu korrigieren.

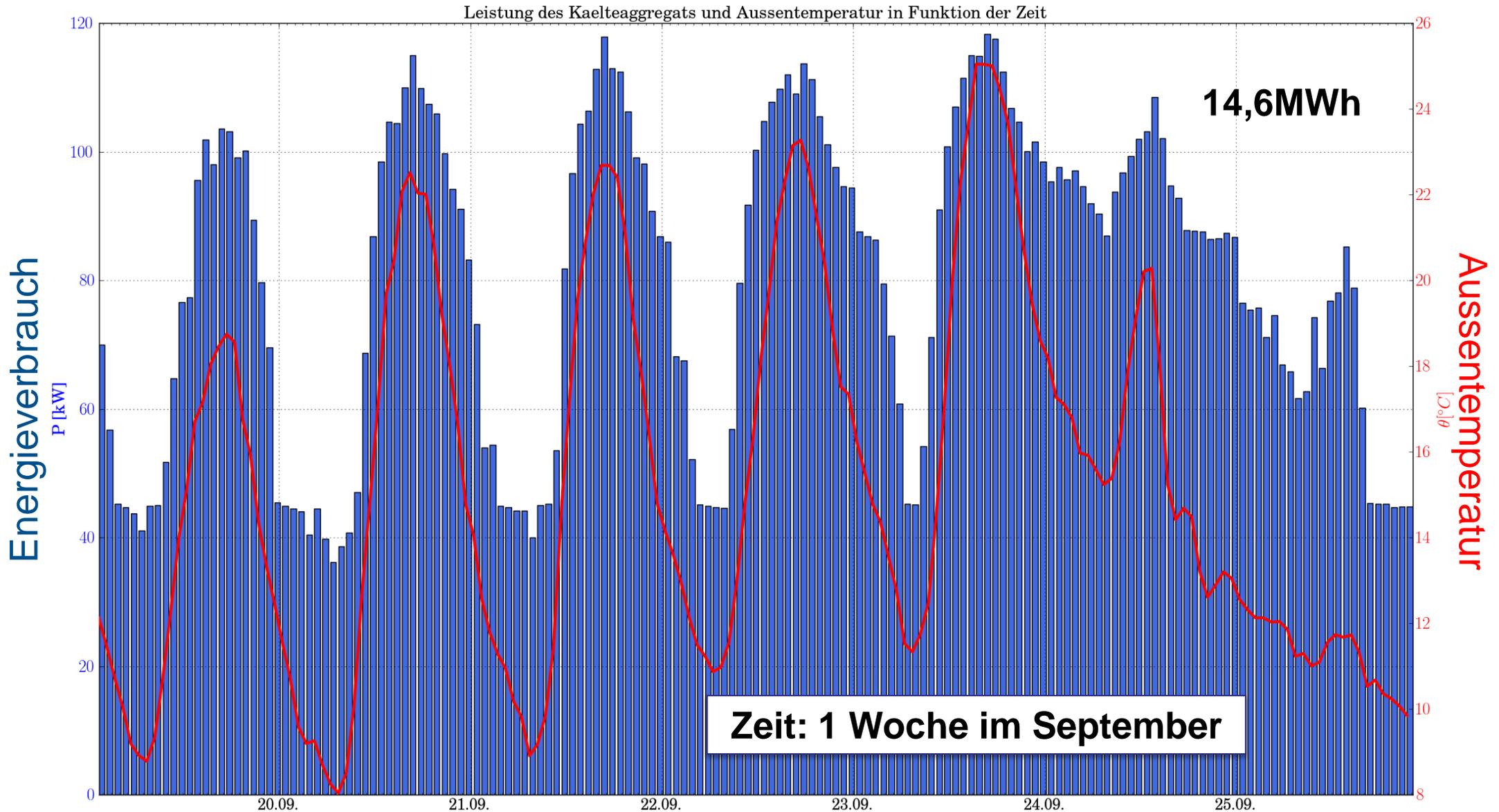
$f_{PLR}$  Teillastverhältnis

Quelle: SIA Merkblatt 2044

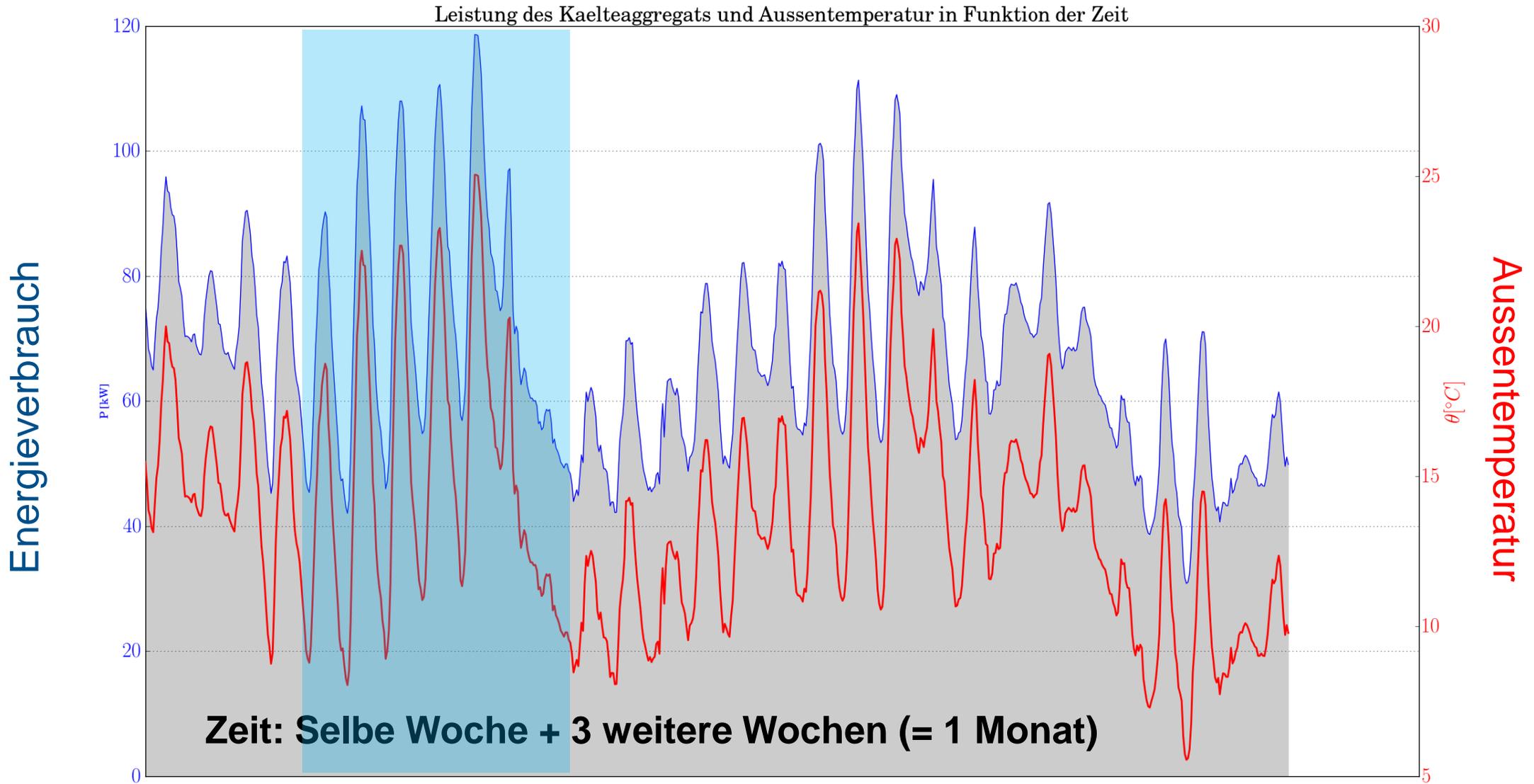
## Beispiel: Rückkühler (In-Row RC APC ARC102)



# Beispiel Kältemaschine: Gemessene Werte für den Stromverbrauch



## Beispiel Kältemaschine: Berechnete Werte für den Stromverbrauch



# Modellierung Datacom Equipment (ICT)

- **Basis / Grundlagen für die Modelle**
- **Server**
- **Switch**
- **Storage**

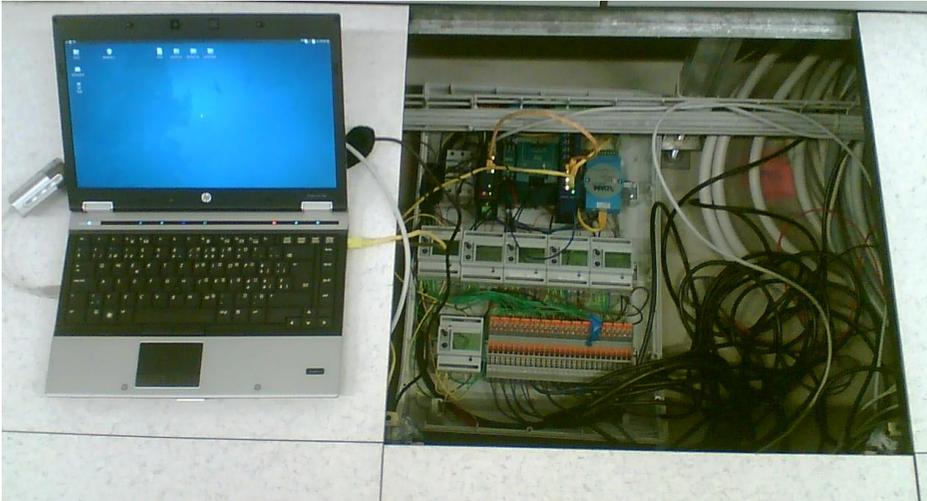
## Basis: Literatur

- IEEE und ACM Publikationen
  - Zeitraum von 2005 bis 2011
  - *Full System Power Analysis and Modeling for Server Environments*, Economou et al. (2006)
  - *Energy Aware Network Operations*, Mahadevan et al. (2009)
- Informationen von Organisationen
  - ASHRAE<sup>1</sup>
  - The Green Grid<sup>2</sup>
- White Papers von Herstellern
  - HP, IBM, Intel
  - Cisco

<sup>1</sup> <http://www.ashrae.org>

<sup>2</sup> <http://www.thegreengrid.org>

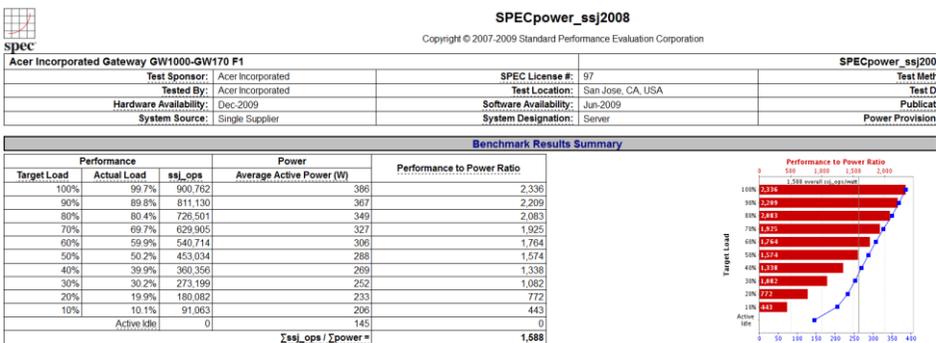
## Basis: Messungen



HP BladeSystem c3000 Enclosure



## Messgeräte (Energie und Temp)



HP Bladesystem  
Supermicro und HP Server  
Cisco Switches

## Ergebnisse von SPEC und SPC

## Modellierung: Server

$$P_{\text{server}} = P_{\text{chassis}} + N_{\text{harddisk}} * P_{\text{harddisk}} + \sum_i P_{\text{CPU } i} + Last_{\text{CPU } i} * m_{\text{CPU } i} + \sum_j P_{\text{RAM}} + Last_{\text{RAM } j} * m_{\text{RAM}} + P_{\text{fan}}$$

Chassis  
Mainboard  
Grafik  
LAN

Festplatten

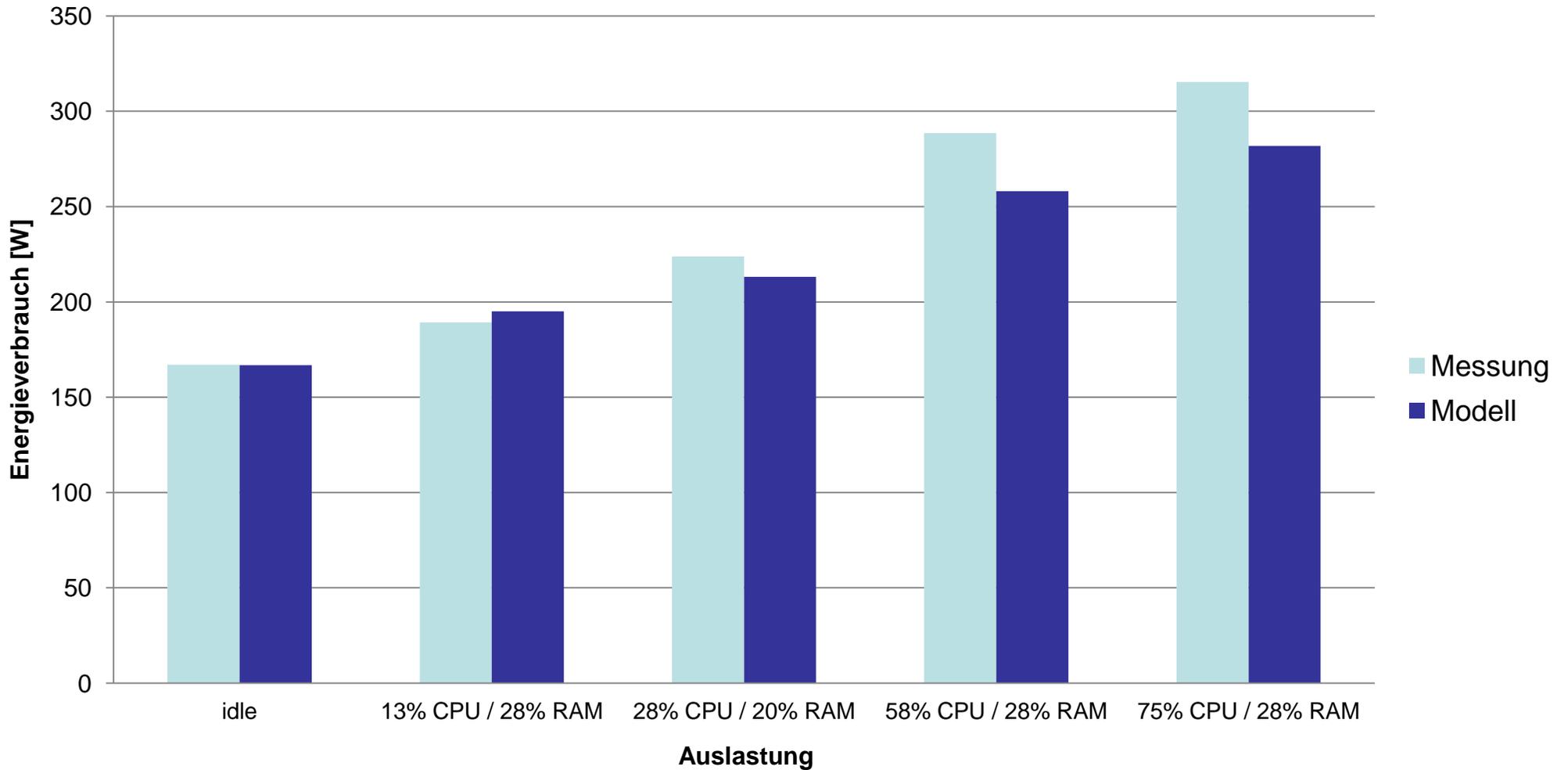
CPU:  
Grundbedarf und  
Lastabhängigkeit

RAM:  
Grundbedarf und  
Lastabhängigkeit

Lüfter:  
Einfluss der Inlet  
Temperatur

## Modellierung: Server

### Supermicro ESX Server X7DWA



## Modellierung: Switch

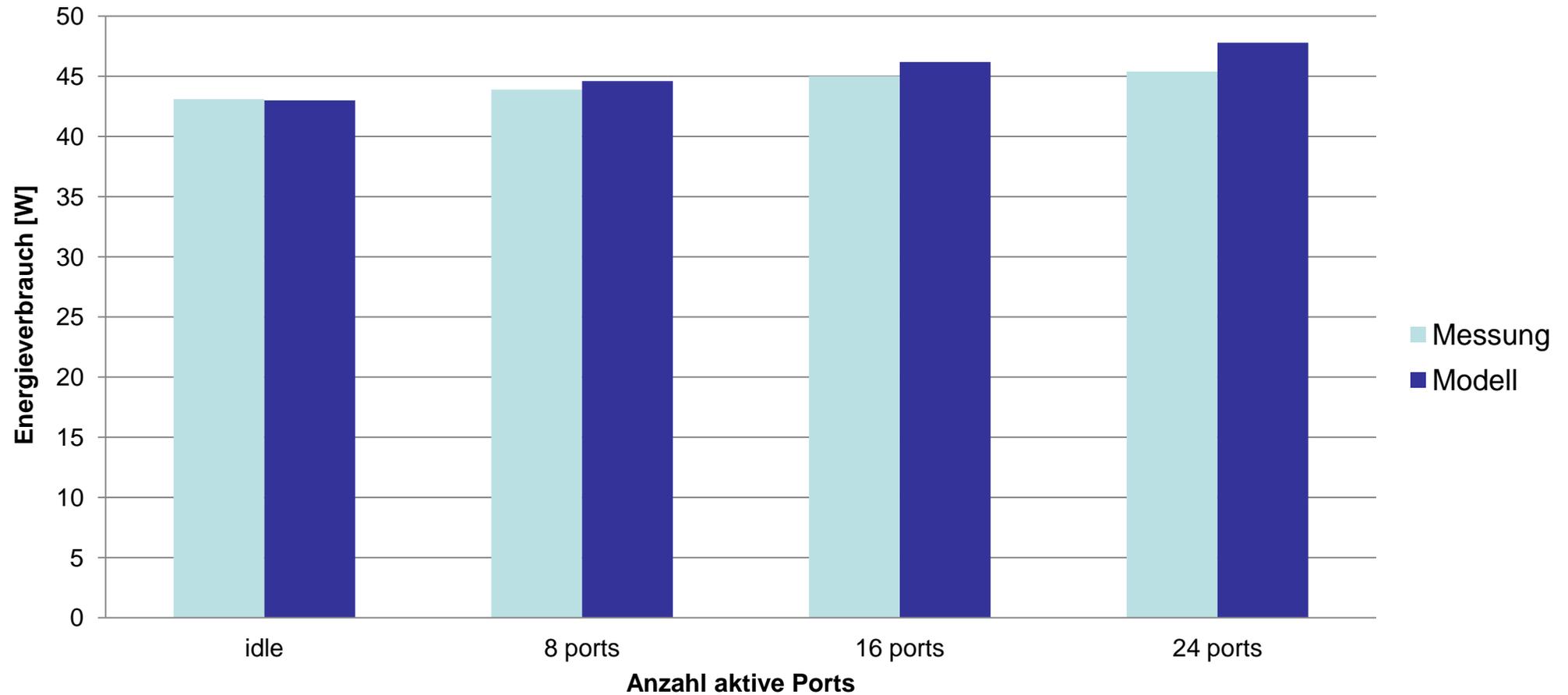
$$P_{\text{switch}} = P_{\text{chassis}} + \sum_i N_{\text{ports } i} * P_{\text{port } i}$$

Chassis:  
Grundbedarf ohne  
aktive Ports

Bedarf der aktiven Ports  
(abhängig von der  
Bandbreite i)

## Modellierung: Switch

### Cisco Catalyst 2960G (100Mbps)



## Modellierung: Storage

$$P_{\text{storage}} = P_{\text{chassis}} + \sum_1^{N_{\text{disks}}} P_{\text{disk\_idle}} + \sum_1^{N_{\text{disks}}} m_{\text{disk}} * P_{\text{disk\_load}}$$

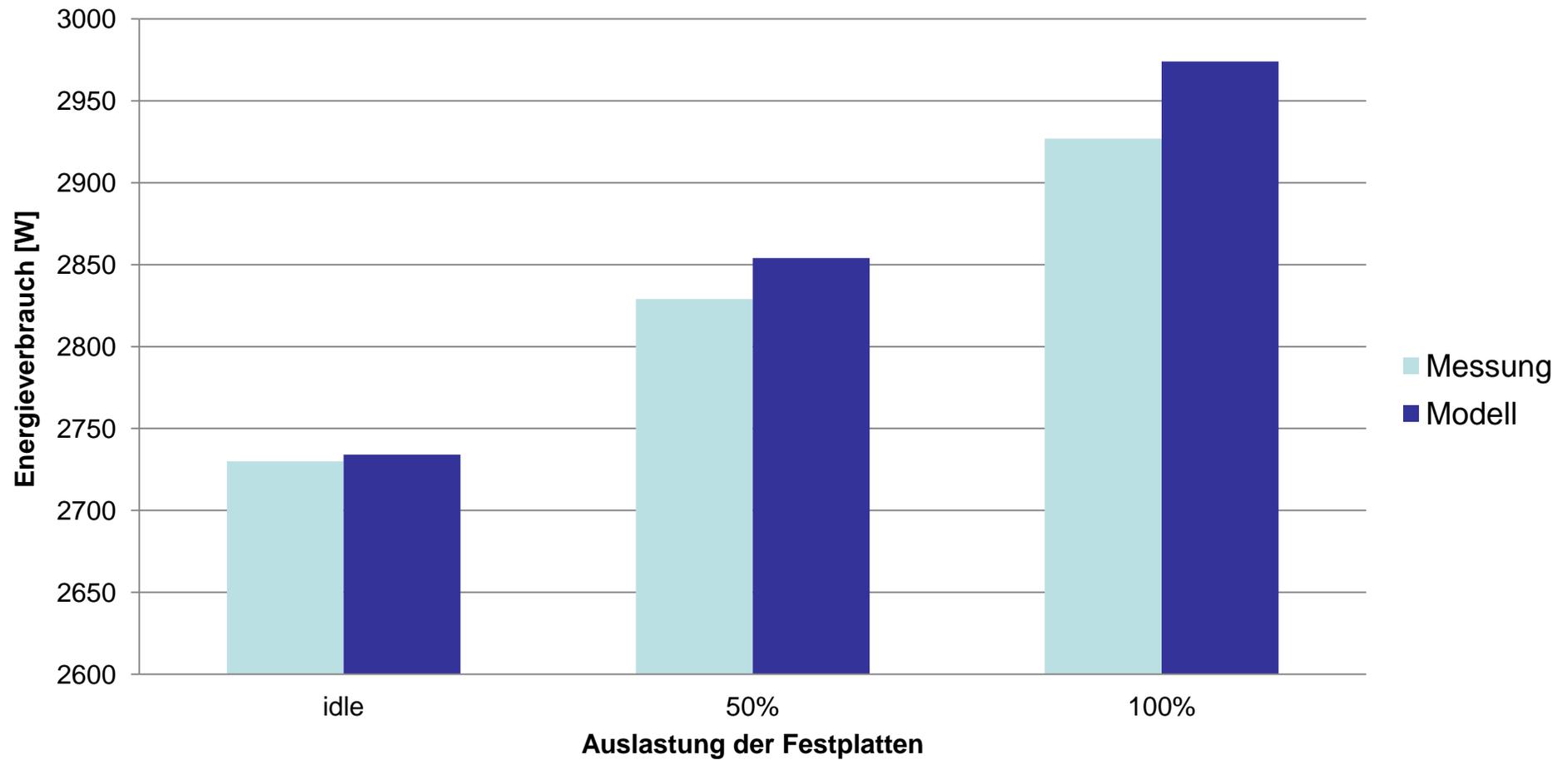
Chassis:  
Grundbedarf ohne  
Festplatten

Grundbedarf der  
Festplatten (im Idle Modus)

Bedarf in Abhängigkeit der  
Last (bei R/W  
Operationen)

## Modellierung: Storage

**NetApp FAS3270A (120HDDs)**



# Software EoD Designer

- **Übersicht / Aufbau EoD Designer**
- **Video Demonstration**
- **Statistiken / Reports**

Energy Optimized Datacenter Designer

File Edit View Help

Variant Information

Name  
Variante 1 - konventionelle Lösung

Description  
Variante 1:  
konventionelle Lösung ohne Einhausung und ohne Free Cooling

Project Information Variant Information

Elements

- Datacom
- Trafo
- UPS
- Cooling
  - DryCooler
  - FreeCooler(Dry)
  - FreeCooler(Wet)
  - HybridCooler
  - WetCoolingTower
  - Chiller
  - DirectFreeCooler
  - RkCombi
  - FOCS-FC B 1502
  - FOCS-FC B 2722
  - FOCS-FC SL 2022
  - NECS-FC B 0904
- CRAH
  - ADC
  - APC
    - ACRC 100
    - ACRC 500
  - CTA
  - Emerson
  - Uniflair
- Utilities
  - Distributor
  - Sum
  - Table

Variante 1 - konventionelle Lösung

Properties

Hersteller: **Uniflair** Typ: **BDC 3310** Name: **ULK 1**

Self Cooling		Thermal Definition		Quantity	
itr	Fixed 0	$\rho$	Fixed 1.204 kg/m <sup>3</sup>	n	Fixed 10
		$C_p$	Fixed 1004.4 J/kg*K		
		$\Delta\theta$	Fixed 5 C°		
		$P_{Th,in}$	Connector 300000 W		
		$P_{Th,out}$	Connector 332127.979273 W		
		$P_{craH}$	Showed 32127.9792731 W		

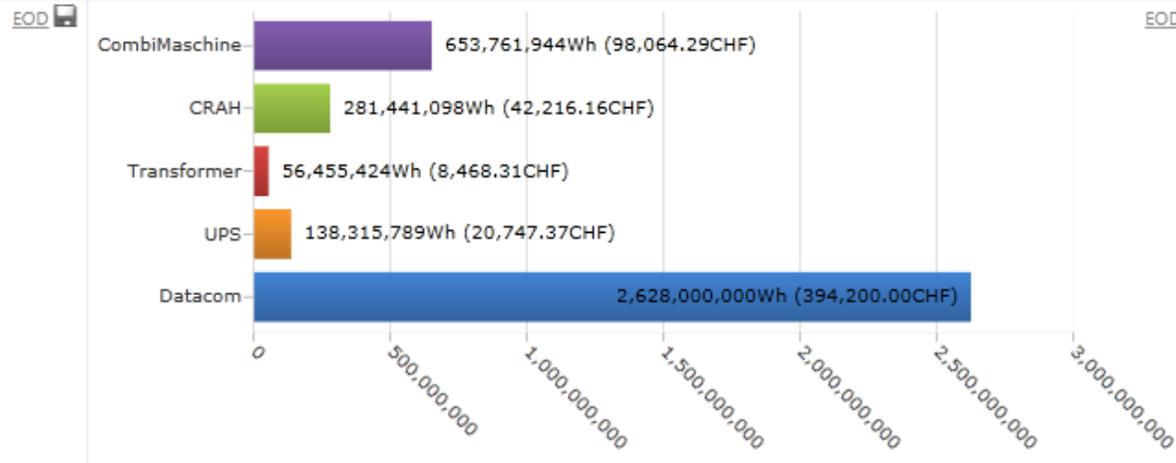
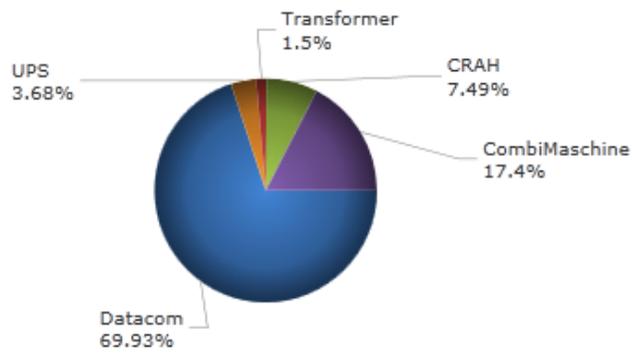
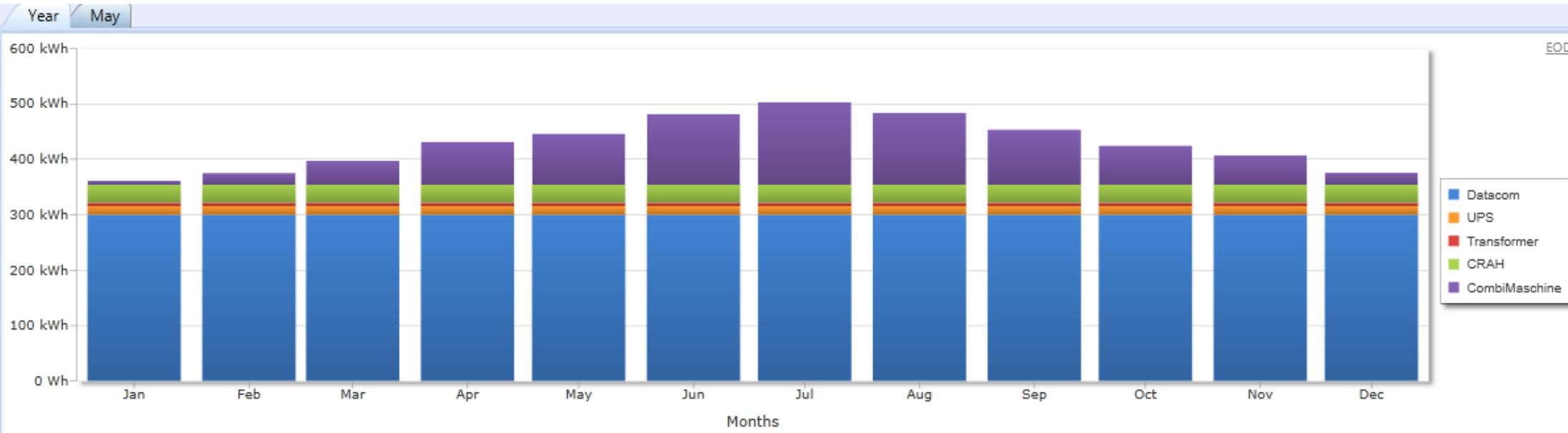
Logging Console Properties

## Demo Video

- Neues Projekt erstellen
- Variante 1:  
konventionelle Lösung ohne Einhausung  
(Vorgehen: neue Variante erstellen)
- Variante 2:  
Lösung mit Warmgang und Freecooling  
(Vorgehen: Variante 1 klonen und danach anpassen )

[Demo Video starten](#)

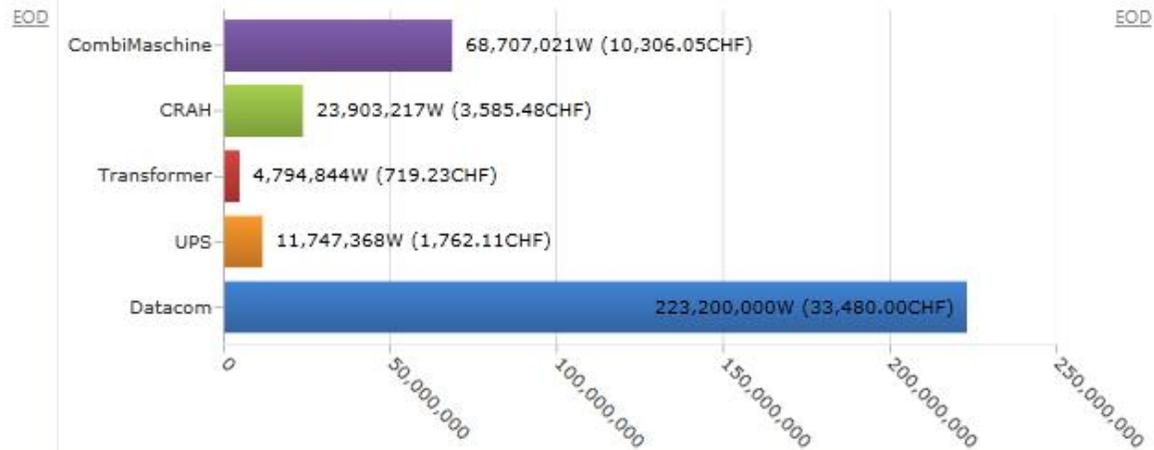
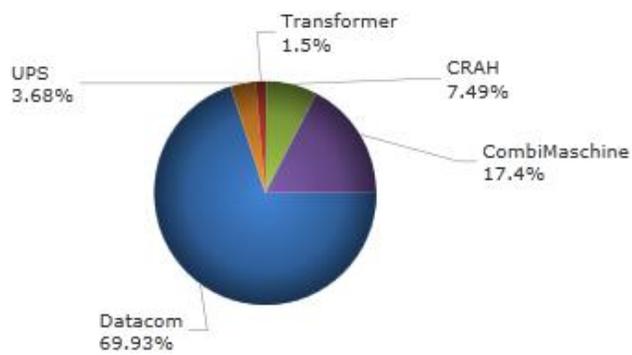
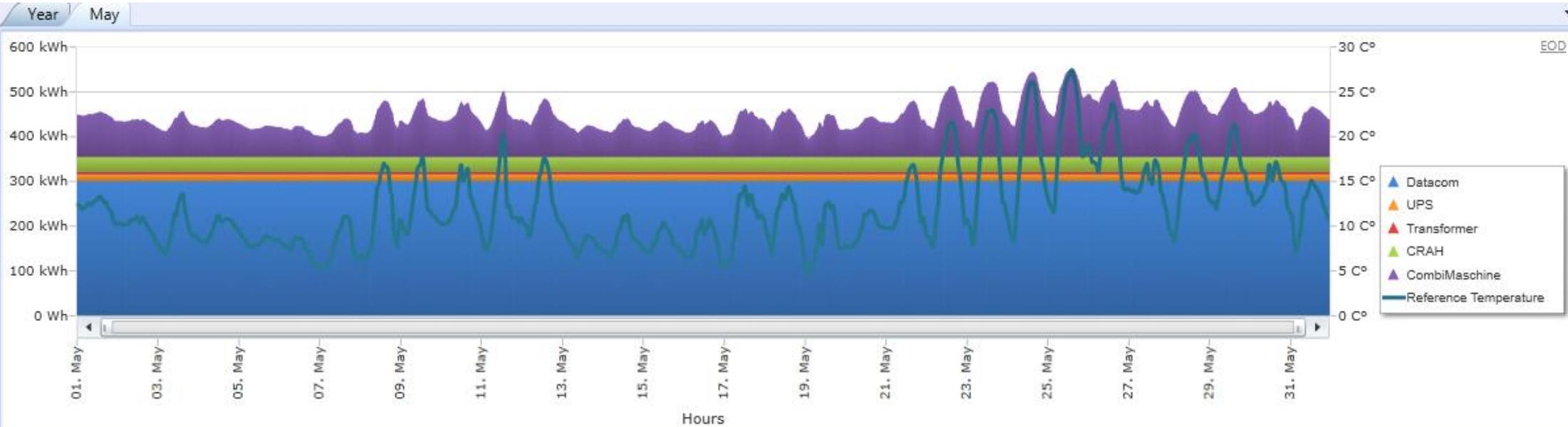
# Reports: Jahr



PUE: 1.43

Total: 3,757,974,256Wh (563,696.14CHF)

# Reports: Monat

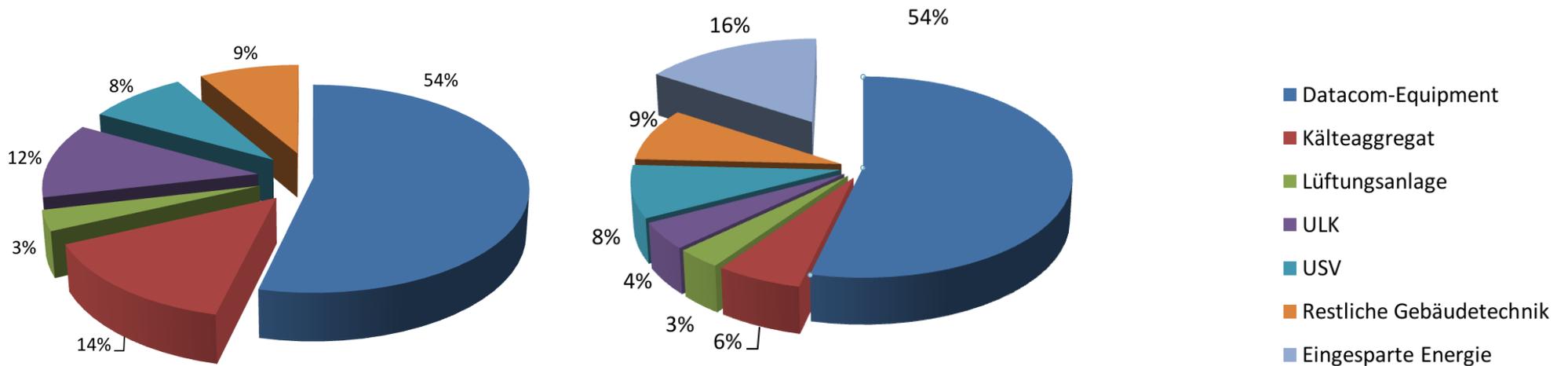


PUE: 1.49

Total: 332,352,450Wh (49,852.87CHF)

## Bsp. Datacenter

Teilsystem	Berechneter Energiebedarf in einem Jahr bei aktuellem Betrieb	Optimierter Betrieb	Effizienzsteigerung
Datacom-Equipment	1'612'000 kWh	1'612'000 kWh	
Kälteanlage	<b>435'000 kWh</b>	<b>182'000 kWh</b>	58,2%
Lüftungsanlage	96'000 kWh	96'000 kWh	
ULK	<b>350'000 kWh</b>	<b>131'000 kWh</b>	62,6%
USV	354'000 kWh	354'000 kWh	
Restliche Gebäudetechnik	255'000 kWh	255'000 kWh	
<b>Total</b>	<b>3'102'000 kWh</b>	<b>2'630'000 kWh</b>	<b>15,2%</b>



# Ergebnisse

- Es konnte ein Gesamtmodell für die Berechnung des Energieverbrauchs eines Datacenters erstellt werden.
  - Kühlsysteme
  - Datacom Equipment (Server, Switches, Storage)
- Das Modell wurde bereits weitestgehend in einer Software implementiert
  - Die Software verfügt über eine Plug-in Schnittstelle
  - R+B Engineering AG setzt die Software bereits ein

# Ausblick

- **Nächste Schritte**
  - Verfeinerung der Modelle für die ICT Geräte (v.a. Server)
  - Fertigstellen der Software (Implementieren der ICT Geräte)
- **Ausblick**
  - Herausforderung Software Wartung

**Danke für die Aufmerksamkeit**



**<http://www.fhnw.ch/technik/imvs>**