

# Solar- und Geothermie - ideale Partner für hohe Jahresarbeitszahlen

Dipl.-Ing. Rainer Tepe

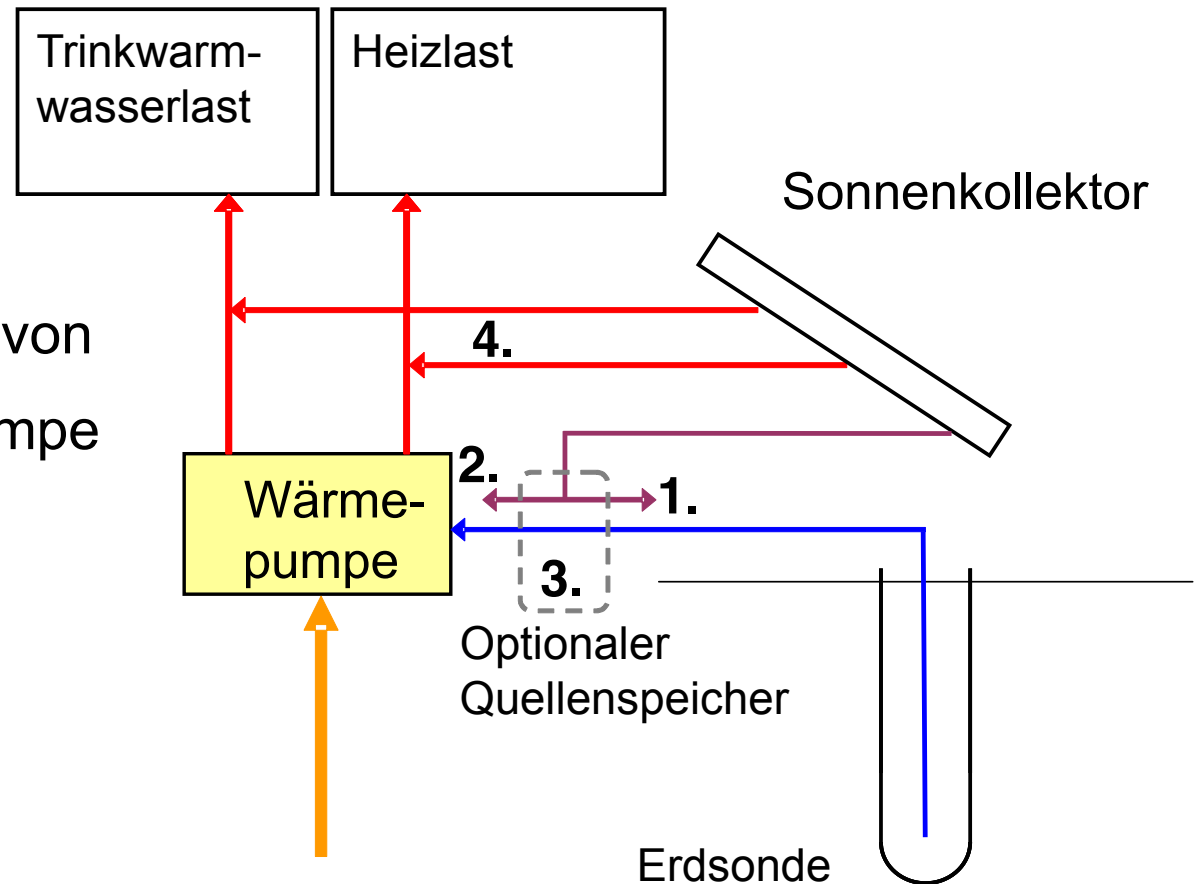


# Systemkombination



Möglichkeiten für die Kopplung von Sonnenkollektor und Wärmepumpe

1. Ins Erdreich
2. Auf den Verdampfer
3. In den Quellspeicher
4. Auf die Senkenseite



# Forschungsprojekt



- Innovationsverbund von 4 öffentlichen wissenschaftl. Partnern
- mit Unterstützung und Informationsaustausch zu 6 privatwirtschaftlichen Partnern
- gefördert von der EU im Rahmen von EFRE, 50%
- mit Teilfinanzierung des Landes Niedersachsen, MWK, 40%
- und Eigenanteil der Forschungspartner, 10%
- Laufzeit: Sept. 2010 bis Febr. 2014

Dieses Projekt wird mit Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung gefördert.



EUROPÄISCHE UNION  
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung



[www.eu-foerdert.niedersachsen.de](http://www.eu-foerdert.niedersachsen.de)

# Forschungspartner



- Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Hannover
- Ostfalia Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel
- Geowissenschaftliche Zentrum der Universität Göttingen



Geowissenschaftliches Zentrum Göttingen

# Industriepartner

---



- Solvis GmbH & Co. KG, Germany
- Stiebel Eltron GmbH & Co. KG, Germany
- LohrConsult GmbH & Co. KG, Germany
- EMW Erdwärme Mittelweser GmbH, Germany
- Terra Umweltwärmesonde GmbH, Germany
- Seidemann Solar GmbH, Germany

# Projektziele

---



## Erdsonden gekoppelte Wärmepumpenanlagen

- Effizienz steigern durch
  - hohe direkt-solare Deckung des Bedarfs
  - Anhebung der Quellentemperatur durch solare Einkopplung
  - Senken der Nutzertemperatur
- Wirtschaftlichkeit steigern, Betriebsrisiko senken
  - Dimensionierung von Sondenanlagen optimieren
  - Vermeidung des Risikos von Fehldimensionierungen und langfristiger Überbelastung
- Erweiterung der Anwendungsbereiche
  - bei ungünstigen Erdreichverhältnissen
  - in Wohnsiedlungen

# Inhaltliche Schwerpunkte

---



- Bau und Betrieb einer Experimentalanlage
- Modellierung des Erdreichverhaltens und Sonden- Bohrloch- Systems
- Analyse von Wärmepumpen-Betreiberanlagen
- Simulation von Anlagenkonzepten
- Handlungs- und Praxisempfehlungen



# Experimentalanlage Labor- Prüfstand



- 2 Wärmepumpen und 3 Erdsonden mit Messbrunnen
- 4 Module zur Emulation von Solarkollektoren- und Wärmelast
- 300 ltr. Quellspeicher und viele hochgenaue Sensoren

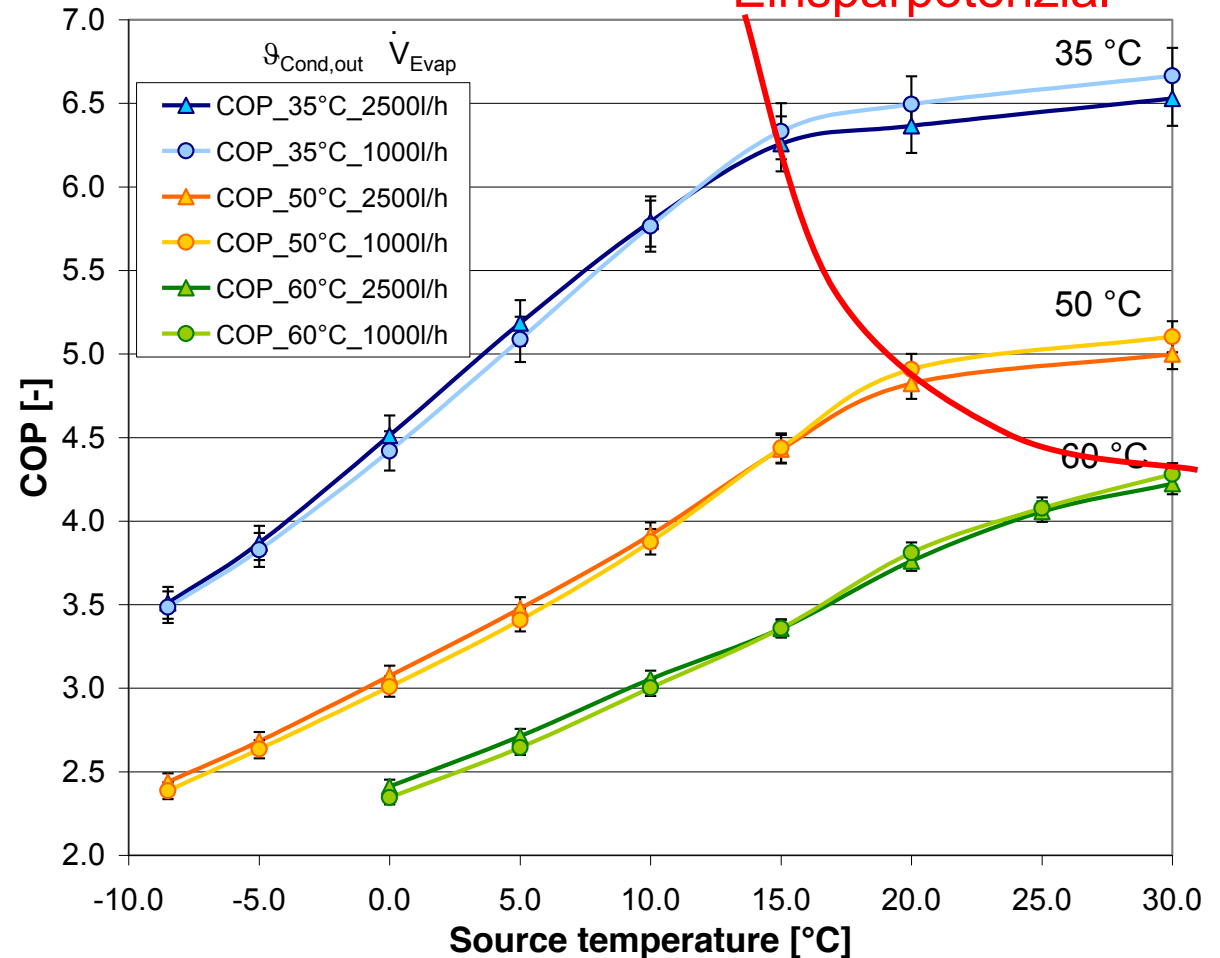


# Experimentalanlage

## Wärmepumpenverhalten



- COP steigt mit höherer Quellen- und niedrigerer Senktemperatur
- Nicht empfindlich gegenüber Volumenstromvariation Quelle
- Bereich geringen solaren Verbesserungspotenzials
- WP-Tests auch für höhere Quellentemperaturen durchführen

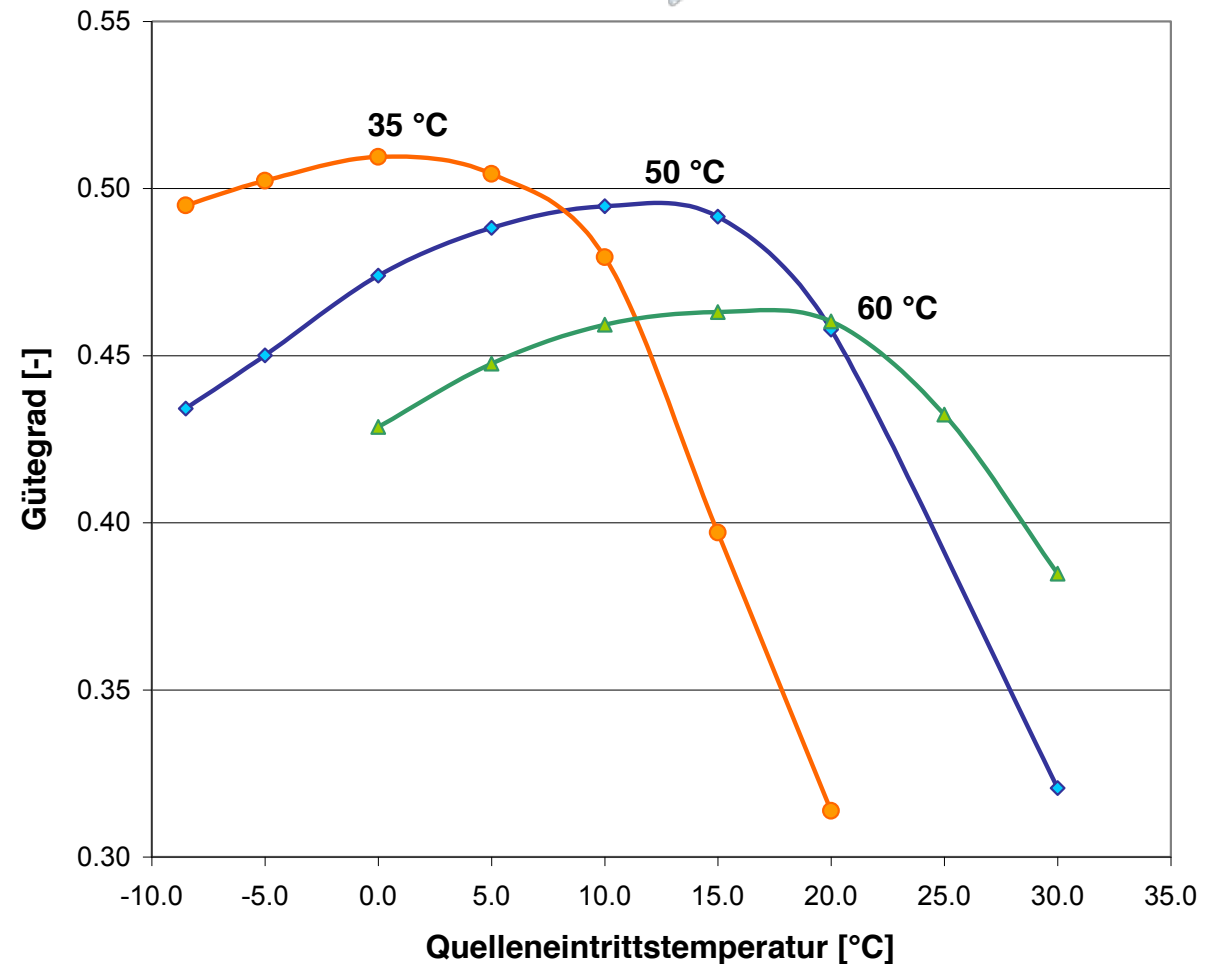


# Wärmepumpenverhalten

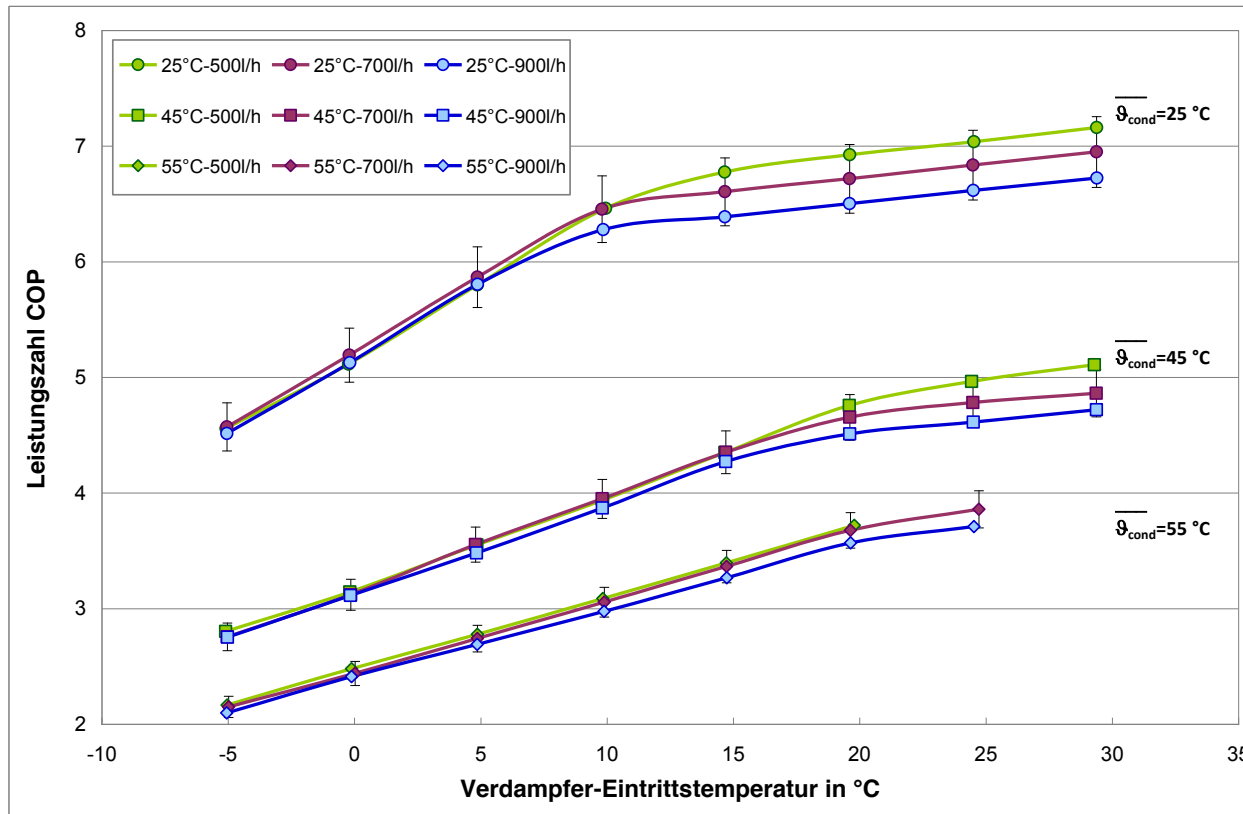
## Gütegrad



- Gütegrad sinkt dramatisch für geringe Temperaturdifferenzen
- Optimierungspotenzial für Wärmepumpen-Hersteller (elektr. Expansionsventil, Verdichter)
- Systemsimulationen müssen den Abfall des Gütegrads berücksichtigen



# Wärmepumpenverhalten Volumenstromabhängigkeit Senke



- Merklicher Einfluss des senkenseitigen Volumenstroms erst bei höheren Verdampfer-Eintrittstemperaturen
- Volumenstromkorrektur in der Modellierung kompensiert den Effekt

# Experimentalanlage Sondenmodellierung



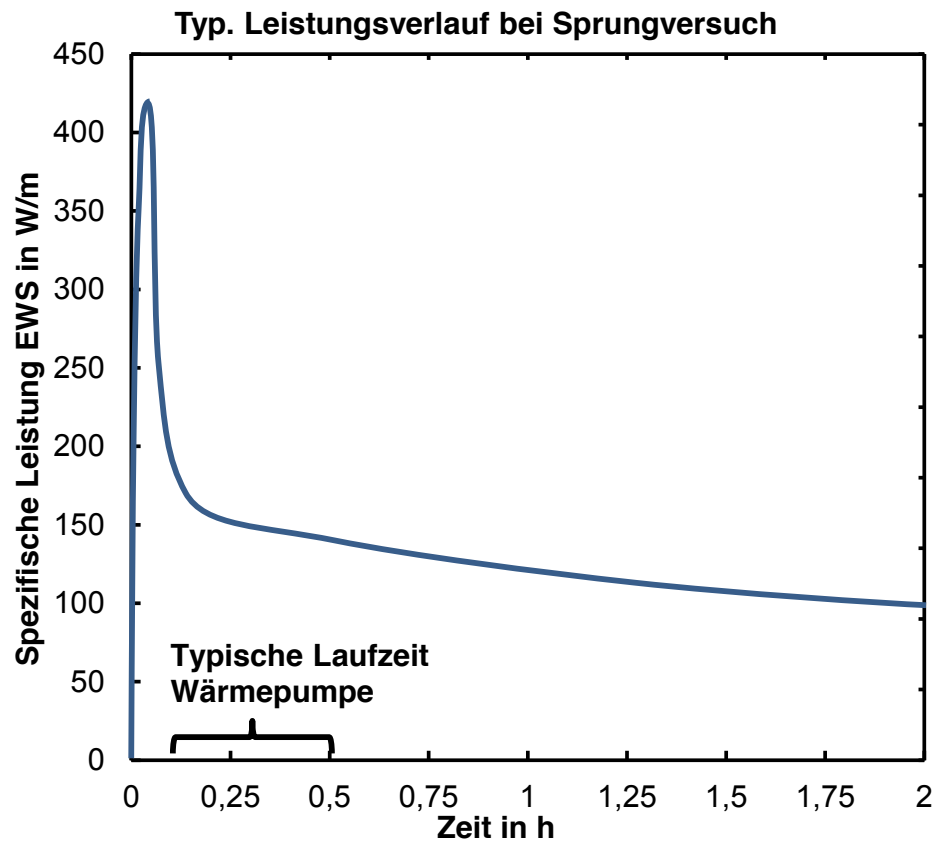
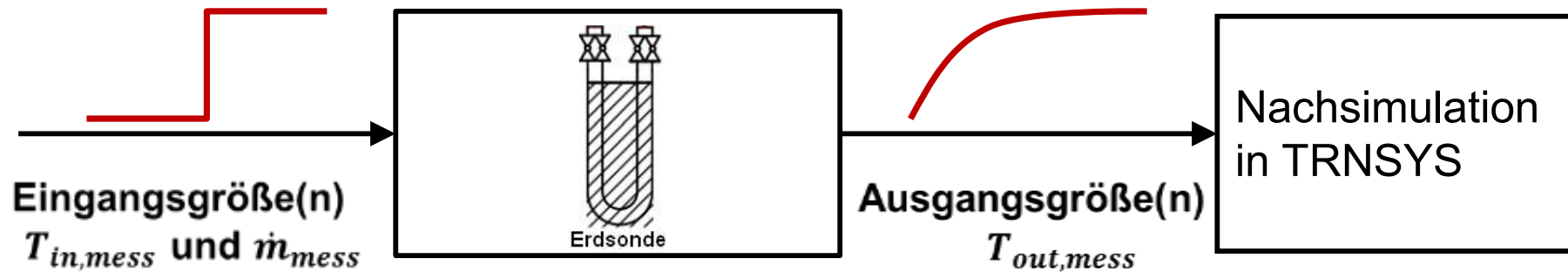
Analyse und Weiterentwicklung von Erdsondenmodellen für die dynamische Systemsimulationen in TRNSYS durch

- Messtechnische Untersuchung der Erdwärmesonden
- und Abgleich mit COMSOL-Simulationen

TRNSYS-Erdsondenmodell	positiv	negativ
EWS (Huber et al.)	Kurzzeitverhalten	Einzelsonde
DST (Hellström)	Anordnung im Zylinder	Kurzzeitverhalten
SBM (Eskilson)	Anordnung beliebig	Kurzzeitverhalten

# Experimentalanlage

## Temperatursprungversuch



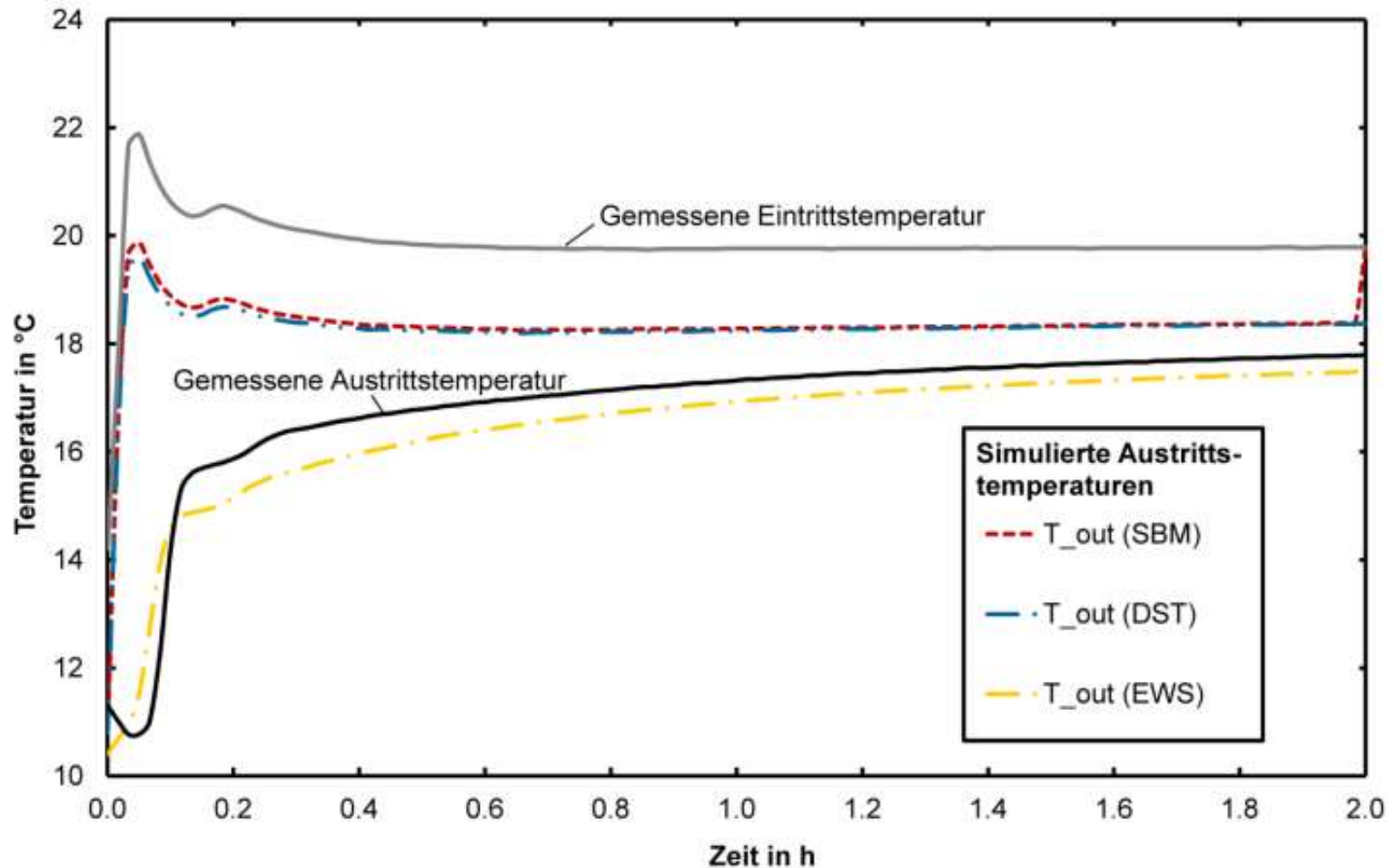
Erdsondenverhalten:

- hohe spezifische Entzugsleistung zu Beginn
- Effekt bei den typischen Laufzeiten von Wärmepumpen nicht zu vernachlässigen



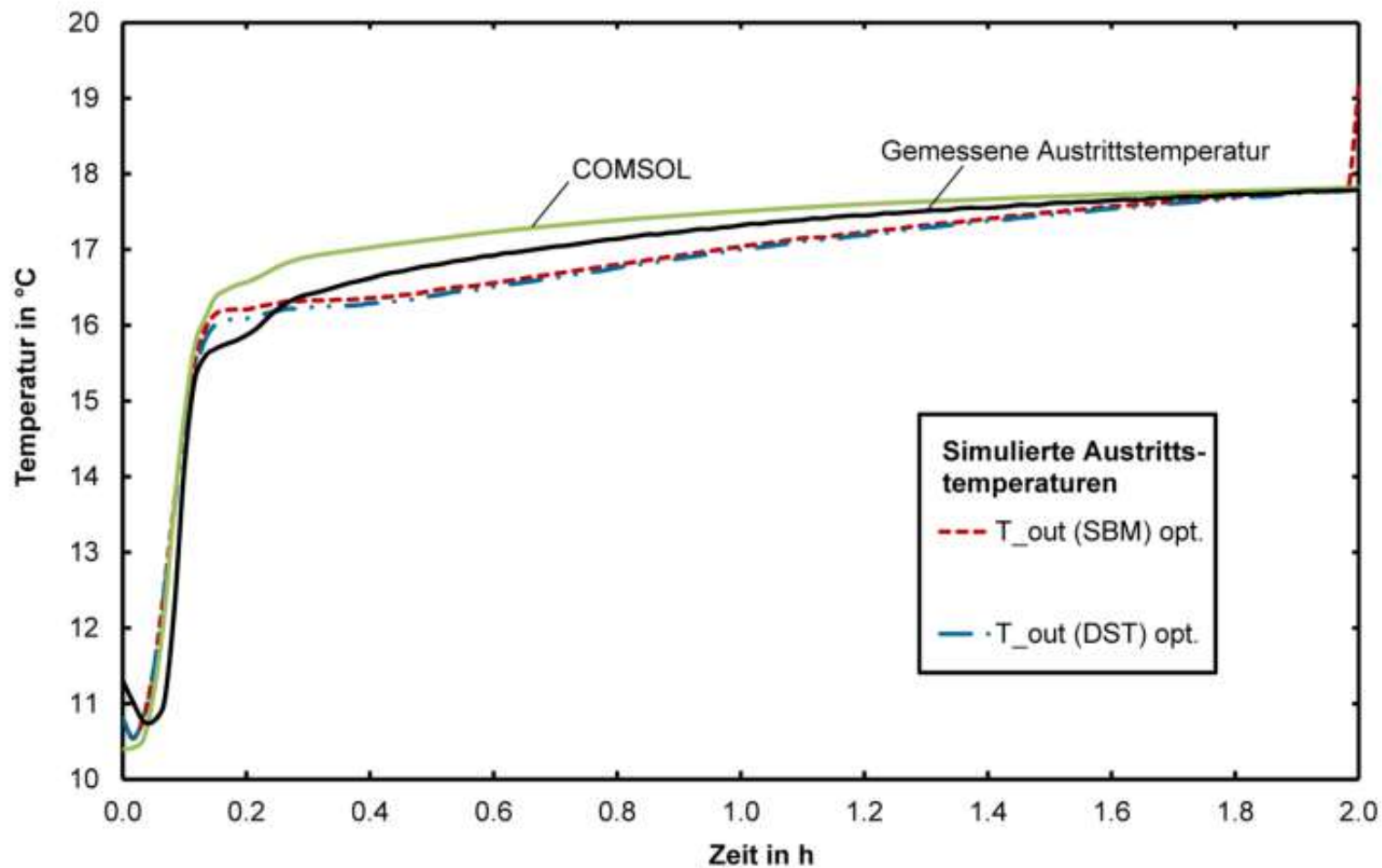
# Experimentalanlage

## Temperatursprungversuch



➔ Nur EWS-Modell zeigt hohe Genauigkeit  
In SBM und DST fehlen Totzeit und Zeitkonstante

# Experimentalanlage Sondenmodellierung



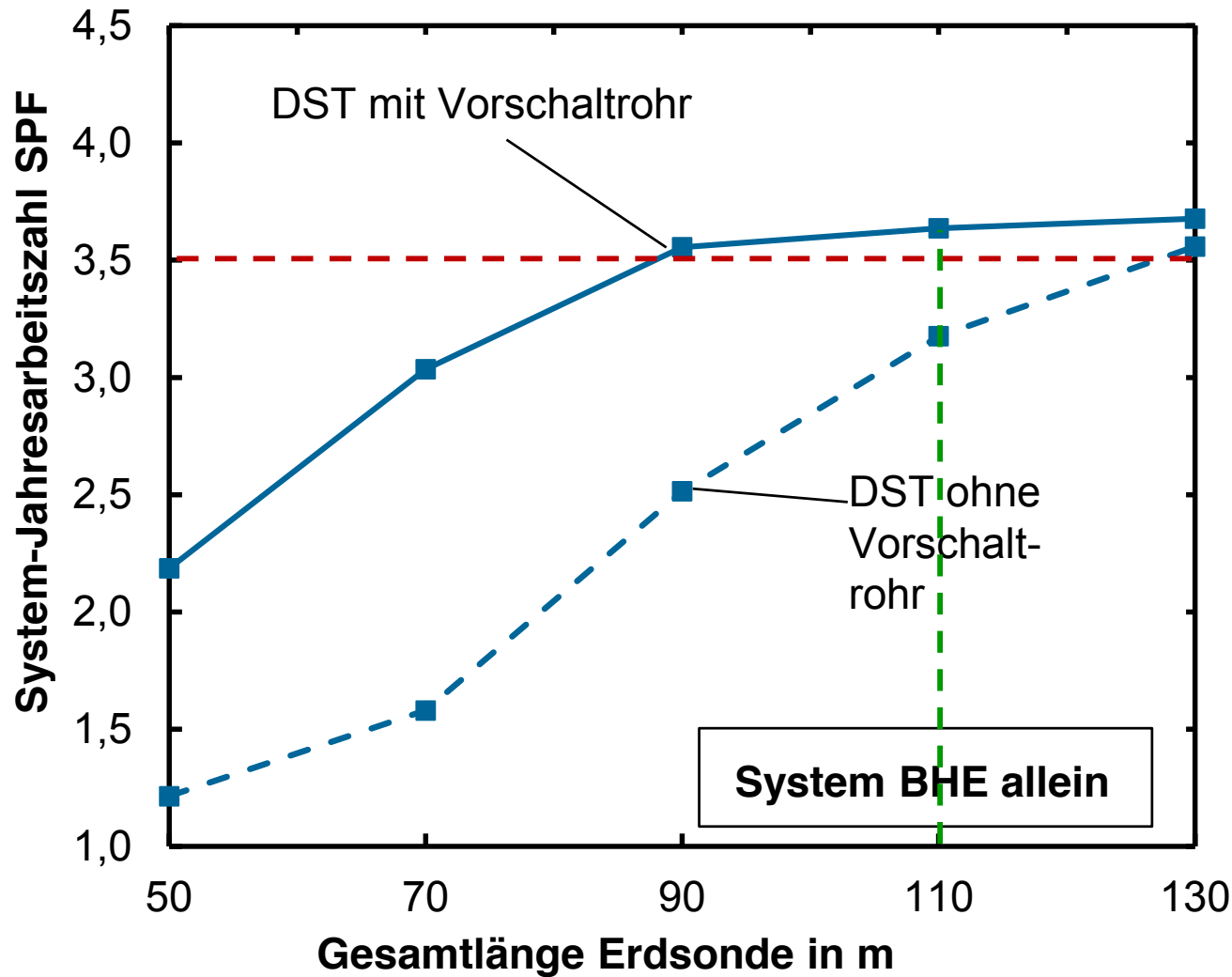
SBM und DST  
in Simulation  
mit virtuellem  
Vorschaltrohr

3D-COMSOL Simulationen durch:



# Experimentalanlage

## Sondenmodellierung



- Starker Effekt auf die Jahresarbeitszahl
- $SPF \approx 3.5$ :  
mit VSR 90 m  
ohne VSR 130 m
- BHE Länge = 110 m:  
mit VSR  $SPF=3.6$   
ohne VSR  $SPF=3.2$

# Experimentalanlage

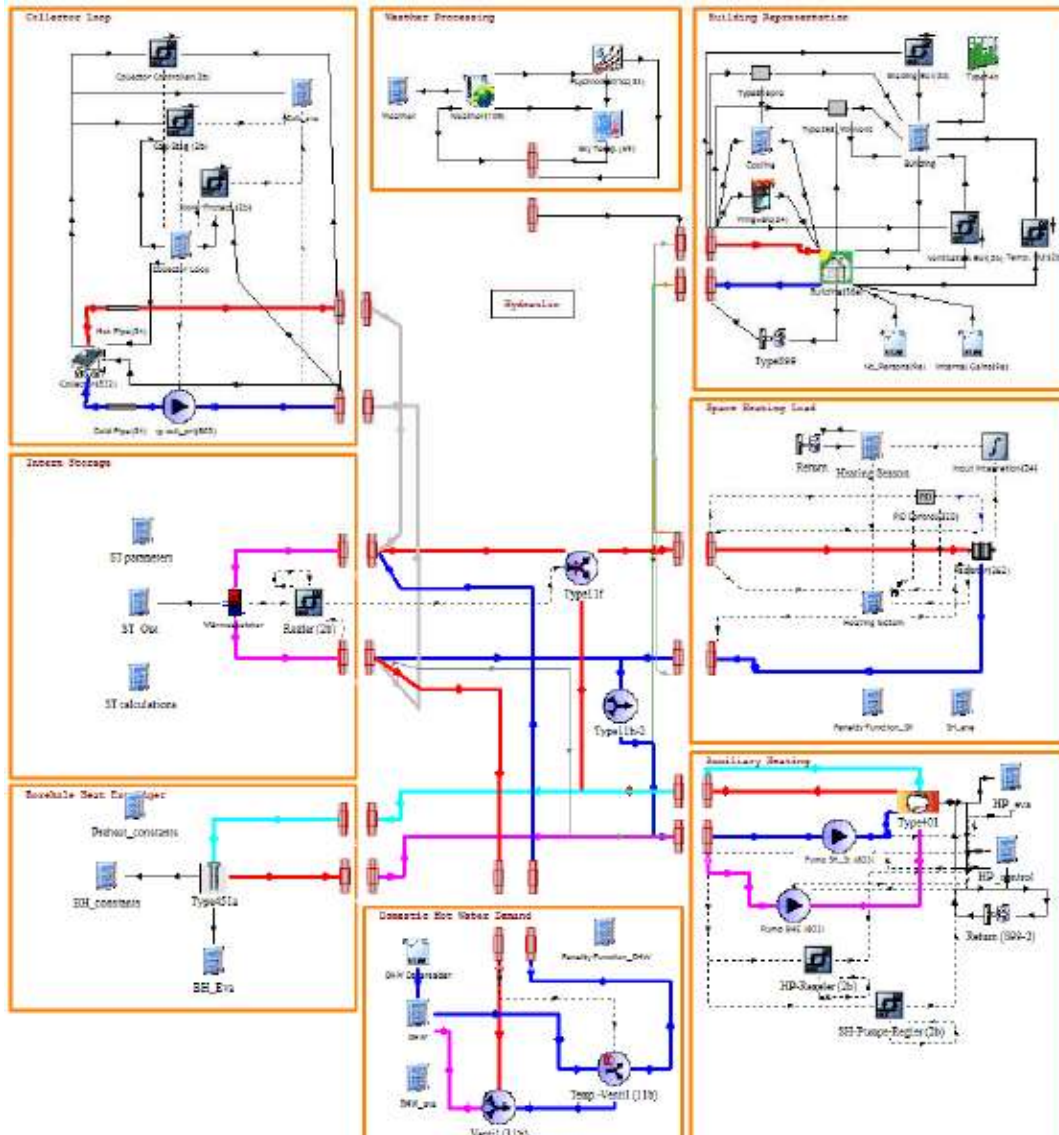
## Fazit

---



- Effizienzgewinne durch Erhöhung der Quellentemperatur bei Standard-WP nicht vollständig nutzbar
- WP-Tests sollten auch für höhere Quellentemperaturen und andere Volumenströme obligatorisch sein
- Dynamisches Verhalten von WP hat hohen Einfluss auf die Systemeffizienz (anpassen der DIN EN 14511)
- Modellerweiterung in TRNSYS berücksichtigt diese Effekte
- Planung ohne Berücksichtigung der Erdsondendynamik führt zu einer Sondenüberdimensionierung

# Systemsimulationen



## Systemsimulationen mit dem Programm TRNSYS

- Modulare Programmstruktur
- Beliebige Zeitschritte
- Kombinierte Simulationen für Gebäude und Anlage
- Mehrjahressimulationen
- Offene Quellcodes

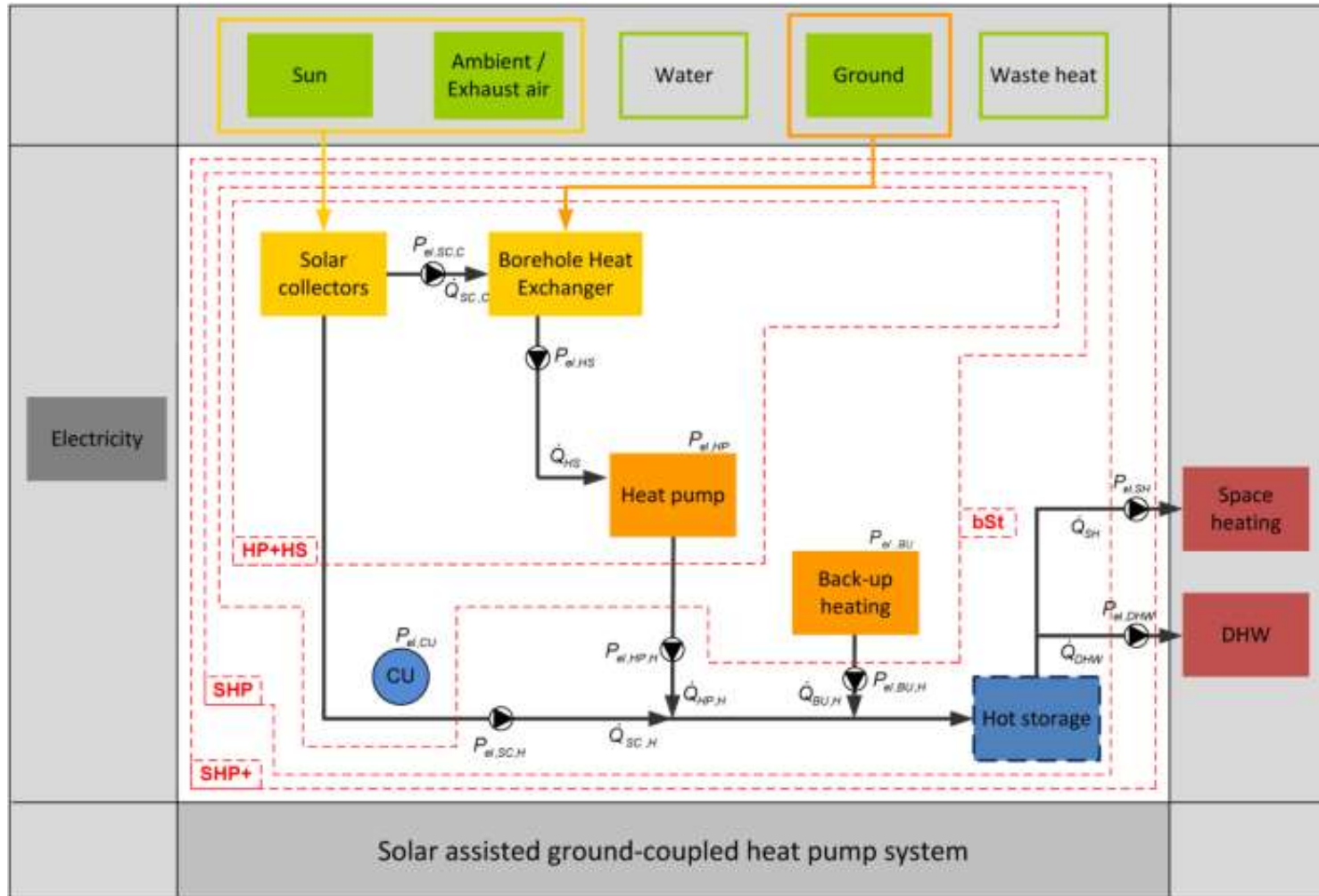


# Systemsimulationen

## Kennzahlen

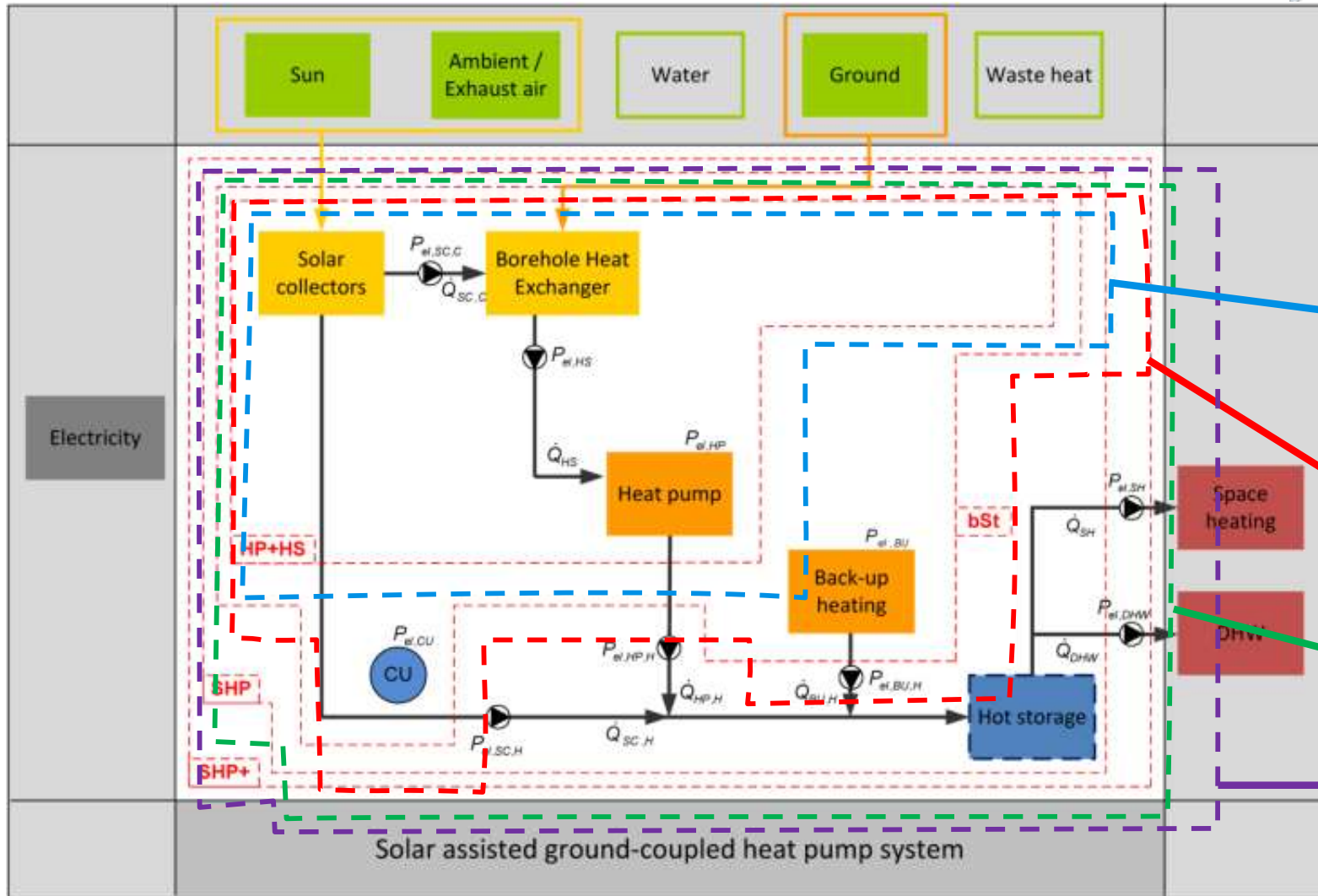


Blockdiagramm aus der IEA Task 44 Arbeitsgruppe



# Systemsimulationen

## Definition von Arbeitszahlen



Beispiel: Solare Trinkwarmwasseranlage

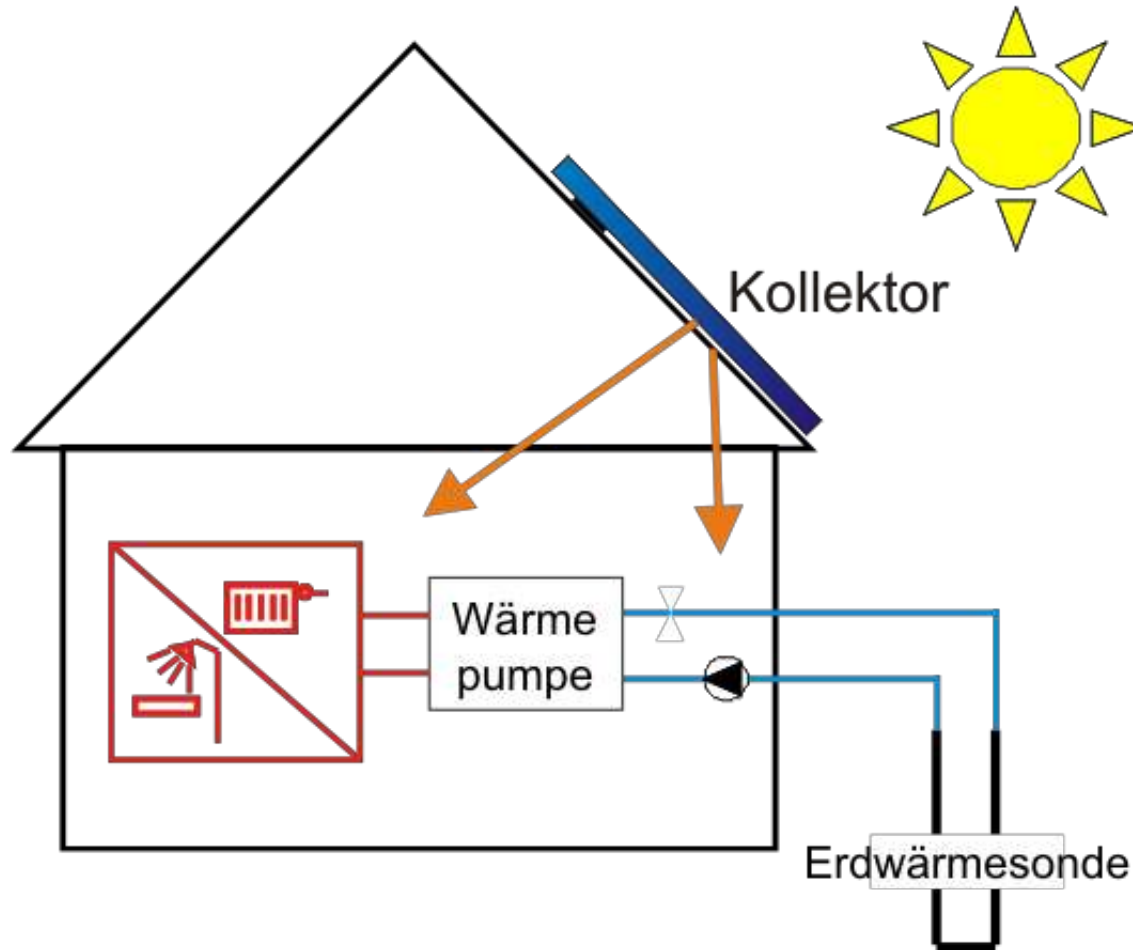
$SPF_{HP+HS} = 4.0$

$SPF_{bSt} = 4.8$

$SPF_{SHP} = 4.5$

$SPF_{SHP+} = 4.3$

# Systemsimulationen



- Vorgaben durch IEA  
SHC Task44 / HP Annex 38
- Einfamilienhaus 140 m<sup>2</sup>
  - 45 kWh/m<sup>2</sup> a (6300 kWh/a)
  - Fußbodenheizung
  - TWW 2000 kWh
  - Standort Straßburg
  - 7 kW Wärmepumpe

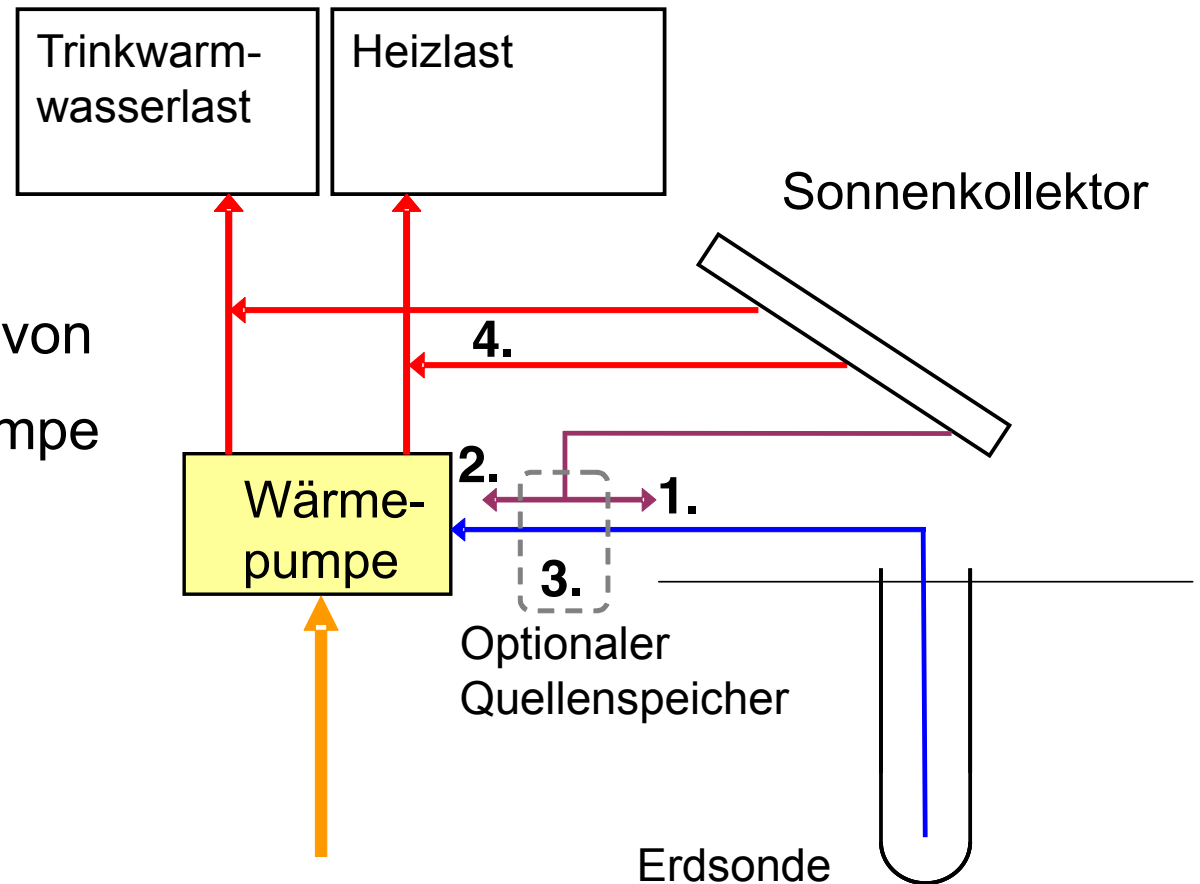
Dynamisches Systemmodell

# Systemkombination



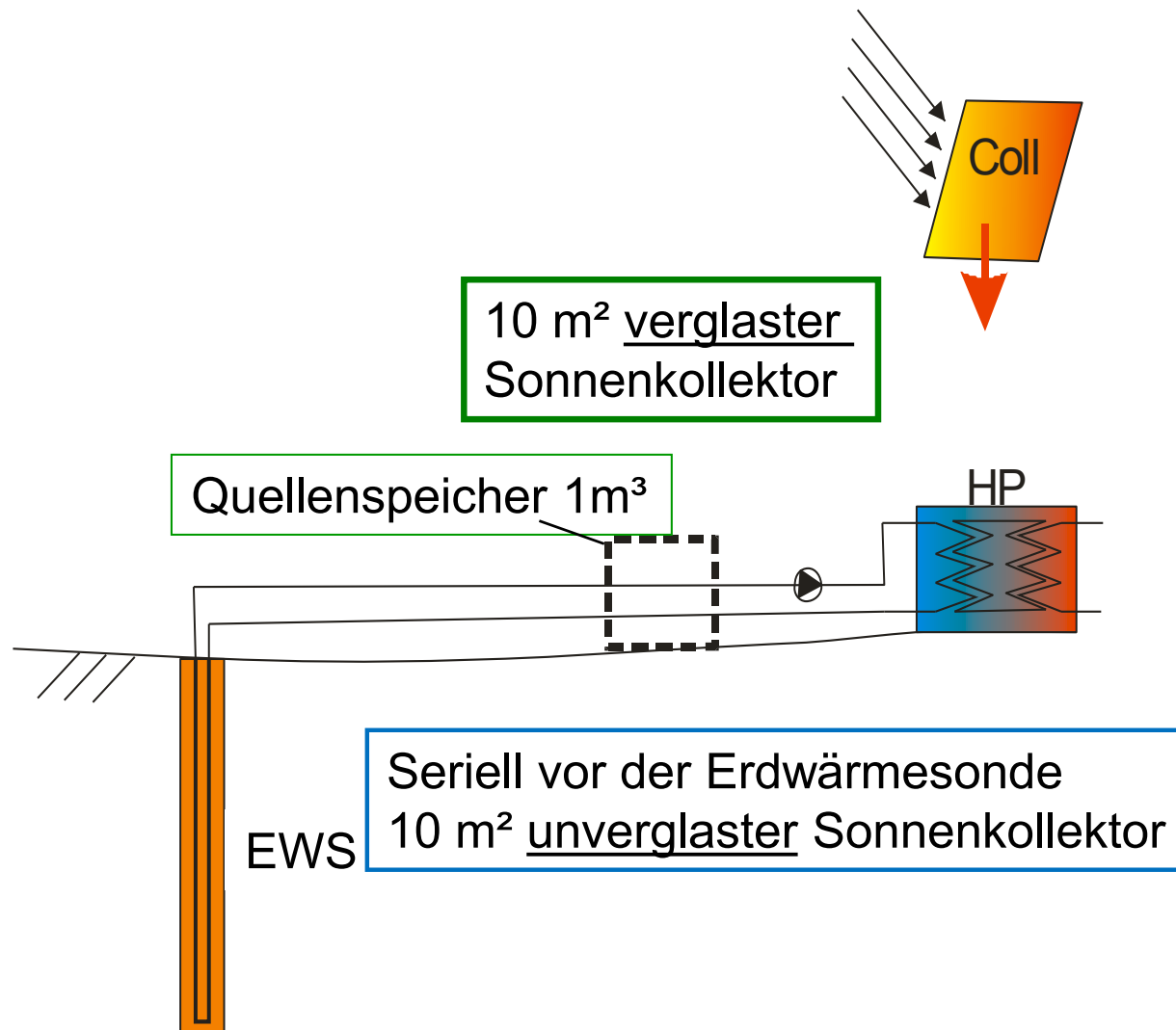
Möglichkeiten für die Kopplung von Sonnenkollektor und Wärmepumpe

1. Solare Quellenanhebung
2. Auf den Verdampfer
3. Solare Quellenanhebung mit Quellspeicher
4. Solareinbindung auf die Senkenseite



# Systemanalyse

## Solare Quellenanhebung



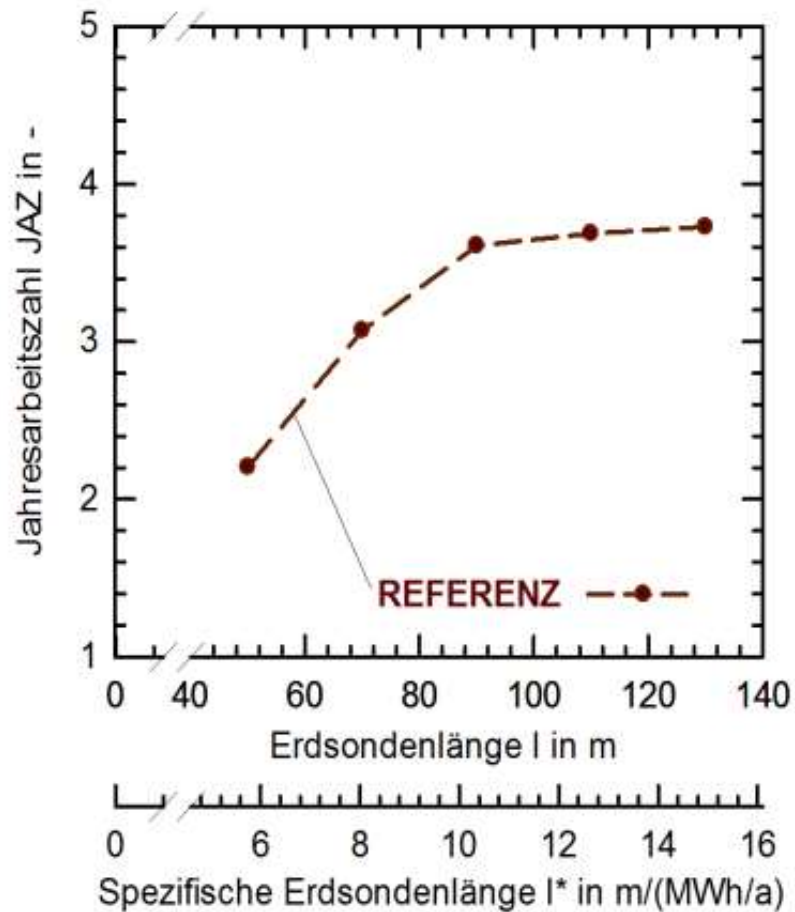
Zielsetzung:

- Steigerung der Arbeitszahl ca. 2%/K COP-Steigerung
- Verkürzung der EWS
- Regeneration des Untergrunds für Siedlungsgebiete oder bei behördlichen Auflagen



# Systemanalyse

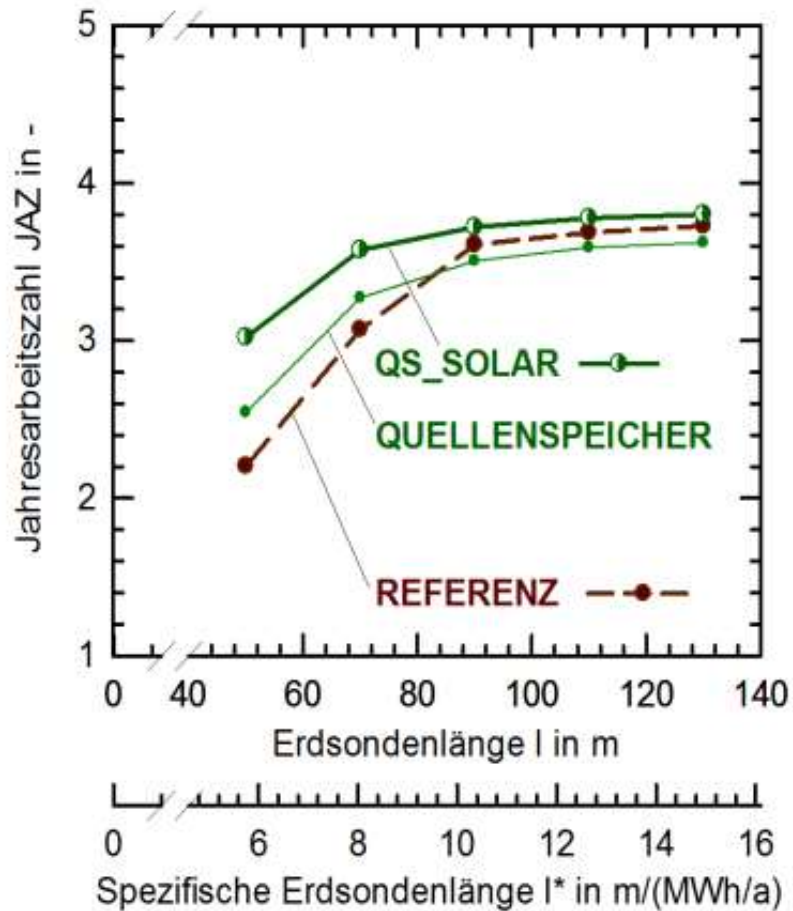
## Solare Quellenanhebung



JAZ<sub>SHP</sub> (ohne Regelung)

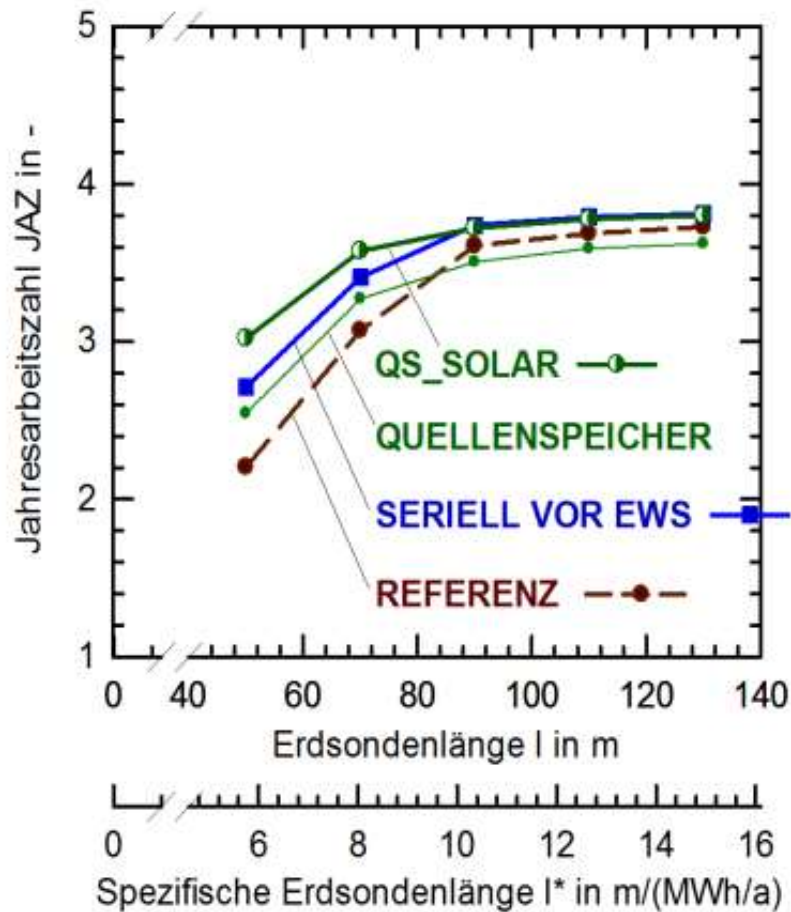
# Systemanalyse

## Solare Quellenanhebung

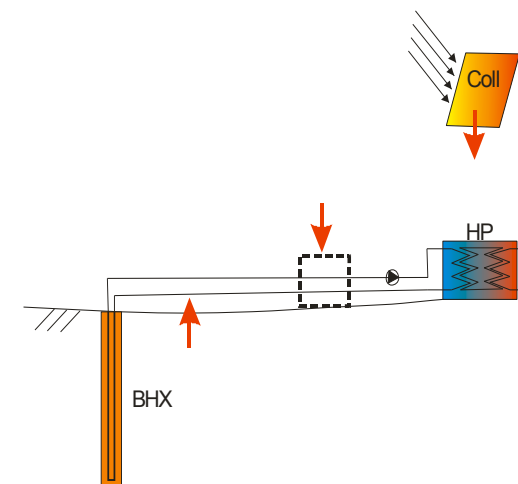


JAZ<sub>SHP</sub> (ohne Regelung)

# Systemanalyse Solare Quellenanhebung

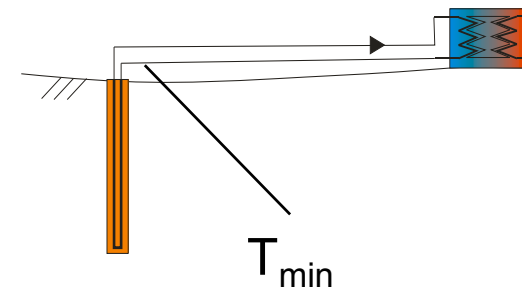
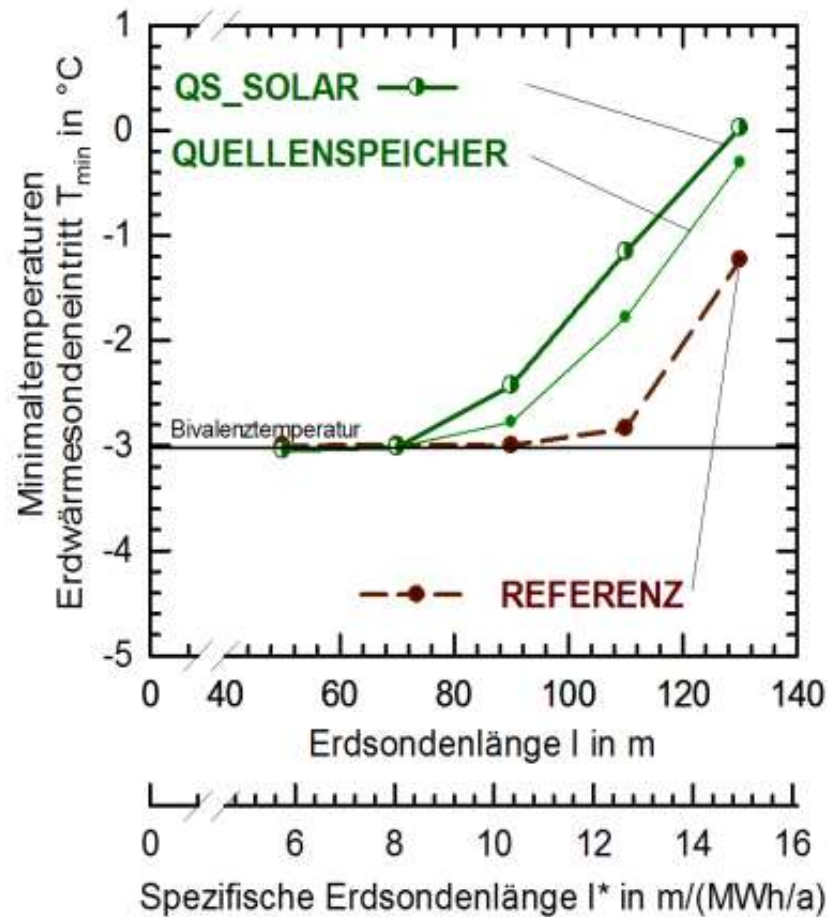


- JAZ Verbesserung durch solare Quellenanhebung klein
- Beste Kombination: Quellenspeicher + Flachkollektor
- Aspekte wie z. B. Stagnationsschutz beachten

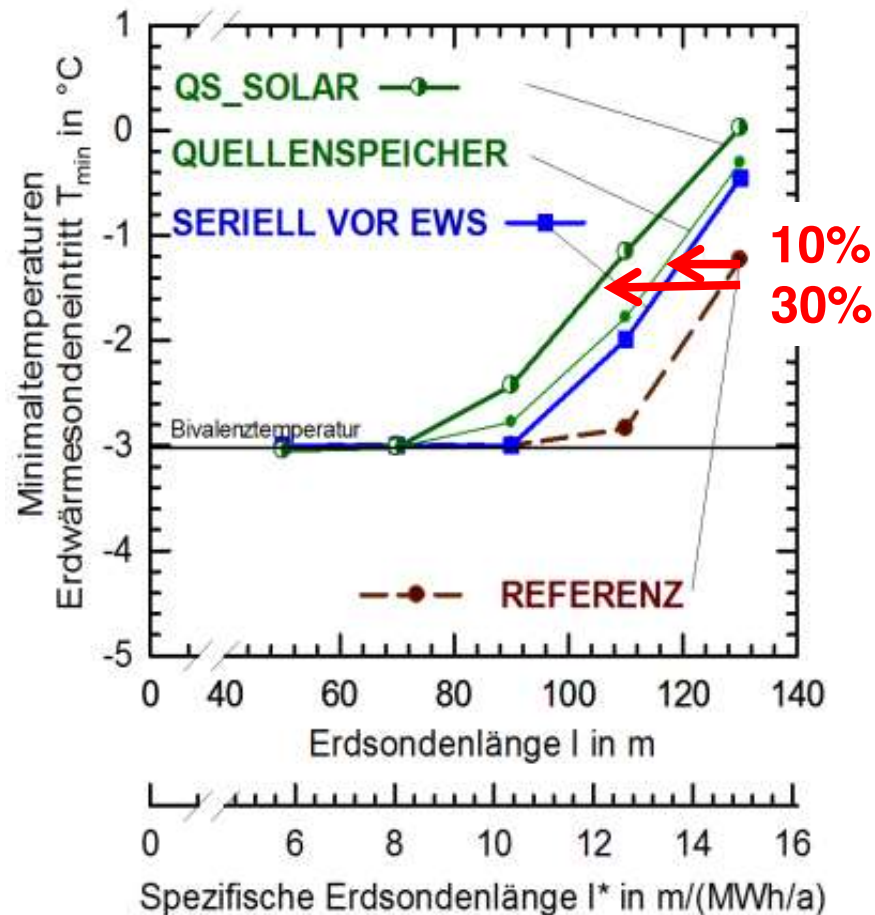


JAZ<sub>SHP</sub> (ohne Regelung)

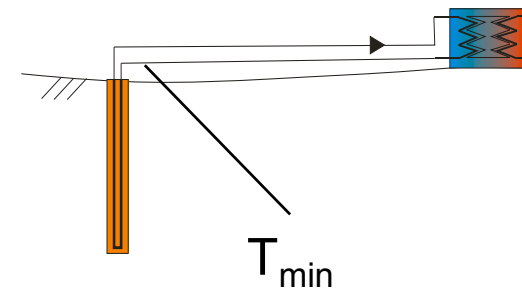
# Systemanalyse Solare Quellenanhebung



# Systemanalyse Solare Quellenanhebung

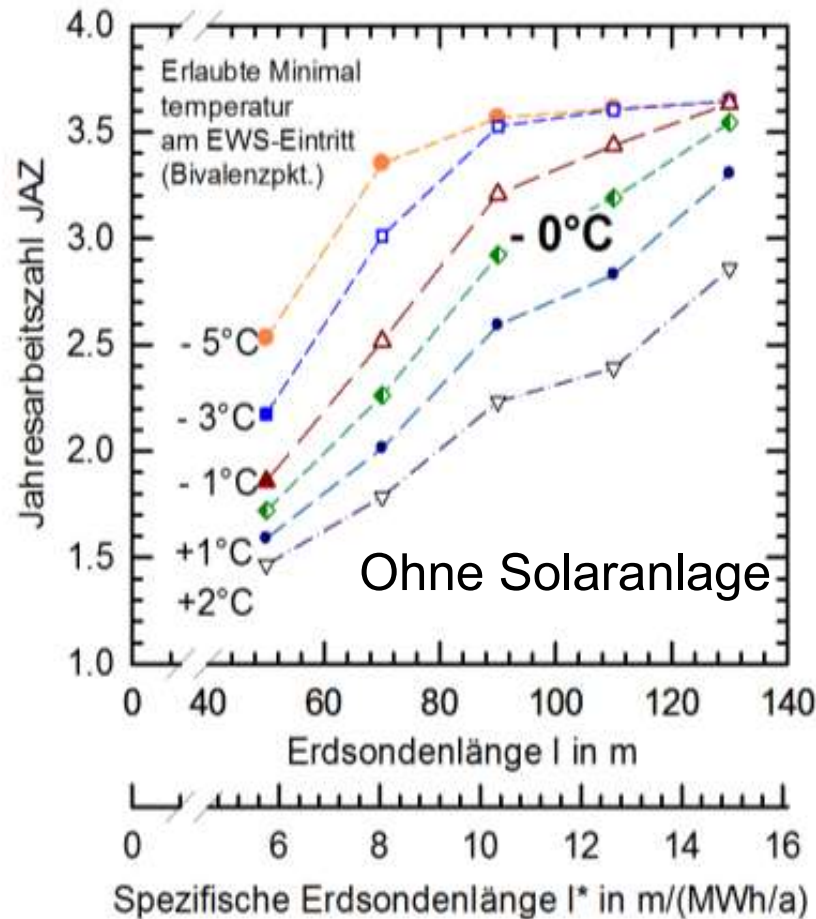


- Minimaltemperatur kann um 1-2 K erhöht werden
- Quellspeicher / Solaranlage: Kürzung EWS ca. 10-15%
- Quellspeicher + Solaranlage: Kürzung EWS ca. 30%

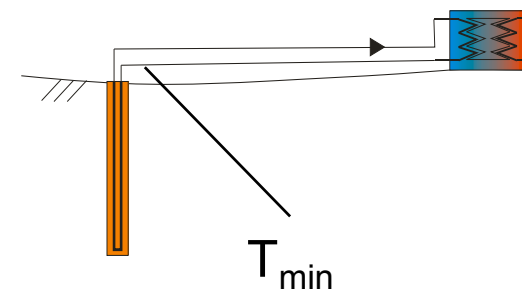




# Systemanalyse Begrenzung Soletemperatur



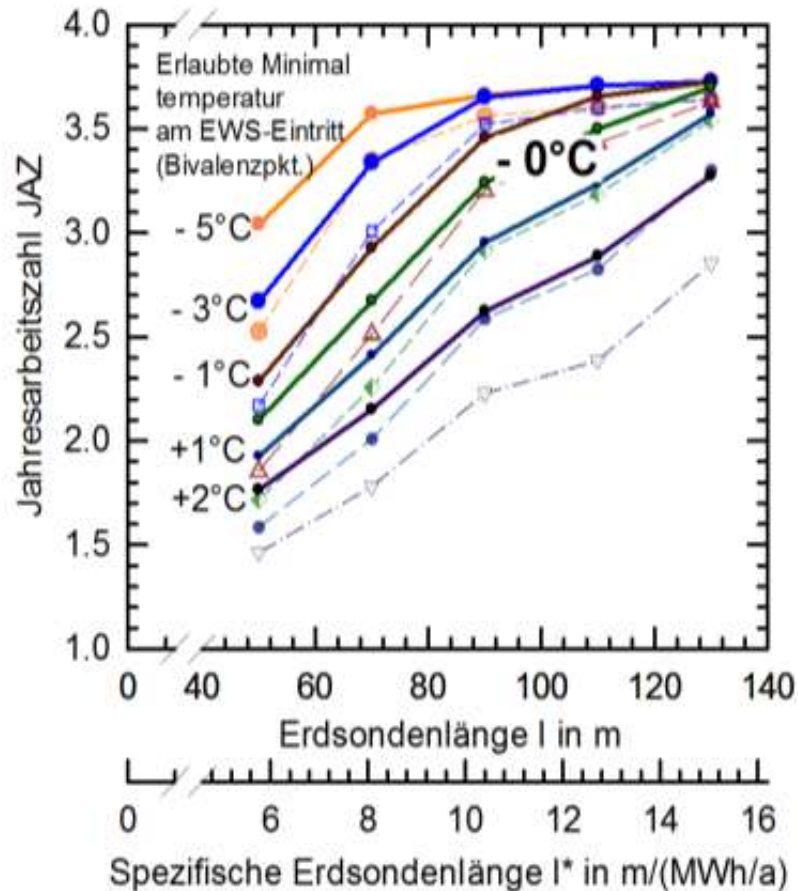
- Heizstab ersetzt Wärmepumpe bei unterschreiten von  $T_{\min}$
- $T_{\min}$  großer Einfluss auf JAZ
- Betrieb mit Wasser erzwingt sehr lange EWS, hier:  $> 150$  m



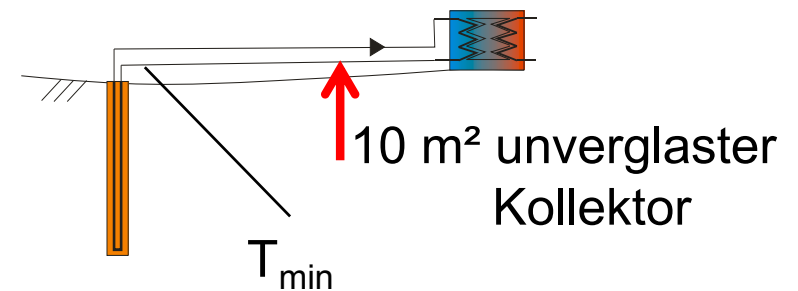
JAZ<sub>SHP</sub> (ohne Regelung)



# Systemanalyse Begrenzung Soletemperatur

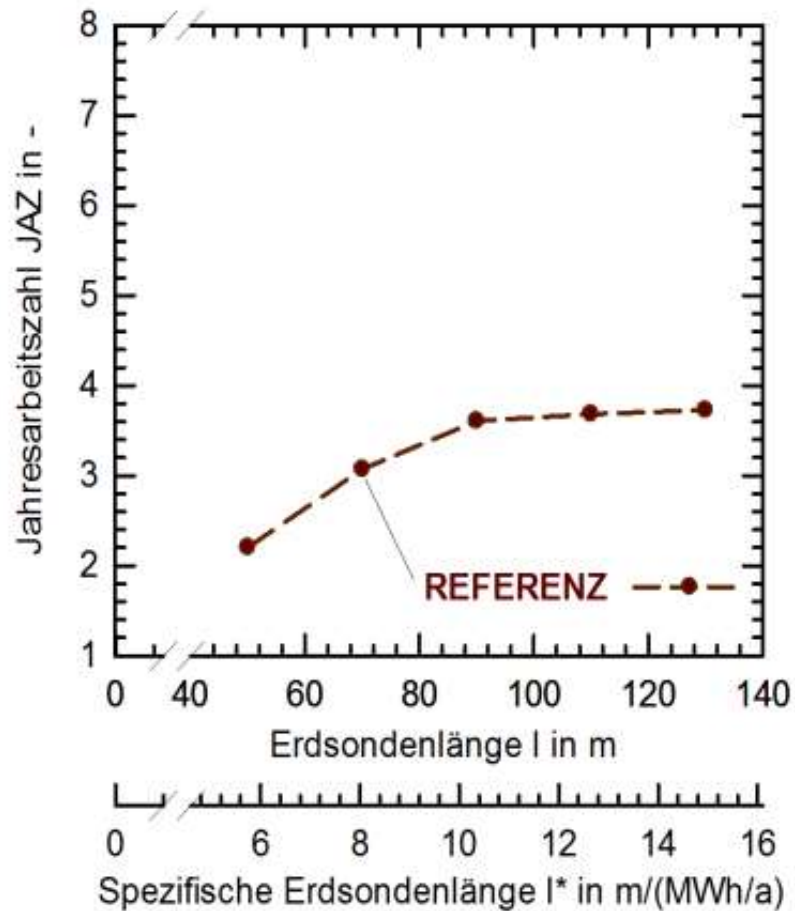


- Solaranlage hebt Quellentemperatur um 1 bis 2 K an
- JAZ Verbesserung zwischen 0.1 und 0.6



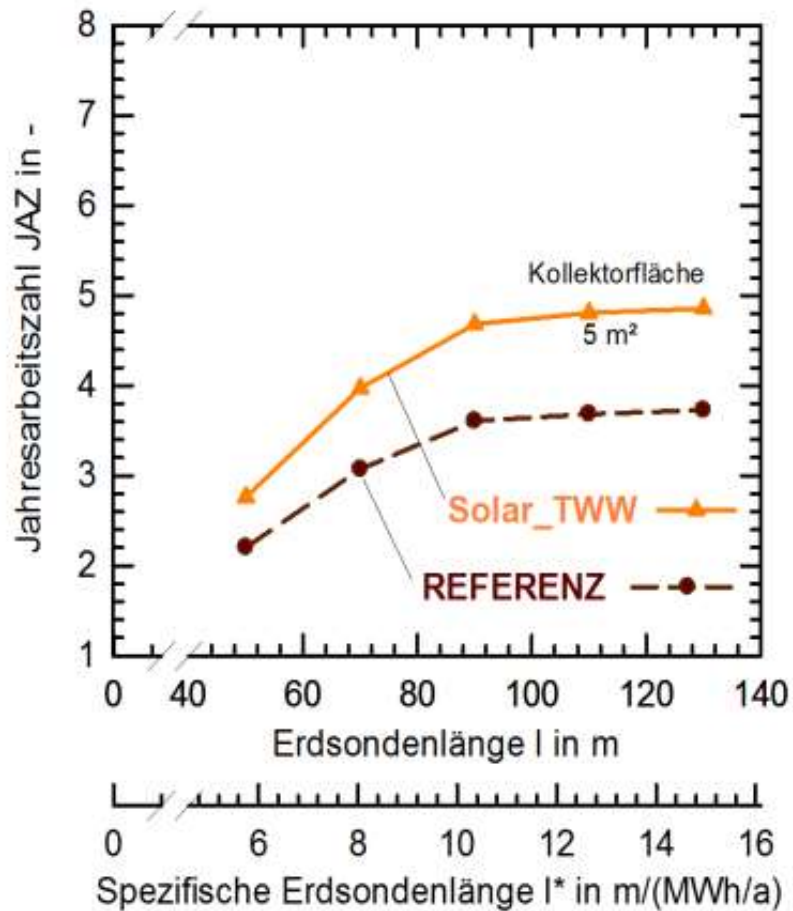
JAZ<sub>SHP</sub> (ohne Regelung)

# Systemanalyse Solareinbindung Senkenseite



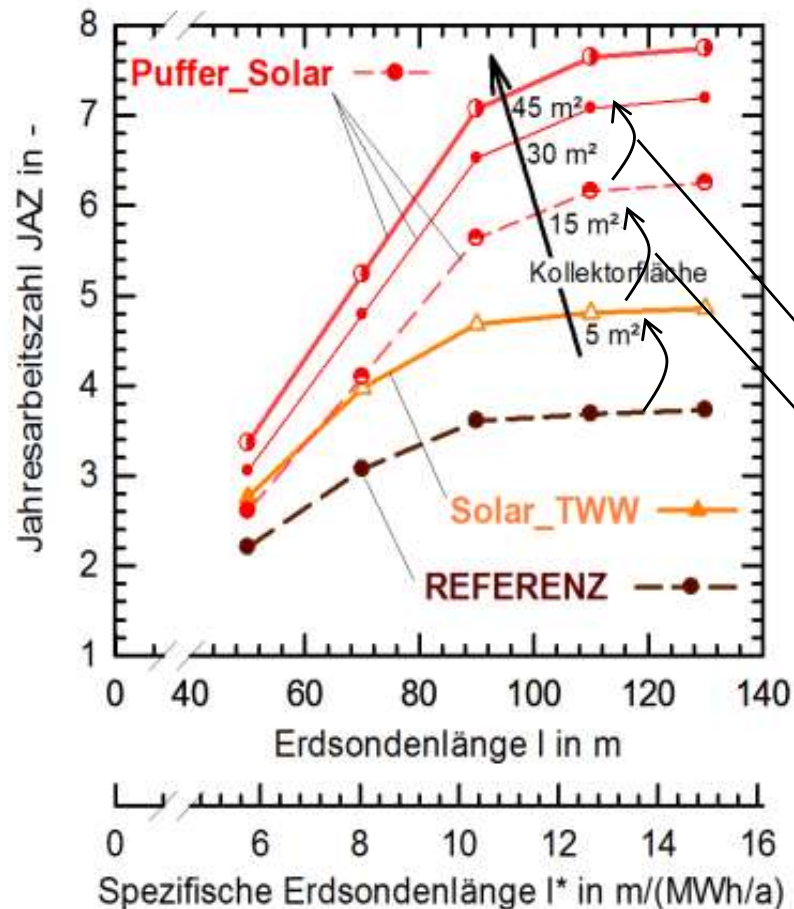
JAZ<sub>SHP</sub> (ohne Regelung)

# Systemanalyse Solareinbindung Senkenseite



JAZ<sub>SHP</sub> (ohne Regelung)

# Systemanalyse Solareinbindung Senkenseite



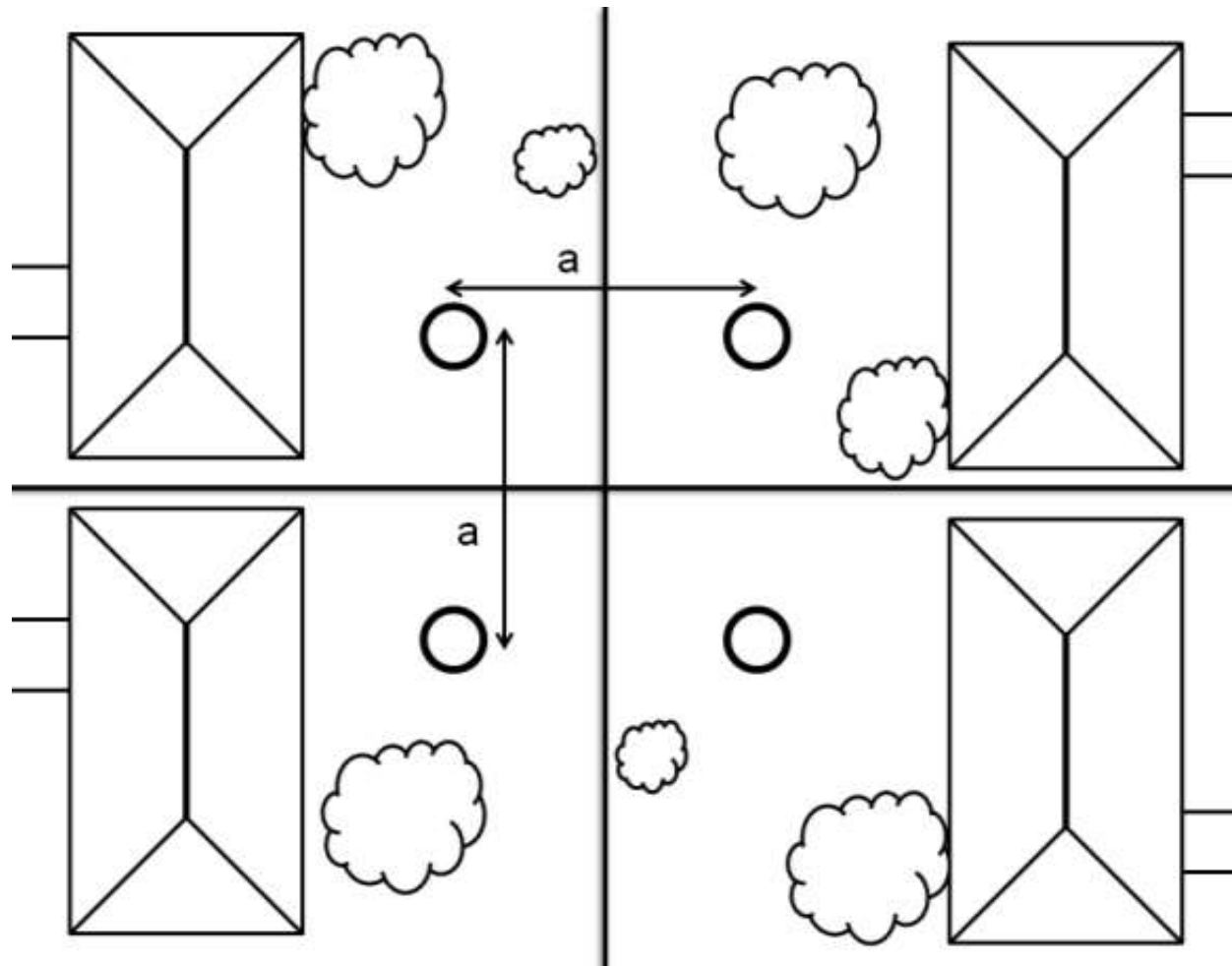
- Solarunterstützung bringt hohe Jahresarbeitszahlen  
TWW  $\rightarrow$  JAZ = 5  
TWW + Heizung  $\rightarrow$  JAZ = 6 bis fast 8
- Jahresarbeitszahl „nur WP“ annähernd konstant
- Elektrische Einsparung pro m<sup>2</sup> Kollektor sinkt mit steigender Kollektorfläche
 

0 $\rightarrow$ 5 m <sup>2</sup>	$\rightarrow$ 100 kWh/m <sup>2</sup> a
5 $\rightarrow$ 15 m <sup>2</sup>	$\rightarrow$ 35 kWh/m <sup>2</sup> a

JAZ<sub>SHP</sub> (ohne Regelung)

# Systemanalyse

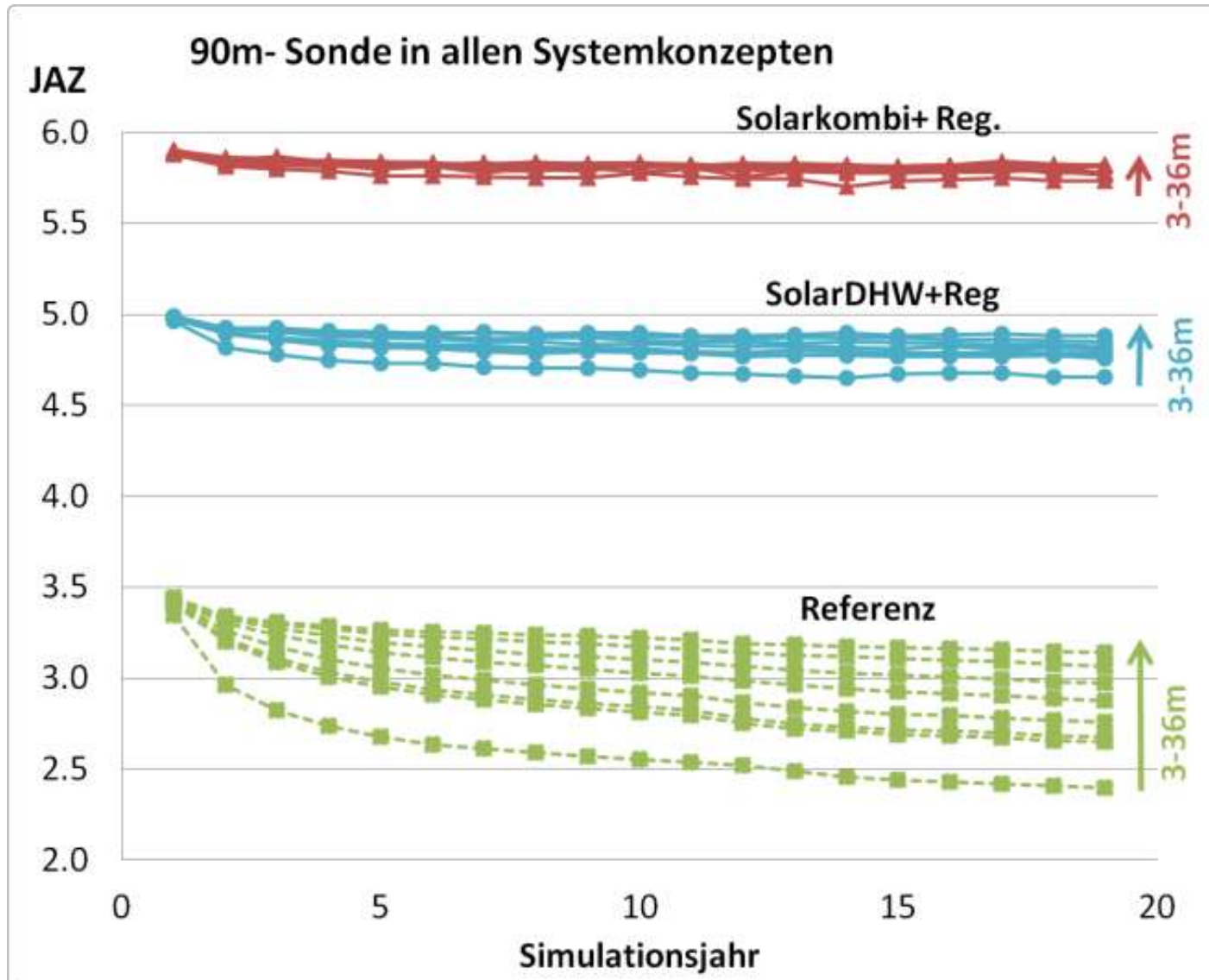
## Sondenfeld und -längen



- aktueller Mindestabstand bei Siedlungen  $a = 10 \text{ m}$
- Variation Abstände: 3, 5, 6, 8, 10, 15, 20, 36 m
- Sondenlängen: 70, 90, 110, 130 m



# Systemanalyse Sondenfeld und -längen



- Geringe Sondenabstände verursachen starke Langzeitauskühl-effekte
- Langzeiteffekte mit Solareinbindung deutlich geringer
- Je geringer der Sondenabstand, desto positiver der Solareinfluss



# Systemanalyse

## Fazit



- Effizienzgewinne durch solare Quellenanhebung bei Standardauslegung gering, bei unterdimensionierten Erdsonden signifikant – Systeme werden robuster
- Bei Anlagen für MFH oder Nicht-Wohngebäude sind größere Effekte zu erwarten
- Höhere Minimaltemperatur durch solare Quellenanhebung ermöglicht EWS Kürzung bis zu 30 %
- Solare TWW-Bereitung erlaubt JAZ-Werte um 5
- Zusätzliche solare Heizungsunterstützung erlaubt JAZ-Werte über 6
- Auskühleffekte durch gegenseitige Beeinflussung in Wohnsiedlungen können durch Solareinbindung gemindert bzw. vermieden werden



- Solar- und Geothermie ergänzen sich ideal bei Vorrang direkter Solarenergienutzung
- Solare Erdreichregeneration bei größeren Objekten oder Fehlplanungen sinnvoll
- Integrierte Planung und Entwicklung von Konzepten ist notwendig

Vielen Dank  
für Ihre Aufmerksamkeit!

