

Forschung & Entwicklung

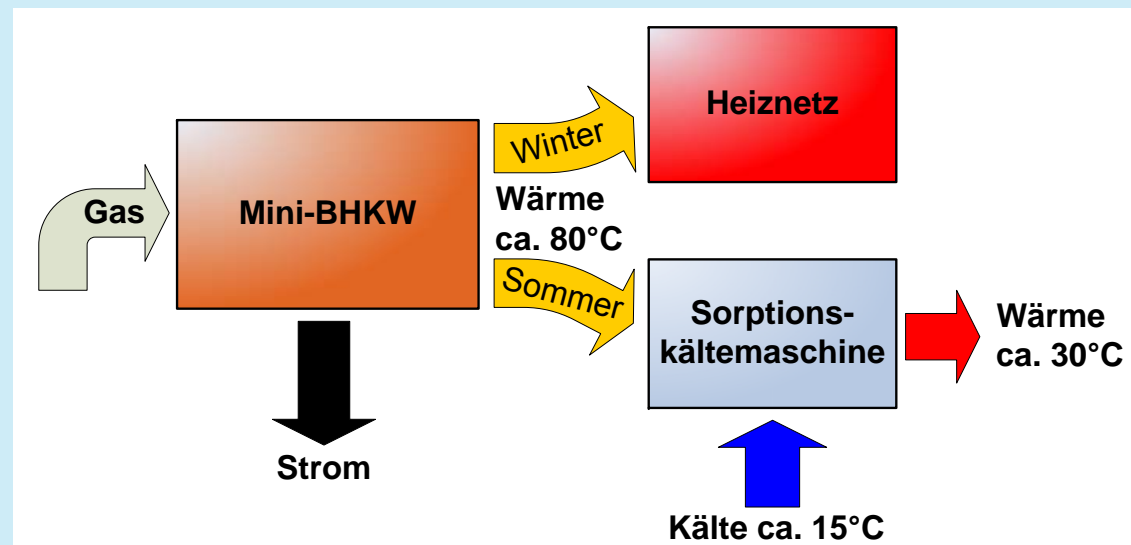
Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung im Leistungsbereich von 10 kW mit periodisch arbeitender Sorptionsmaschine

gefördert vom Bundesministerium
 für Bildung und Forschung
 im FH³-Programm

Förderzeitraum: 01.09.2005 –
 31.10.2008

BEng F. Ille (FH D)
 BEng S. Schramm (FH D)
 Prof. Dr.-Ing. M. Adam (FH D)
 Dipl.-Ing. K. Backes (SIJ)
 Dipl.-Ing. A. Anthrakidis M.A. (SIJ)
 Prof. Dr.-Ing. C. Faber (SIJ)

Mai 2008



FH-Verbund-partner



Industriepartner



Hochschul-partner



Präsentationsinhalte

- Projektziele und Geräte
- Labor-Messungen
- Rechner-Simulationen
- Betriebsoptimierung
- Ausblick
- Zusammenfassung



Teststand am Solar-Institut Jülich

Projektziele & Geräte

➤ Ziel

Kopplung eines modulierenden und eines nicht modulierenden BHKW mit einer periodisch arbeitenden Sorptionsmaschine im Leistungsbereich von 10 kW

→ *Anpassung der Temperaturen, Volumenströme, Leistungen und Regelalgorithmen*

➤ Aufgabe

Aufbau, Vermessung, Test, Modellbildung, Simulation, Auswertung und Optimierung

➤ Geräte

Adsorptionskältemaschine der Fa. SorTech AG (Stand August 2007)

*) 75-27-18 °C (Eintrittstemperaturen HT-MT-NT)



Hersteller	SorTech AG
Art	einstufig, periodisch arbeitend
Arbeitsstoffpaar	Silikagel/Wasser
Nenn-Kälteleistung	5,5 kW *)
Antriebsleistung	ca. 9,2 kW *)
COP	0,6 *)

Projektziele & Geräte

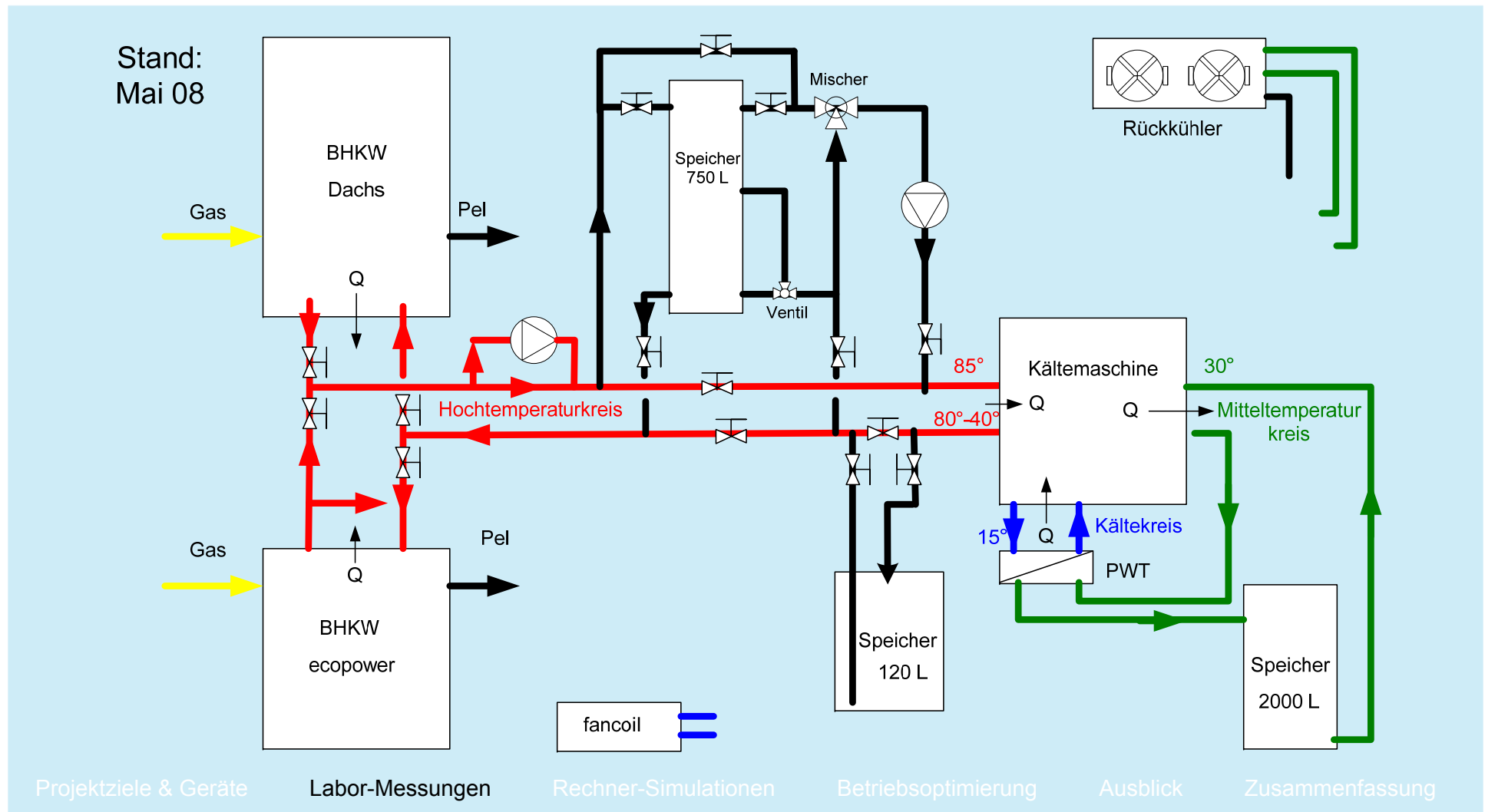
➤ Geräte

Spezifikationen der
 Blockheizkraftwerke



Hersteller	SenerTec GmbH	Power Plus Technologies GmbH
Produktname	Dachs	Ecopower
Art	Gas-Kolbenmotor-BHKW mit konstanter Leistung	Gas-Kolbenmotor-BHKW mit modulierender Leistung
thermische Leistung	12,5 kW	4,0...12,5 kW
elektrische Leistung	5,5 kW	1,3...4,7 kW
Vorlauftemperatur	80°C (bzw. 90°C)	75°C

Labor-Messungen: Skizze des Teststandes



Labor-Messungen: Versuchsprogramm

- Teil- bzw. Volllastbetrieb der Kältemaschine
bei verschiedenen Temperaturen und Volumenströmen
- Kopplung der Geräte mit bzw. ohne 750 Liter-Pufferspeicher
- Grundlage für hydraulische und regelungstechnische
Veränderungen in der Systemverschaltung
- Validierungs-Benchmark bei der Entwicklung der
Simulationsmodelle

Labor-Messungen: Betrieb der Kältemaschine

➤ Volllastbetrieb

- max. Zykluszeit von 500 s
- hohe Kälteleistung und geringer COP

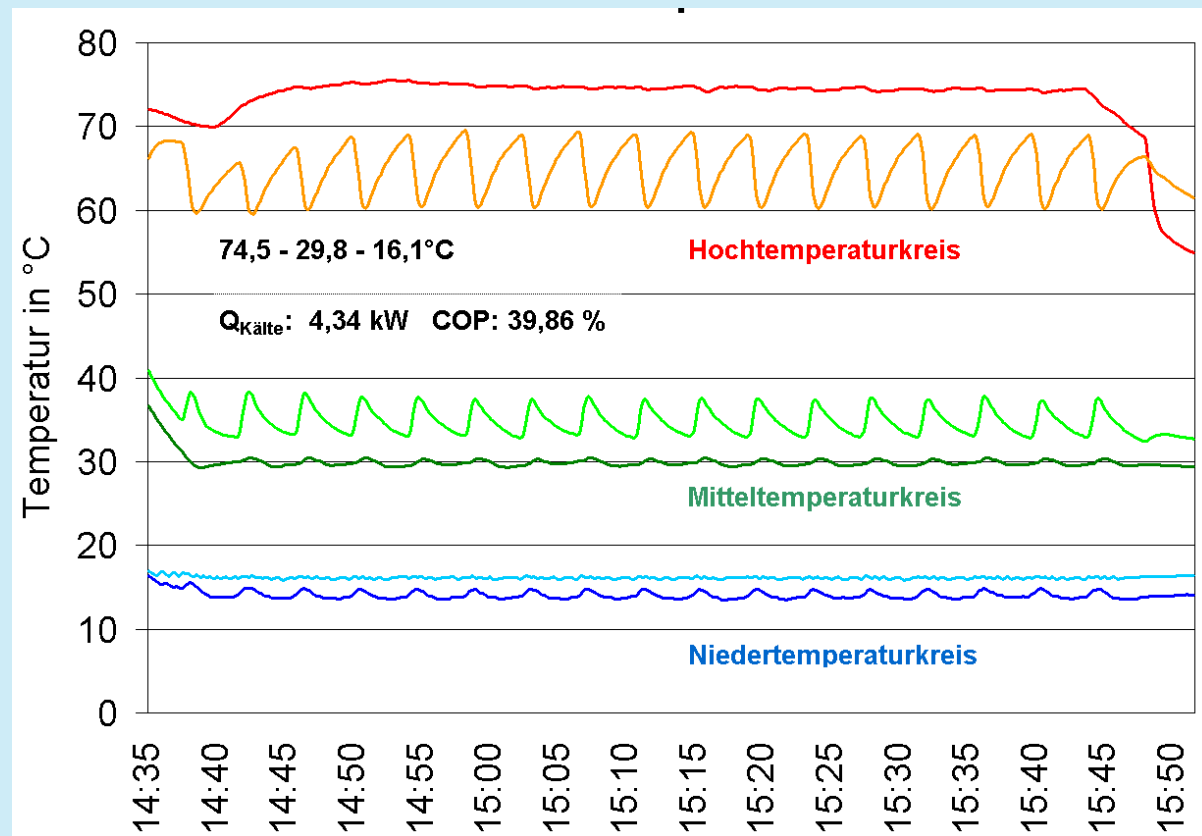
➤ Teillastbetrieb

- lange Zykluszeit
- geringere Kälteleistung und höherer COP

➤ Zykluszeit

- = Adsorption +
- Desorption +
- 2 x Wärmerückgewinnung

Vollastversuch mit 750 Liter-Speicher



Labor-Messungen: Kopplung der Geräte

➤ Kopplung mit Pufferspeicher

Mit beiden BHKWs sowohl in Voll- als auch in Teillast möglich

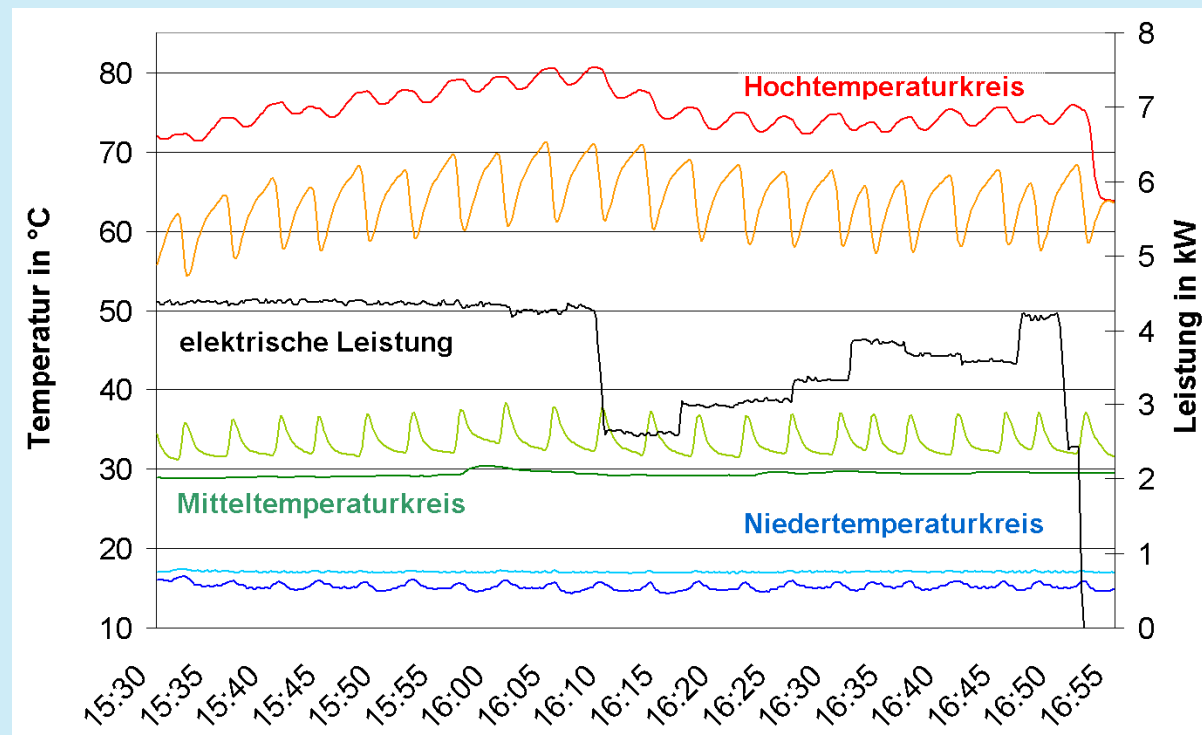
→ bei Dachs Verbesserung möglich mit veränderter hydraulischer Verschaltung

➤ Direkte Kopplung ohne Pufferspeicher

in Volllast der KM möglich, in Teillast bedingt, aufgrund höherer KM-Rücklauftemperaturen

→ bei Ecopower Verbesserung möglich mit angepasster Drehzahl-Regelung (= f (Teillast der KM))

Direkte Kopplung: Ecopower + KM



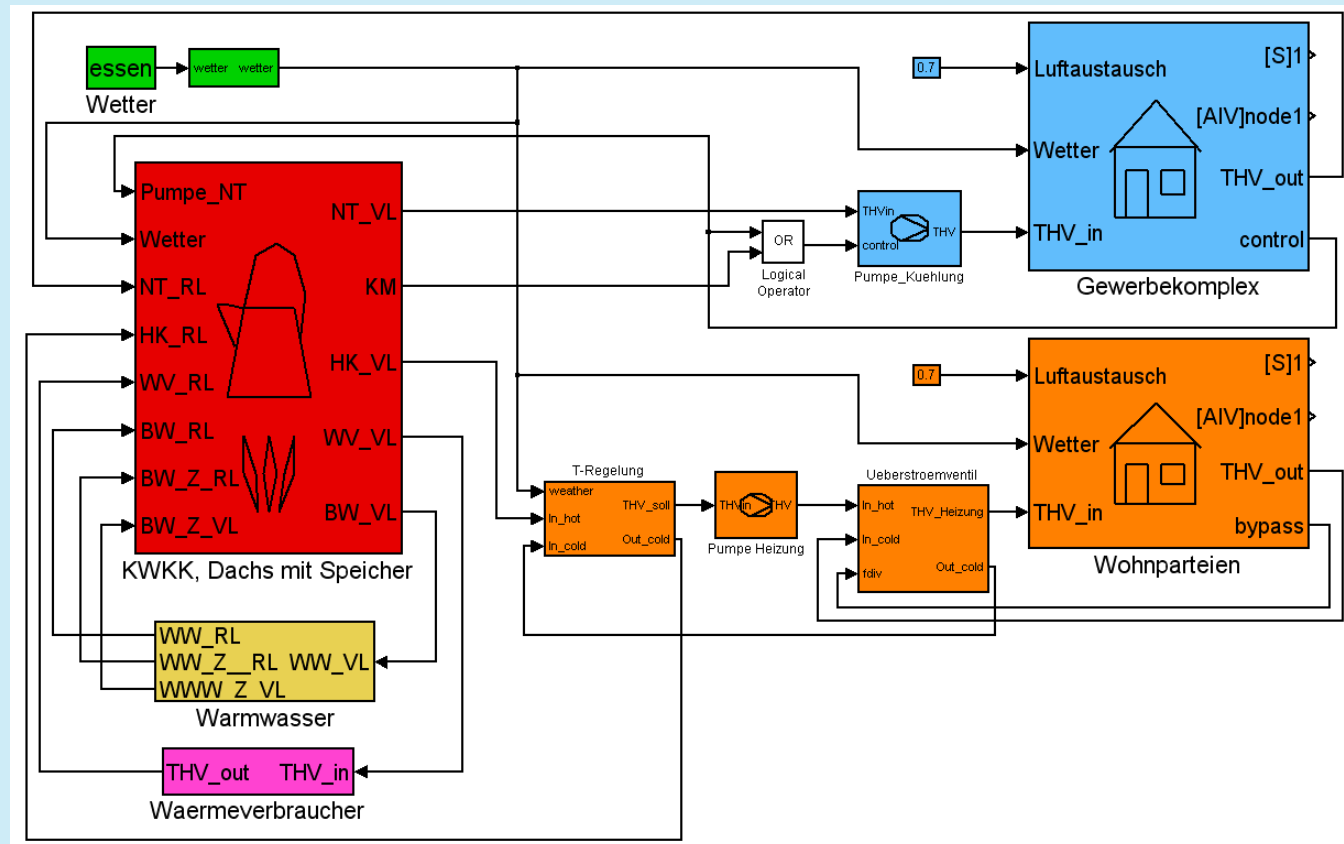
Rechner-Simulationen

Werkzeug zur Modellierung und dynamischen Simulation der Anlagenkonzepte:

*Interaktive
Softwareumgebung
MATLAB/Simulink
in Verbindung mit
Toolboxen CARNOT
und STATEFLOW*

- Validierung der Simulationsmodelle
- Realisierte Anlagen-Simulationsmodelle
- Betriebsoptimierungen

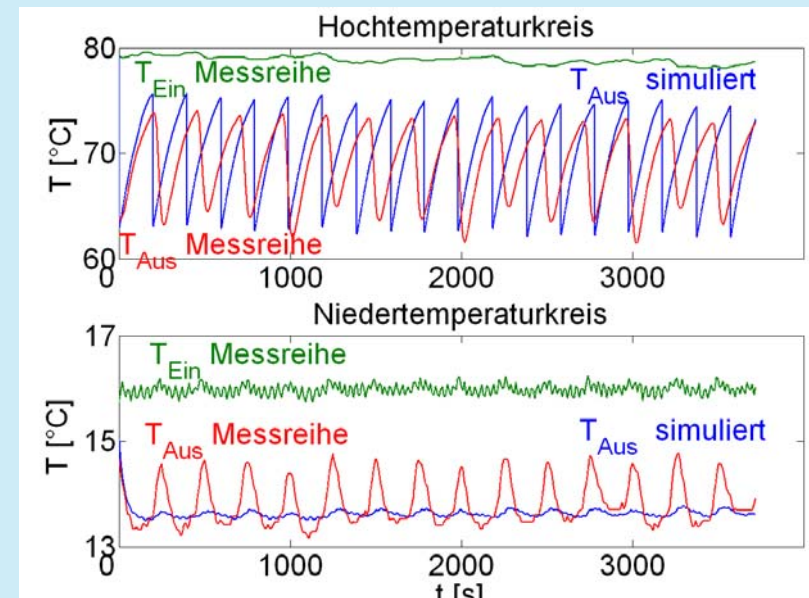
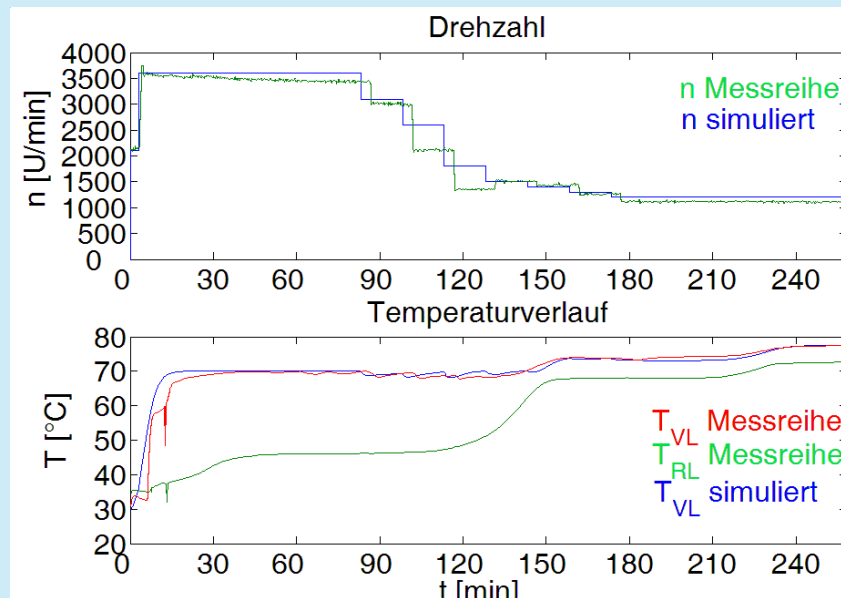
Oberste Ebene des Simulationsmodells in CARNOT



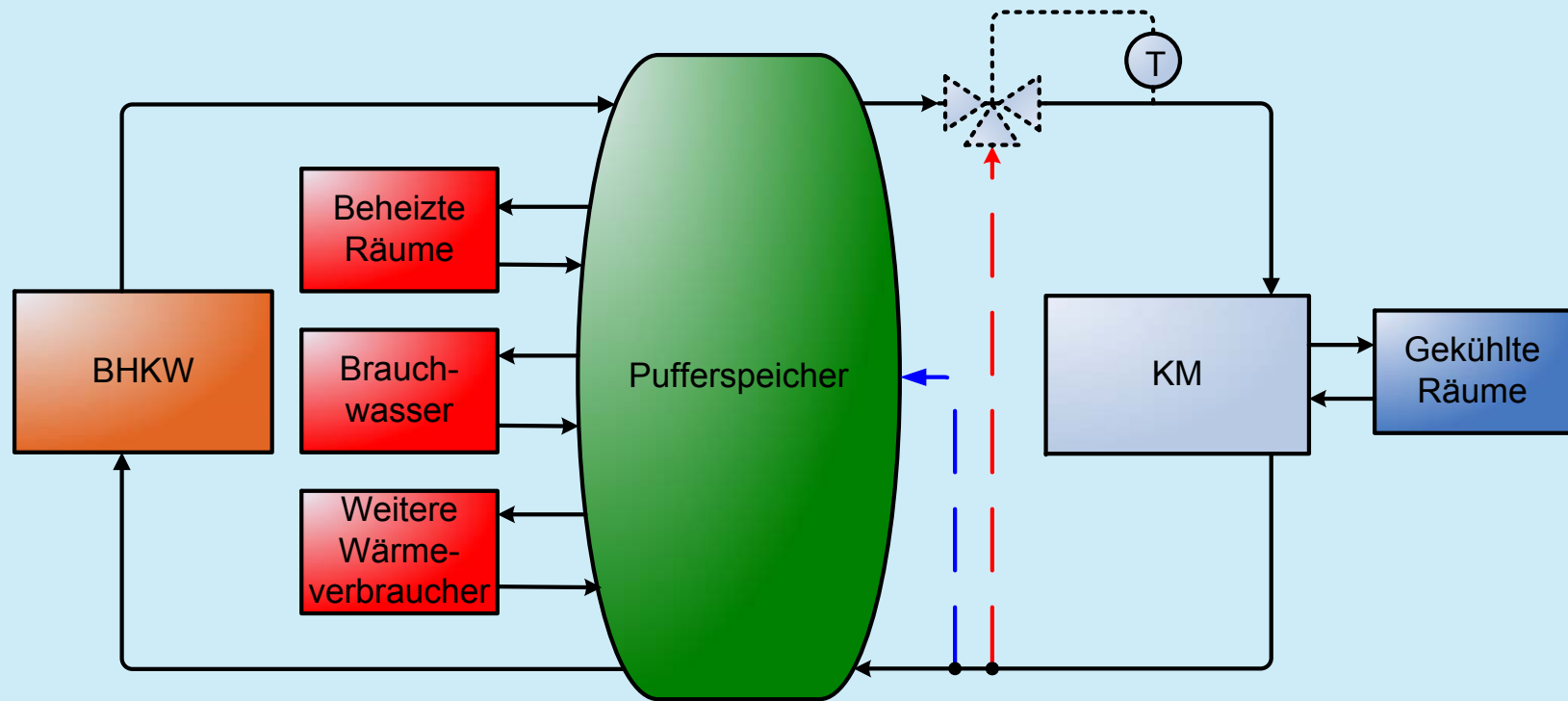
Validierung der Simulationsmodelle

- **Schwerpunkt:** neue Modelle für Kältemaschine und BHKW Ecopower
- **BHKW Dachs** → einfaches Regelverhalten
- **BHKW Ecopower** → komplexes Regelverhalten
- **Kältemaschine**
 - sehr gute Abbildung der stationären und relevanten instationären Eigenschaften
 - etwas leistungsfähiger als real

Simulations- und Messergebnisse für **Ecopower** (links) und **Kältemaschine** (rechts)



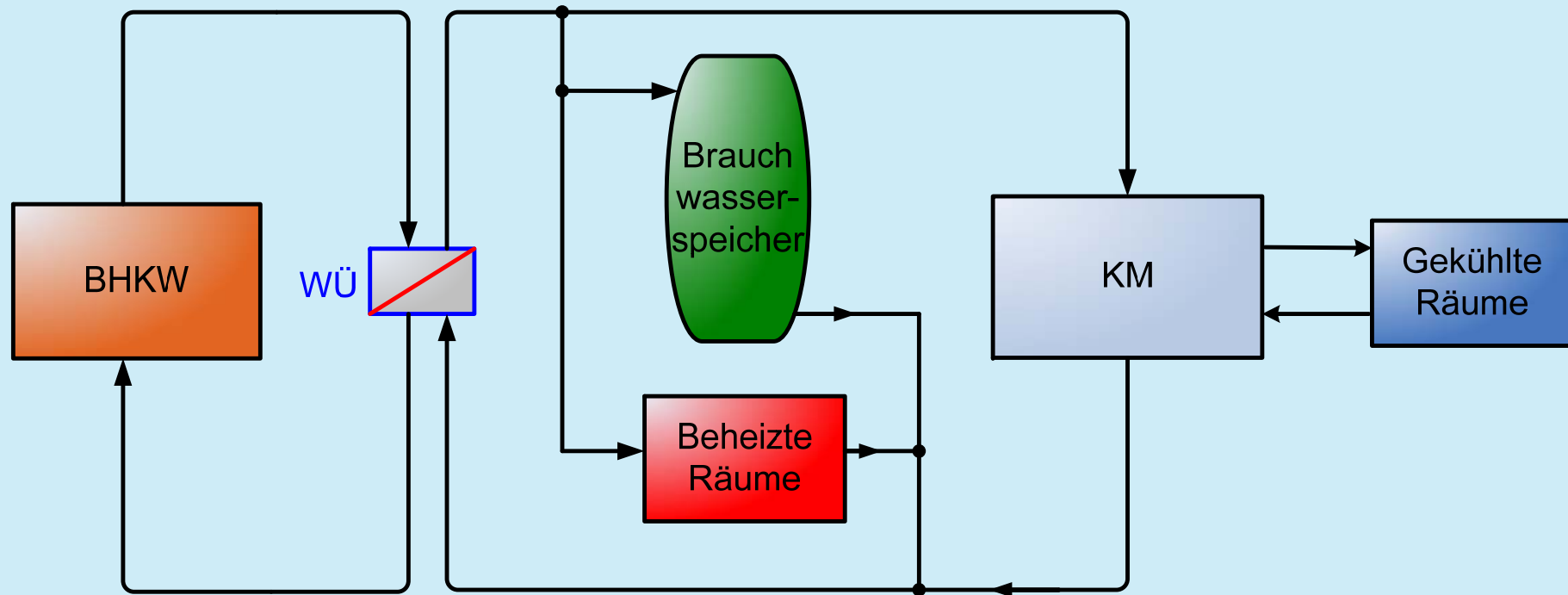
Standard-Anlagen-Modelle mit Pufferspeicher



alternativ:

- mit oder ohne Konstanttemperaturmischer im Hochtemperatur-Zulauf zur KM
- Ventilschaltung mit unterschiedlichen Einspeisestellen des KM-Austritts in den Speicher:
 konstant oder als Funktion von T_{Speicher} , $T_{\text{KM-Austritt}}$, BHKW An/Aus

Standard-Anlagen-Modelle ohne Pufferspeicher



alternativ:

- mit hydraulischer Weiche zwischen BHKW und Wärmeabnehmern
- mit Spitzenlast-Heiz/Kühlgerät für bivalenten Betrieb

Realisierte Anlagen-Simulationsmodelle

Standard-Anlagen-Modelle

- BHKW Dachs bzw. Ecopower mit Pufferspeicher
 - BHKW Dachs bzw. Ecopower ohne Pufferspeicher
- Exemplarische Analyse des Betriebsverhalten
- ausführliche Parametervariationen (Regeleinstellungen und Auslegungsgrößen)
- unterstützt durch Methodik der Statistischen Versuchsplanung (DoE, Design of Experiments)

Beispiel zur Betriebsoptimierung

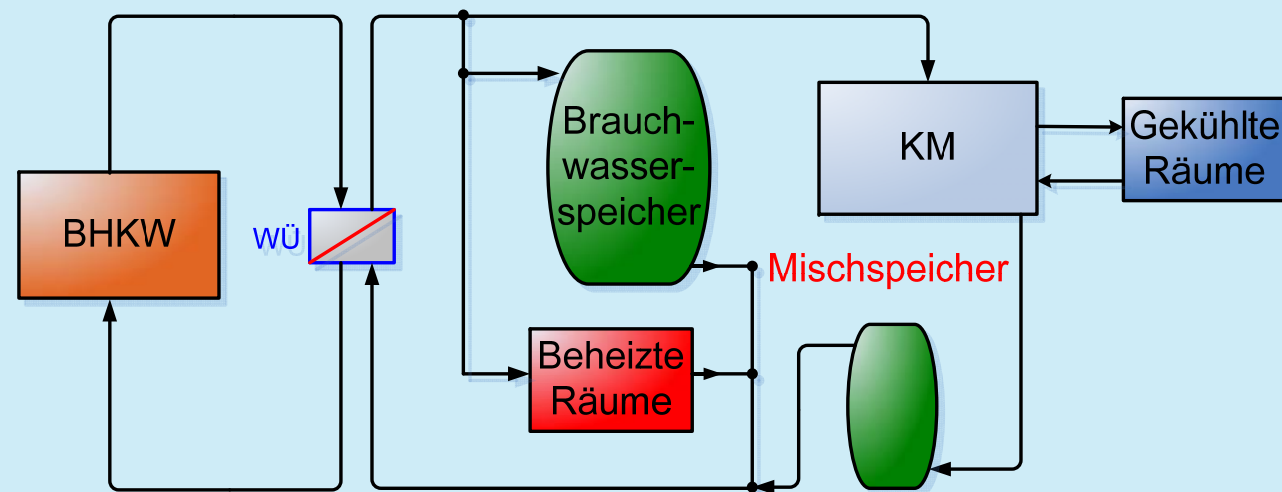
Einfluss eines Rücklaufreihenspeichers im Hochtemperaturaustritt der KM

Problem: häufiges Takten des BHKW aufgrund zu hoher Rücklauftemperaturen

Simulationsanalysen
 unterstützt durch Methode
 der Statistischen
 Versuchsplanung (DoE)

1. Festlegung der Einfluss- und Zielgrößen
2. Voruntersuchung („Screening“)
3. Detailanalyse („Zentral zusammengesetzter Versuchsplan“)

System ohne Pufferspeicher, aber mit kleinem Mischspeicher im Hochtemperaturaustritt der KM



alternativ: mit hydraulischer Weiche zwischen BHKW und Wärmeabnehmern

Beispiel zur Betriebsoptimierung

Einfluss eines Rücklaufreihenspeichers im Hochtemperaturaustritt der KM

➤ Zielgrößen

- Taktung des BHKW
- Amplitude der Temperatur am Mischspeicheraustritt
- Mittlere Temperatur am Hochtemperatureintritt der KM

➤ Voruntersuchung (7 Parameter)

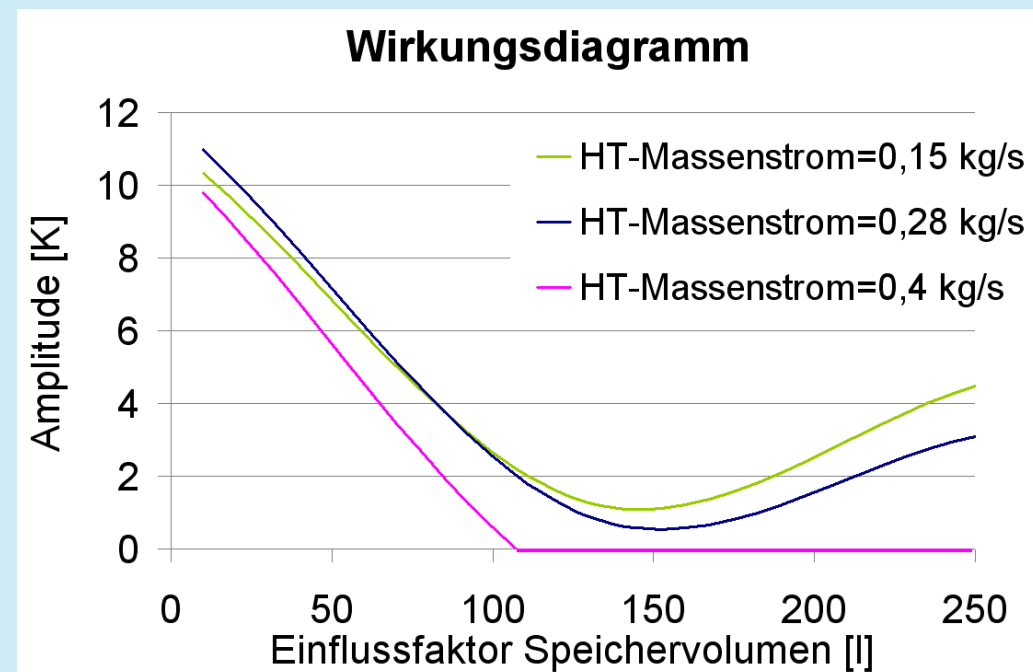
→ *signifikante Einflussgrößen*

- Volumen des Speichers
- HT-Massenstrom der KM
- Zykluszeit

→ *ähnliches Verhalten von Taktung und Amplitude*

➤ Detailanalyse zum Mischspeicher

→ bestmögliche Glättung bei Volumen von 120 bis 180 l
robust bezüglich HT-Massenstrom und Zykluszeit

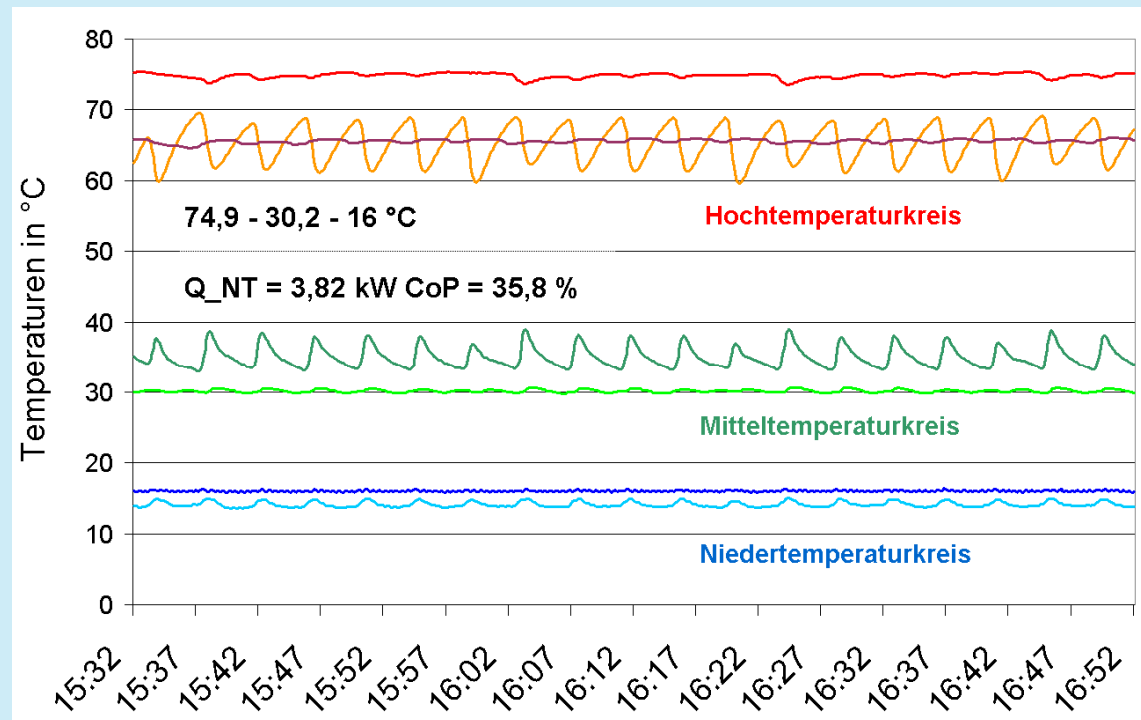


Beispiel zur Betriebsoptimierung

Einfluss eines Rücklaufreihenspeichers im Hochtemperaturaustritt der KM

➤ Einbau eines 120 Liter-Speichers im Labor

→ erste Versuche zeigen Amplitudenreduzierung von 8 auf 2 K bei Volllastbetrieb der KM



Ausblick

- Abschluss der laufenden Analysen im Labor und bei den Rechnersimulationen
- Rechnersimulationen mit monovalenter und bivalenter Auslegung des KWKK-Systems zum Heizen und Kühlen
(bivalent = Auslegung auf Grundlast)
- Praxistest zur Kühlung eines Laborraumes im Solar-Institut Jülich von Juni bis Sept. 2008
BHKW „Dachs“ mit 750 Liter-Pufferspeicher, Fancoil und Trockenrückkühler
- Vergleichende Bewertung der untersuchten KWKK-Systeme zu konkurrierenden Möglichkeiten der Wärme-, Kälte- und Strombereitstellung

Zusammenfassung

- **Kopplung** von Mini-BHKW mit periodisch arbeitender Sorptionskältemaschine sowohl mit als auch ohne Pufferspeicher funktioniert.
→ elektrische Leistung: 4 – 5,5 kW, Kälteleistung: ca. 5 kW
- **Probleme** (insbesondere bei Teillastbetrieb):
 - stark schwankende Austrittstemperatur der Kältemaschine im Hochtemperaturkreis
 - Leistungsanpassung der Geräte
- **Betriebsoptimierungen** bezüglich der hydraulischen Verschaltung und der Regelungstechnik v.a. bei Betrieb ohne Pufferspeicher von Nöten
z.B. Mischspeicher im HT-Austritt der Kältemaschine,
angepasste Drehzahl-Regelung für Ecopower (= f (Teillast der KM)),
Konstanttemperaturmischer im HT-Zulauf zur Kältemaschine,
unterschiedliche Einspeisestellen des KM-Austritts in den Speicher.

Forschungsprojekt „KWKK kleiner Leistung“

**Vielen Dank für Ihr Interesse
und Ihre Aufmerksamkeit !!!**