

# Solare Kraft-Kälte-Kopplung

## Möglichkeiten der Einbindung

---



Andreas Sauerborn

Fraunhofer-Institut für  
Solare Energiesysteme ISE

MEDIFRES Workshop  
Berlin, 20.11.2008

[www.ise.fraunhofer.de](http://www.ise.fraunhofer.de)

1

# Gliederung

- Zielstellung
- Thermische Kälteerzeugung – Auswahl der Technik
- Verschaltungsmöglichkeiten
- Annahmen
- Ergebnisse
- Zusammenfassung
- Ausblick

## Zielstellung

- Leistungsbereich  $< 10 \text{ MW}_{el}$ 
  - geringere Gesamtinvestition
  - Höhere spezifische Kosten
  
- Steigerung der Wirtschaftlichkeit durch:
  - Kombinierte Erzeugung von Strom + Kälte
  - Höherer Gesamtnutzungsgrad

# Thermische Kälteerzeugung – Auswahl der Technik



## ■ Absorptionskältemaschine

- $\text{H}_2\text{O} / \text{LiBr}$  oder  $\text{NH}_3 / \text{H}_2\text{O}$
- 1-stufig / 2-stufig
- COP: 0,6 – 0,75 bzw. 1,0 – 1,3
- Antriebstemperatur: 75 – 115 °C bzw. 130 – 180 °C
- technisch ausgereift und marktverfügbar
- Leistungsbereich: 50 kW - > 5 MW

# Thermische Kälteerzeugung – Auswahl der Technik

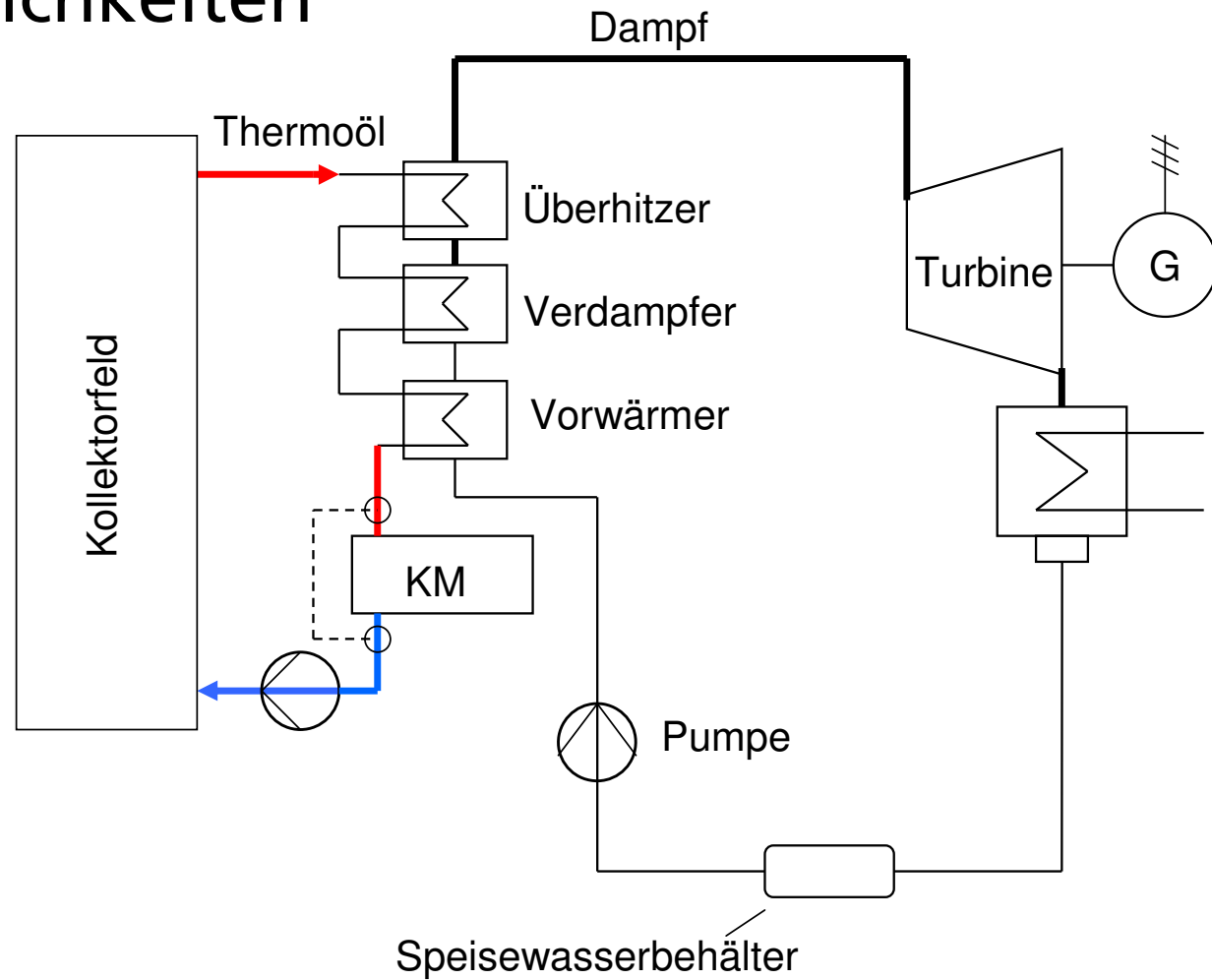


## ■ Adsorptionskältemaschine

- festes Sorptionsmittel (z.B. Silikagel)
- Antriebstemperatur: 60 – 90 °C
- COP 0,3 – 0,7
- geringe Zahl an Herstellern
- Leistungsbereich: 70 – 1050 kW

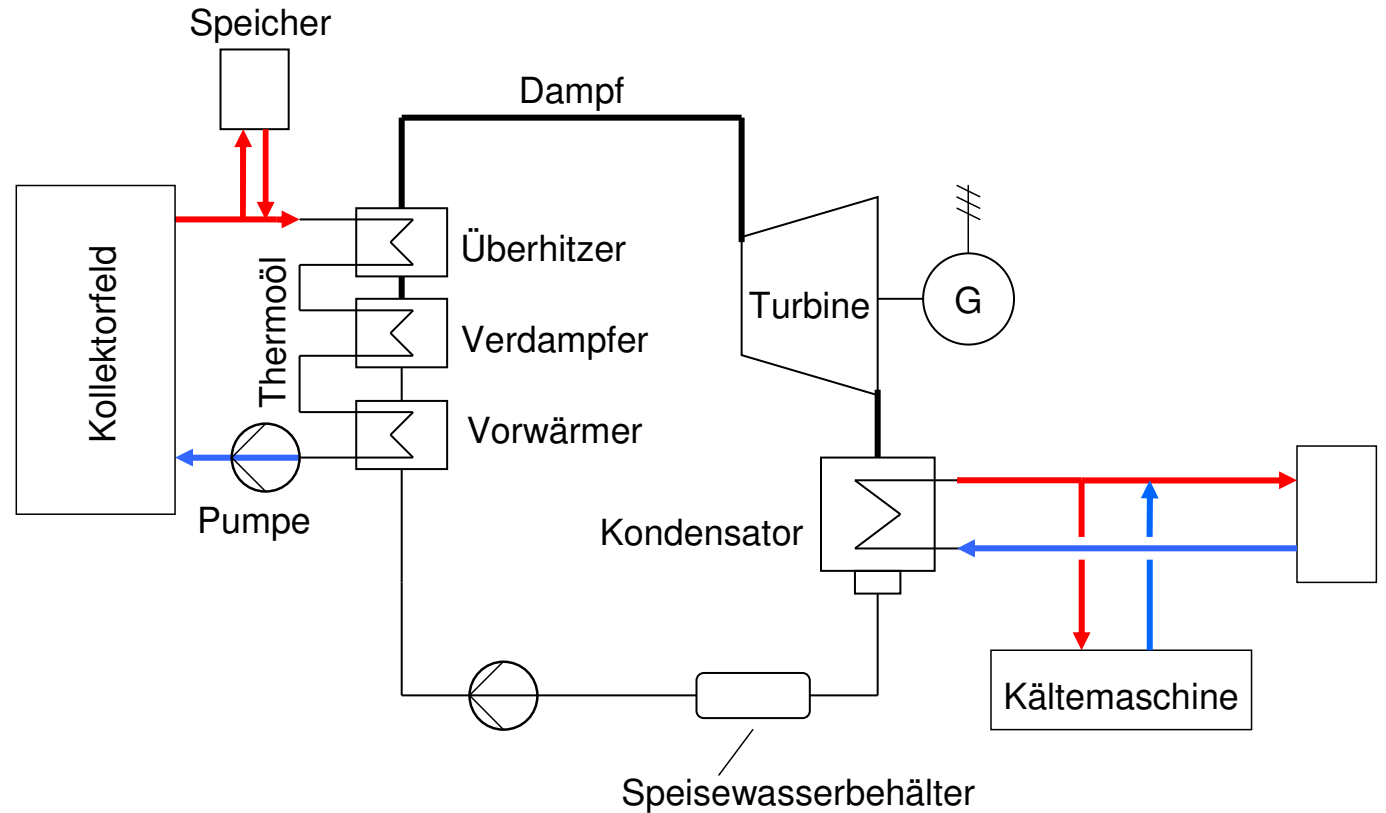
## Verschaltungsmöglichkeiten

- Kopplung mit Thermoölkreislauf
- 2-stufige Kältemaschine



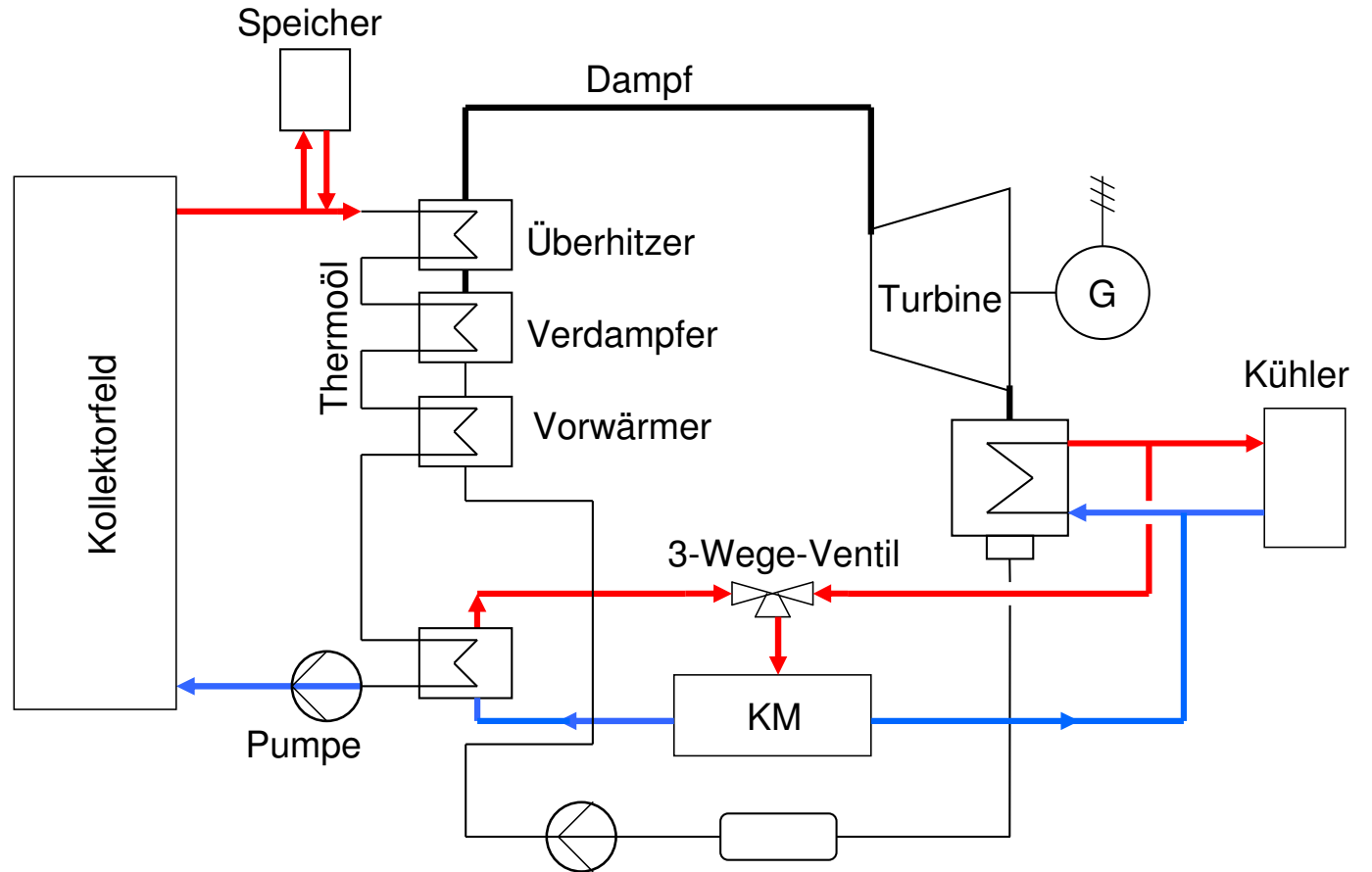
# Verschaltungsmöglichkeiten

- Abwärmenutzung
- 1-stufige Kältemaschine



## Verschaltungsmöglichkeiten

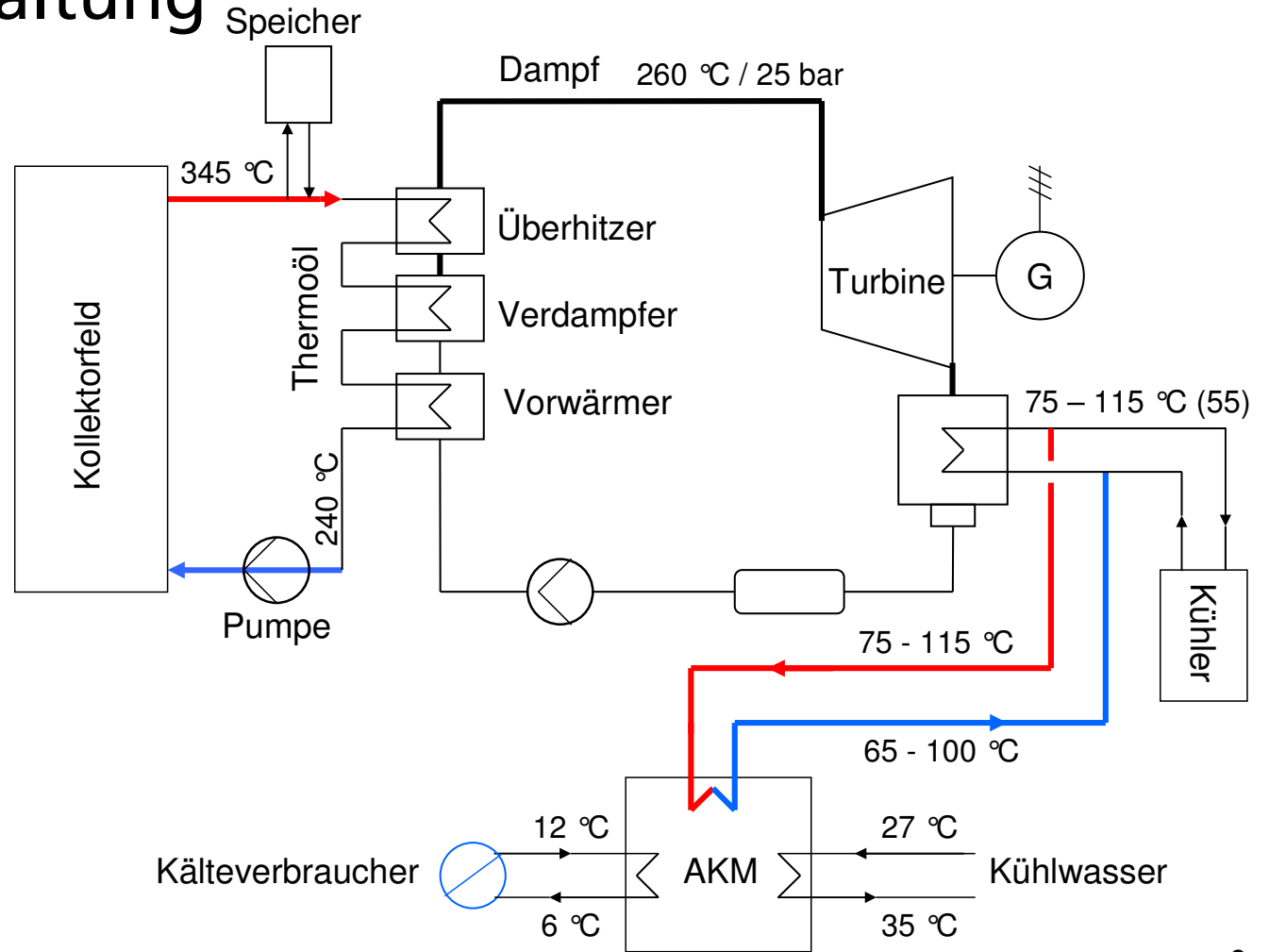
- Kombination beider Wärmequellen
- Solarfeld als „Backup“





## Untersuchte Verschaltung

- Kondensationstemperatur
- Nennleistung Kältemaschine



## Betrachteter Standort

- Faro, Portugal
  - Strahlungssumme: 2197 kWh/(m<sup>2</sup>\*a)
  - Einspeisevergütung: 27 Cent / kWh



Repräsentativer Standort für sonnenreiche Länder

# Modellannahmen

Parameter	Einheit	Wert
<b>Fresnelkollektor</b>		
Optischer Wirkungsgrad	[-]	67%
<b>Wärmekraftmaschine</b>		
Isentroper Wirkungsgrad	[-]	70 %
Elektrischer Nennwirkungsgrad	[-]	19% (variabel in Abhängigkeit von $T_{\text{ein}}$ , Last, $T_{\text{kond}}$ )

- Großkraftwerke liegen bei 85 %

- Trockenkühlung

## Kostenannahmen

Parameter	Einheit	Spezif. Kosten
Solarfeld	€ / m <sup>2</sup>	200 – 400 (280)
Wärmekraftmaschine	€ / kW	1000 – 2000 (1300)
Therm. Speicher	€ / m <sup>3</sup>	1000
AKM (1-stufig)	€ / kW	280 (115°C Auslegungstemperatur)

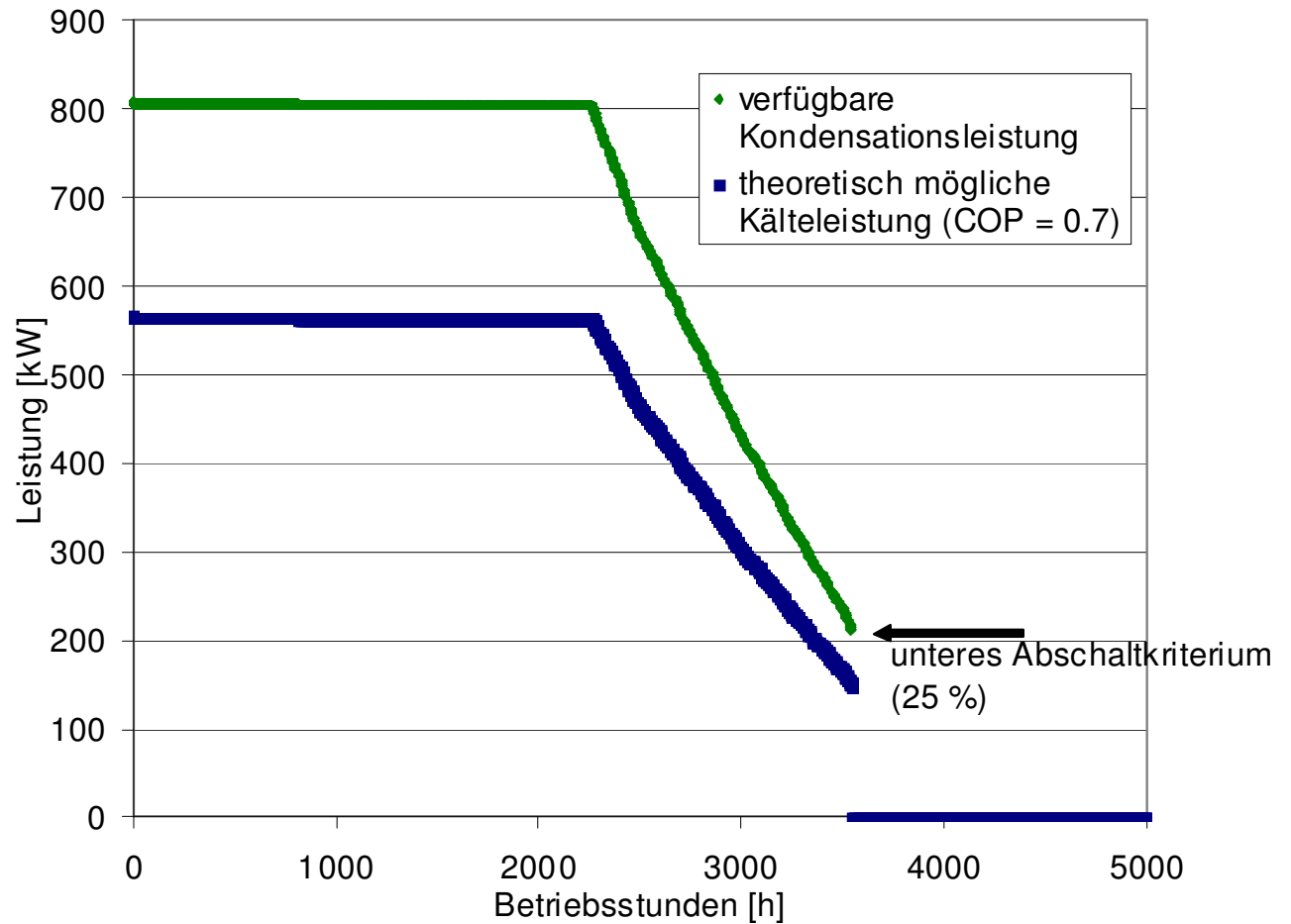
## Annahmen zur Wirtschaftlichkeitsrechnung

- Barwertmethode
- Einsparung entspricht Summe der Barwerte

Parameter	Einheit	
Versicherung	% p. a	1
O & M	% p. a	2
Zinssatz	% p. a	7
Strombezugspreis	€ / kWh	0,1
Teuerungsrate Strom	% p. a	2.5
Laufzeit	a	25

# Auslegung des Gesamtsystems

- Jahresdauerlinie
- Vorgaben Kraftwerksblock:
  - $P_{th} = 1 \text{ MW}$
  - $\eta_{el} \text{ (netto)} = 19 \%$
- Zeitliche Korrelation zu berücksichtigen



## Simulierte Kältelast

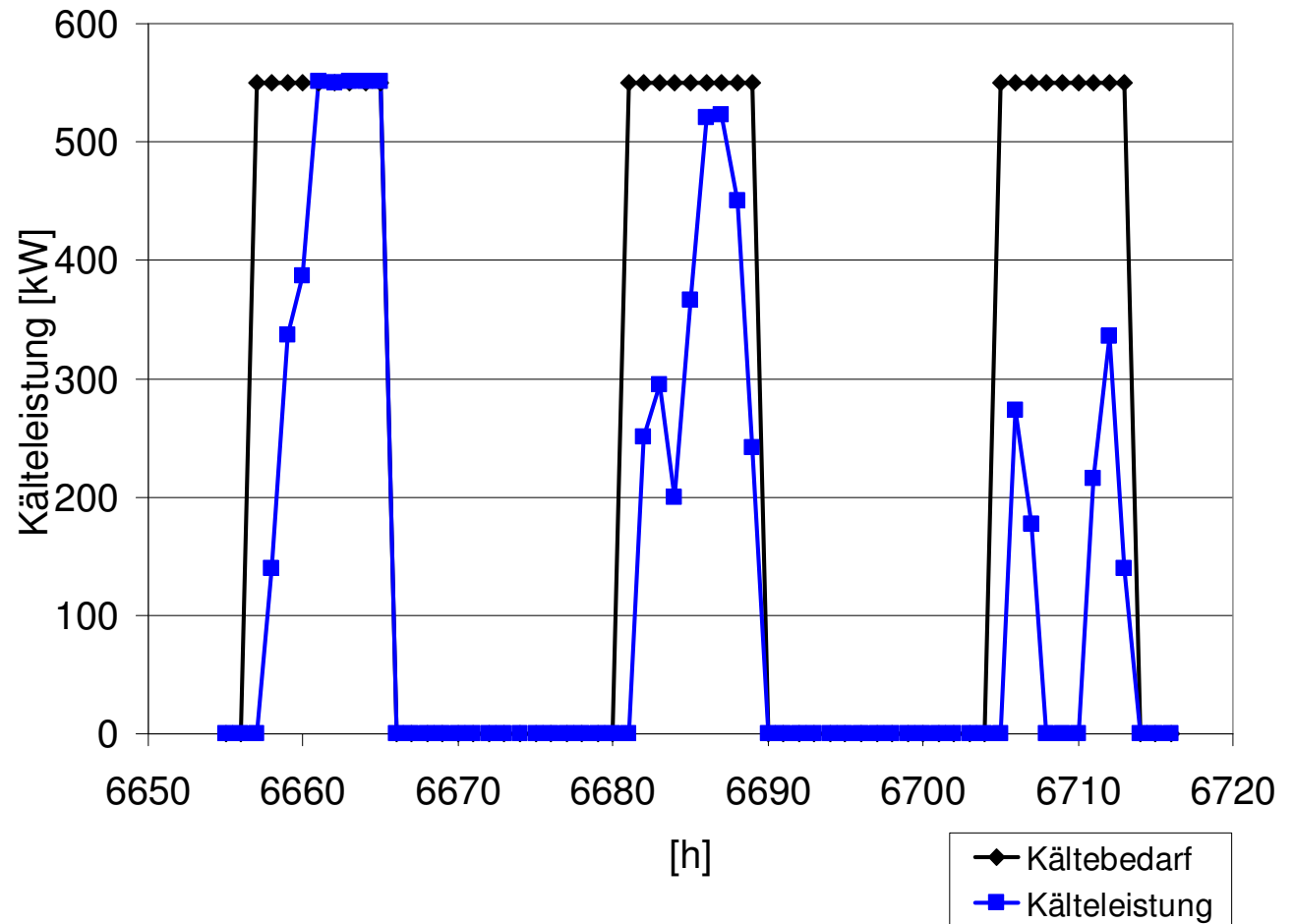
### ■ Lastfall 1

■ konstanter Kältebedarf von 9 – 17 Uhr

■ 365 Tage

■ Kältebedarf 1752 MWh/a

■ Solarer Deckungsanteil 65 – 70 %



## Simulierte Kältelast

### ■ Lastfall 2

■ Bürogebäude

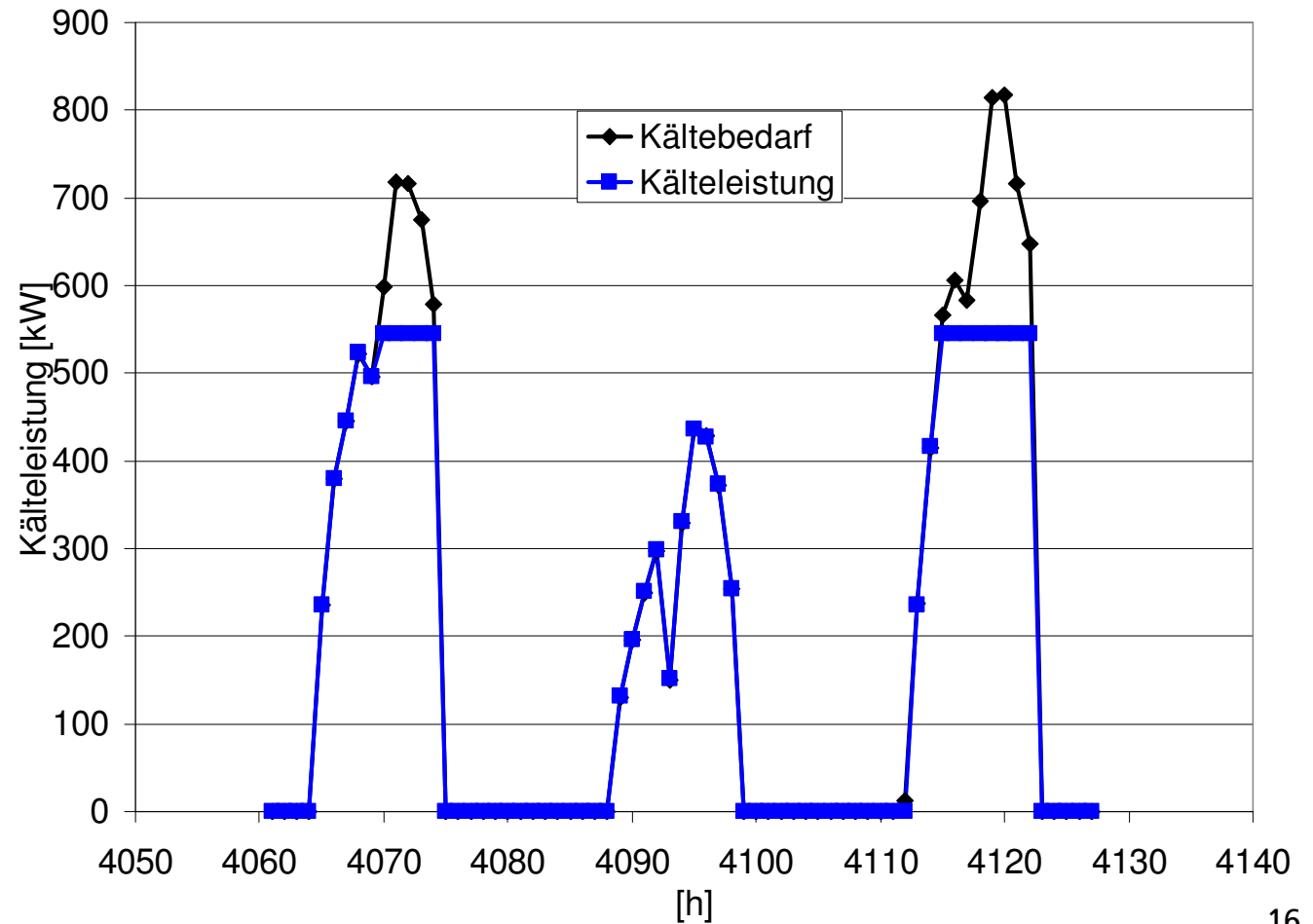
■ Kühlbedarf  
862 MWh/a

■ 45 kWh / (m<sup>2</sup> \* a)

■ ca. 20000 m<sup>2</sup>

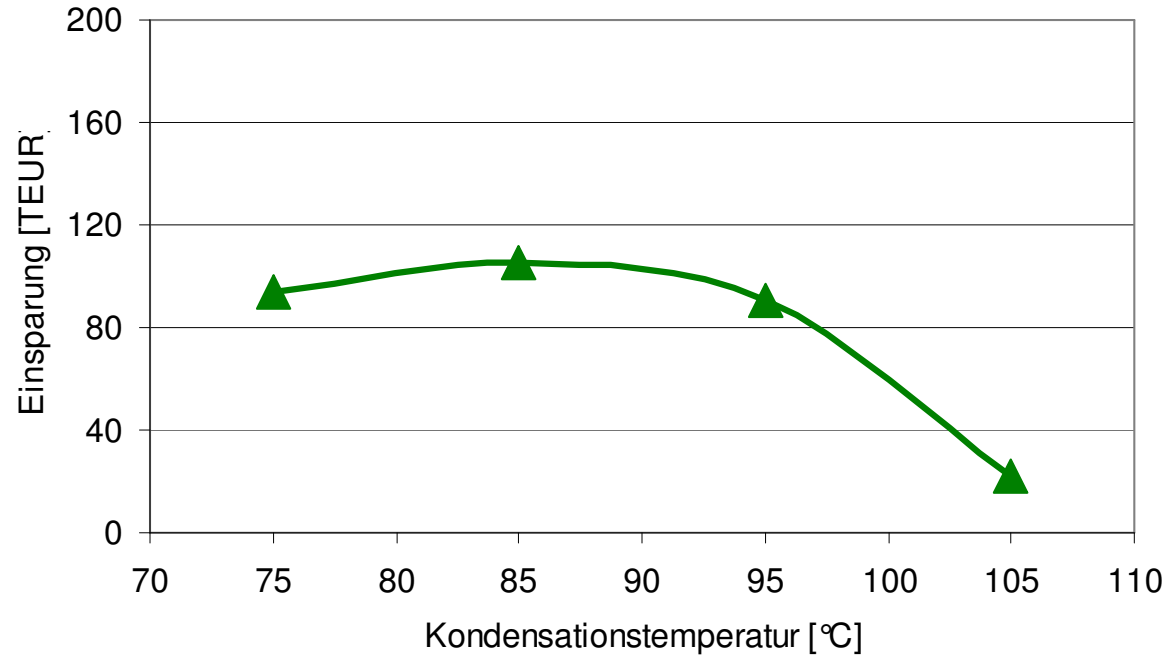
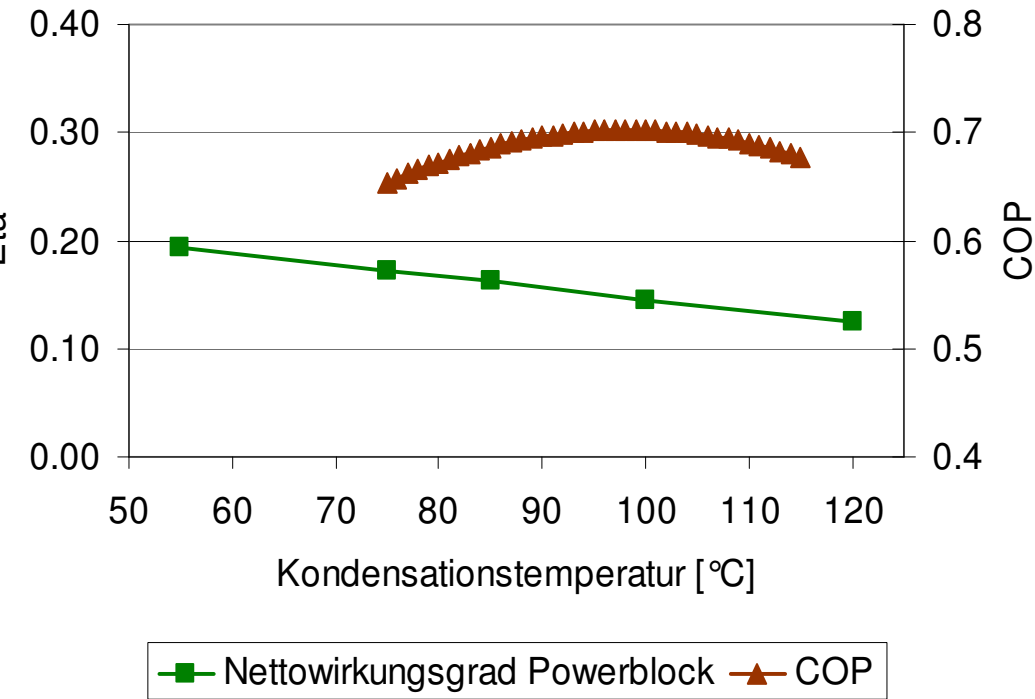
### ■ Solarer Deckungsanteil

65 – 70 %





# Ergebnisse - Kondensationstemperatur

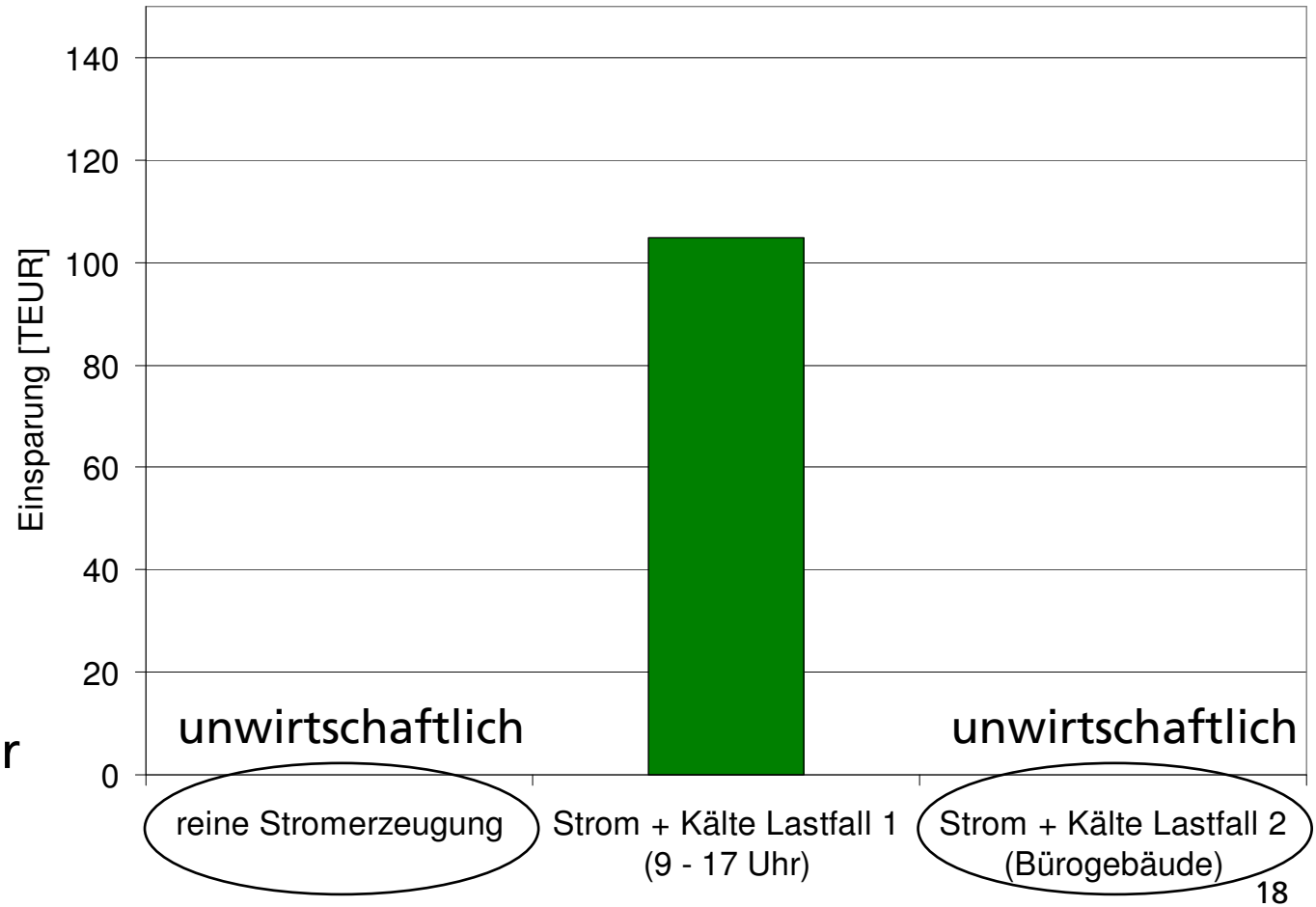


 Optimum im Bereich 80...95 °C

# Bewertung der Wirtschaftlichkeit

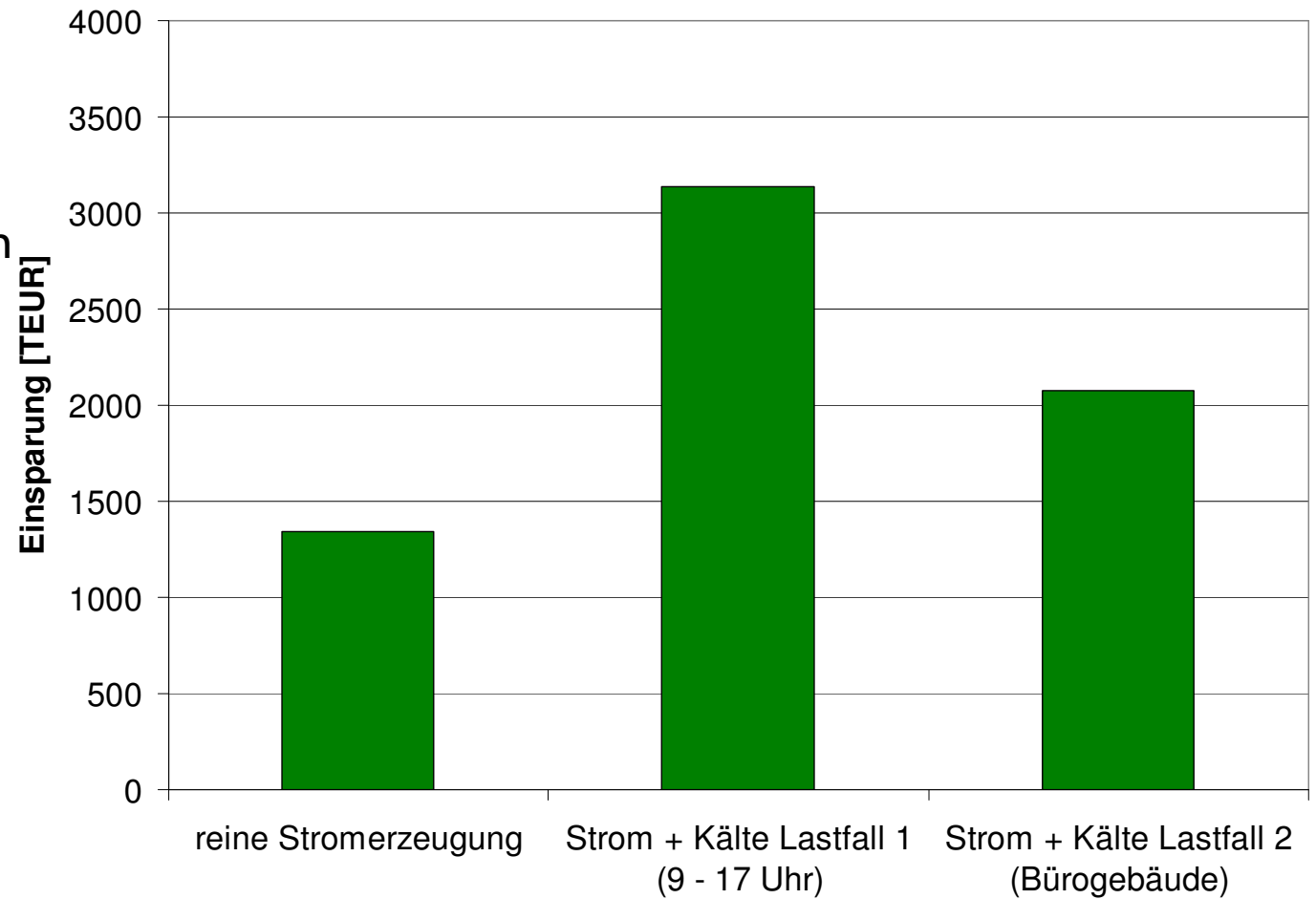
- Stromgestehungskosten höher als Einspeisevergütung
- Wirtschaftlicher Betrieb bei:
  - Hohem ganzjährigem Kältebedarf

➔ Hohe Auslastung der Kältemaschine notwendig



## Inselssysteme

- Vergleichskosten  
Dieselgenerator 0,31 € / kWh
- Stromlastprofil



➔ Höhere Einsparung  
als netzgekoppelt

# Zusammenfassung

- Die kombinierte Erzeugung von Strom und Kälte kann die Wirtschaftlichkeit solarthermischer Kraftwerke im untersuchten Leistungsbereich verbessern
- Starke Abhängigkeit vom Kältelastprofil
  - Hoher Kältebedarf notwendig
- Deutliche Mehreinsparung bei Inselfsystemen

# Ausblick

- Detaillierte Untersuchung weiterer Schaltungsvarianten und Regelstrategien
- Einbindung eines Eisspeichers
- Bestätigung der Simulationsergebnisse durch Demonstrationsprojekte

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

# Ergebnisse – Optimierung der Nennleistung

- Optimale Nennleistung  
600 kW
- Maximale Ausnutzung der  
Kondensationswärme

