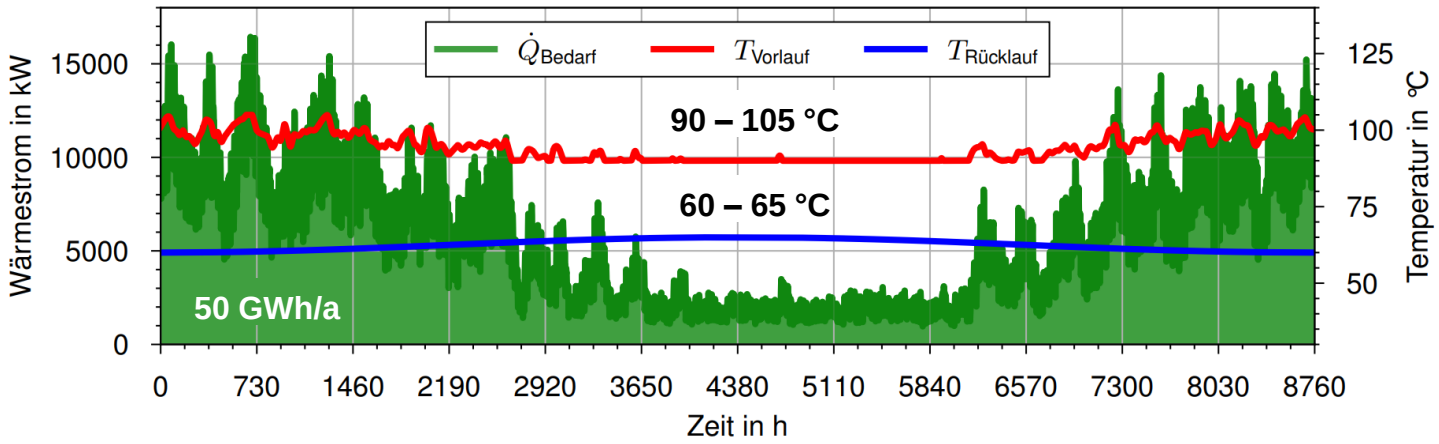
WERKZEUGE UND KONZEPTSTUDIEN FÜR INNOVATIVE VERSORGUNGSLÖSUNGEN MIT PARABOLRINNEN-KOLLEKTOREN

Matthias Loevenich, Dirk Krüger, Navina Konz, Tobias Hirsch

DLR Institut für Solarforschung, Linder Höhe, 51147 Köln, *matthias.loevenich@dlr.de

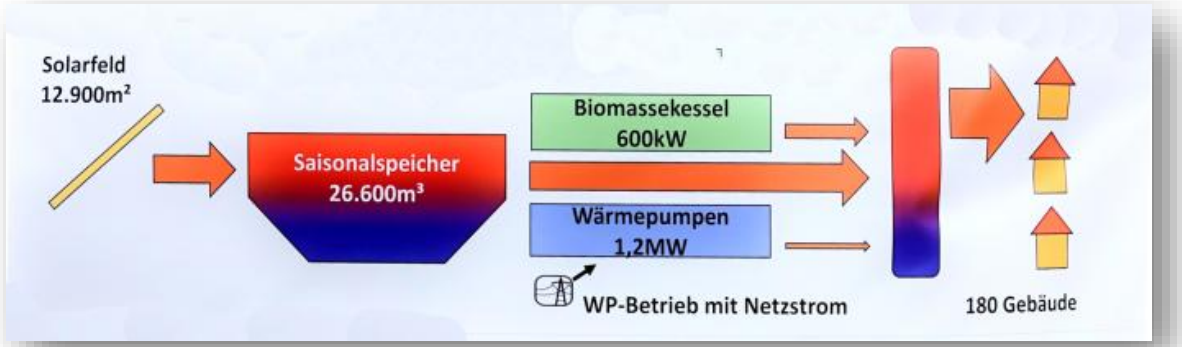
Solare Versorgungslösungen für Fernwärmenetze

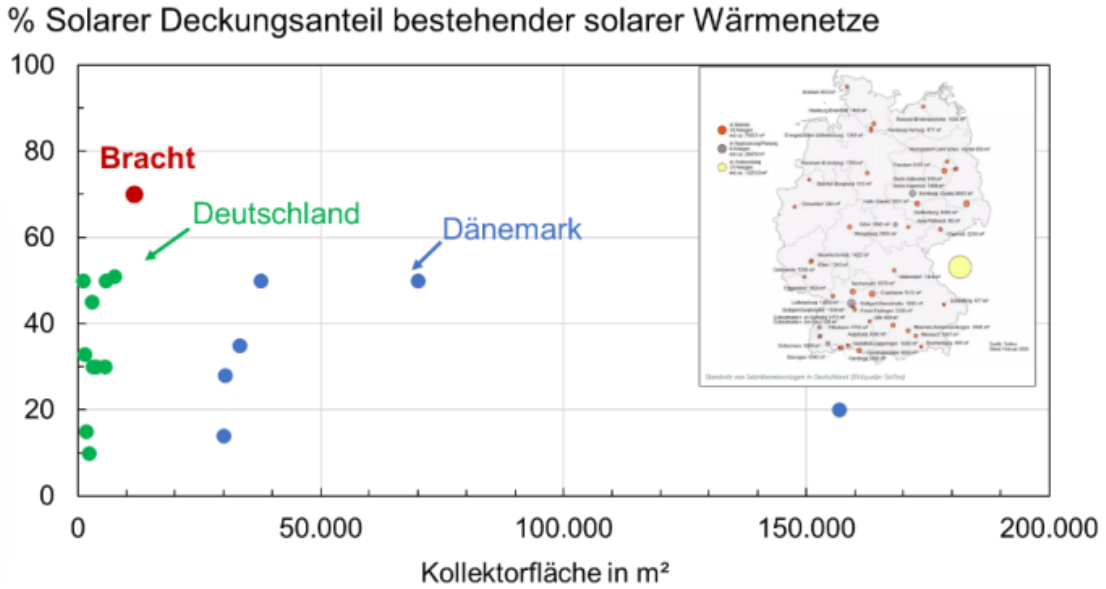


Saisonale Schwankungen gegensätzlich zur verfügbaren **Solarstrahlung**

Quelle: ProSolNetz (1)

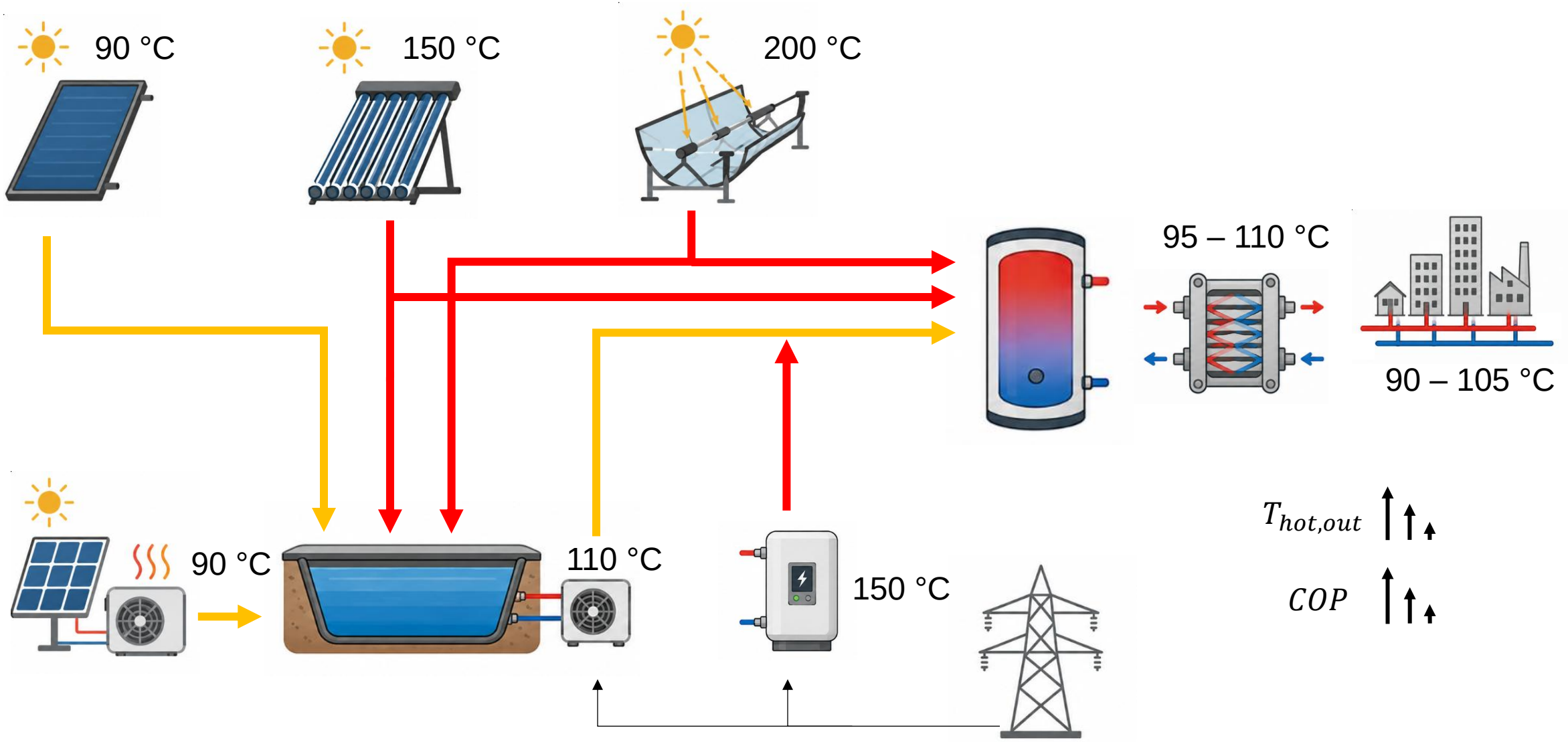
Bracht: Kombination aus Flachkollektoren, Erbeckenspeicher, Wärmepumpen, Biomassekessel und Kurzzeitspeicher





Quelle: Solarwärme Bracht (2)

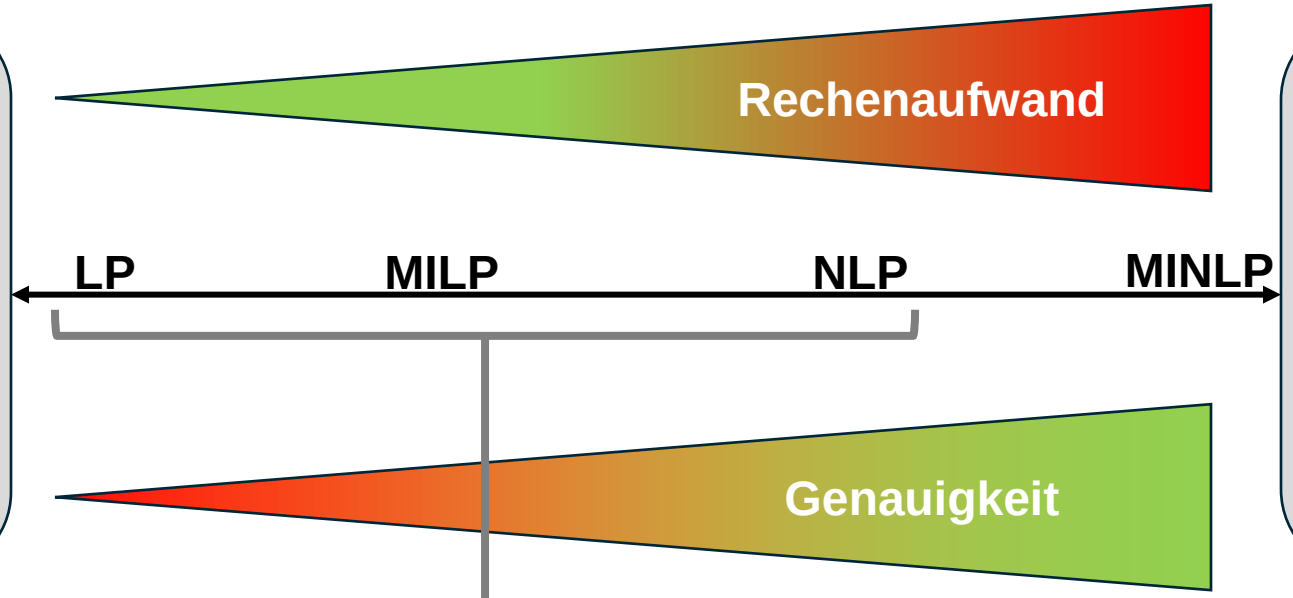
Welche Vorteile bringt der Einsatz von Parabolrinnen?



Icons erzeugt mit ChatGPT https://chatgpt.com/

Techno-Ökonomisch Optimierung
Ein Trade-Off zwischen Rechenaufwand und Genauigkeit

- Konstante Wirkungsgrade
- Quasi Statisches Verhalten
- Energiebasierte Modellierung



- Nichtlineare Modelle
- Volldynamisches Verhalten
- Massenstrom-basierte Modellierung

Quelle: YACOP (3, 4)



LP: Linear Programming
MILP: Mixed Integer Linear Programming
NLP: Nonlinear Programming
MINLP: Mixed Integer Nonlinear Programming

Das Optimierungswerkzeug YACOP

- **Minimierung der Wärmegestehungskosten** unter Berücksichtigung einer **optimalen Auslegung** und dem **optimalen Betrieb**
- Betriebsoptimierung über ein **repräsentatives Jahr** mit **stündlicher Auflösung**
  - **Optimaler Dispatch** von verfügbarer **Solarenergie,** thermischen **Speichern** und variablen **Strompreisen** berücksichtigt
- Verwendung **nichtlinearer Kostenkurven** und **Berücksichtigung von Temperatur- und Lastabhängigkeiten** in Komponentenmodellen
  - **Quasi-dynamische Modellierung** auf Basis von Rampenbedingungen
  - Berücksichtigung von **Temperaturschichtungen** in **thermischen Speichern**
- Speziell entwickeltes **Lösungsverfahren** auf Basis von **genetischen Algorithmen** und **gradientenbasierten Lösern** je nach Detailgrad und resultierender Problemklasse

YACOP

Yield Assessment Calculation and Optimization Program

Quelle: YACOP (3, 4)

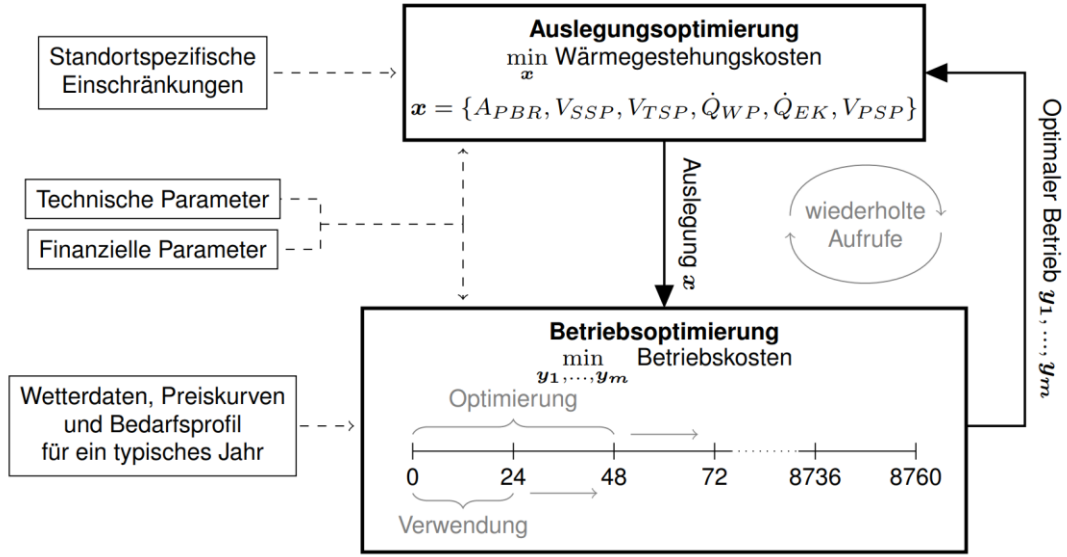
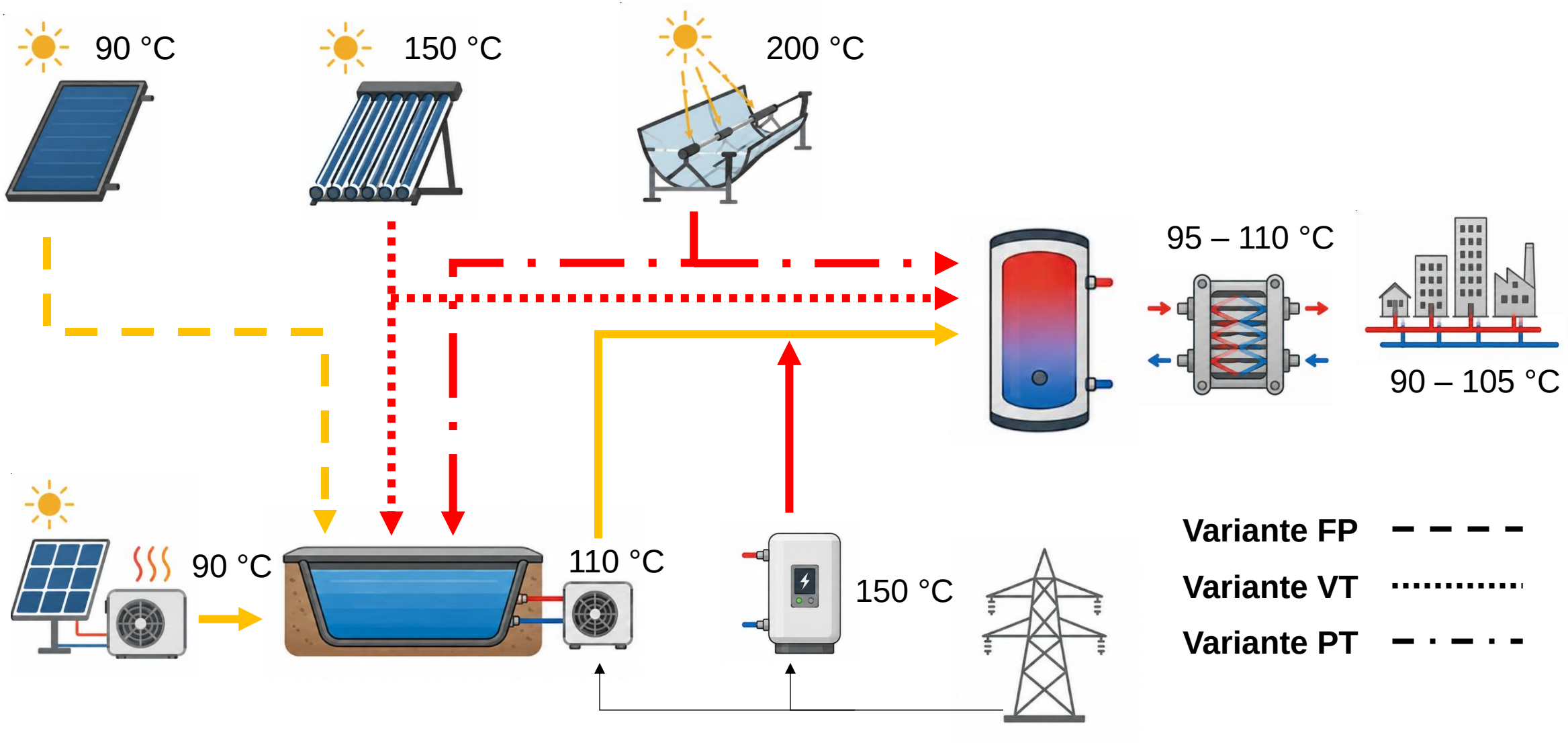


Schaubild des zweistufigen Optimierungsalgorithmus

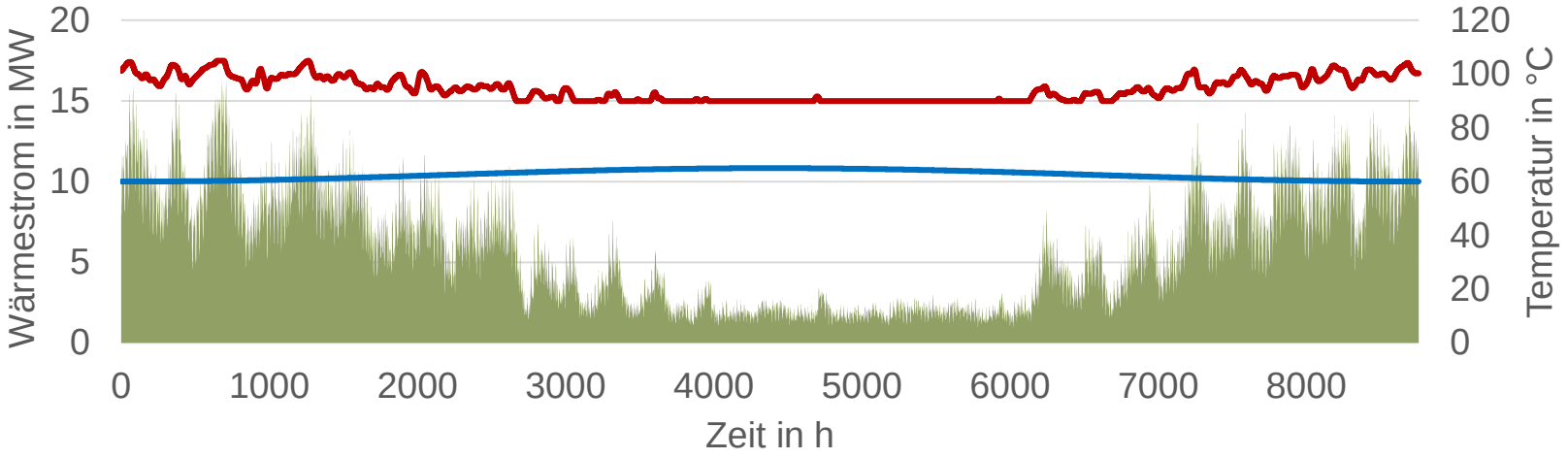
Technologievergleich: Parabolrinnen, Vakuum-Röhren oder Flachkollektoren?



Icons erzeugt mit ChatGPT https://chatgpt.com/

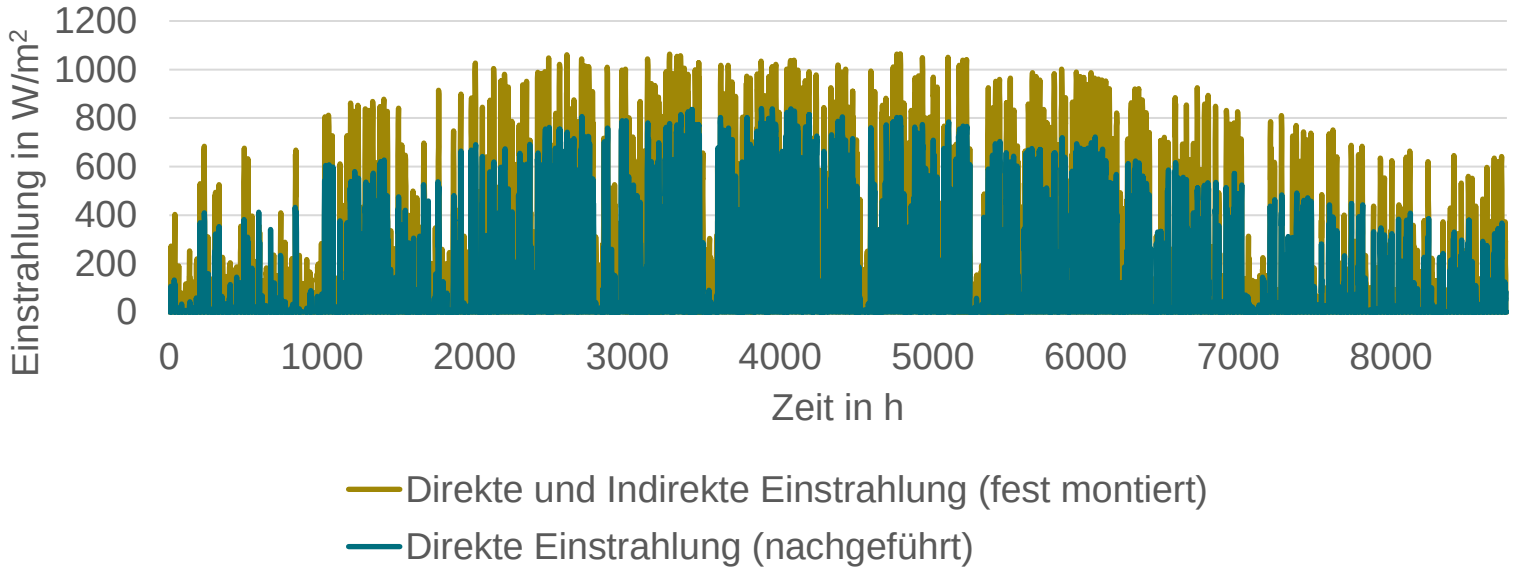
Bedarfsprofil und Einstrahlungsdaten

100 % Bedarfs-deckung



Quelle: ProSolNetz (1)

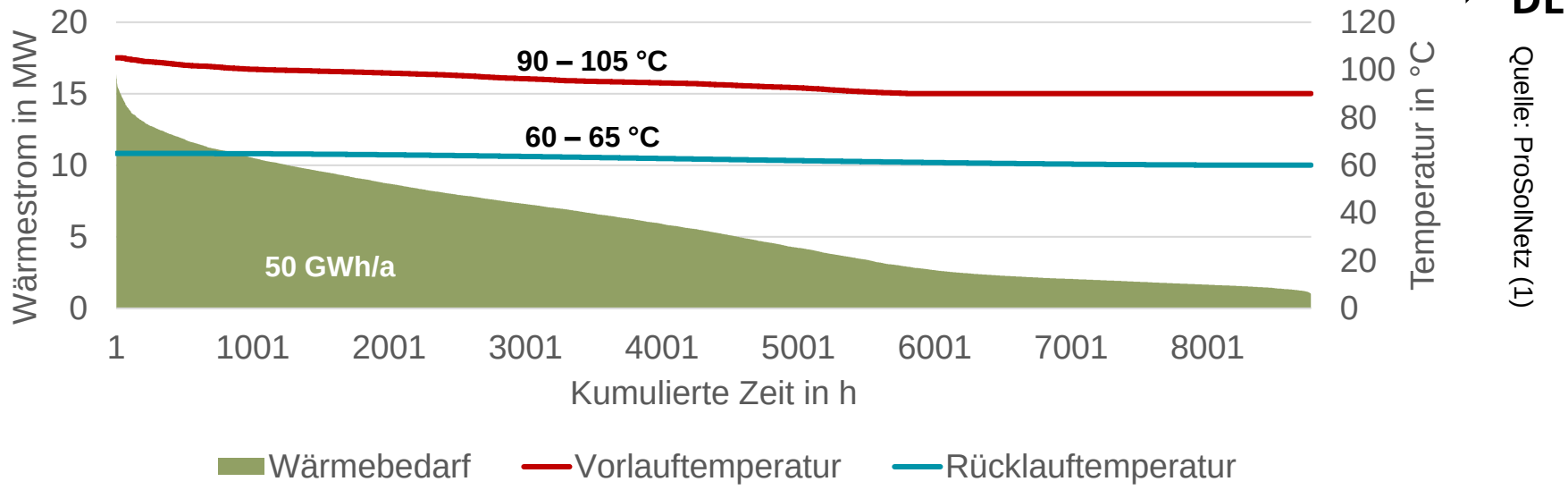
Solarstrahlung



Quelle: PVGIS (5)

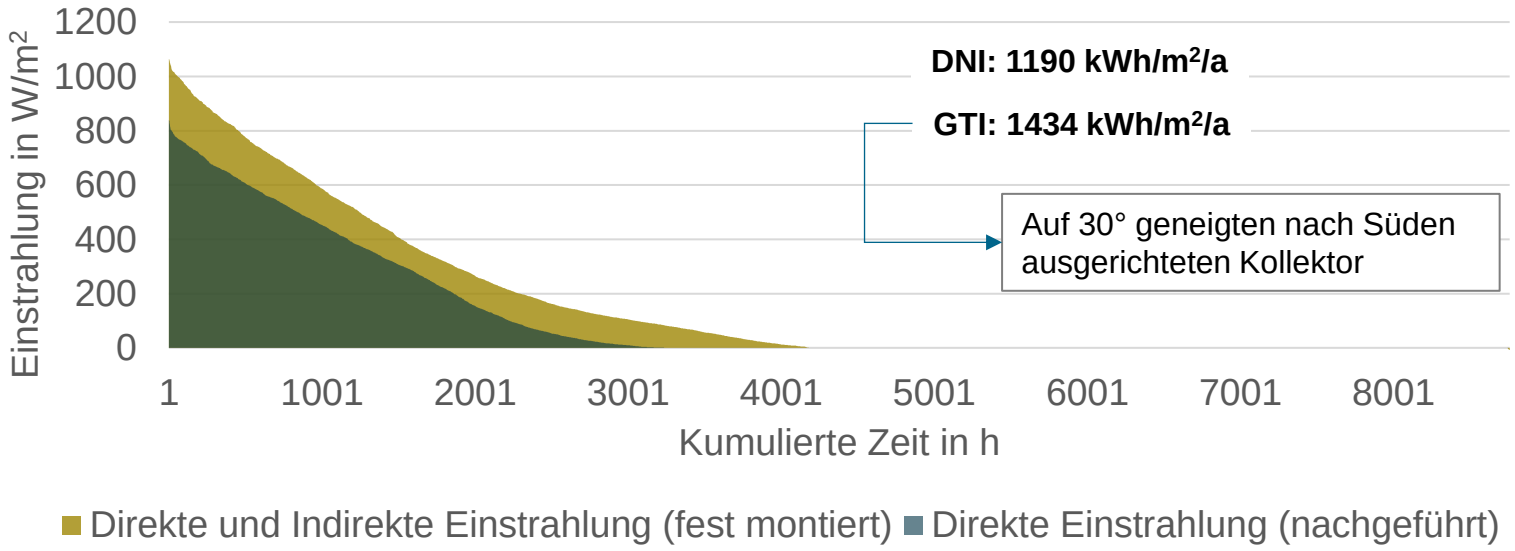
Bedarfsprofil und Einstrahlungsdaten

100 % Bedarfs-deckung



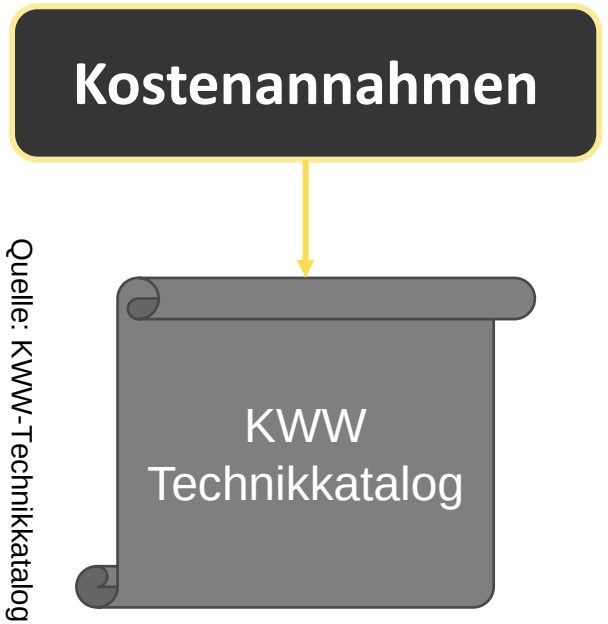
Quelle: ProSolNetz (1)

Solarstrahlung

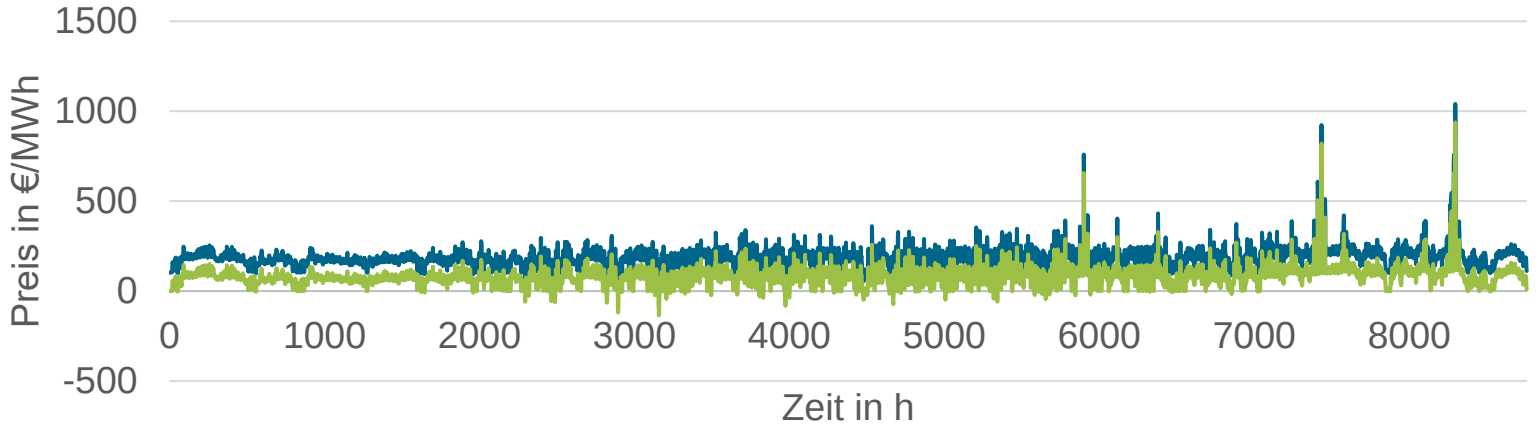


Quelle: PVGIS (5)

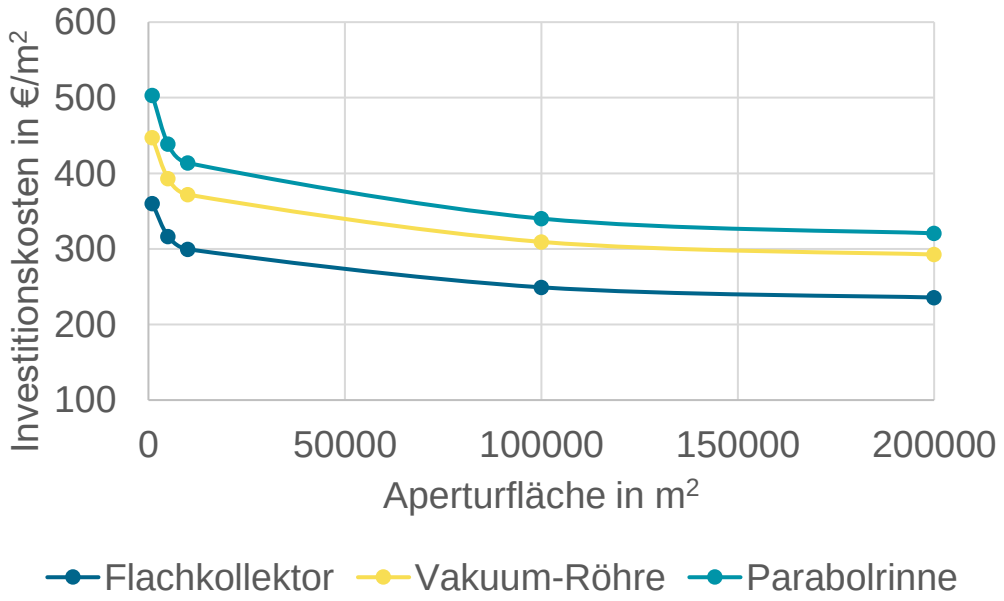
Kostenannahmen und Förderrandbedingungen



Quelle: KWW-Technikkatalog (7)



Quelle: ENTSO-E (6)



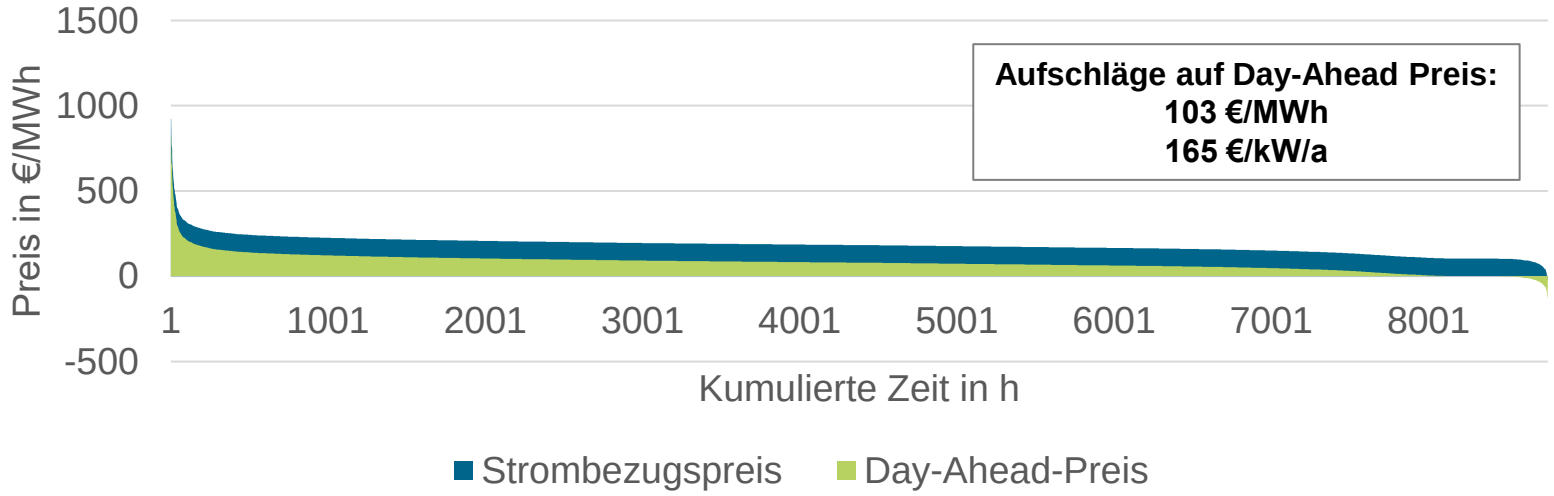
Quelle: SHIP-Studie Fraunhofer ISE (8)

Kostenannahmen und Förderrandbedingungen

Kostenannahmen

KWW Technikkatalog

Quelle: KWW-Technikkatalog (7)



Quelle: ENTSO-E (6)

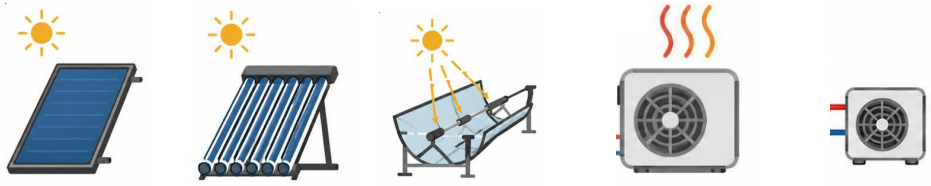
Icons erzeugt mit ChatGPT https://chatgpt.com/

BEW Förderung

Investition:

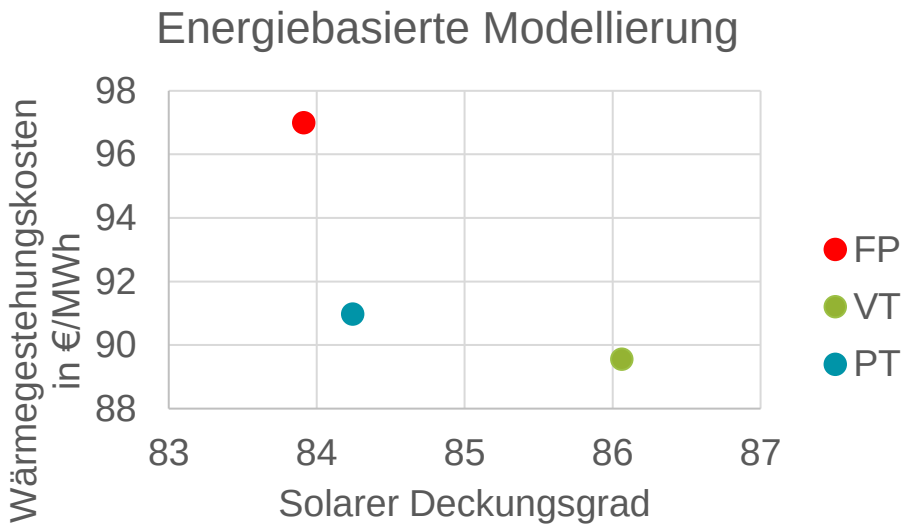


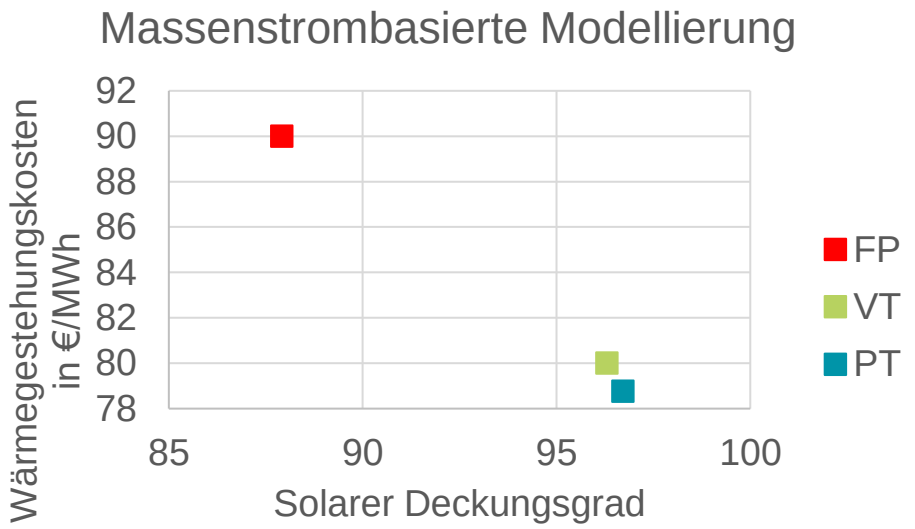
Betrieb:



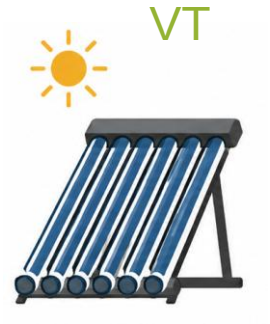
Quelle: BEW Förderung (9)

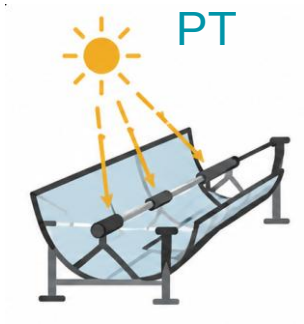
Wärmegestehungskosten des Gesamtsystems mit unterschiedlichen solaren Erzeugern



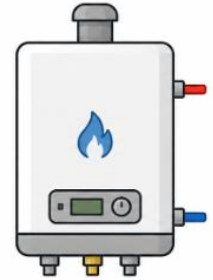






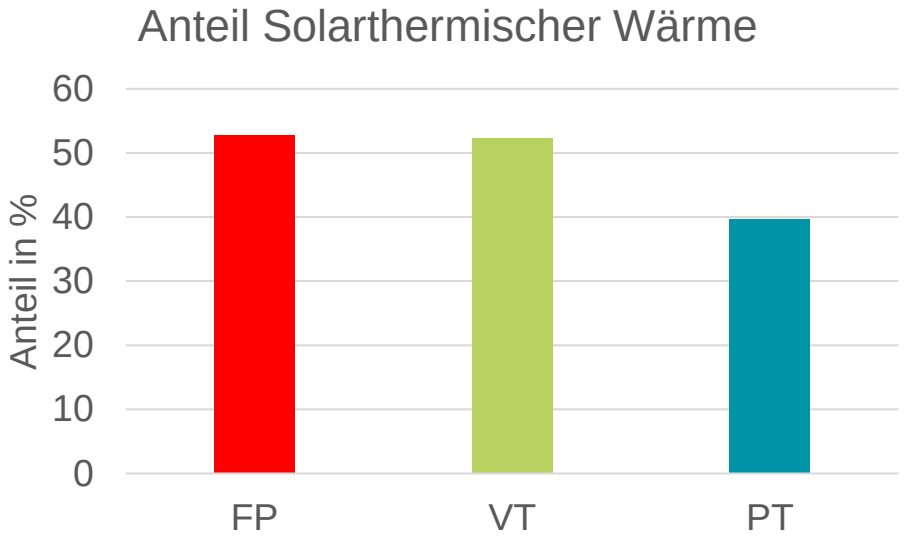


Gaskessel:
137 €/MWh

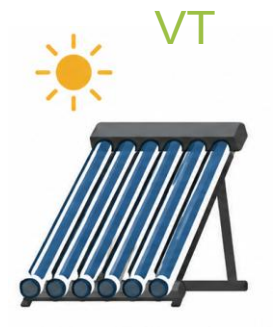


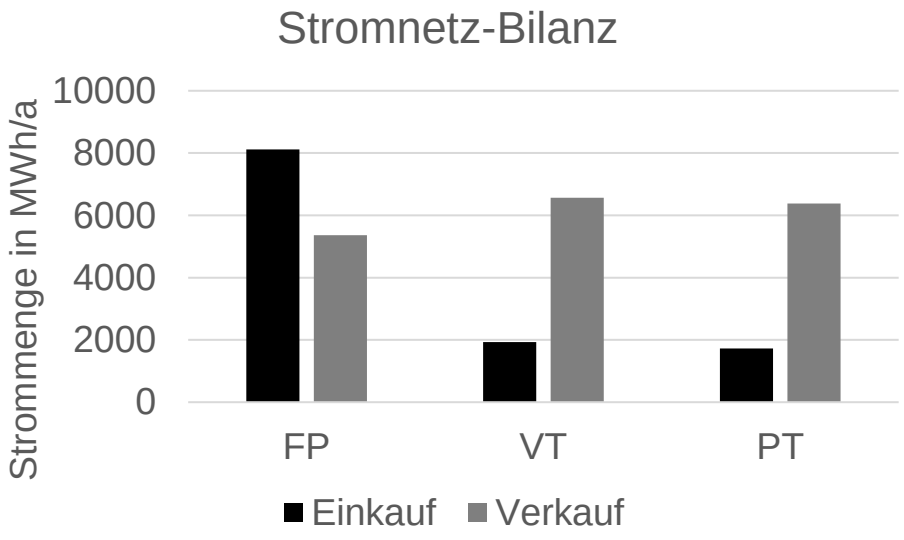
Quellen: KWW-Technikkatalog (7), Eurostat Gaspreise (10)

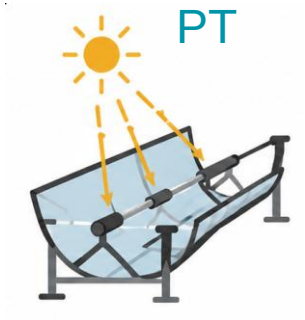
Flächenbedarfe und Anteile Solarer Wärme

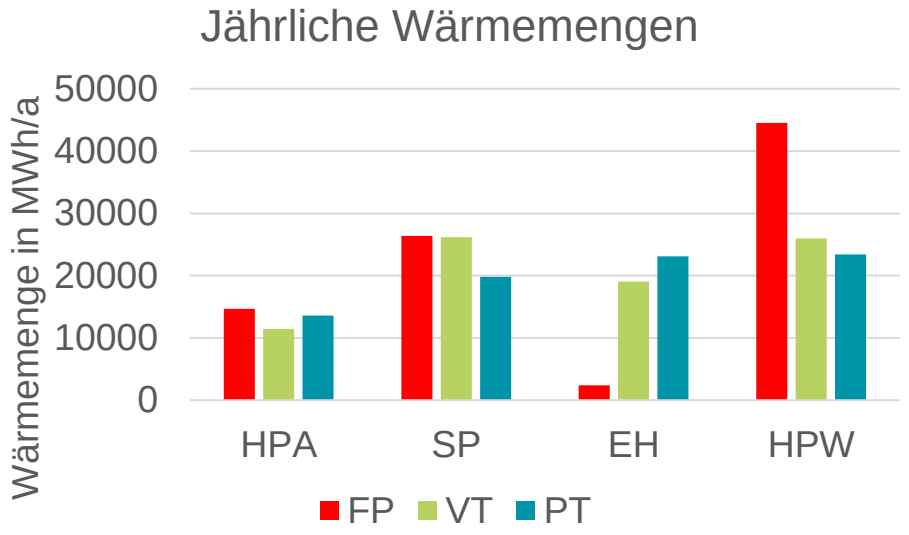


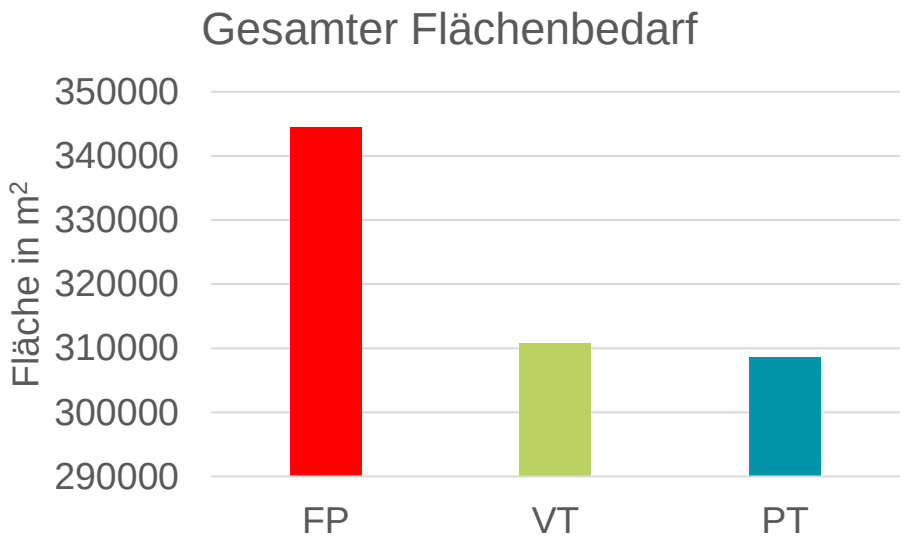












Zusammenfassung

Solare Versorgungslösungen mit **Saisonalspeicher** für Fernwärmenetze bieten **große Unabhängigkeit** durch **hohe solare Deckungsgrade**

Unter Berücksichtigung der **BEW-Förderung** sind alle **solaren Versorgungslösungen günstiger als** eine **Gaskessel** Lösung

Parabolrinnenkollektoren können durch **höhere Austrittstemperaturen** zu einer Erhöhung des COP und damit einer **Senkung des Strombedarfs der Wärmepumpen** führen, was insbesondere für **Wärmenetze mit hohen Vorlauftemperaturen** ein **Kostensenkungspotential** bietet

Eine **vereinfachte energiebasierte Modellierung ohne** Berücksichtigung der **Temperaturniveaus** führt zu einer **Unterschätzung der Speicherausnutzung** und **einer Vernachlässigung** der **Temperatur-Booster Effekte** der Parabolrinne, wodurch die **Wärmegestehungskosten überschätzt** werden



essentially,
all models are wrong,
but some are useful

George E. P. Box

Matthias Loevenich
DLR Institut für Solarforschung
matthias.loevenich@dlr.de

https://freshspectrum.com/simulation/

VIELEN DANK FÜR DIE AUFMERKSAMKEIT!

Quellen

(1) Projekt ProSolNetz: https://www.solarwirtschaft.de/unsere-themen/csp/prosolnetz/

(2) Solarwärme Bracht: https://www.solarwaerme-bracht.de/

(3) Loevenich, Matthias und Cordoba Lopez, Diego Andres und Dersch, Jürgen und Hirsch, Tobias (2024) *YACOP - A Fully Flexible Modeling Environment for the Techno-Economic Assessment of Energy Systems*. Kölner Sonnenkolloquium 2024, 2024-06-26, Jülich, Deutschland. https://elib.dlr.de/206463/

(4) Loevenich, Matthias und Bähr, Martin und Kansara, Rushit Amishbhai und Dersch, Jürgen und Pitz-Paal, Robert (2025) Investigation of synergies between solar energy and high-temperature heat pumps for process heat applications in Germany using nonlinear techno-economic optimization. Energy Conversion and Management. Elsevier. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2025.120805

(5) European Commission, Joint Research Centre, “PVGIS — Photovoltaic Geographical Information System.” https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/

(6) ENTSO-E, “ENTSO-E Transparency Platform — Day-ahead prices,” European Network of Transmission System Operators for Electricity. https://transparency.entsoe.eu/

(7) KWW Technikkatalog: https://www.kww-halle.de/service/infothek/detail/kww-technikkatalog-waermeplanung-begleitdokument

(8) SHIP Studie Fraunhofer ISE: https://www.ise.fraunhofer.de/de/forschungsprojekte/ship.html

(9) BEW Förderung https://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Waermenetze/Effiziente_Waermenetze/effiziente_waermenetze_node.html

(10) Eurostat, “Natural gas price statistics.” https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Natural_gas_price_statistics