

# **Energiesparen praktisch: Steigerung der Energieeffizienz in der Kältetechnik**

## **Energieeffizienz in der Kältetechnik**

**Informationsveranstaltung und Wissensqualifizierung der IHK Magdeburg vom 14. März 2013 in Wernigerode**  
Vortrag: Dipl.-Ing. Günther Geese

- **Kälteerzeugung**
    - Effiziente Erzeugung
    - Energie-Effizienzbeispiel
    - Systeme
    - Kälte aus Kraft-Wärme-Kopplung
    - Absorptionskälte
    - Kälte - Wärmepumpensysteme
  - **Kälteverteilung**
    - Rohrnetze, Pumpen, Speicherung
  - **Abfuhr der Kondensationsabwärme**
    - Abwärmeeinkopplung
  - **Energiemanagement**
  - **Umweltaspekte**
    - TEWI äquivalente CO<sub>2</sub>-Emission
- o Grundlagen und Zusammenhänge für eine effiziente Kälteerzeugung
  - o BHKW Einsatz  
Beachtenswertes und Kriterien
  - o Nutzen aus Abwärme
- 
- o Im 2. Teil „Förderung“



müssen wir  
energetisch  
umdenken?

und handeln?

was müssen wir  
tun?

was können wir  
tun?

Quelle: Das Wertemagazin Beilage Handelsblatt

# Energie

## wohin gehst du?

40%

des Endenergieeinsatzes  
werden für die Beheizung und  
Konditionierung unserer  
Gebäude benötigt

30%

wird als *heute wirtschaftlich  
erschließbares* Einsparpotenzial  
in der *Industrie* benannt  
Untersuchungen Prognos, McKinsey, kfW

1,5%

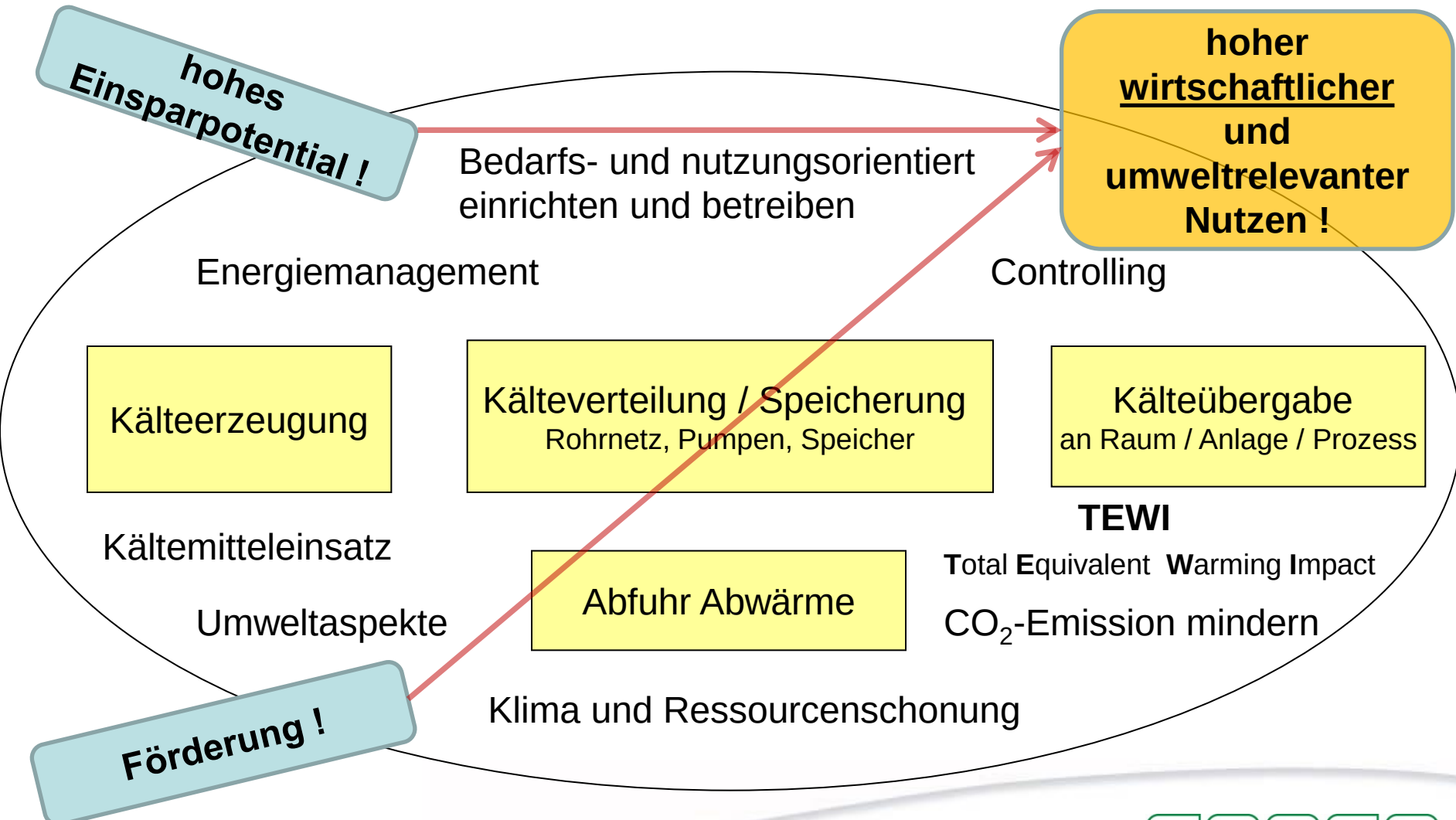
Einsparpotential Pumpe  
etwa 70 – 80 % (auch bis > 90%)  
oder 2 Großkraftwerke

Des Strombedarfs in Deutschland  
benötigen etwa jeweils

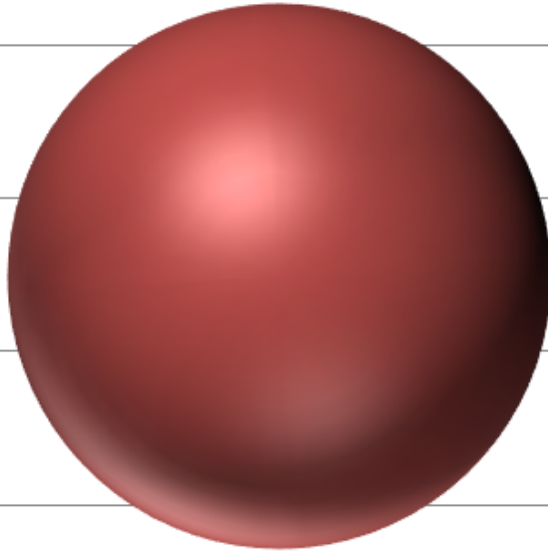
- 30 Mio Heizungspumpen
- die IT-Systeme oder
- der gesamte Schienenverkehr

# Effiziente Kältesysteme

eng verknüpft dem Gesamtsystem



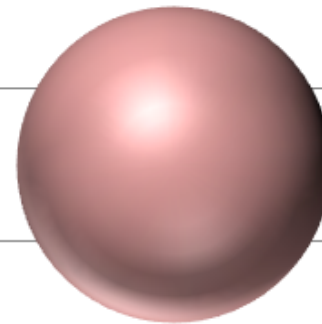
## Gesamtkosten Energie vor und nach Sanierung



*Altsystem*

### **Ziel und reale Möglichkeit effizienter System-Ertüchtigung:**

Erreichbar bei sorgsamer Gesamtbetrachtung der Lebensdauer-Zykluskosten (LCC) mit Auswahl abgestimmter, intelligent verknüpft eingebundener Effizienzsysteme



*mit Effizienz nach Sanierung*

# Kälteanlagen

## Effizienzkriterien

Leistungszahl: Ertrag zu Aufwand - Kälte- (Wärme-) -leistung zu elektr. Leistung

$\varepsilon$

Leistungsziffer eines Kälteaggregates  $\varepsilon = Q_0 / N$

- Kälteleistung  $Q_0$  zu Leistungsaufnahme  $N$  unter angegebenen Bedingungen von Verdampfungstemperatur  $t_0$  und Kondensationstemperatur  $t_K$

COP

Leistungsziffer einer Wärmepumpe  $COP = Q_H / N$

- Bezug auf Heizleistung  $Q_H = (Q_0 + N)$ ; unter definierten Randbedingungen  $t_0, t_K (t_H)$

EER

- Bewertung unter festgelegten Standard – Betriebsbedingungen für eine feste Temperaturpaarung nach EN 4511 – 2011 für 4 Laststufen

ESEER

- Bewertung unter 4 definierten Betriebs-Temperaturgewichtungen zur Abbildung realer Betriebsgegebenheiten mit Standard-Annahmen für Gebäude-Lastprofil, europäischen Witterungsdurchschnitt, sowie für ein Aggregat

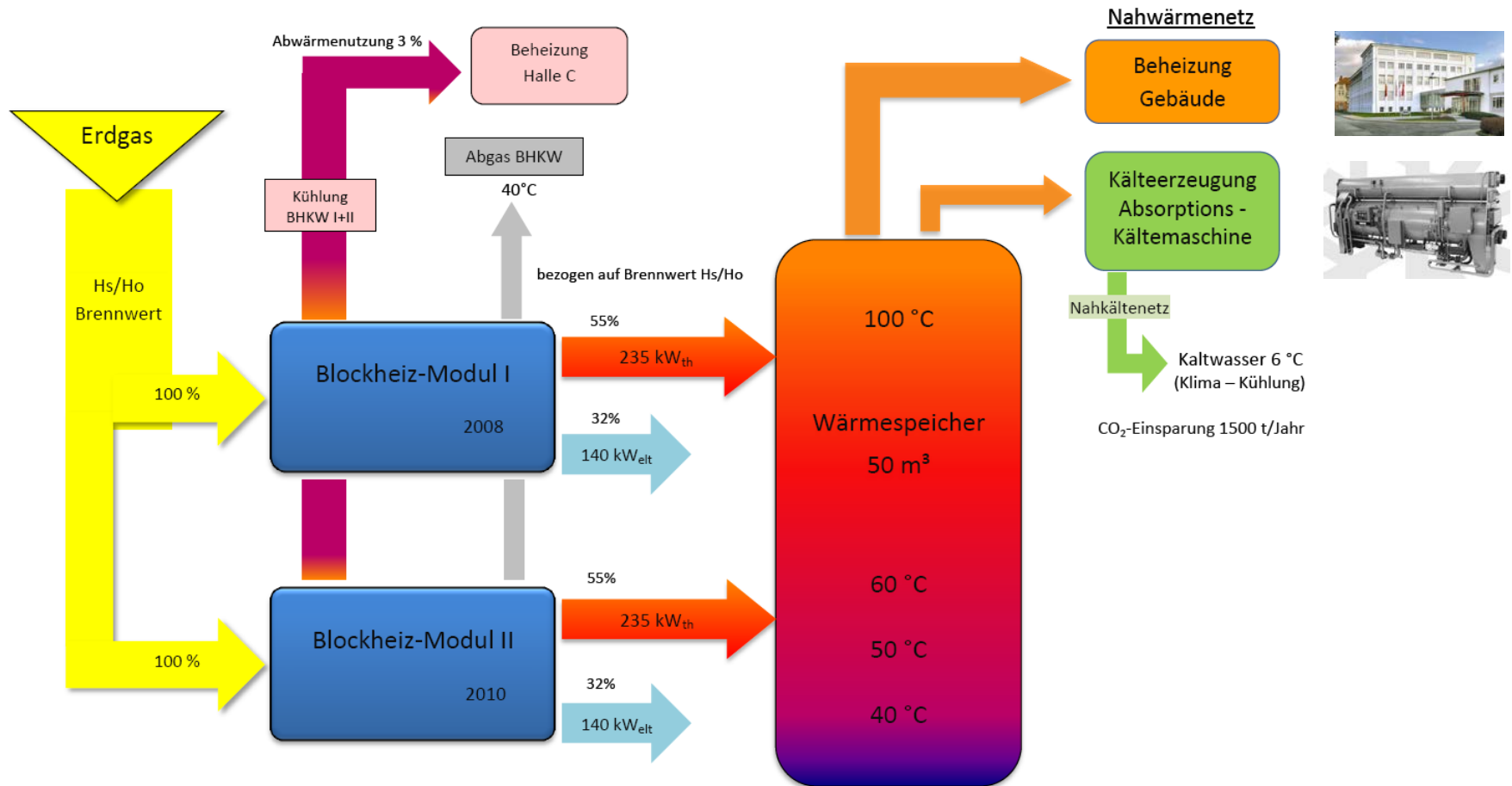
SPLV

System – Teillast - Effizienzwert

- berücksichtigt tatsächliches Lastprofil Gebäude, Nutzungszeiten, lokale Wetterdaten, Bauart der Aggregate und Systeme, Rückkühlung, Pumpen, (Teillast-) Wirkungsgrade

# Effizienz hoch<sup>3</sup> mit BHKW

## Kälte aus (Ab-) Wärme mit Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK)



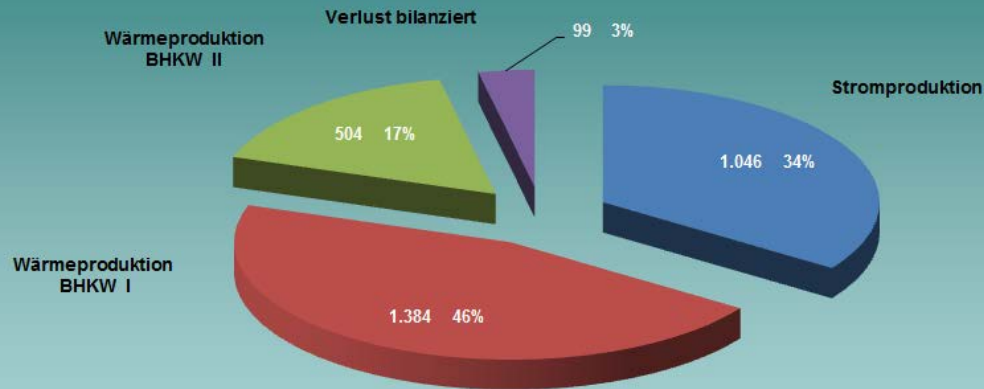


# BHKW-Betrieb II

## im Doppelpack 2 BHKW parallel betrieben

Energiebilanzierung BHKW - Betrieb

Fa. Mahr, Göttingen



Bezug: für das Jahr 2011  
Input Erdgas Heizwert 3.033 MWh/a  
BHKW 140 kW<sub>Welt</sub>, ab Sep. 2 BHKW

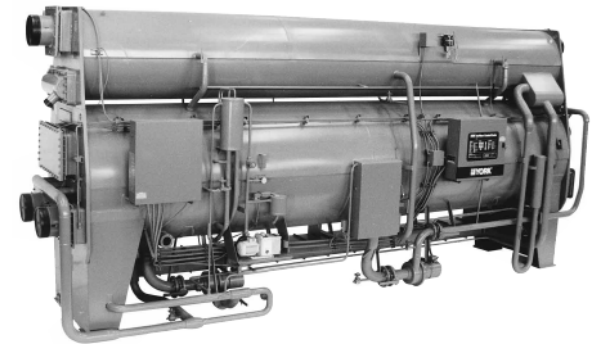
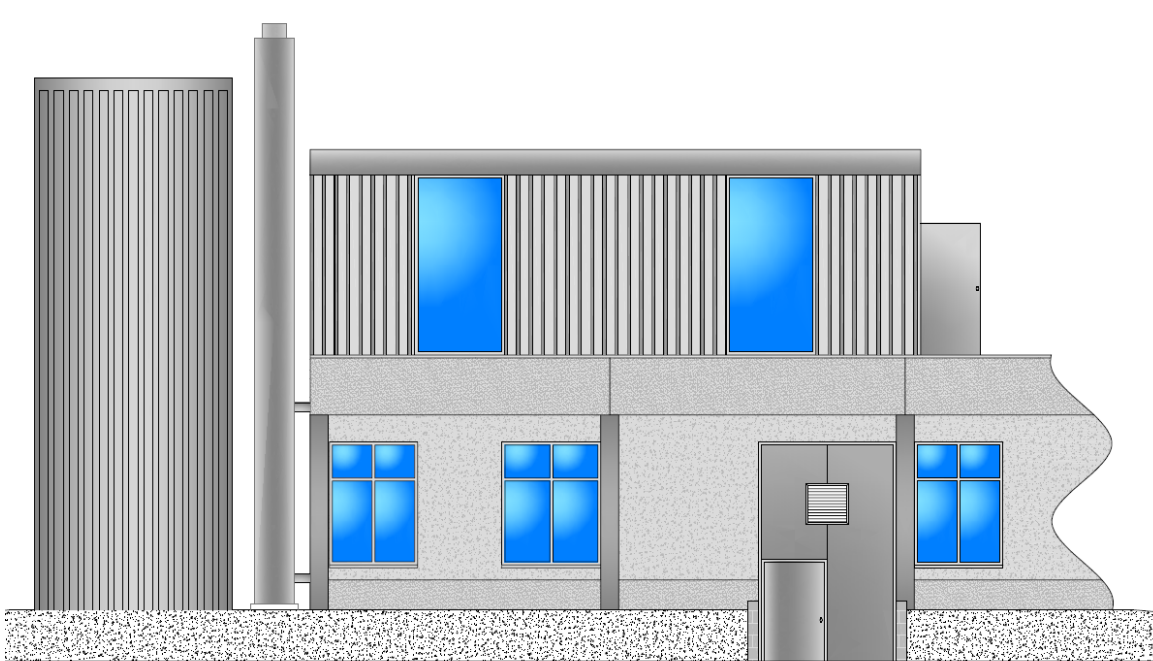
© Geese Beratende Ingenieure 2012, Dipl.-Ing G. Geese

- Betrieb BHKW I ab 2008
- Betrieb BHKW II ab 2011
- Wärmelieferung
  - 1.900 MWh/a
- Eigenstromerzeugung
  - 1.450 kWh/a
  - Abdeckung 25 %
- Heizwärme
  - Abdeckung 75 %

Aus Abwärme

Kälte  
Strom +

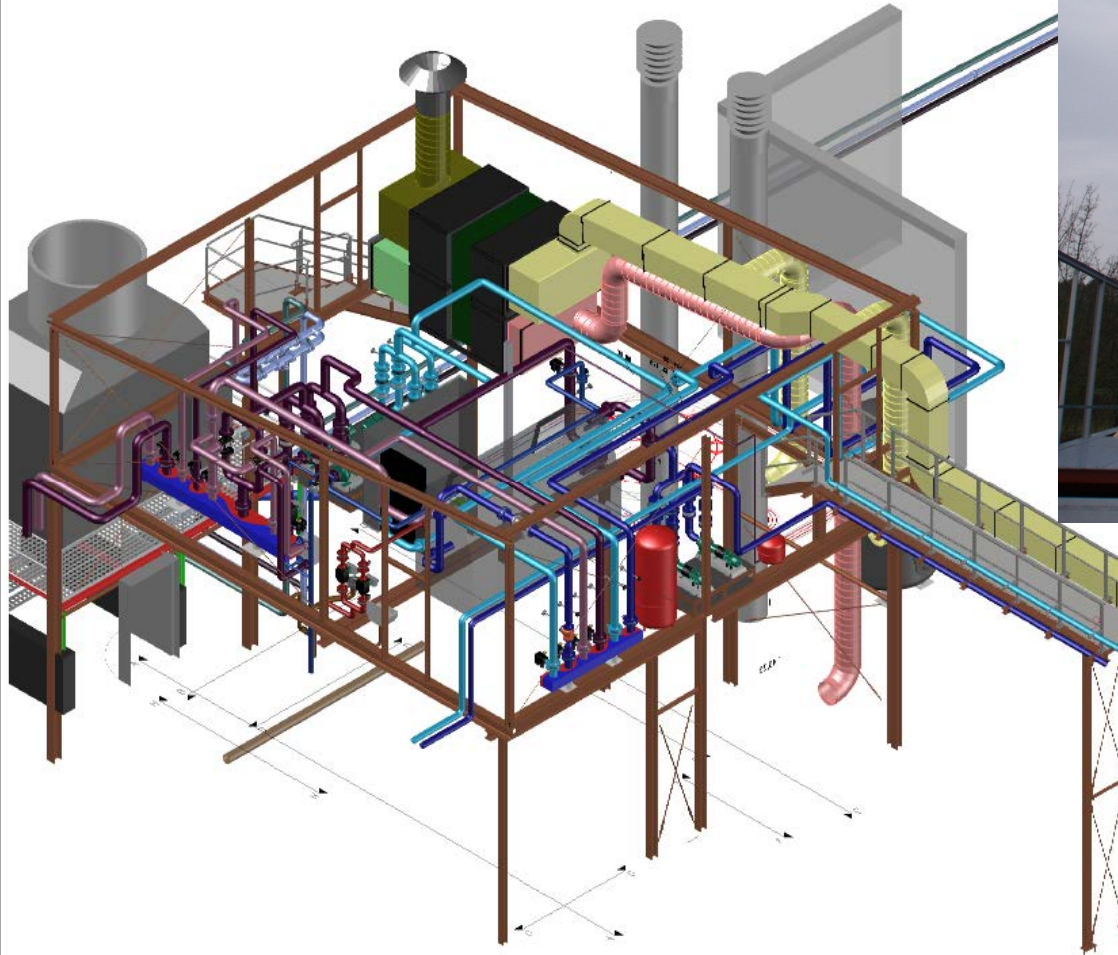
Absorptionskälteerzeugung



Absorptionskältemaschine

Aufstockung BHKW Zentrale für Absorptionskälte

## Technik-Kältezentrale in 3-D



## Absorptionskälteaggregat





## Kaltwassersatz (Klimakälte 6/12 – 10/16 gleitend)

BJ 1972 → 2005 effizient ertüchtigt



**Kolbenverdichter 2 halbhermetische R22**  
**Kälteleistung 2 x 130 kW**

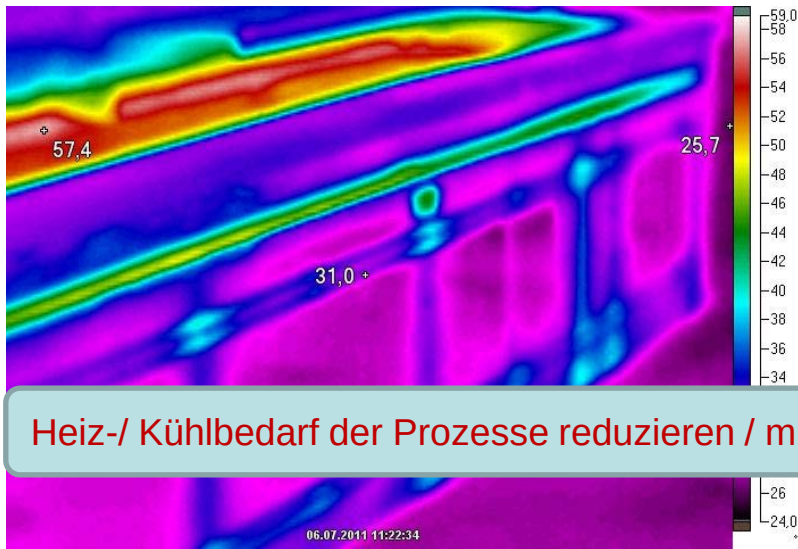
## Kühlung mit Kaltwasser

BJ 2003 → hohe Effizienz ESEER > 5



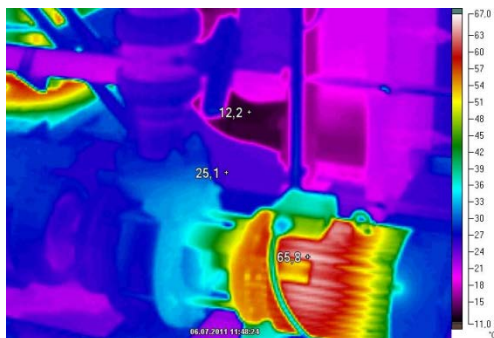
**Schraubenverdichter R410a**  
**Kälteleistung 2 x 170 kW**

# So ist die Prozesstechnik teuer - aber auch punktuell schon verbessert



Heiz-/ Kühlbedarf der Prozesse reduzieren / minimieren

Prozessbecken ungenügend isoliert -> negativ

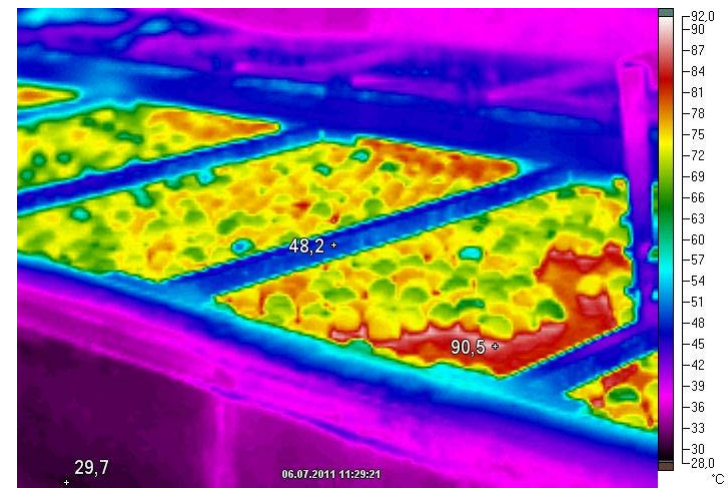


Kühlwasserpumpe extrem ungenügender Effizienz

- Motortemperatur ~ 70 C
- unregelt
- hoher Effizienzverlust ist durch mehr Kühlung zu ersetzen

Prozessen mit Heiz- und Kühlanforderungen ist besondere Beachtung zu schenken!!

Wärmeverluste an der Oberfläche werden gemindert durch schwimmende Bälle -> positiv



# Scrollverdichter

*„vernichtende“ Effizienz auf der sowohl auf der Kälte- und Kaltwasserseite*



**Scrollverdichter R401a Kaltwassererzeugung**  
**Kälteleistung 3 x 40 kW**

## als Verbundanlage

hier als

- Zusammenstellung bauseitig installierter Einzelverdichter

Scrollverdichter generell:

- gute Leistungsanpassung durch Zuschalten der Einzelverdichter
- als Verbundanlagen, auch in kompakten, vorgefertigten Einheiten



# Prozesskühlung überalterte Systeme

Effizienzpotenzial hoch<sup>3</sup> → aber: **ungenutzt!**

Zylinderabschaltung zur  
Leistungsregulierung, i.d. R.  
2 Stufen pro Verdichter



sichtbar: (hoch) ineffiziente  
Kühlwasserpumpe

# Kälteerzeugung

## Altanlage vor Sanierung



2 x 500 kW Kälteleistung R22

Kaltwassersätze ,alt' in beengten Verhältnissen





# Schraubenverdichter

hier mit Ammoniak als Kältemittel



generell

- hohe Effizienz
- gute Leistungsregulierung
- heutiger Standard bei größeren Einheiten
- Leistungsregelung über Drehzahlregelung
- Reduzierung der Verluste durch Magnetlagerung bei größeren Einheiten

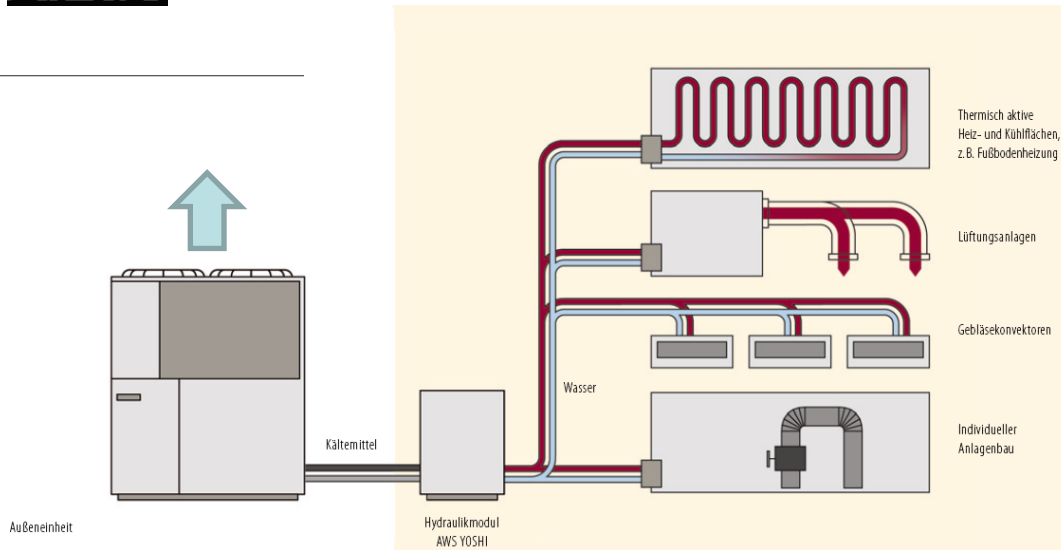
# Gasmotorbetriebene Wärmepumpe

Kälte- /Kühlfunktion auskoppelbar

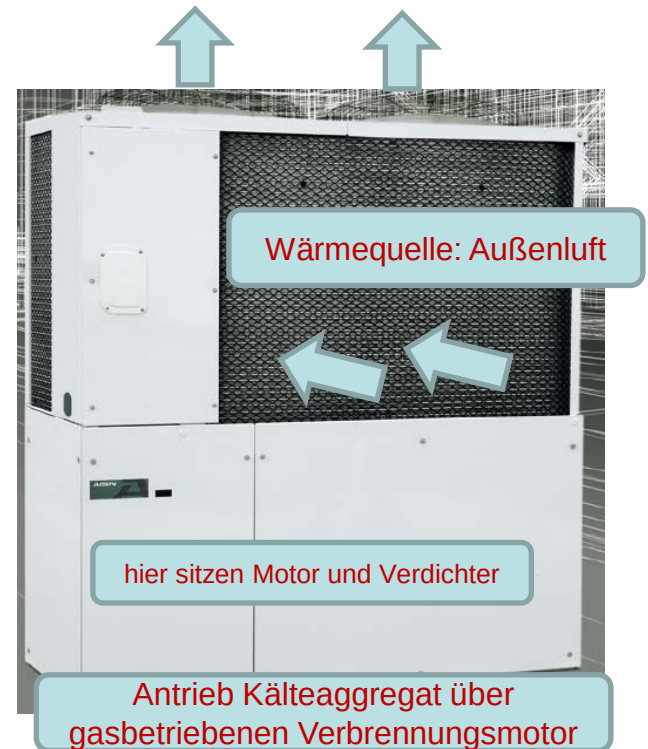
Heizen und Kühlen mit Gaswärmepumpen

Nutzung der Motorabwärme für Beheizung

**AISIN**

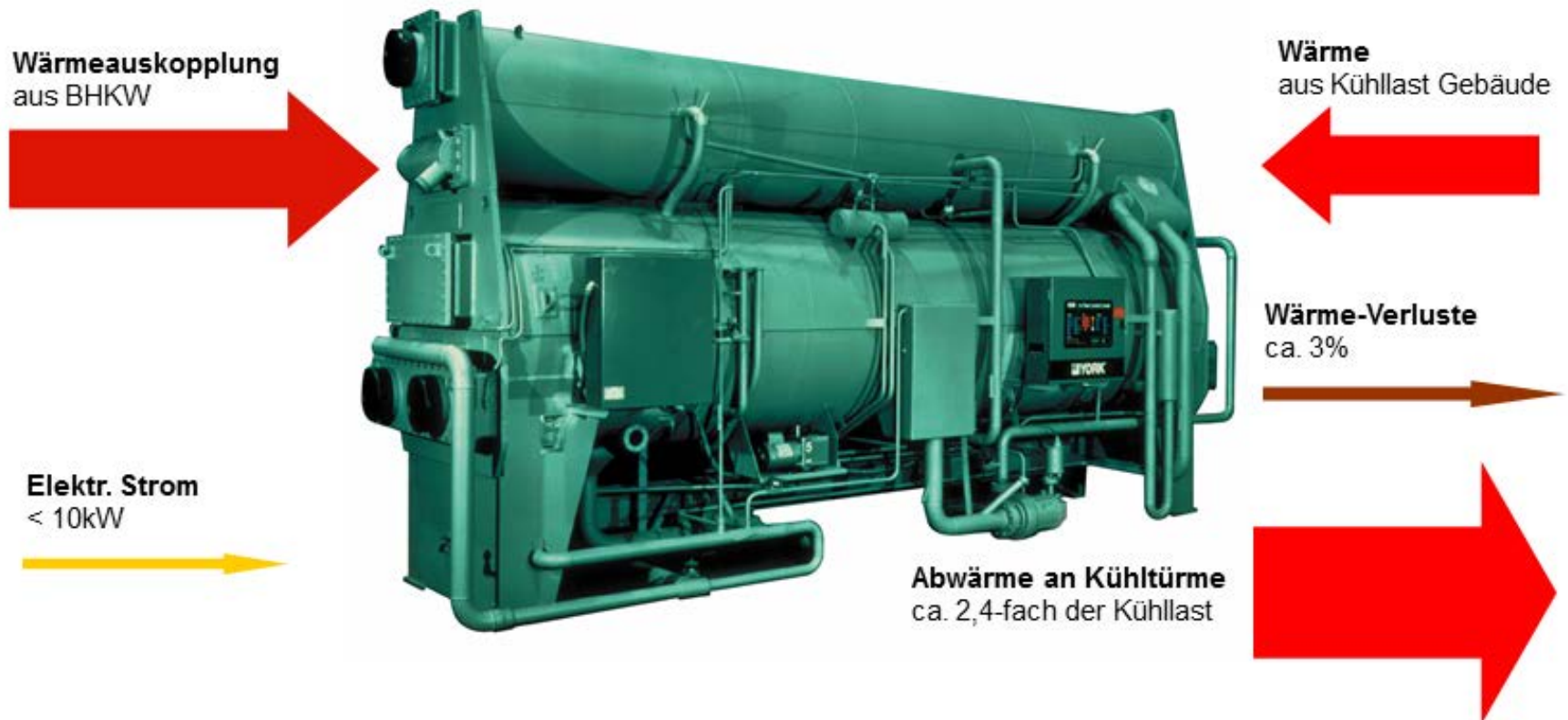


Außenaufstellung



# Absorptionskältemaschine

## Der Absorber – Warmwasserbeheizt



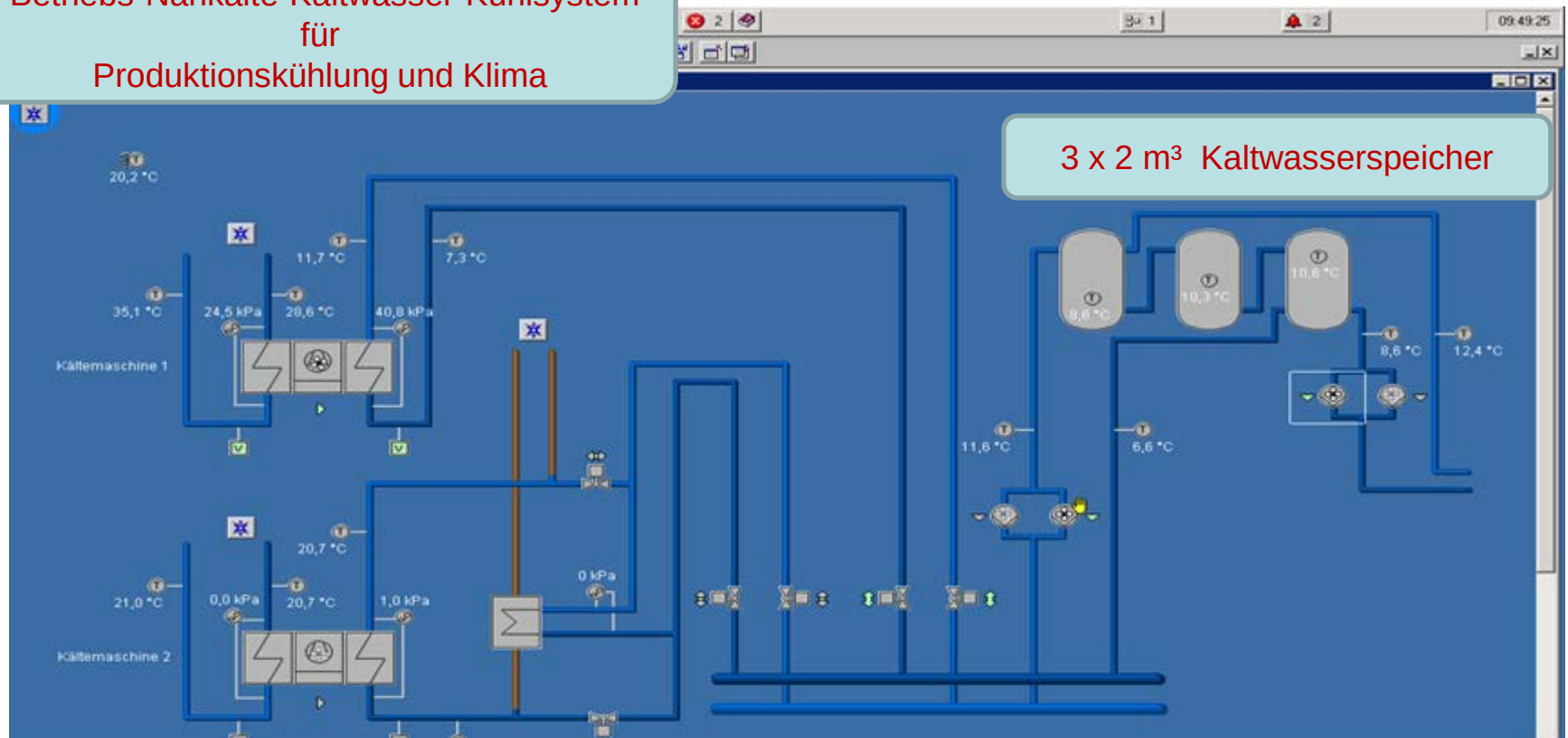
Betrieb mit Dampf, Heiß- oder Warmwasser

# effiziente Kälteerzeugung (Schema Gebäudeleitssystem)

mit

## Wärmepumpennutzung

Betriebs-Nahkälte-Kaltwasser-Kühlsystem  
für  
Produktionskühlung und Klima



wassergekühlte Schrauben-Kaltwassersätze  
Rückkühlung mit Brunnenwasser

Controlling über  
Energienagementsystem

# Rückkühlung / Abfuhr von Kondensationsabwärme und Prozesswärme

mit einer bescheidenen Fragestellung:

ist die Abwärme (vielleicht) zu nutzen?



# Rückkühlung Variationsbreite

in Dimensionen unterschiedlich



# Kühlturm / Rückkühlung

## Abfuhr der Kondensationsabwärme



offener Nasskühlturm

→ hoher Wasserverbrauch

→ ineffizienter Ventilatoren

trotz FU-Betrieb

Trockenkühler (direkt)





# Geschlossener Nasskühlturm

Rückkühlung 600 kW

→ für freie Kühlung eingebunden



# Effizienzverbesserung ~ 90 %

## Kaltwasser-Pumpen

### Kaltwasser - Kühlung - Klima

#### ▪ Pumpenleistung im Mittel

- Altbestand 6.000 Watt
- Neuanlage 500 Watt

#### ▪ elektrische Antriebsenergie pro Jahr

- Altbestand 52.000 kWh/a
- Neuanlage 4.500 kWh/a

Seit 2005 in Betrieb:

→ Antriebe IE 3 (Eff 1)

→ drehzahl geregelt



# Effizienzverbesserung Kaltwassersystem

## Umwälzpumpen und Speicher



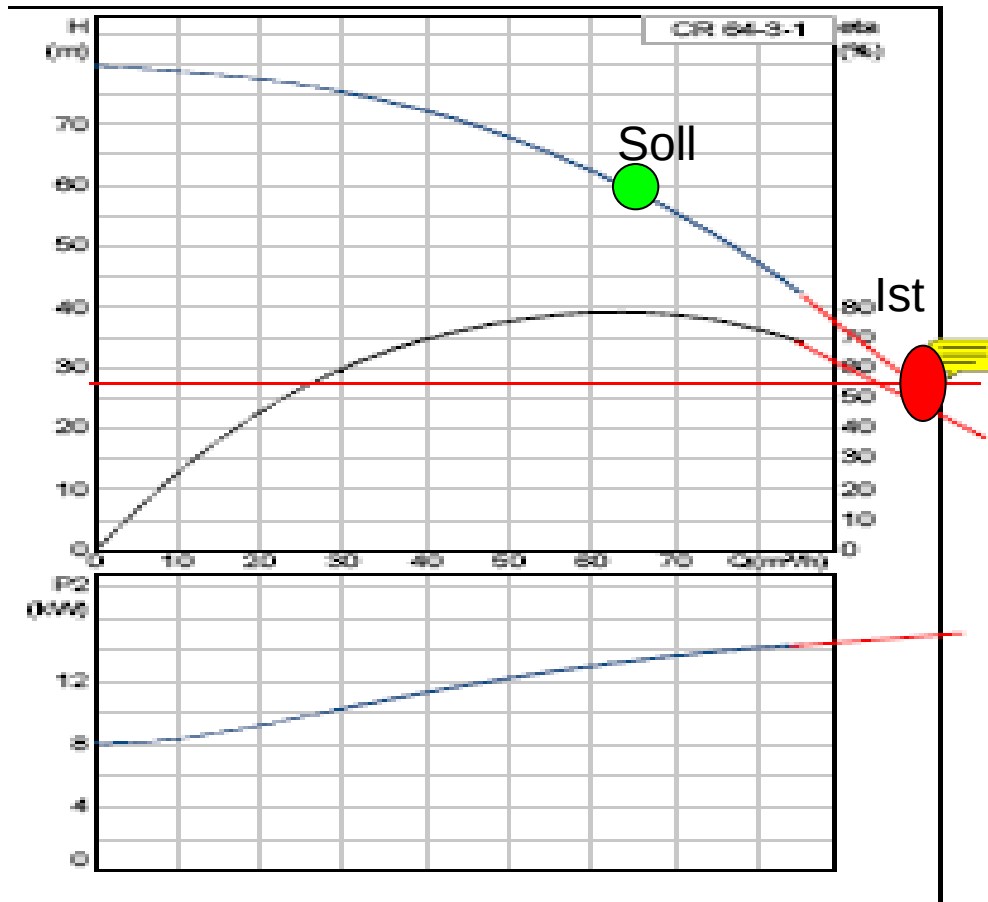
- Sekundär – Netzpumpen
  - Normpumpen  
drehzahlregelt
  - Leistungsaufnahme 80 Watt
  - Schlechtpunktregelung  
bedarfsgeführt
  - Strahlpumpen  
nachgeschaltet für  
Leistungsregelung an den  
Verbrauchern
- Kaltwasser-Pufferspeicher  
(im Hintergrund) 5000 l
- Kaltwassertemperatur
  - hohe Konstanz bewirkt  
Temperaturkonstanz im  
gekühlten Messraum

**Verbrauchminderung Kühlung > 50 %**



# Das Gegenbeispiel

## extrem ineffizienter Pumpenbetrieb



### 4 Kaltwasser – Kühlpumpen:

|              |            |
|--------------|------------|
| Betriebszeit | 8.000 h/a  |
| Soll         | 64 m³/h    |
| Ist          | > 100 m³/h |
| Leistung     | á 15 kW    |

Mehrkosten pro Jahr gegenüber Bestauslegung:

**Differenzkosten ~ 30.000 €/a**

# Rückkühlung

## Rückkühlsystem hydraulisch technisch / nicht abgestimmt



trotz Frequenzumformer  
(da nicht energiesparend eingerichtet)



Kosten Rückkühlung  
(Pumpen) gleiche Größe wie  
Kälteerzeugung

# Kapitalrückfluss

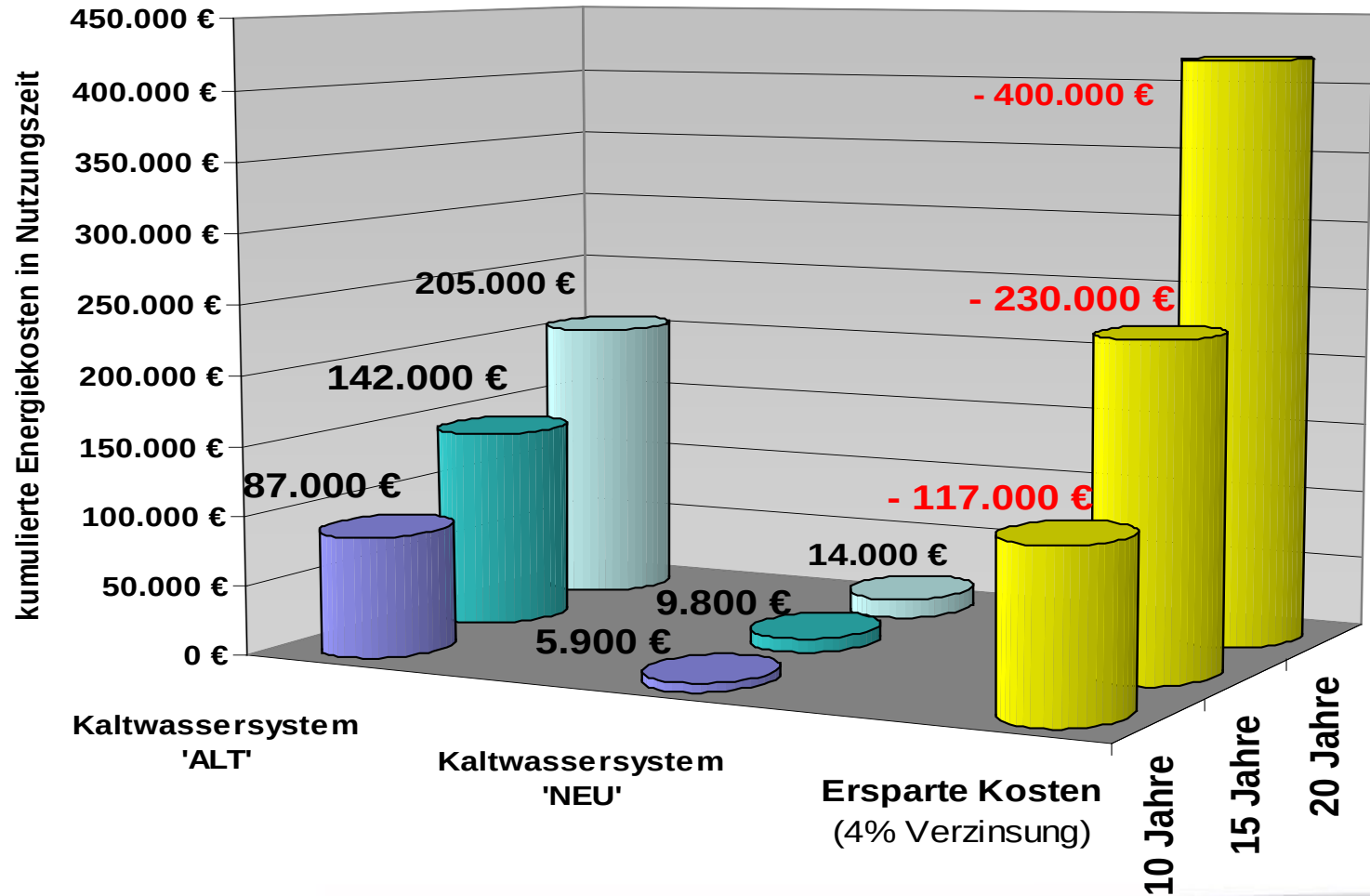
mit interner Verzinsung

| geforderte<br>Amortisationszeiten                                                                           | Interne Verzinsung in % pro Jahr <sup>1)</sup>    |      |     |       |       |       |       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|------|-----|-------|-------|-------|-------|-----|
|                                                                                                             | Anlagennutzungsdauer (Jahre)                      |      |     |       |       |       |       |     |
| Jahre                                                                                                       | 3                                                 | 4    | 5   | 6     | 7     | 8     | 12    | 15  |
| 2                                                                                                           | 24%                                               | 35%  | 41% | 45%   | 47%   | 49%   | 49,5% | 50% |
| 3                                                                                                           | 0%                                                | 13%  | 20% | 25%   | 27%   | 31%   | 32%   | 33% |
| 4                                                                                                           | unrentabel                                        | 0%   | 8%  | 13%   | 17%   | 22%   | 23%   | 24% |
| 5                                                                                                           |                                                   | 0%   | 6%  | 10%   | 16%   | 17%   | 18,5% |     |
| 6                                                                                                           |                                                   | 0%   | 4%  | 10,5% | 12,5% | 14,5% |       |     |
| 8                                                                                                           |                                                   | 4,5% | 7%  | 9%    |       |       |       |     |
|                                                                                                             |                                                   |      |     |       |       |       |       |     |
| <sup>1)</sup> unterstellt wird eine kontinuierliche Energieeinsparung über die gesamte Anlagennutzungsdauer |                                                   |      |     |       |       |       |       |     |
|                                                                                                             | abgeschnittene rentable Investitionsmöglichkeiten |      |     |       |       |       |       |     |

Quelle: Fraunhofer Institut ISI, Karlsruhe, Radgen

# Ersparte Antriebskosten

mit Erneuerung und Optimierung

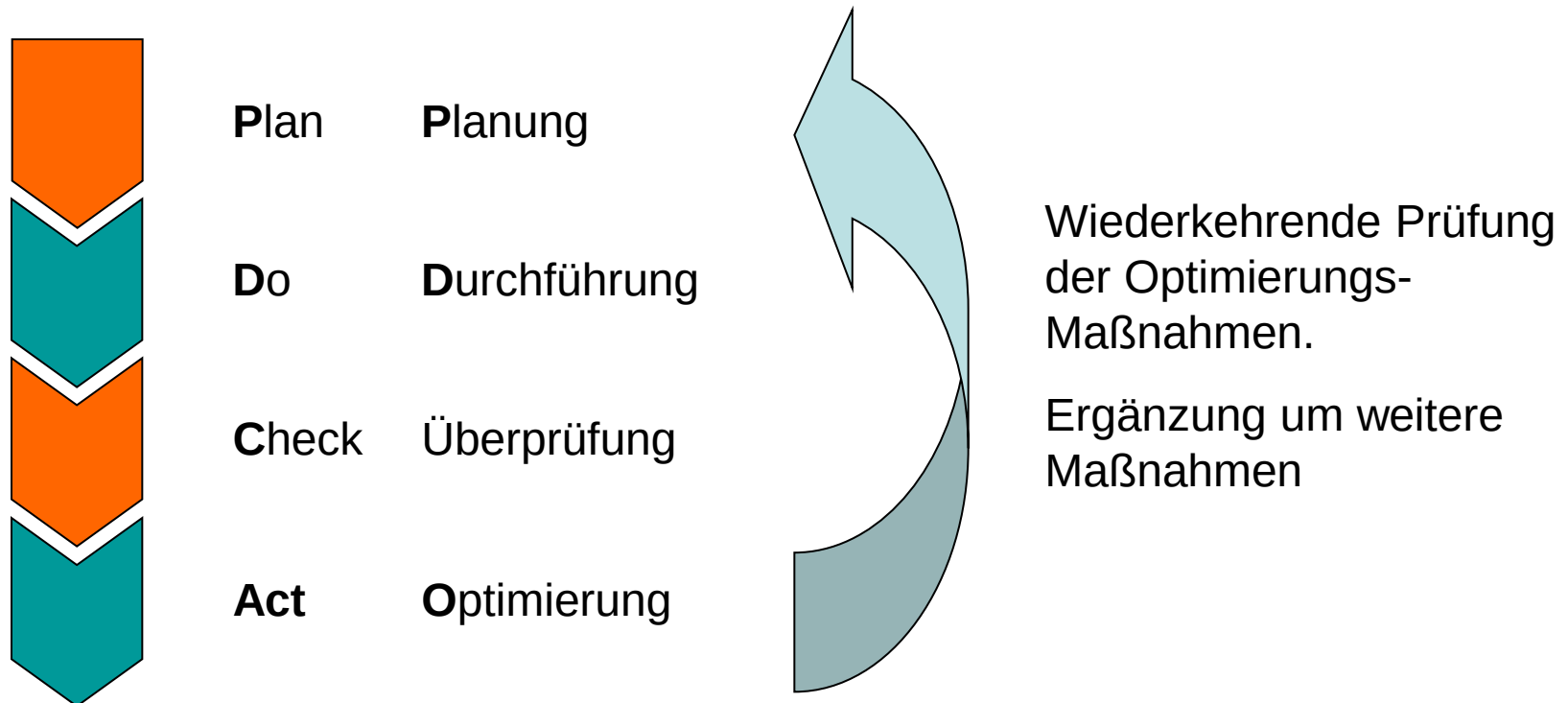




# Energiemanagement

## Kühlung / Kältetechnik

- Struktur angelehnt an ISO 14001 (PDCA)



- **Plan**

- Planung der Zielsetzung und der Prozesse in Übereinstimmung mit den Organisationsstrukturen zur Erreichung der EnergieEffizienz Ziele

- **Do**

- Organisation und Umsetzung der Prozesse

- **Check**

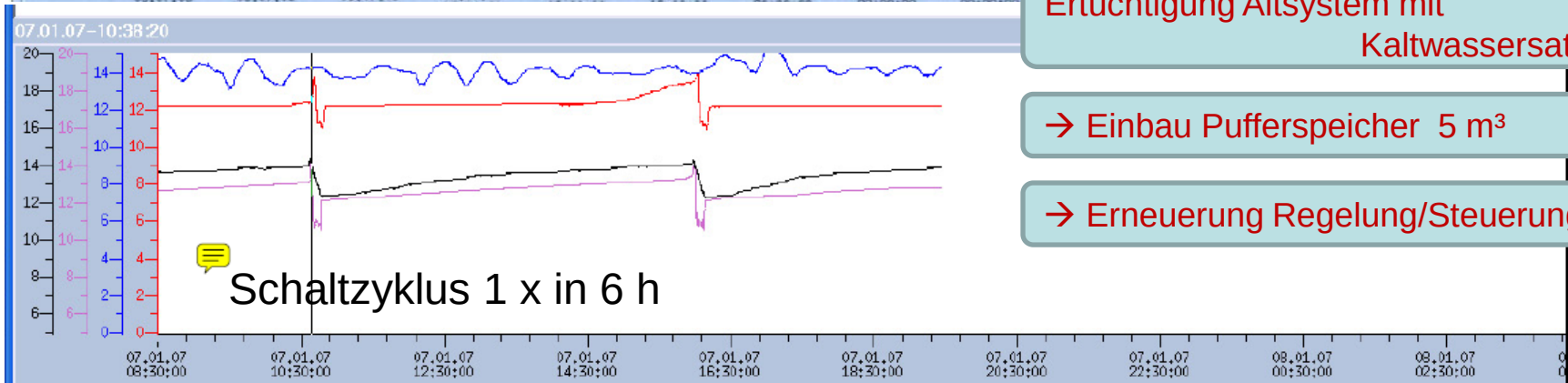
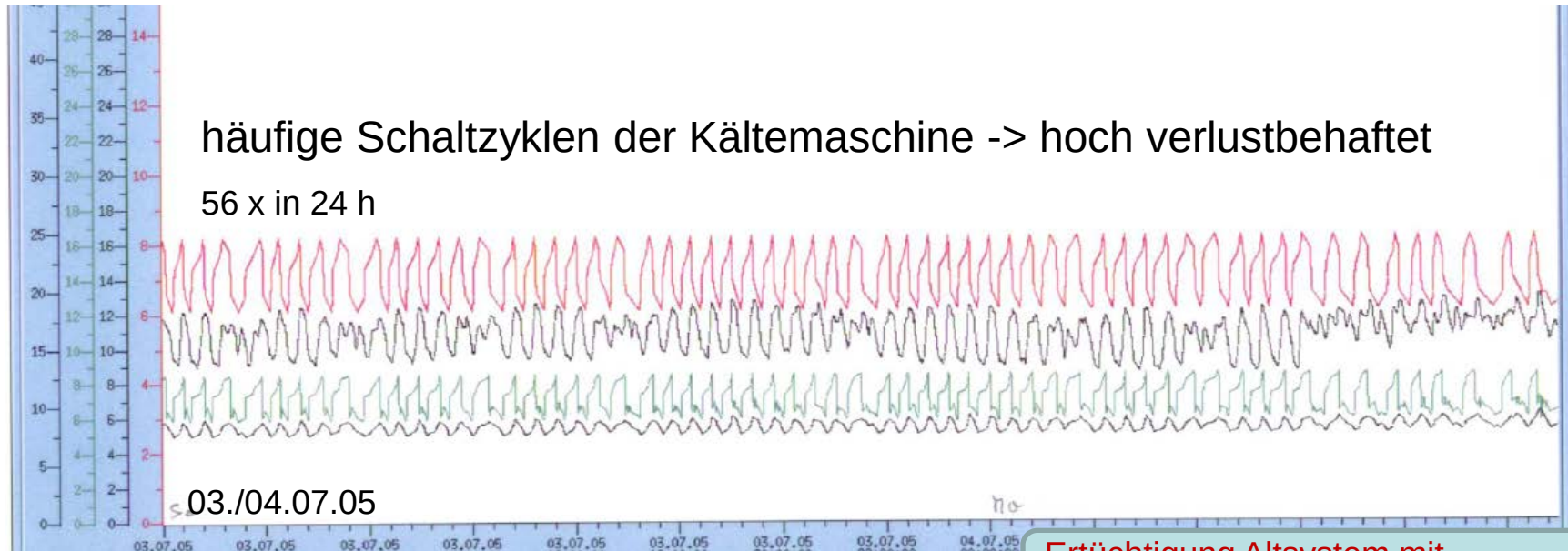
- Überwachung der Prozesse, Überprüfung der Ergebnisse an gestreckten Zielen

- **Act**

- Ergreifung von Maßnahmen zur ständigen Verbesserung des EnMS

# Optimierung Kaltwassererzeugung

## Laufzeit Kältemaschine



Ertüchtigung Altsystem mit  
Kaltwassersatz

→ Einbau Pufferspeicher 5 m<sup>3</sup>

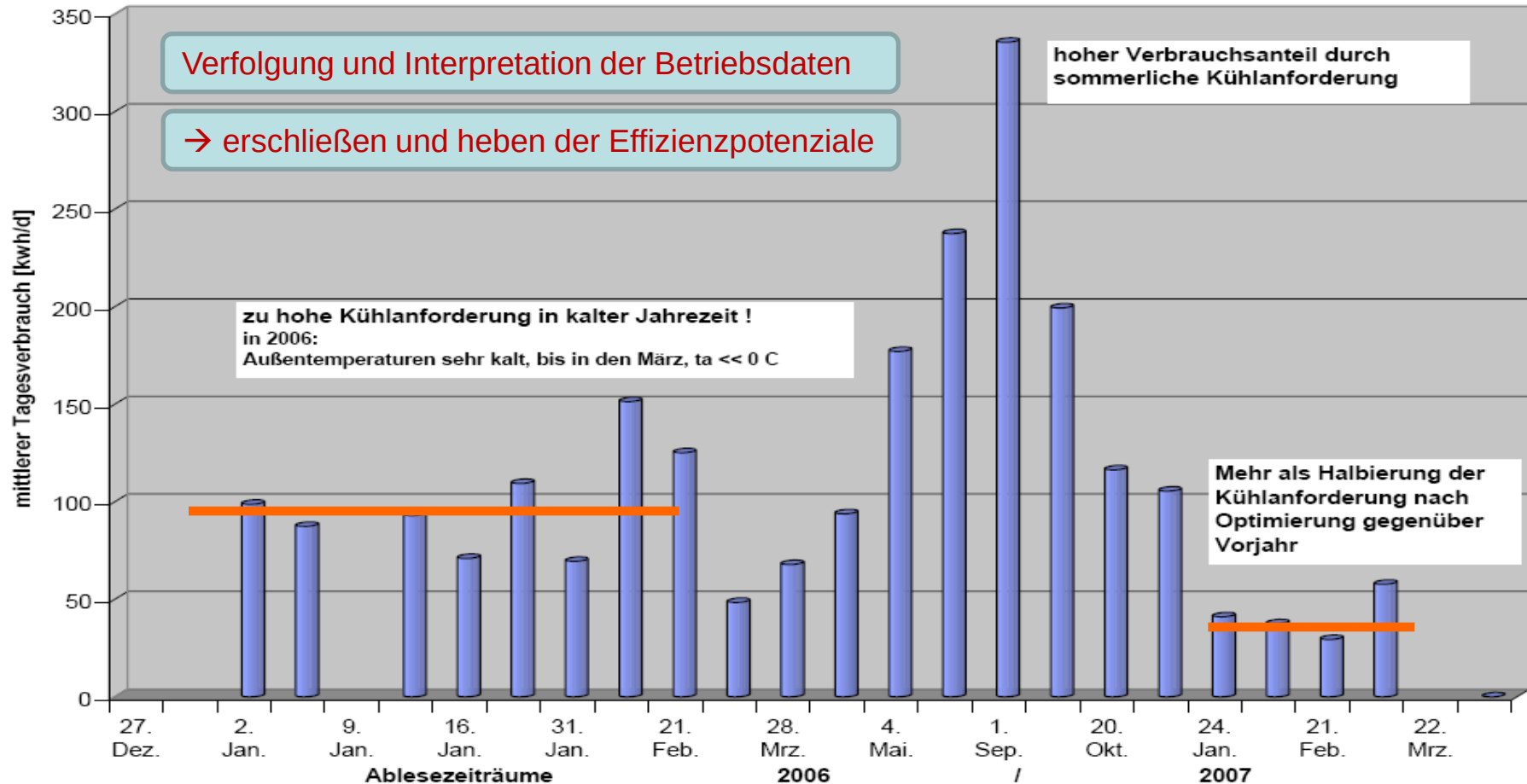
→ Erneuerung Regelung/Steuerung



# Kühlung Kälteanlage

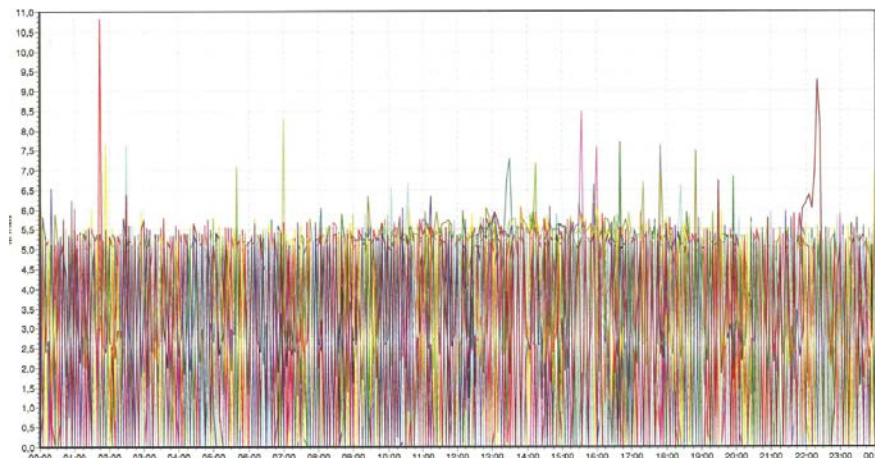
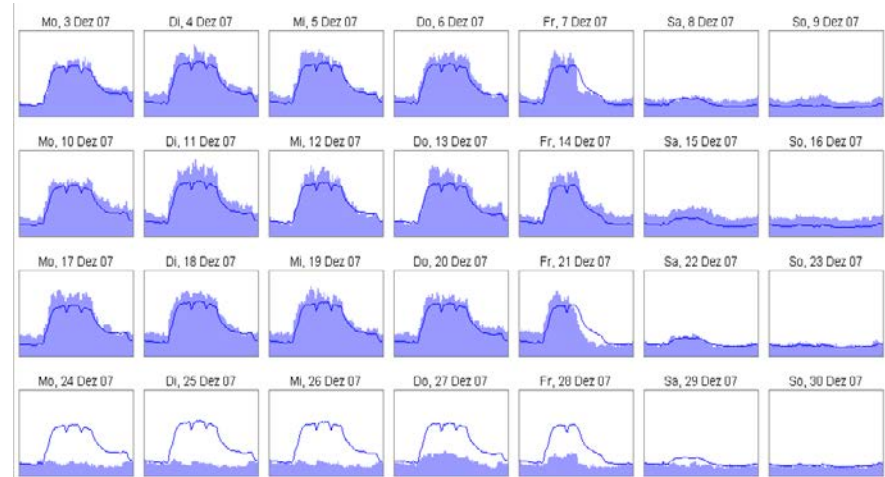
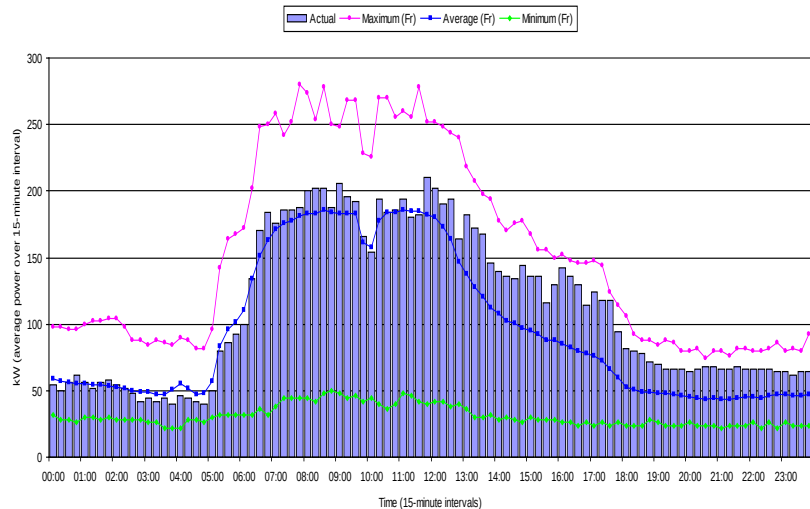
## Verbesserung der Effizienz

Elektroenergieverbrauch 'Kühlung Messräume', Schaltschrank Kälteanlage



# Energiemanagement – Interpretation der Daten ableiten der Handlungsmaßnahmen

Single day profile: Fr, 30 Mrz 2007; comparison data from Freitag between 1 Jan 2007 and 31 Dez 2007



# Wege zur Energieeffizienz

vorwärtsgerichtet denken – jetzt handeln

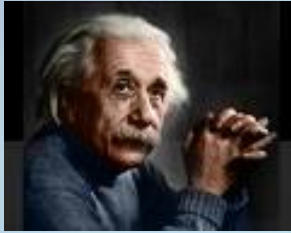
## 5 Punkte zum Erfolg

|   |                                                      |                                                  |
|---|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 1 | Mit Erfolg Begeisterung wecken                       | motivieren persönliches Engagement               |
| 2 | Die Herausforderung als Chance aufgreifen und nutzen | wirtschaftlicher Nutzen für den Betrieb          |
| 3 | Kenntnisse zu den Anlagensystemen erschließen        | Wissensgewinn und Wissenstransfer öffnen         |
| 4 | Mut zum Einsatz zukunftsrelevanter Technologie       | Intelligente Verfahren wagen<br>Kompetenz nutzen |
| 5 | < Ihr Credo >                                        | Offenheit und Mut zum Handeln                    |

## Welche Schlussfolgerungen

ziehen wir?

1



5

∞

Eine wirklich gute Idee erkennt man daran, dass ihre Verwirklichung von vorn herein ausgeschlossen erscheint

Inmitten von Schwierigkeiten liegen günstige Gelegenheiten

<Albert Einstein>



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

**Geese**

**Beratende Ingenieure**

**Technische Gebäudeausrüstung**

**Energiesystemtechnik**

Dipl.-Ing. Günther Geese

Alte-Uslarer-Str. 24 a

37181 Hardeggen

Tel 05505 9405 0

[www.ing-geese.de](http://www.ing-geese.de)

[kontakt@ing-geese.de](mailto:kontakt@ing-geese.de)

vorausschauend denken

—

jetzt handeln



[www.leen-system.de](http://www.leen-system.de) / [www.30pilot-netzwerke.de](http://www.30pilot-netzwerke.de)

veranstaltet von



Regional, Unternehmens- und  
Berufshilfe

im Rahmen der



IHK Informations- und  
Qualifikationsoffensive für  
Klimaschutz und Energieeffizienz