

Karin Rühling  
Professur für Gebäudeenergie-technik und Wärmeversorgung

# Solarthermie: Ein Baustein der Wärmewende

Unter Nutzung von Teilergebnissen aus den Projekten SOLSTAND, DELFIN, Zellflex und HYDRA RoS

Forum Energie | Clausthal-Zellerfeld | Online-Vortrag 18. September 2024

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Inhalte

- 1. Einordnung und Kollektorarten**
- 2. Solarthermie + Wärmepumpe + Speicher**
- 3. Herausforderung Grüne Fernwärme ...**
- 4. Aktuelles Beispiel und Zukunftsvision**

**Solarthermie und Biomasse als Dream-Team versteht sich von selbst!**

# Einordnung und Kollektorarten im Systemkontext

# Definition Solarthermie

Unter **SOLARTHERMIE** versteht man die Nutzung der **thermischen Energie**, die durch **Absorption** der **Solarstrahlung** beim Auftreffen auf feste Körper entsteht.

Man unterscheidet

- **PASSIVE** Nutzung durch entsprechende **architektonische und konstruktive Gestaltung** des Baukörpers
- **AKTIVE** Nutzung über speziell gestaltete **Absorberflächen**, von denen die thermische Energie mittels eines **Wärmeträgers** abtransportiert und direkt oder indirekt über Speicher genutzt wird.

→ ff nur aktive Solarthermie



Bildquelle:  
<https://www.obj.de/gewaechshaeuser/julia-na-gewaechshaus-premium-8-8-m-anthrazit/p/2976165>



Bildquelle: Vaillant

# Möglichkeiten der aktiven Solarenergienutzung



bezogen auf flächenspezifische Strahlungsleistung bzw. -energie

Photovoltaik  
Nutzung elektrischer Energie  
Wirkungsgrad bis ca. 25 %  
Nutzungsgrad bis 20 %

Flächenfaktor  
PV/ST = 2,3 ... 2,8

Solarthermie  
Nutzung thermischer Energie  
Wirkungsgrad bis ca. 85 %  
Nutzungsgrad bis ca. 65 %

Vergleich:  
Biomasse  
Nutzungsgrad  
0,05...0,3 %



Quelle: SunStrom



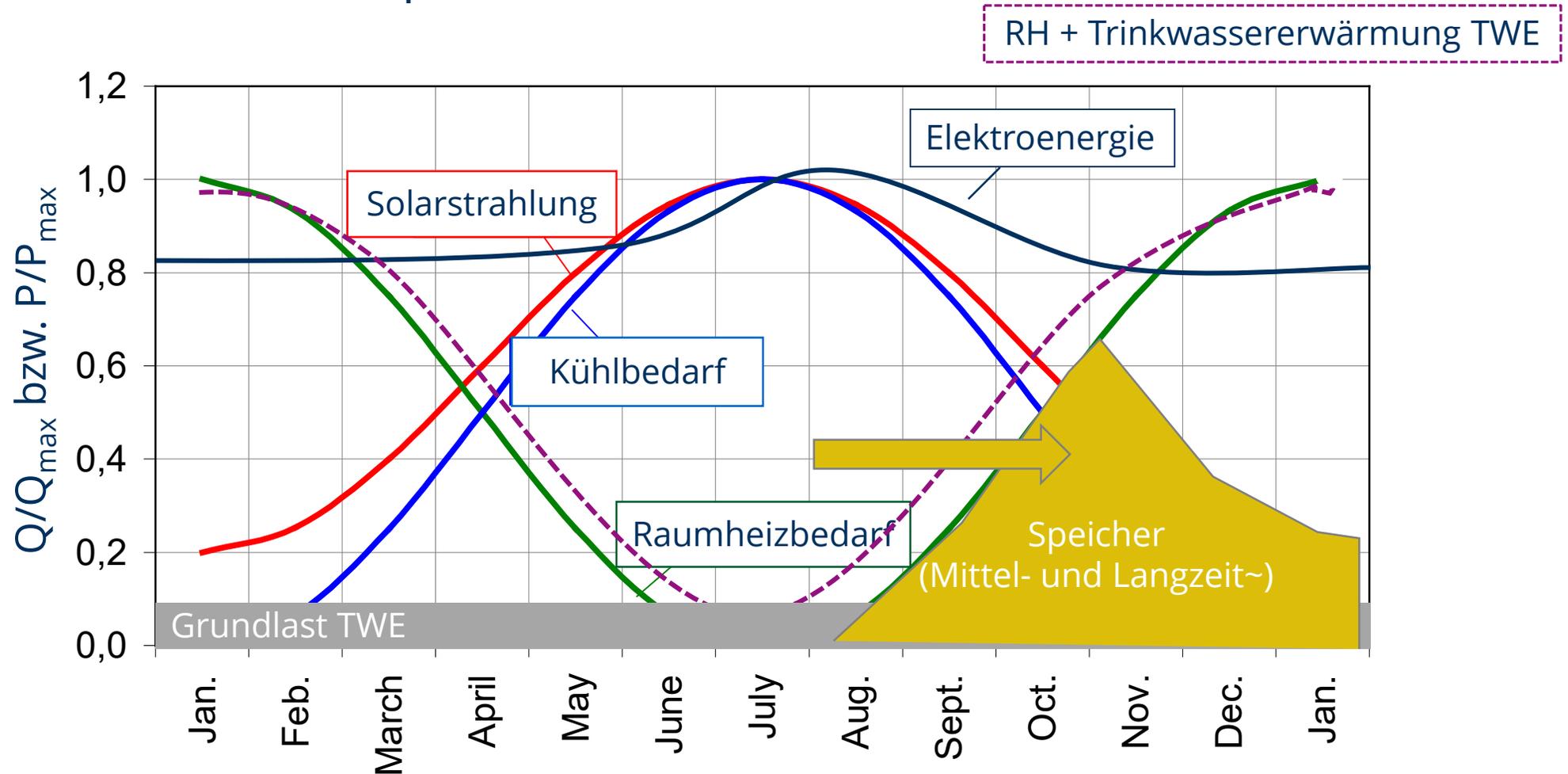
Quelle: KBB Kollektorbau Berlin



Quelle: <https://www.bba-online.de/fachthemen/energie/5-in-1-system-solar-luftkollektor-dachdaemmsystem/>

# Solares Heizen und Kühlen - Einstrahlung und Bedarf

Beispiel nördliche Hemisphäre



Nachteil trifft auch auf viele Abwärmequellen zu (Flüsse/Seen, Abwasser, Biogasanlagen, Server etc.)!!!

# Die drei grundsätzlichen Arten im Systemkontext



## Flüssigkeitskollektoren

- Vakuumröhren~
- Flach~
- Konzentrierende~
  
- **T:** bis 120 bzw. 400 °C
- **Wärmeträgermedien:** Wasser, Wasser-Glykol-Gemische, Thermoöle
  
- **Ziele:** Bereitstellung von thermischer Energie für Raumheizung, Trinkwassererwärmung, Prozess- und Fernwärme sowie Regeneration Erdreich für WP-Anwendungen



## Photothermische Kollektoren PVT

- Kombination PV und ST
  
- **T:** bis 40 °C
- **Wärmeträgermedium:** Wasser-Glykol-Gemische
- Luft
  
- **Ziele:** vornehmlich Kühlung PV zur Steigerung des elektr. Wirkungsgrades sowie zunehmend als Wärmequelle für Wärmepumpen



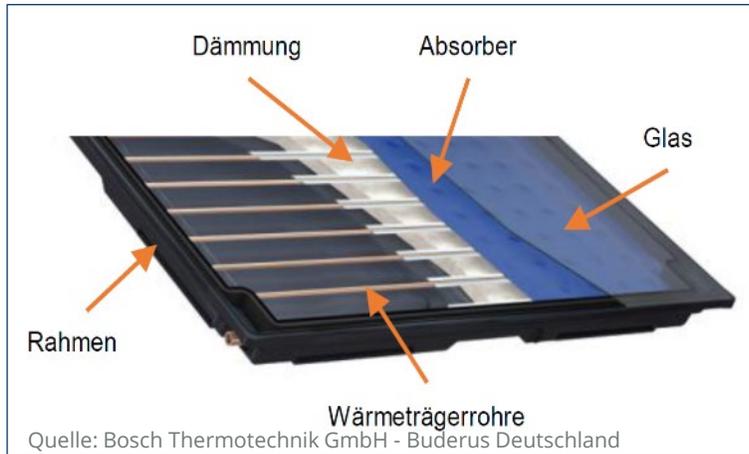
## Solare Luft-Sole-Kollektoren

- Unabgedeckte Kollektoren
- Auch als T-Teil der PVT!
  
- **T:** im breiten Band von -15 bis ca. 70 °C
- **Wärmeträgermedium:** Wasser-Glykol-Gemische
  
- **Ziel:** Wärmequelle für Wärmepumpen  
Teilweise direkte Kühlung möglich; mit reversiblen Wärmepumpen auch bei hohen Außentemperaturen

Fotos: @ Ritter Energie; @ Consolar; @ Viessmann

# Beispiele für Flüssigkeitskollektoren

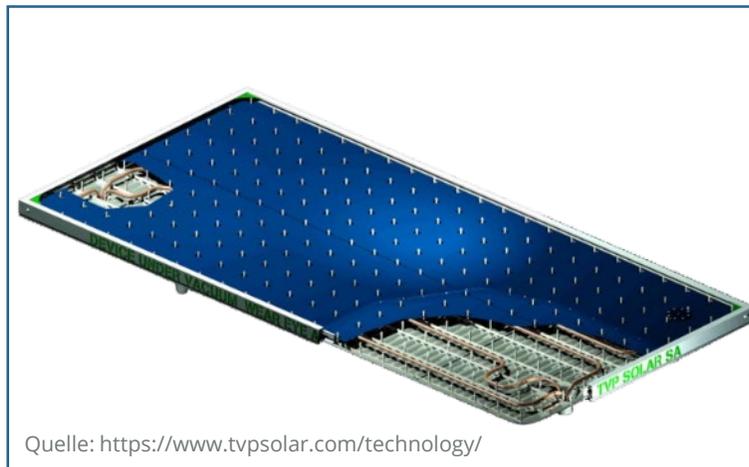
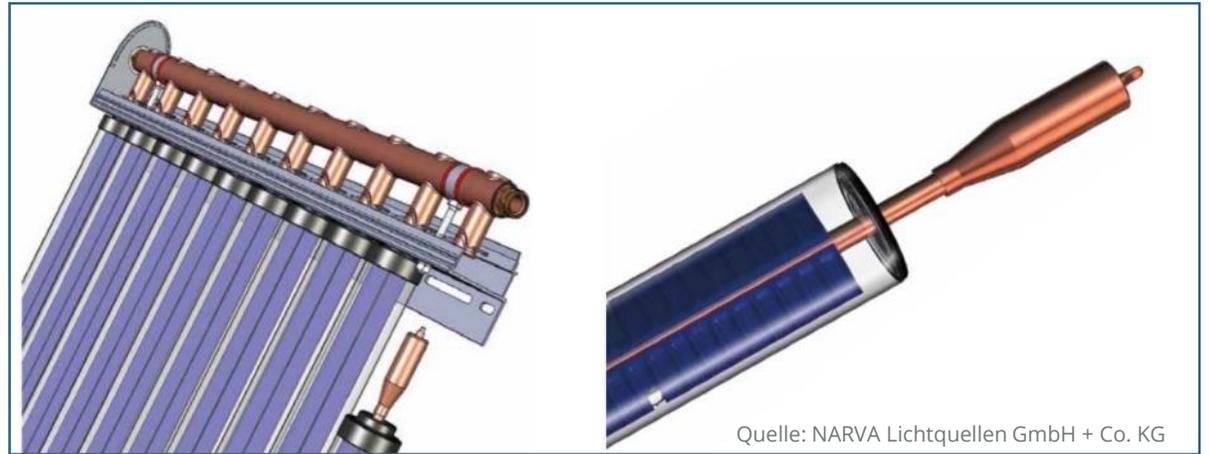
## Flachkollektoren



Basis für Gebäude

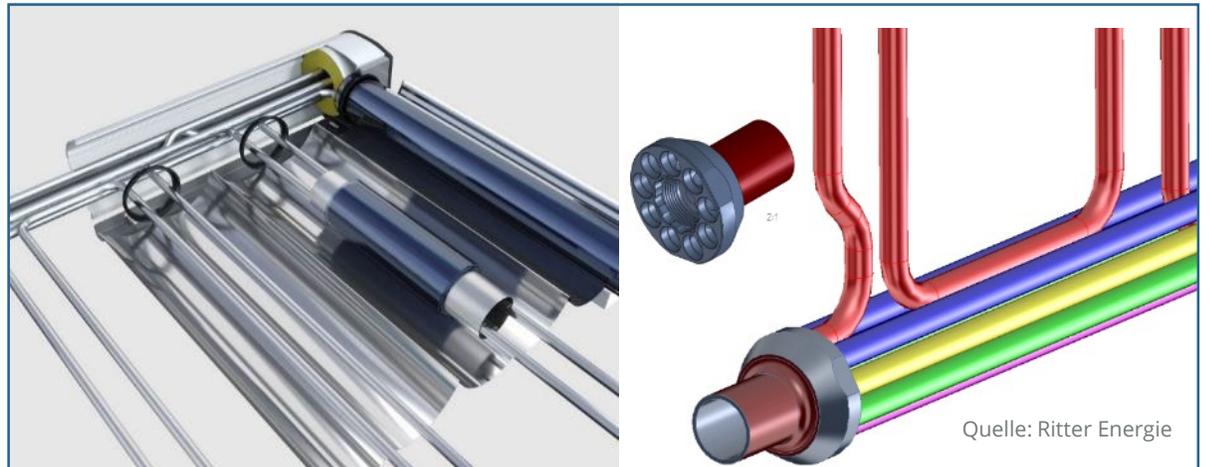
Heatpipe

## Vakuumröhrenkollektoren

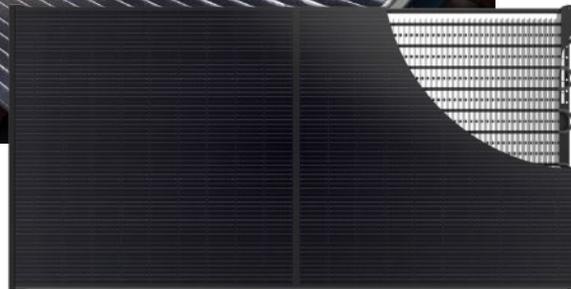
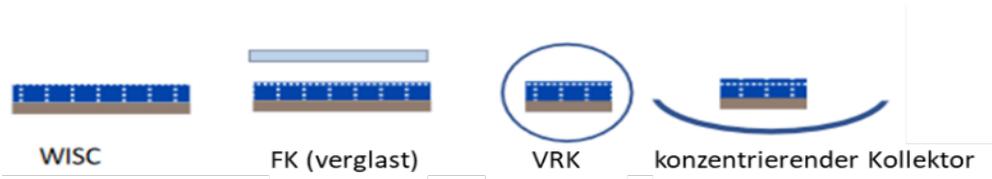


Vakuum-FK  
Effizienz-Weltmeister

CPC und  
Hydraulik-Innovation



# PVT



# Solare Luft-Sole-Kollektoren

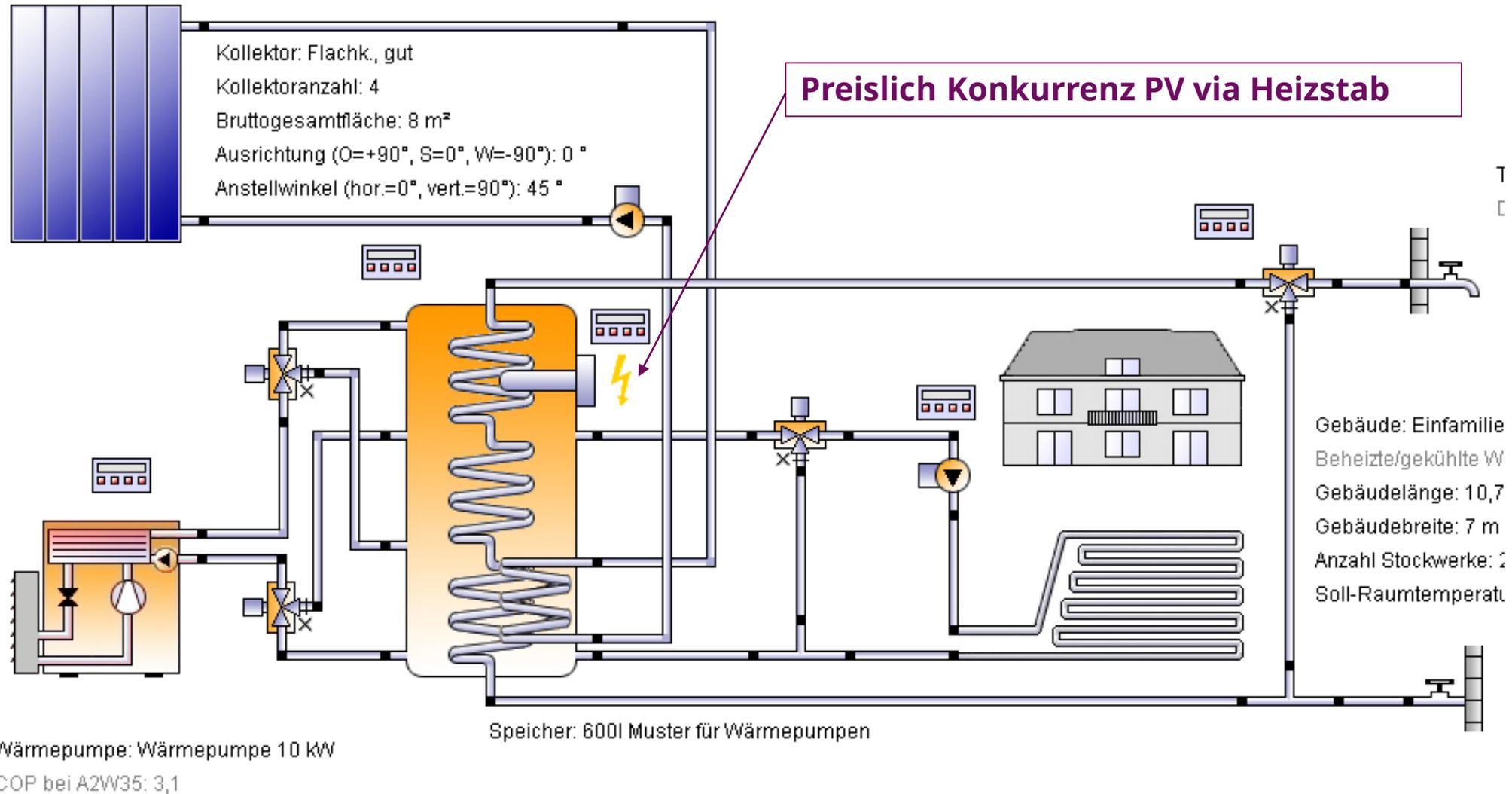
Abgrenzung zu „Luftkollektor“ der Luft-Wasser-WP als Außeneinheit



Oben links: C. Hardorn, „Design Guides for PVT Collectors,“ July 2020. [Online]. Available: <https://task60.iea-shc.org/Data/Sites/1/publications/IEA-SHC-Task60-B2-Design-Guidelines-for-PVT-Collectors.pdf>. [Zugriff am 01.12.2020].; Fotos: links @ Consolar; rechts @ Viessmann

# Solarthermie + Wärmepumpe + Speicher!

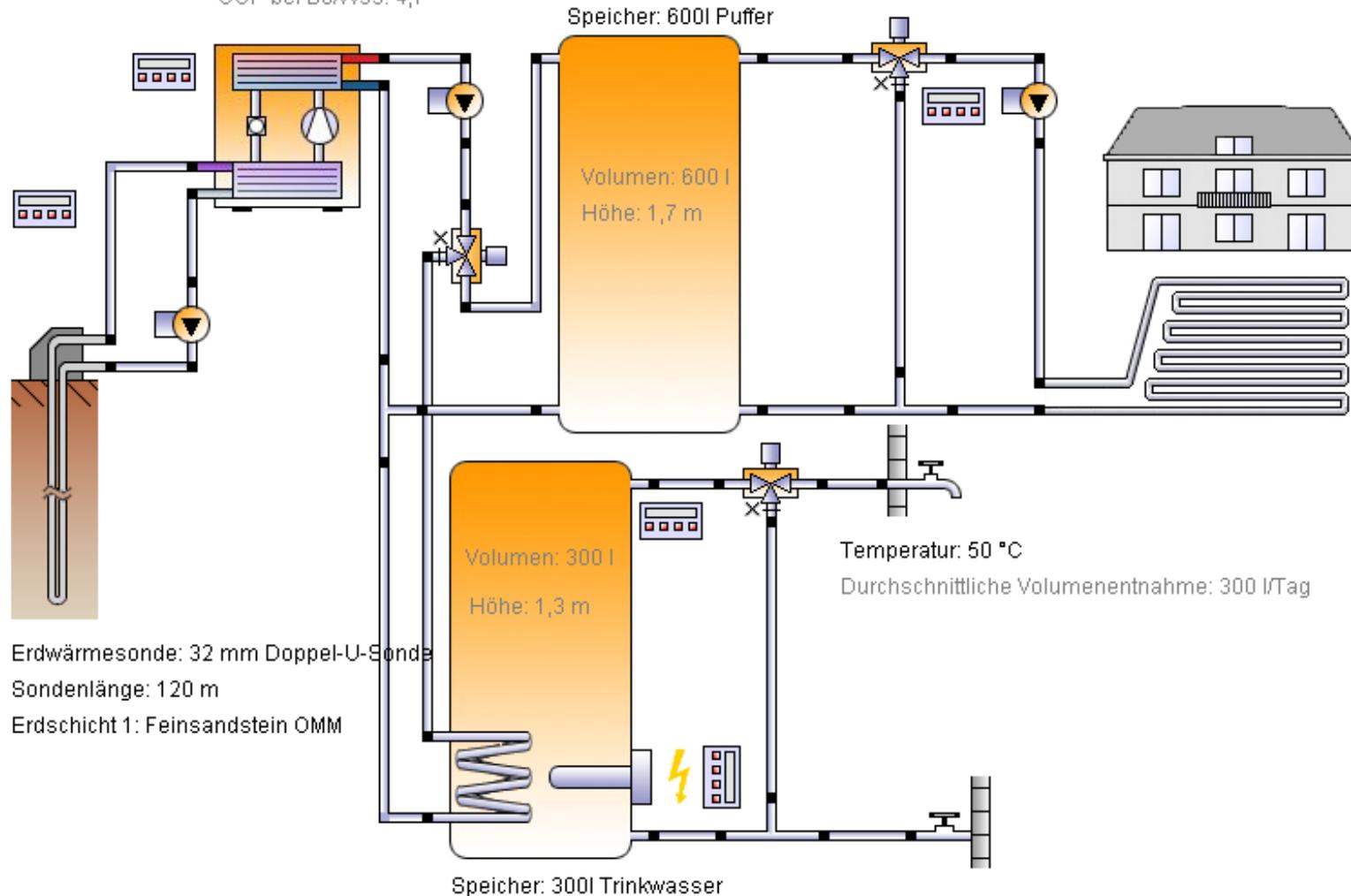
# Anlagenschaltungen mit Luft-Wasser-Wärmepumpe



Quelle: polysun®

# Anlagenschaltungen mit Sole-Wasser-Wärmepumpe

SWW oder WWV-Wärmepumpe: Wärmepumpe 10 kW  
COP bei B0/W35: 4,7



Erdwärmesonde: 32 mm Doppel-U-Sonde  
Sondenlänge: 120 m  
Erdschicht 1: Feinsandstein OMM

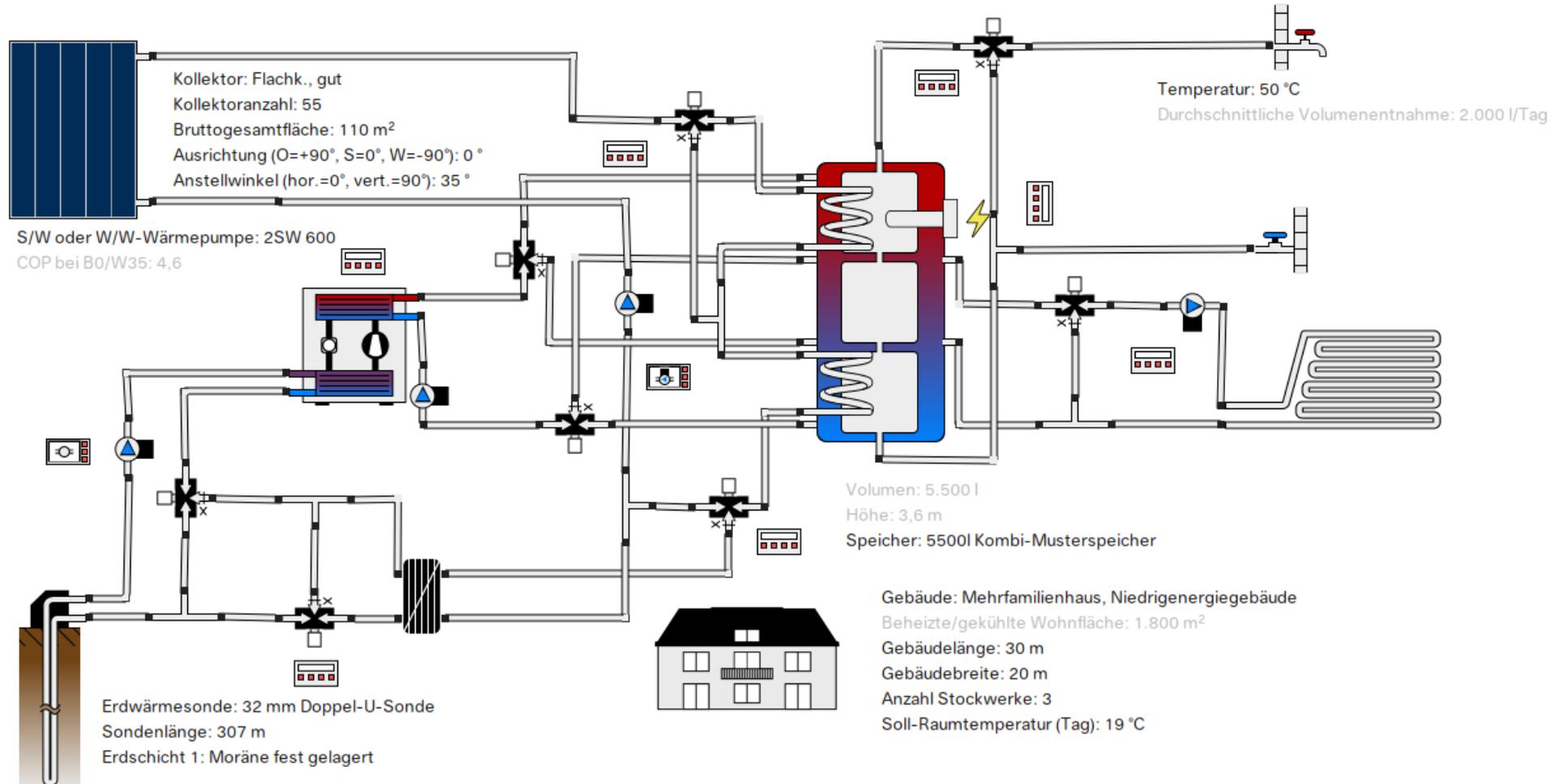
Temperatur: 50 °C  
Durchschnittliche Volumenentnahme: 300 l/Tag

Speicher: 300l Trinkwasser

## Und wie wird der Erdsondenbereich regeneriert?

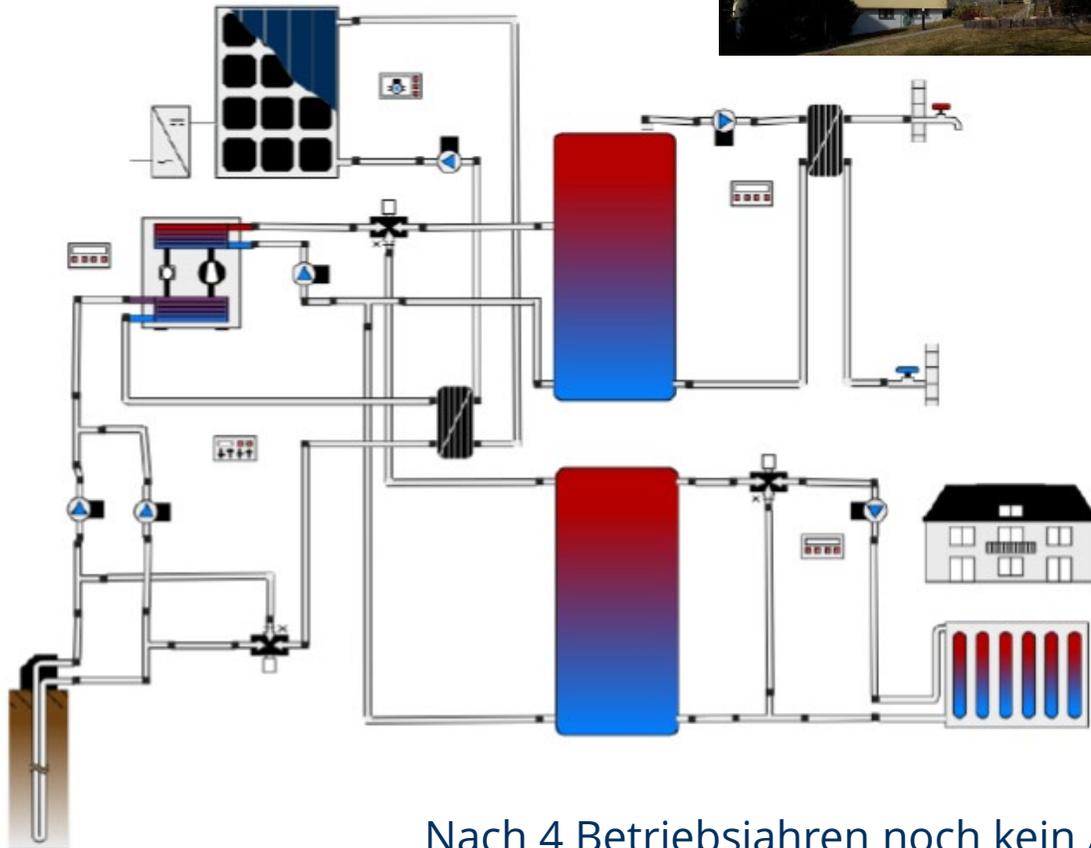
Quelle: polysun®

# Anlagenschaltungen mit Sole-Wasser-Wärmepumpe und EWS-Regeneration



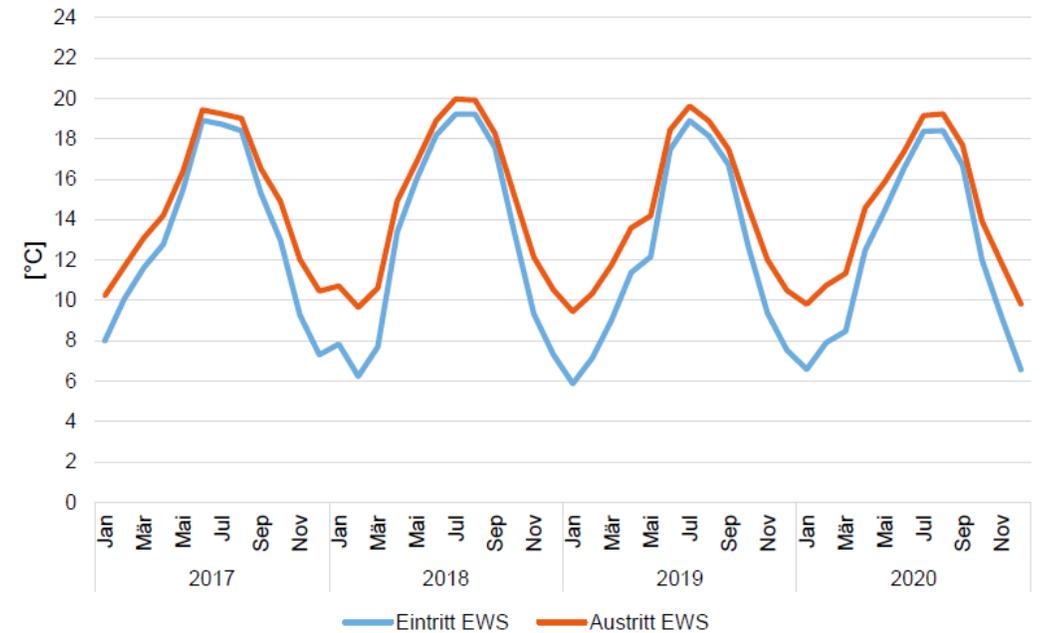
Quelle: polysun®

# PVT und Wärmepumpe inkl- Regeneration EWS



Simulationsbasierte Planung + Monitoring Betrieb  
 Beispiel MFH Ländischstrasse Feldmeilen (CH)

Quelle: Polysun® und Allianz 2SOL  
 Online-Vortragsveranstaltung 09.11.2022



Nach 4 Betriebsjahren noch kein Absenken der EWS-Temperatur  
 Temperaturen > 5 °C hätten auch Arbeiten mit Wasser erlaubt!

# PVT und Wärmepumpe inkl- Regeneration EWS



Beispiel MFH Ländischstrasse Feldmeilen (CH)  
Monitoringdaten Betrieb – Basis für vergleichende Simulation

Quelle: Allianz 2SOL; Online-Vortragsveranstaltung 09.11.2022

Validierung des Simulationsmodell	Messresultat	Simulation Polysun	Abweichung
JAZ WP	3.9	4.3	+9 %
Strombezug WP (ohne Pumpenstrom) [kWh/a]	38'375	34'128	-11 %
PVT-Solarstromertrag [kWh/a]	29'946*	36'904	+18 %
PVT-Solarwärmeertrag [kWh/a]	70'446	71'094	+1 %
Regenerationsgrad	64 %	63 %	-2 %

\* reduzierter Solarstromertrag aufgrund defekter Moduloptimierer

# SOLINK-Konzept PVT + WP



**Wohnungsträger:**  
**VOLKSWOHNUNG Karlsruhe GmbH**  
**Contractor:**  
**KES Karlsruher Energieservice GmbH**  
**(Träger: Stadtwerke Karlsruhe, VOLKSWOHNUNG)**

## Ort

Karlsruhe Durlach

## PVT-Fläche

200 m<sup>2</sup>, 100 SOLINK-Koll.

## Wärmepumpe

Waterkotte 55 kW bivalenter  
Betrieb mit 90 kW Gas-  
Spitzenlastkessel

## Gebäude

Mehrfamilienhaus Bj.1963

Sanierung 1995: 65

kWh/m<sup>2</sup>a

Wohnfläche: 2300 m<sup>2</sup>

Wohneinheiten 35

Quelle: Leibfried, U. et. al.: Vortrag OTTI ST-Symposium Bad Staffelstein Mai 2023

# SOLINK-Konzept PVT + WP

## 28 PVT-Kollektoren des Typs Solink

Bruttofläche: 55 m<sup>2</sup>

PV-Leistung: 10 kW<sub>p</sub>

T-Leistung: 38,5 kW<sub>th</sub>

Luft-Sole-Wärmeübertrager

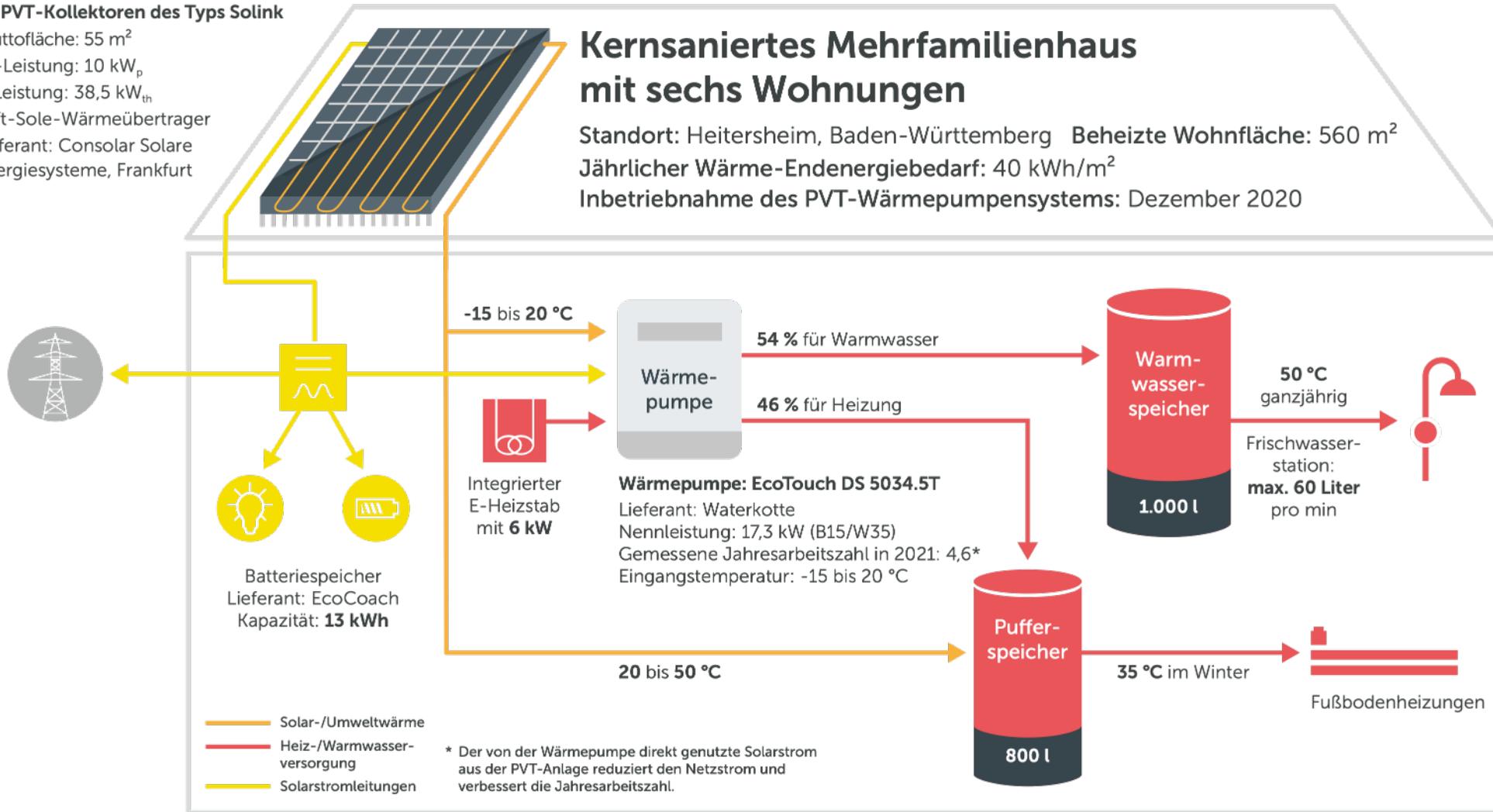
Lieferant: Consolar Solare  
Energiesysteme, Frankfurt

## Kernsaniertes Mehrfamilienhaus mit sechs Wohnungen

Standort: Heitersheim, Baden-Württemberg Beheizte Wohnfläche: 560 m<sup>2</sup>

Jährlicher Wärme-Endenergiebedarf: 40 kWh/m<sup>2</sup>

Inbetriebnahme des PVT-Wärmepumpensystems: Dezember 2020



Ort:  
Heitersheim bei  
Freiburg

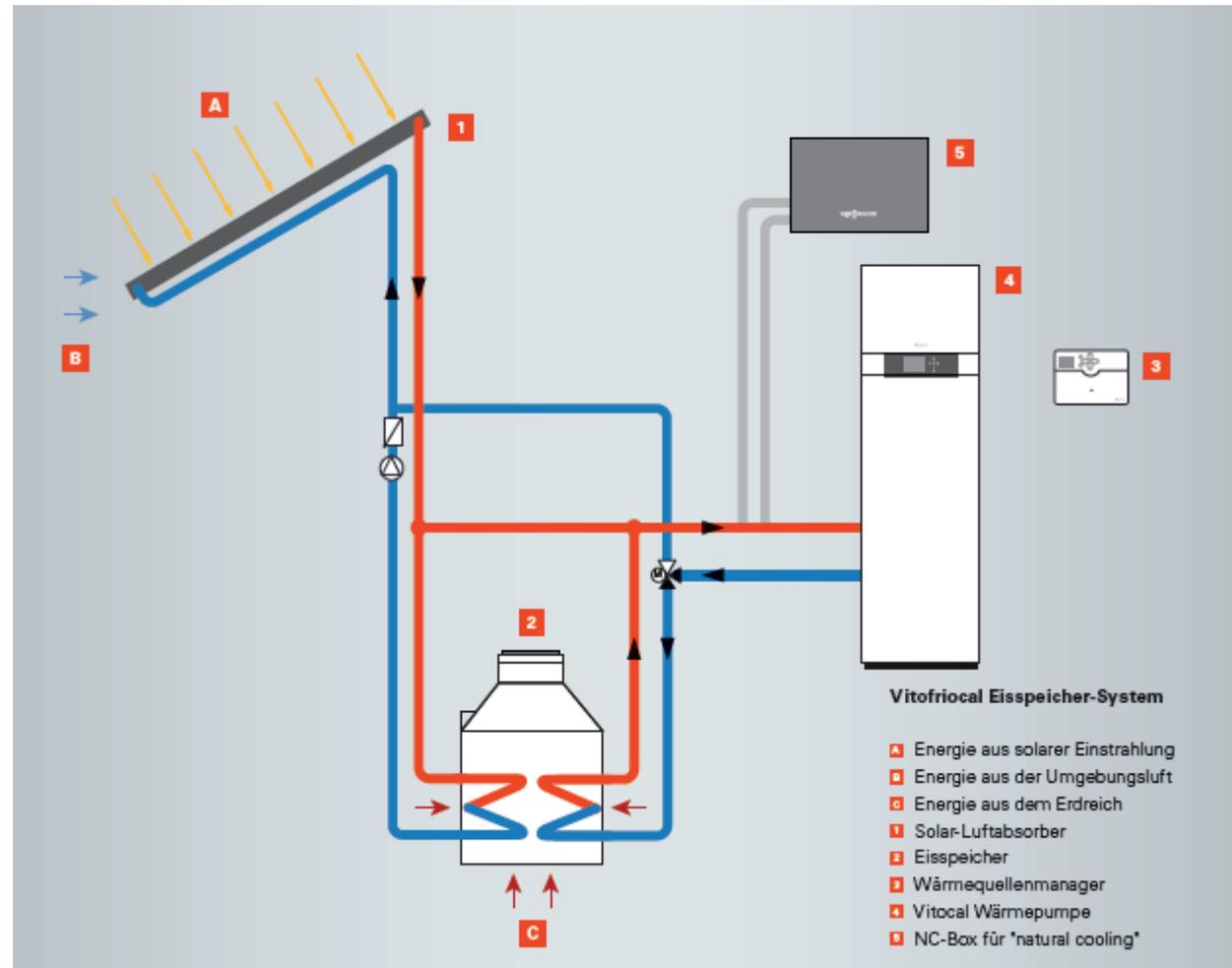
6 Wohneinheiten

56 m<sup>2</sup>,  
28 Kollektoren

Wärmepumpe  
17 kW Waterkotte

Mehrfamilienhaus

# Anlagenschaltungen mit Sole-Wasser-Wärmepumpe und Eisspeicher

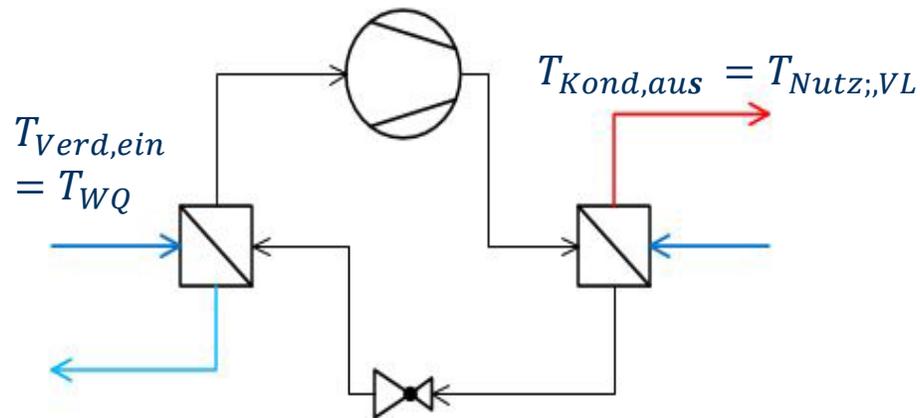


Quelle: Viessmann; Produktinfo System Vitofriocal

# Betrachtungen Einflüsse Nutzerseite und Wärmequellseite auf Effizienz von Kompressions-Wärmepumpen

$$W_{el} = \frac{Q_K}{COP}$$

$W_{el}$  elektrische Arbeit  
 $Q_K$  thermische Energie Kondensatorseite WP  
 $COP$  Coefficient of Performance (Leistungszahl)



$$COP_{id} = \frac{T_N}{T_N - T_U} = \frac{T_{Kond,aus}}{T_{Kond,aus} - T_{Verd,ein}}$$

Gütegrad  $\nu = \frac{COP}{COP_{id}} \approx 0,5$  „konservativ“  
 als 1. Annahme für Prüfung Gesamtkonzept

## Relevant für Systemeffizienz

1. Kondensationstemp.  $T_{Kond,aus}$  → Nutzerseite
2. Verdampfungstemp.  $T_{Verd,ein}$  → Wärmequellseite

$T_{Kond,aus}$	$T_{Verd,ein}$	$COP_{id}$	$COP$	rel. Veränderung Eisspeicher ggü. LWP
°C	°C	-	-	
65	15	6,76	3,38	
65	0	5,20	2,60	
65	-5	4,83	2,42	7,14%
65	-15	4,23	2,11	18,75%
40	15	12,53	6,26	
40	0	7,83	3,91	
40	-5	6,96	3,48	11,11%
40	-15	5,69	2,85	27,27%

# Innenansicht Eisspeicher



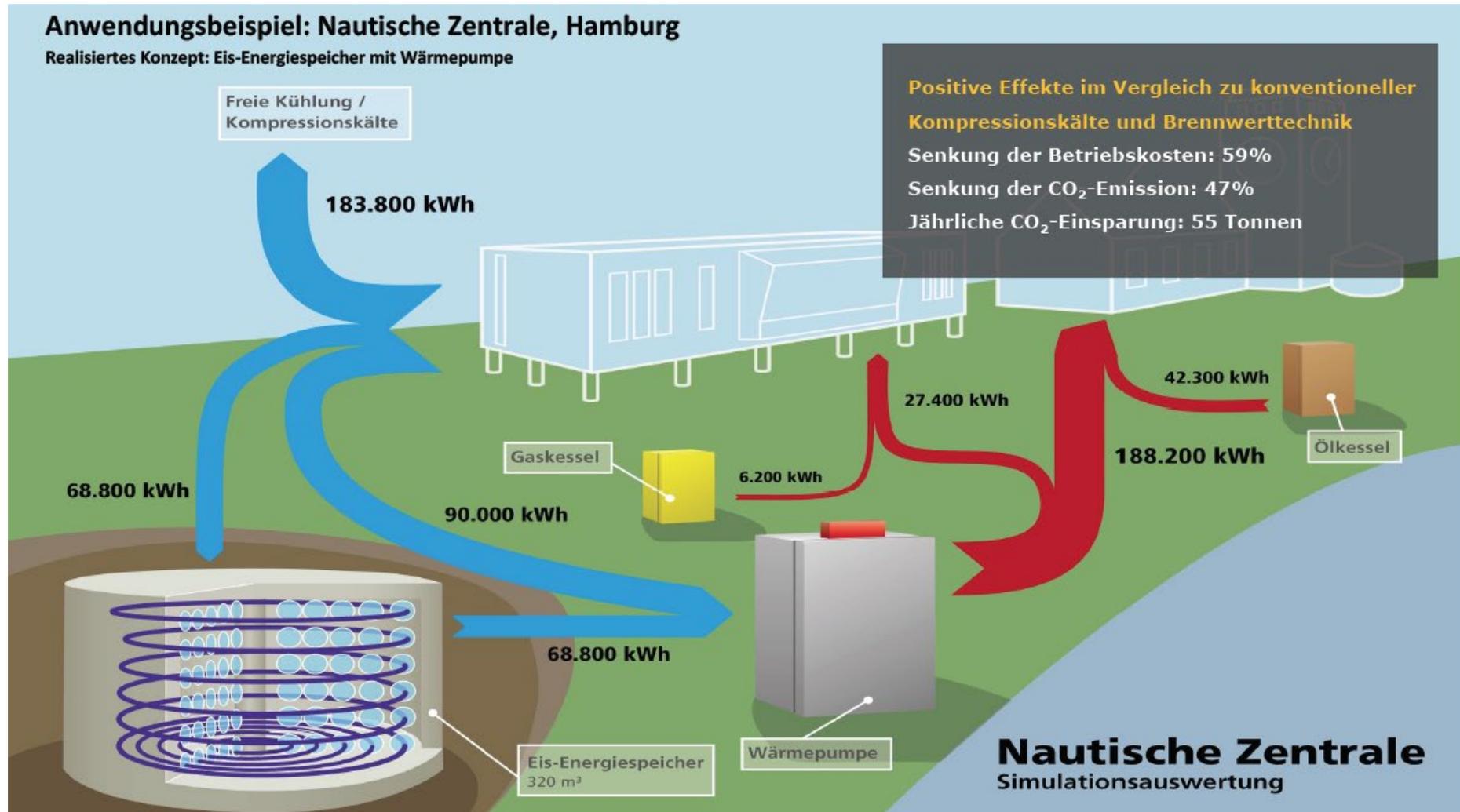
Quelle: Adnan Ribic: Eis-Energiespeicher. Energie zum Heizen und Kühlen - Wärme, die aus der Kälte kommt. Viessmann Eis-Energiespeicher GmbH 1. Internationale Konferenz | ZHAW Winterthur 2016

# Innenansicht Eisspeicher



Quelle: Adnan Ribic: Eis-Energiespeicher. Energie zum Heizen und Kühlen - Wärme, die aus der Kälte kommt. Viessmann Eis-Energiespeicher GmbH 1. Internationale Konferenz | ZHAW Winterthur 2016

# Alternativ-Lösung Nautische Zentrale Hamburg



**VIESSMANN**

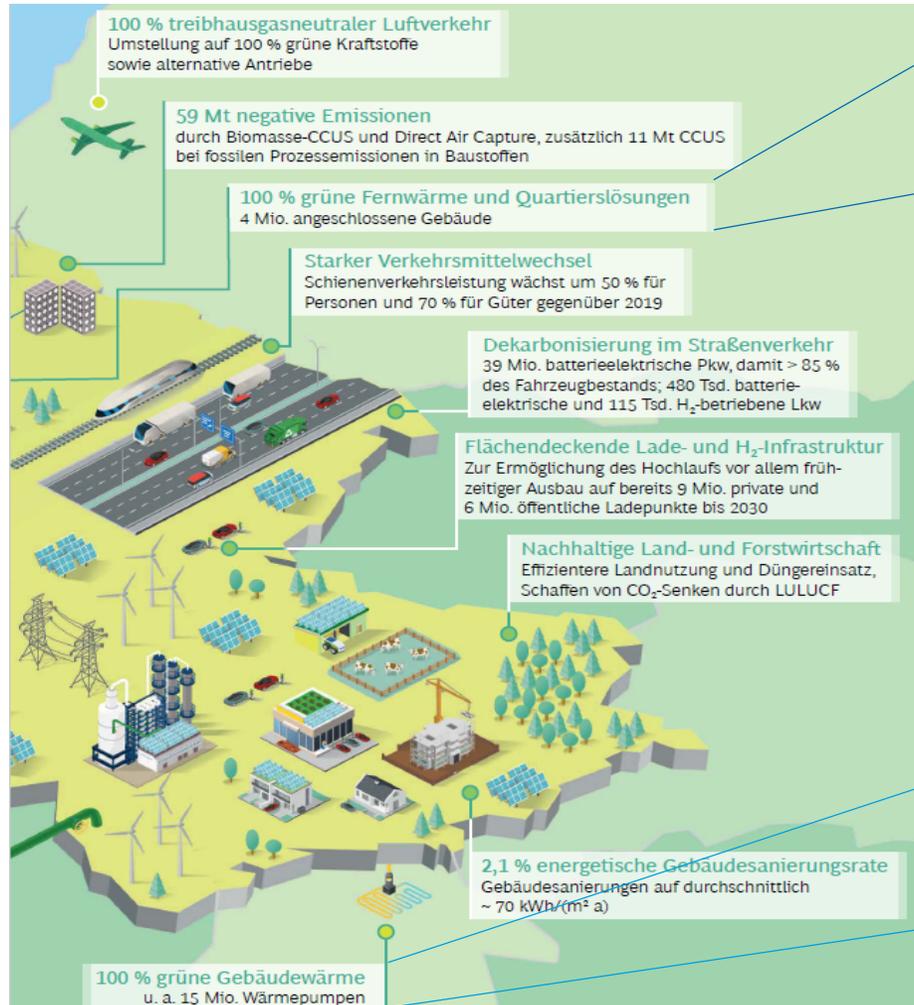
Viessmann Eis-Energiespeicher GmbH | Anlagenbereiche | Luft

Quelle: Adnan Ribic: Eis-Energiespeicher. Energie zum Heizen und Kühlen - Wärme, die aus der Kälte kommt. Viessmann Eis-Energiespeicher GmbH 1. Internationale Konferenz | ZHAW Winterthur 2016

# Herausforderung Grüne Fernwärme Solarthermie als eine wichtige Lösung

# Herausforderung GRÜNE Fernwärme

## 100 % EE-Quellen oder klimaneutral oder THG-neutral?



100 % grüne Fernwärme und Quartierslösungen  
4 Mio. angeschlossene Gebäude

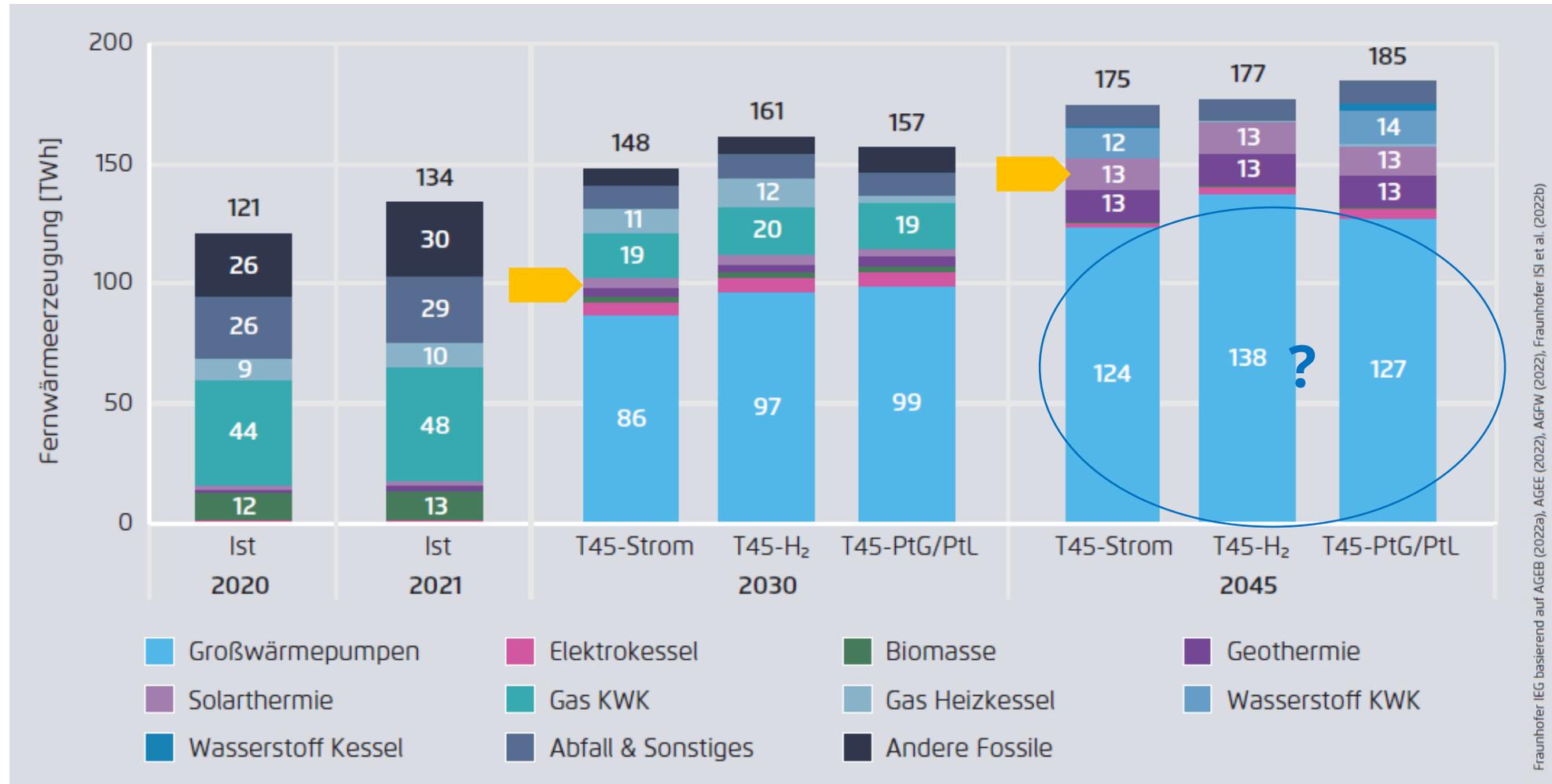
### Schlüssel:

Senkung/Flexibilisierung Bedarf **und**  
Senkung Temperaturniveau Vor- und Rücklauf Raumheizung,  
Trinkwassererwärmung und Prozesswärme beim  
Wärmekunden!

100 % grüne Gebäudewärme  
u. a. 15 Mio. Wärmepumpen

Quelle Grafiken:  
Klimapfade 2.0 – Ein Wirtschaftsprogramm für die Zukunft. Gemeinsame Studie BDI und Boston Consulting Group, 10/2021;  
Download <https://bdi.eu/artikel/news/klimapfade-2-0-ein-wirtschaftsprogramm-fuer-klima-und-zukunft/>; 02.06.2023 10:44 Uhr

# FW 2045: Selbst beim pro WP-Konzept 13 TWh/a Solarthermie!



Quelle Grafik: Roll-out von Großwärmepumpen in Deutschland. Strategien für den Markthochlauf in Wärmenetzen und Industrie. Agora Energiewende Version 1.0 Juni 2023 Download <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/roll-out-von-grosswaermepumpen-in-deutschland/> ; 05.06.2023 10:44 Uhr

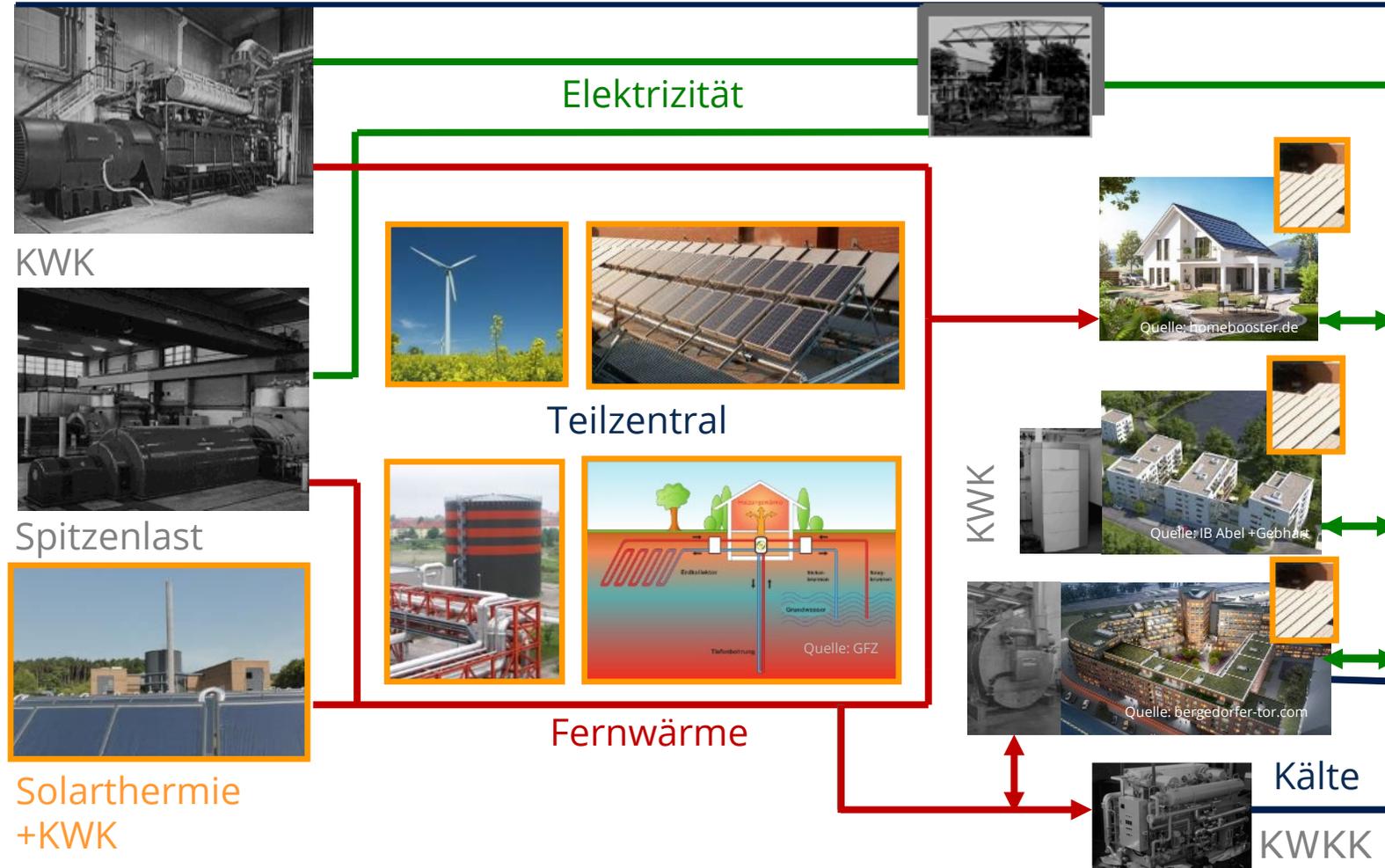
# Umbau FW: Verfügbarkeit Fachkräfte und Komponenten?



# Fernwärme- Status und Herausforderungen

Zentral

Dezentral



**Zentrale Erzeugeranlagen an wenigen Standorten**

**Signifikante Erhöhung des Anteils Erneuerbarer Energien im Wärmemarkt**

- Biomasse begrenztes Potential
- Gas – Power to Gas, Bio-Erdgas
- Geothermie – lokale Verfügbarkeit
- Power to Heat – zeitliche Limitierung
- Solarthermie - Flächenproblem

**Teilzentrale und dezentrale Lösungen planen, realisieren und in Gesamt-Betriebsführung optimieren**

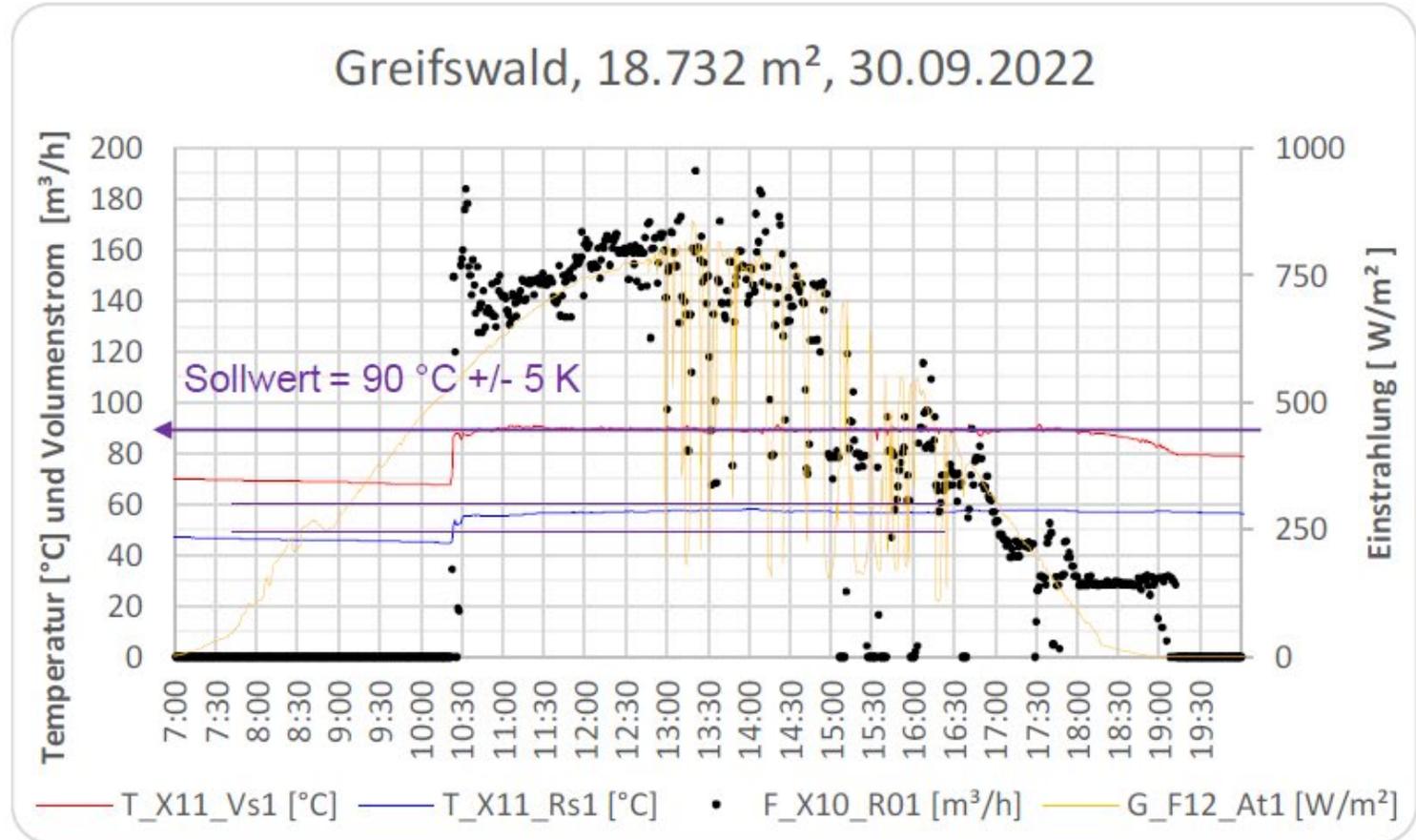
# Beispiel: derzeit größte Solarthermieanlage Deutschlands



# Sonne als volatile Wärmequelle



# Netzeinspeisung auch bei wechselhaftem Wetter



Netzeinspeisetemperatur    Netzurücklauftemperatur    Netzeinspeisevolumenstrom    Einstrahlung

# Großwärmespeicher auch hier unerlässlich!

## Status

- überwiegend große Behälterspeicher
- 2019: 29 GWh
- 2021: 66 GWh

## Ausbau

- Multifunktionell betriebene Behälter und Erdbecken
- Saisonale Speicher auch als Erdsonden und Aquiferspeicher
- Speicher auch teilzentral im Netz angeordnet

Quellen:  
Status Speicher: AGFW Hauptbericht 2021  
Bild rechts oben : @ SOLMAX  
Labda, T.: Let's build infrastructure better. Tagungsband 33. Symposium Solarthermie und innovative Wärmesysteme. Kloster Banz, 19.-11-05.2021  
Bild rechts unten : @Vattenfall Wärme Berlin AG



Meldorf, Erdbeckenspeicher 45 Tm<sup>3</sup>; im Bau seit 2022, @ SOLMAX



1-Zonen-Wärmespeicher Berlin Reuter West 56 Tm<sup>3</sup>; aktuell; Inbetriebnahmephase @ Vattenfall Wärme Berlin AG

# Knackpunkte des Fernwärme-Transports

## Nur noch kalte Nahwärme 5<sup>th</sup>GEN?

### Wärmeverluste

$$\sim (\vartheta_m - \vartheta_a)$$



Kann

Muss

## Fernwärmenetz

- **Bestand**, Verdichtung, Neubau
- Anschlussdichte
- Temperaturniveau Netz
- Temperaturdifferenz = f (Kunde)
- Erzeuger und Wärmespeicher beim Kunden

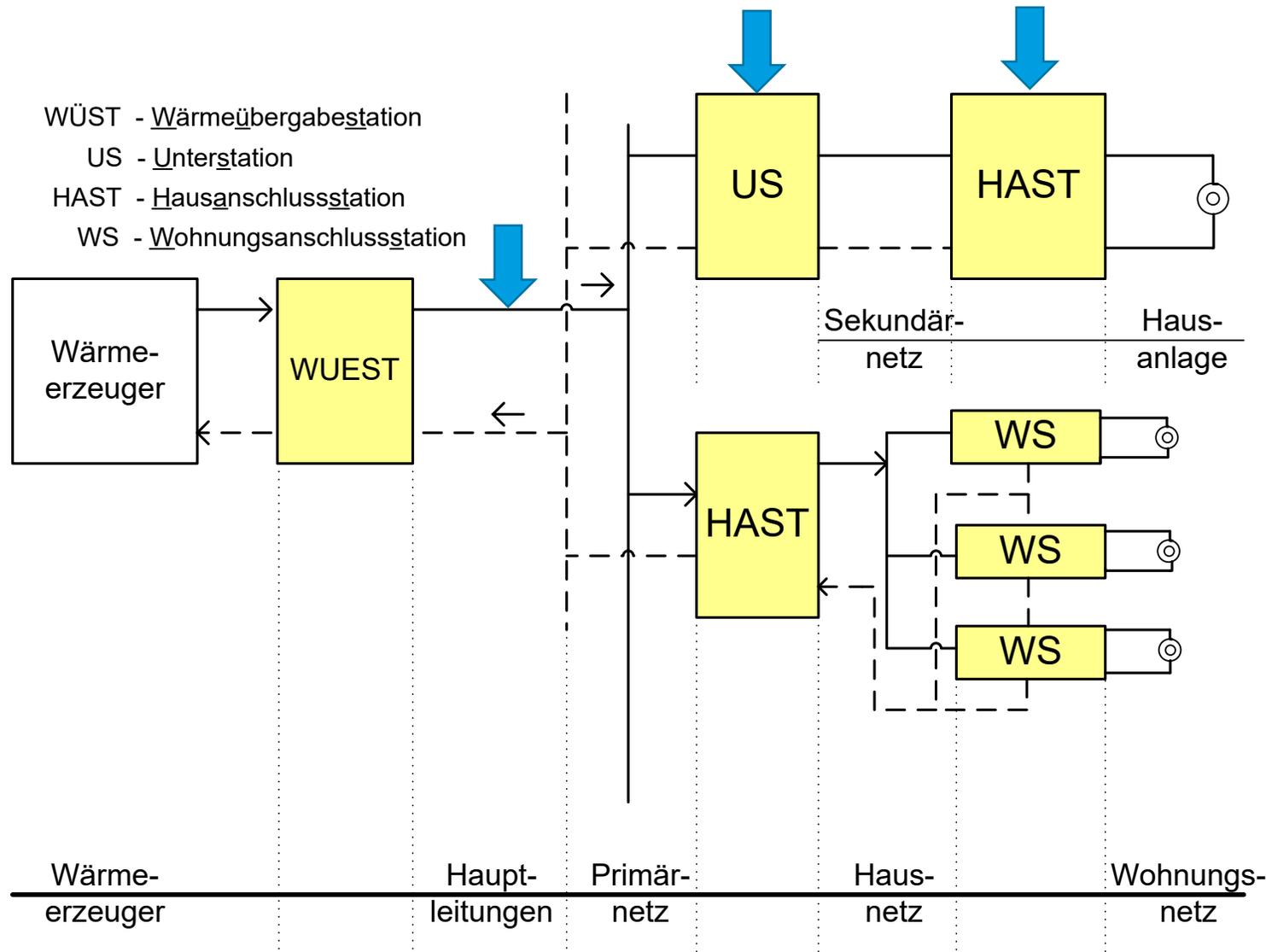
### Strombedarf Pumpen

$$P_{el} \sim \frac{\dot{m}^3}{d_i^5} \text{ mit } \dot{m} = f(\vartheta_{VI} - \vartheta_{RI})$$



**„Normaler“ Transformationsprozess endet bei 4<sup>th</sup>GEN!**

# Unidirektionale Versorgung // bidirektional durch Einbindung ST o. ä.



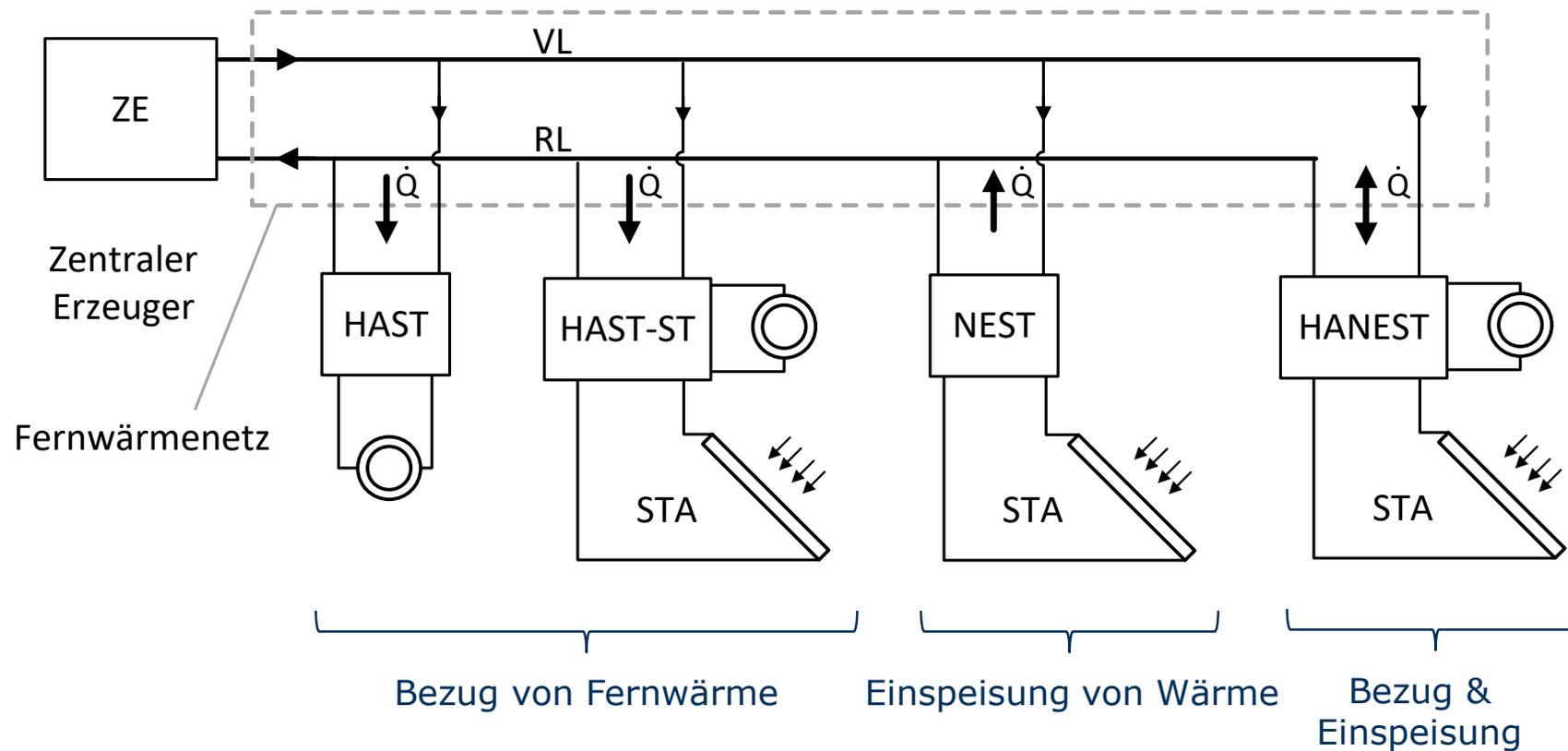
## Tipp:

Manches wird plausibler, wenn man sich bewusst wird, dass

- das Kollektorfeld oder andere Wärmequelle ein indirekt angeschlossener Wärmeerzeuger ist und
- der Kollektorkreis o. ä. eigentlich eine Art Primärnetz darstellen.

→ Teilaufgabe Transport zum Kunden

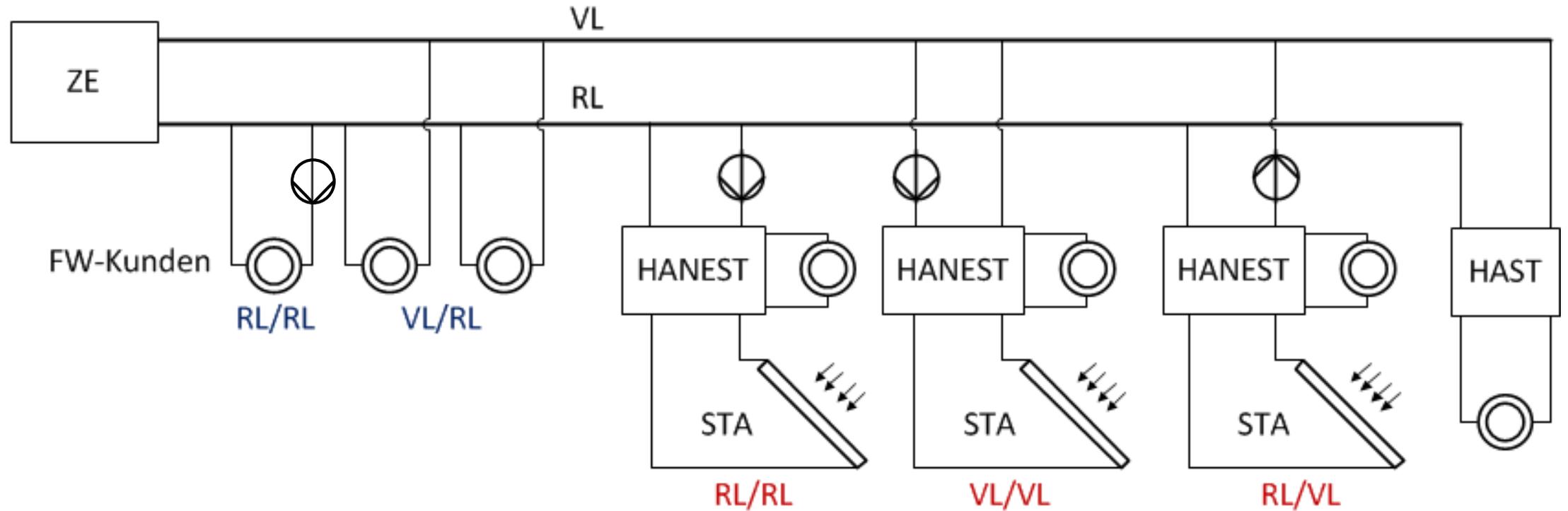
# Stationskonzepte - Übersicht Bezug VL/RL | Einspeisung RL/VL



- HAST Hausanschlussstation
- HAST-ST Hausanschlussstation mit lokaler Solarthermie
- NEST Netzeinspeisestation
- HANEST kombinierte Hausanschluss- und Netzeinspeisestation (Prosumer)

Option für Abschaltung FW-Netz im Sommer!

# Wahl Einbindung von NEST/HANEST an VL und RL

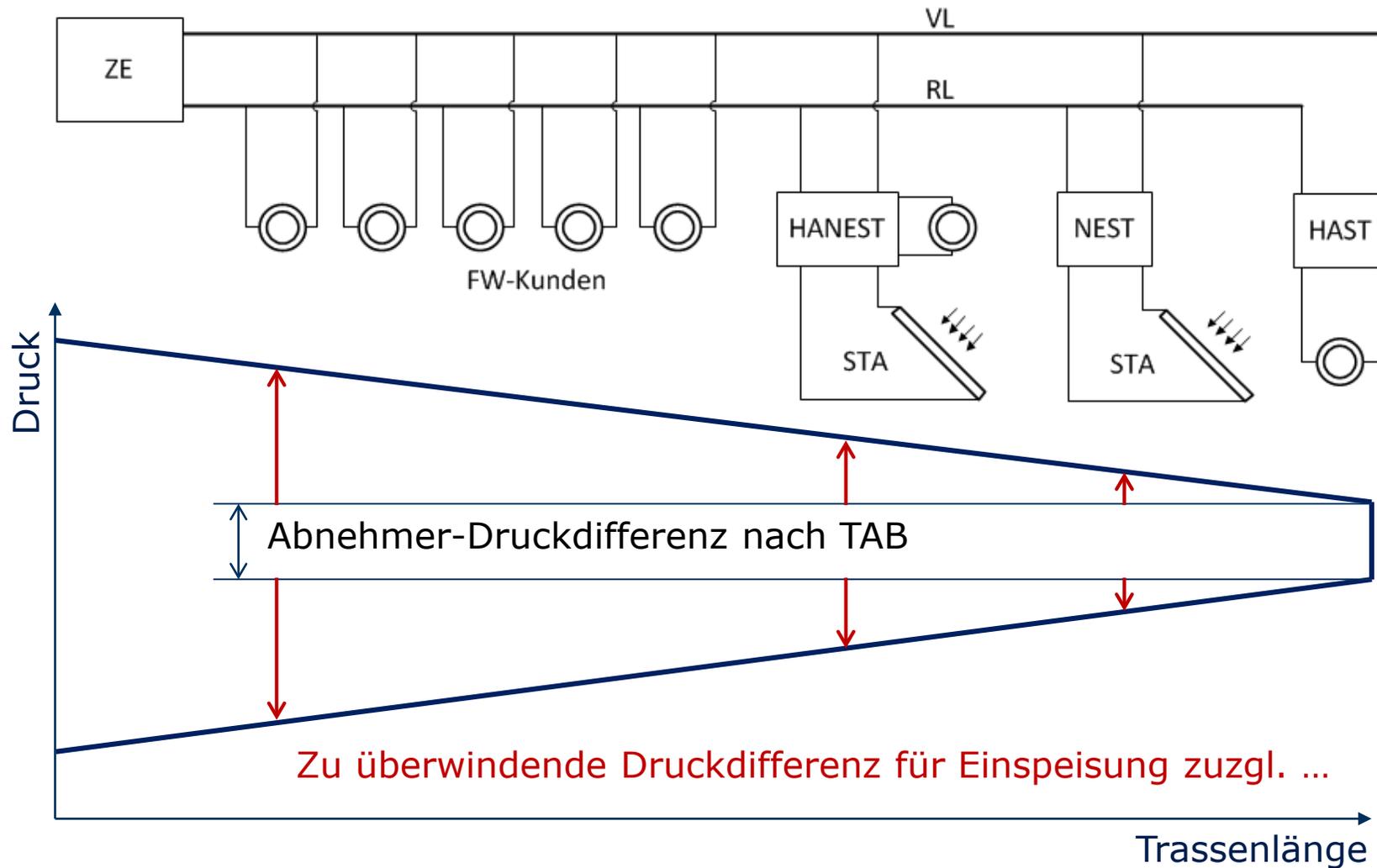


Anfahren/  
Sonderfälle

Unüblich wegen  
schlechtem  
Wirkungsgrad

**Standardfall, aber  
hydraulisch  
komplex**

# Lage in der Netzstruktur Rücklauf/Vorlauf-Einspeisung

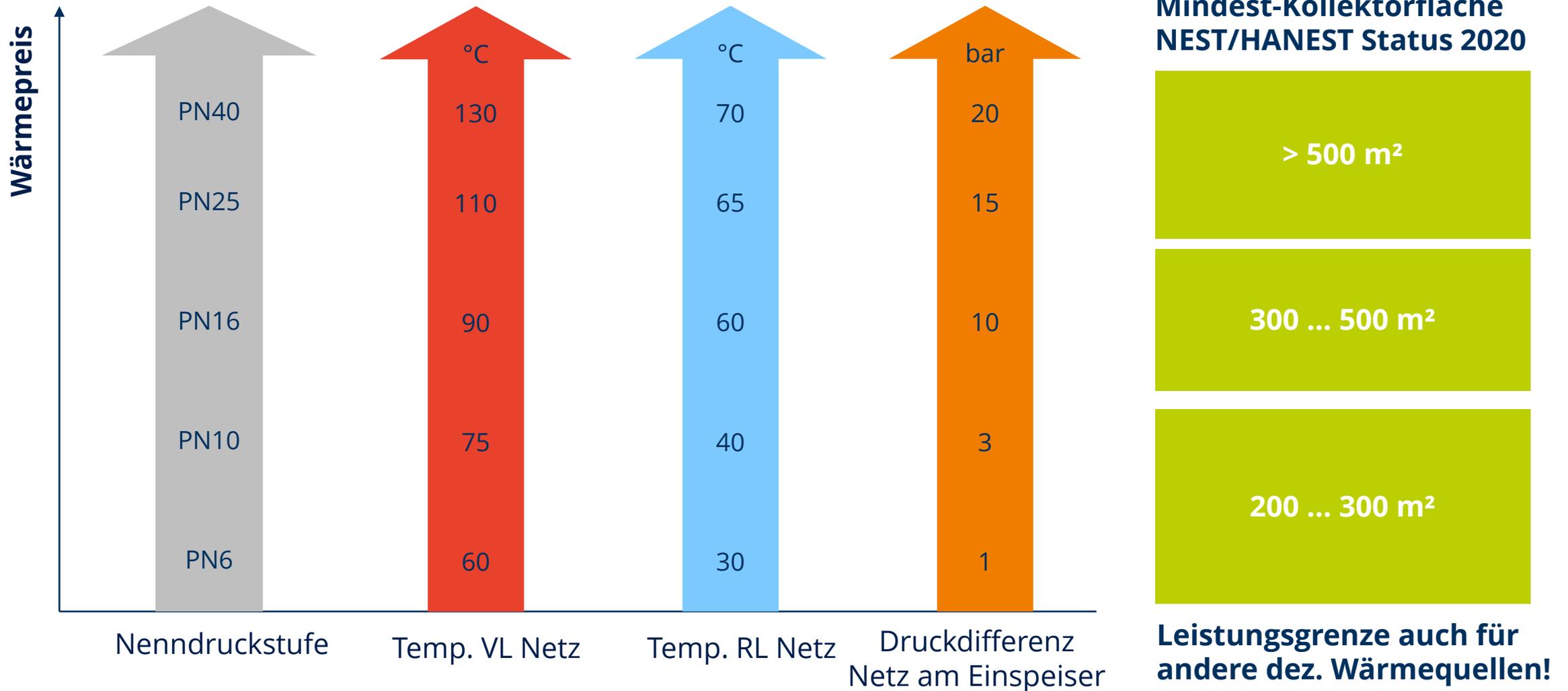


## TAB

Derzeit in der Fernwärme über 250 verschiedene Technische Anschlussbedingungen!

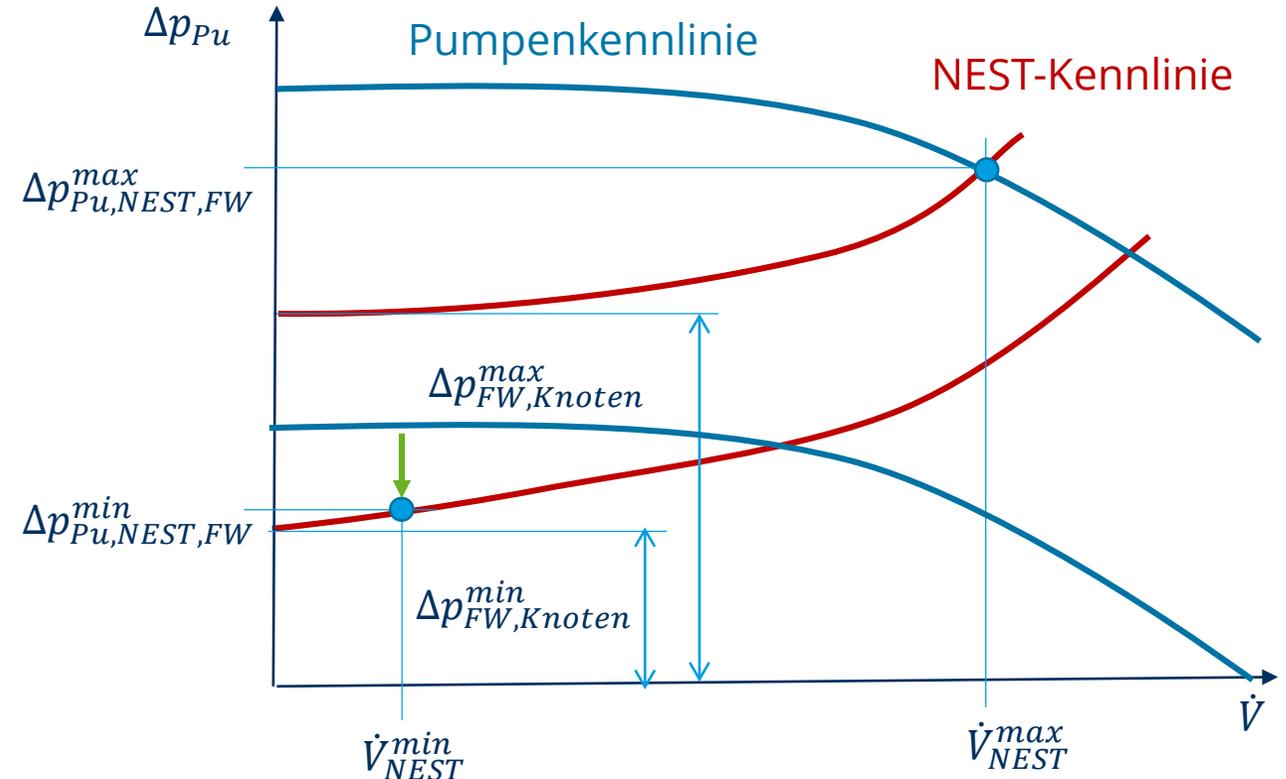
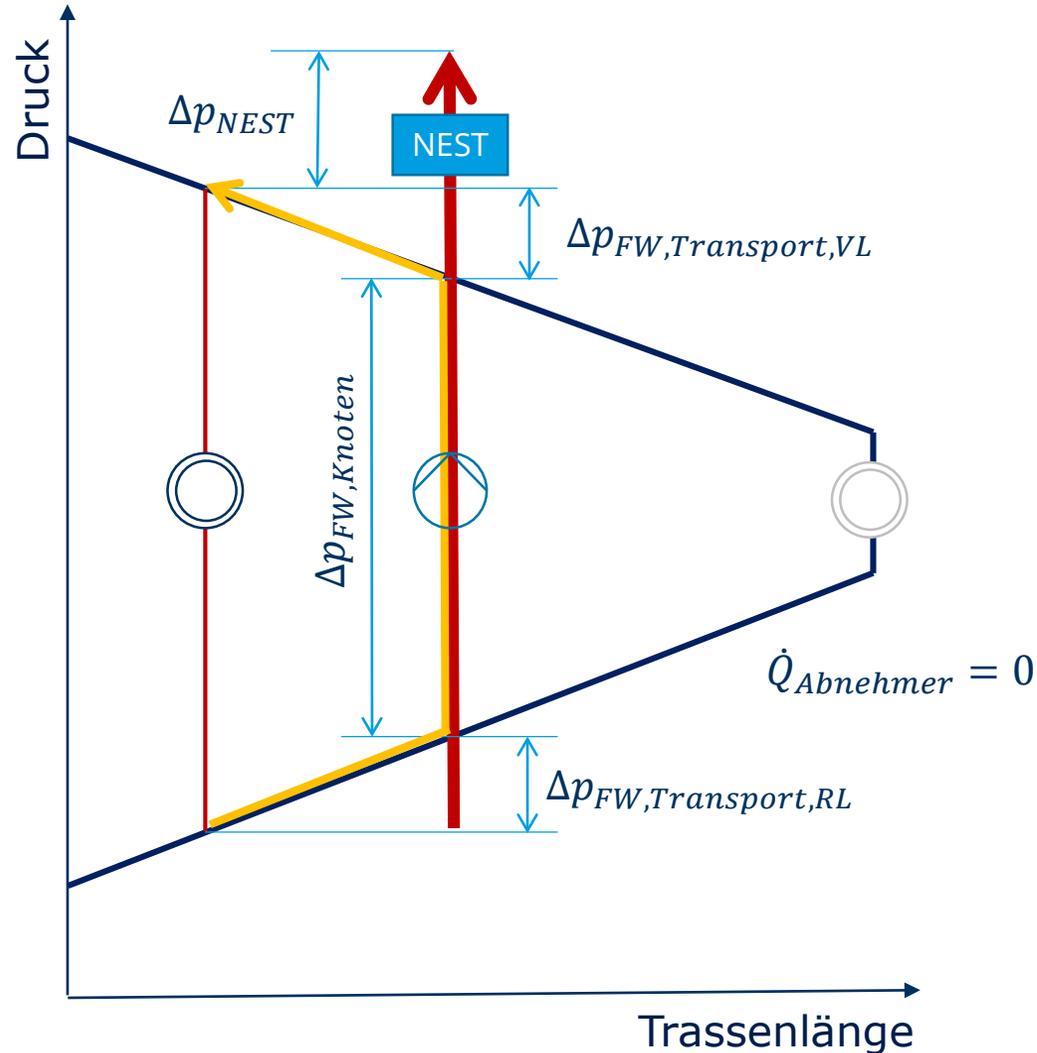
- $\Delta p_{\text{Abnehmer}}$ : 0,5 ... 1,0 bar
- $\Delta p_{\text{Netz}} \geq$ , oft  $\gg \Delta p_{\text{Abnehmer}}$

# Fernwärmenetzseitige Einflussfaktoren Technikwahl und Preise



# Stark vereinfachte Darstellung Dez. Pumpe und Netzdruckverlauf

$$\Delta p_{Pu,NEST,FW} = \Delta p_{FW,Knoten} + \Delta p_{NEST} + \Delta p_{FW,Transport}$$



↓ Zusätzlich Drosselregelung Pumpe oder separate Teillastpumpe

# Simulation von Wirkungen im Netz im Tages- und Jahresverlauf

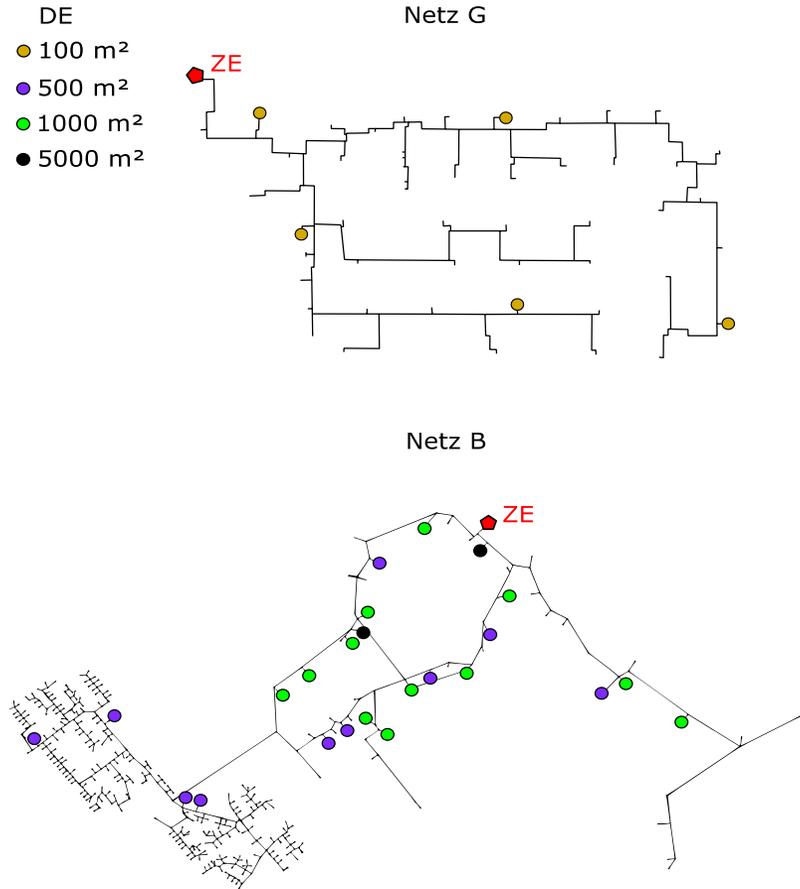
## Fragen

- Wie weit muss die dezentrale Pumpe fördern?
- **Wie wandern die Versorgungsfronten zwischen zentraler und dezentraler Erzeugung?**
- **Wann gibt es einen Überschuss der dezentralen Erzeugung im Fernwärmenetz**
- **Wie groß muss dann ein Speicher sein?**
- **Genügen Standard-Lastprofile zur Abbildung des Abnehmerverhaltens?**
- Wie prognostizieren wir Solarthermie- oder BHKW-Erträge/Überschüsse?

## Methoden

- **Entwicklung messdatenbasierter Abnehmermodelle für Wärmebedarf und Rücklauftemperatur**
- Ableitung eines Solarthermie-Ertragsmodells aus ScenoCalc-FW ( DELFIN-Partner Solites)
- Kopplung der Netzsimulation in TRNSYS-TUD mit DYMOLA via eigenentwickeltem FMI-Master
- **Erkenntnisgewinn durch intensive Simulationsstudien für Bebielnetze des Bestandes**

# Untersuchte Fernwärmenetze



© TU Dresden, GEVV

- 3. GEN Strahlennetz
- Anschlussleistung: 2,2 MW
- Trassenlänge: 2,65 km
- 51 Abnehmer; im Bereich von 5 ... 72 kW

- 2. GEN vermaschtes Netz
- Anschlussleistung: 83 MW
- Trassenlänge: 41 km
- 485 Abnehmer; im Bereich von 22 kW ... 14 MW

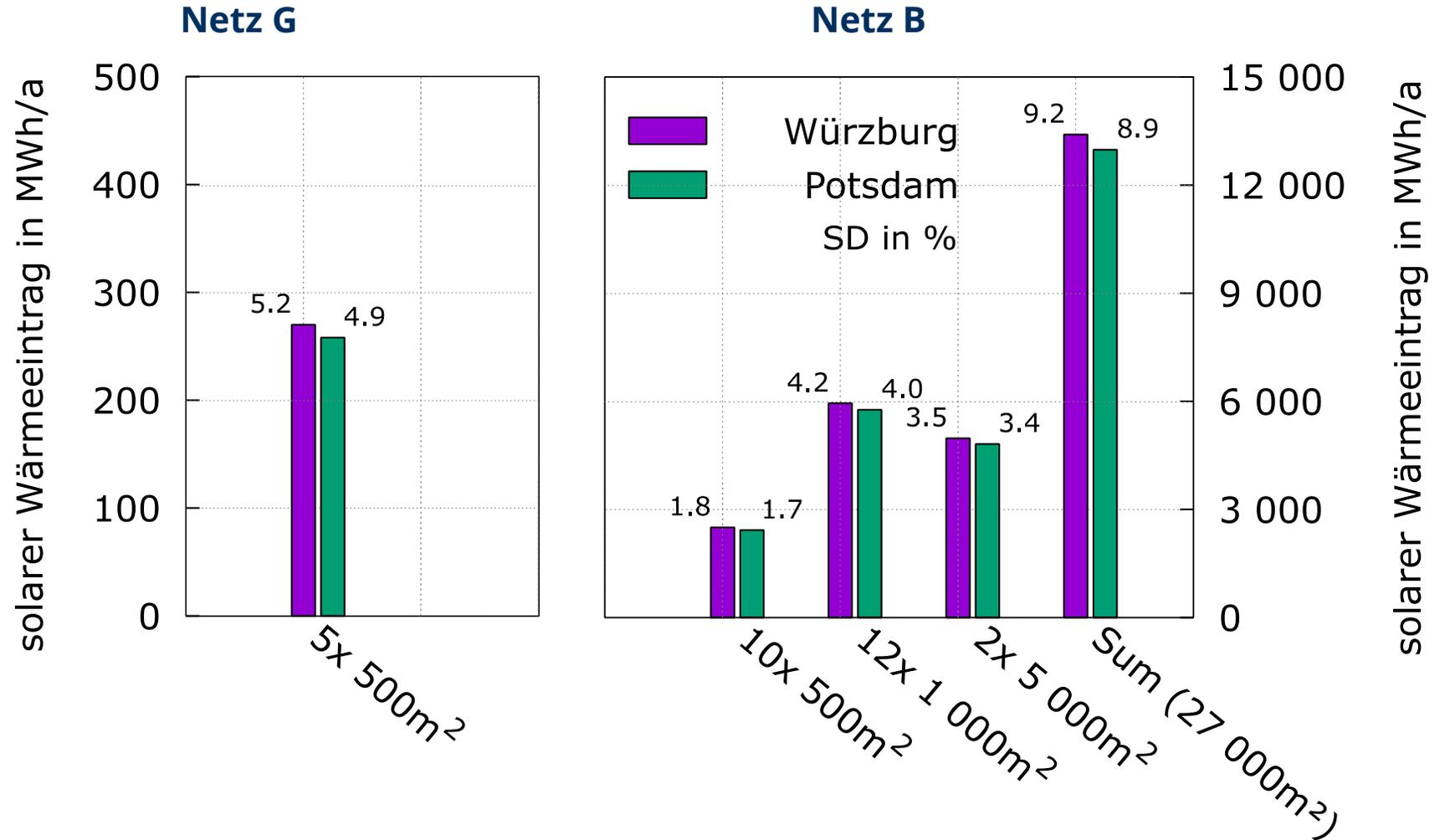
Netz G

Netz B

# Solarer Wärmeeinspeisung und Solarer Deckungsanteil SD

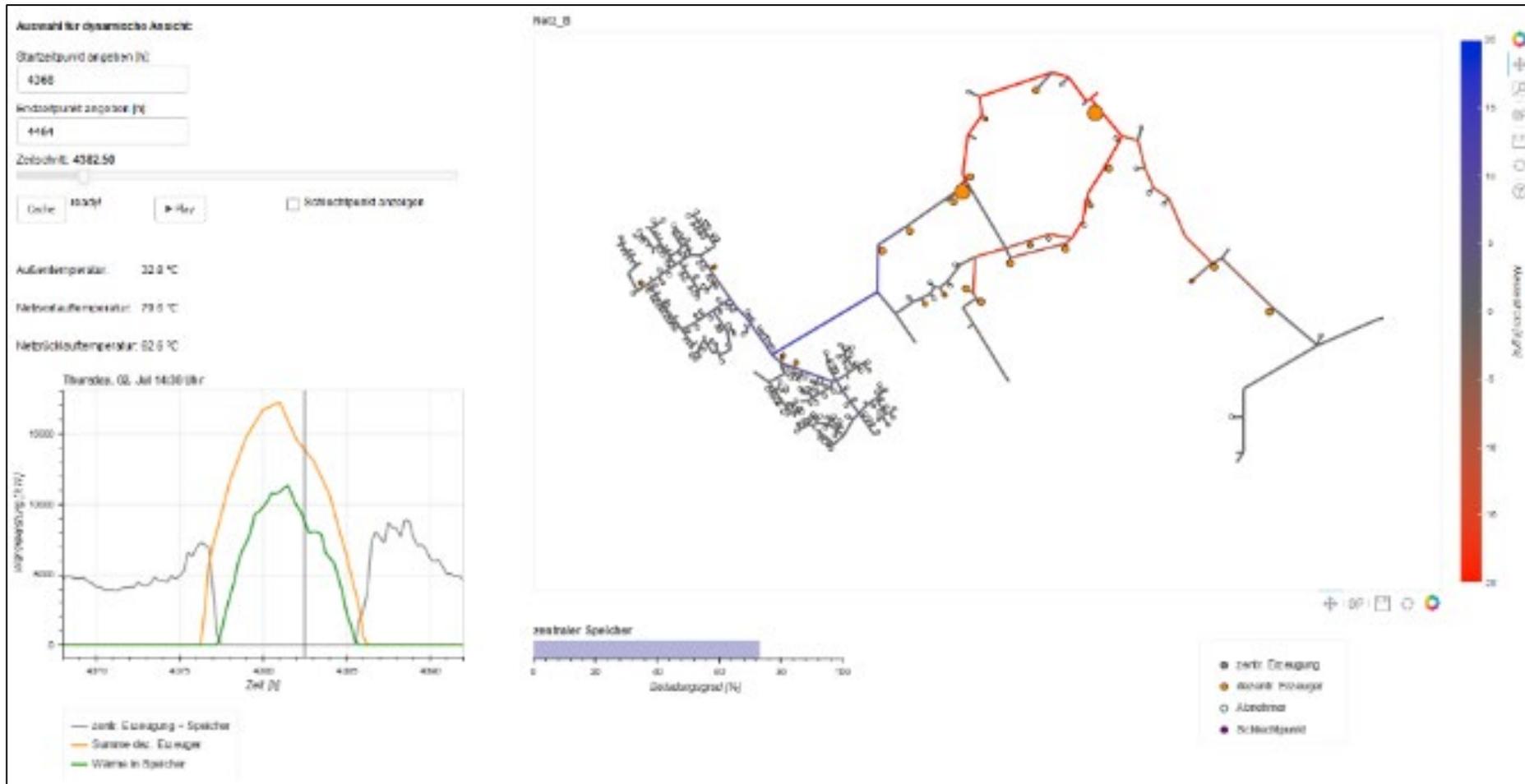
(jährlich, Speicherfahrweise SF-D)

$$SD = \frac{Q_{DE}}{Q_{Netz}}$$



# 40 MW Fernwärmenetz: Simulation mit TRNSYS TUD

Überlagerung volatiles Kundenverhalten und in Summe 22 Tm<sup>2</sup> = 15,4 MW dezentrale Solarthermie



**Grenze der „Netzhoheit“ für den Fernwärmeversorger mit rein zentralem Speicher erreicht**

# Lösungsansatz: Solarthermie und teilzentraler Speicher

- Zentrale Erzeugereinheit (ZE) mit 4 x 10 MW KWK + Spitzenlastkessel
- 23 Solarthermieanlagen mit insgesamt 22.000 m<sup>2</sup> Kollektorfläche
- Netzvorlauftemperaturen 130 .. 80 °C (außentemperaturabhängig)

**TWSP** = Teilzentraler Wärmespeicher:

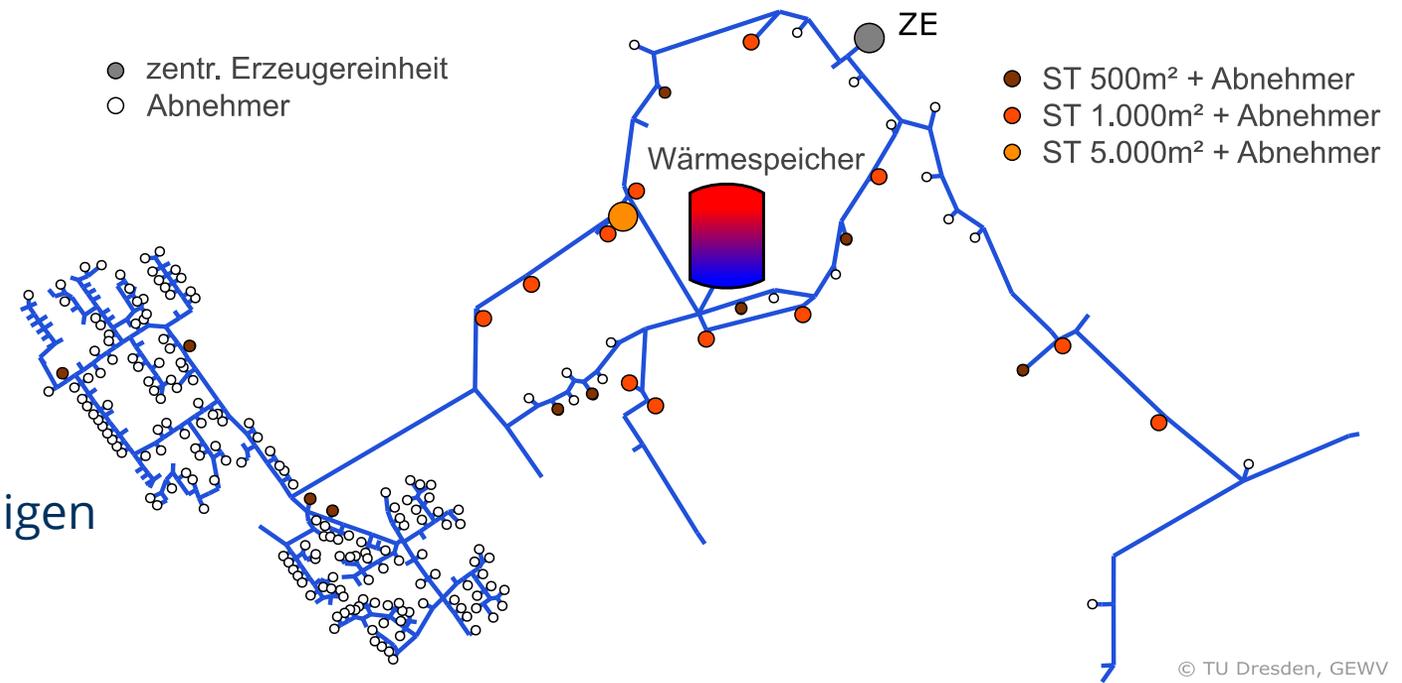
30 m Mantelhöhe

12 m Durchmesser

max. Beladetemp. = 95 °C

**FreeTTES**

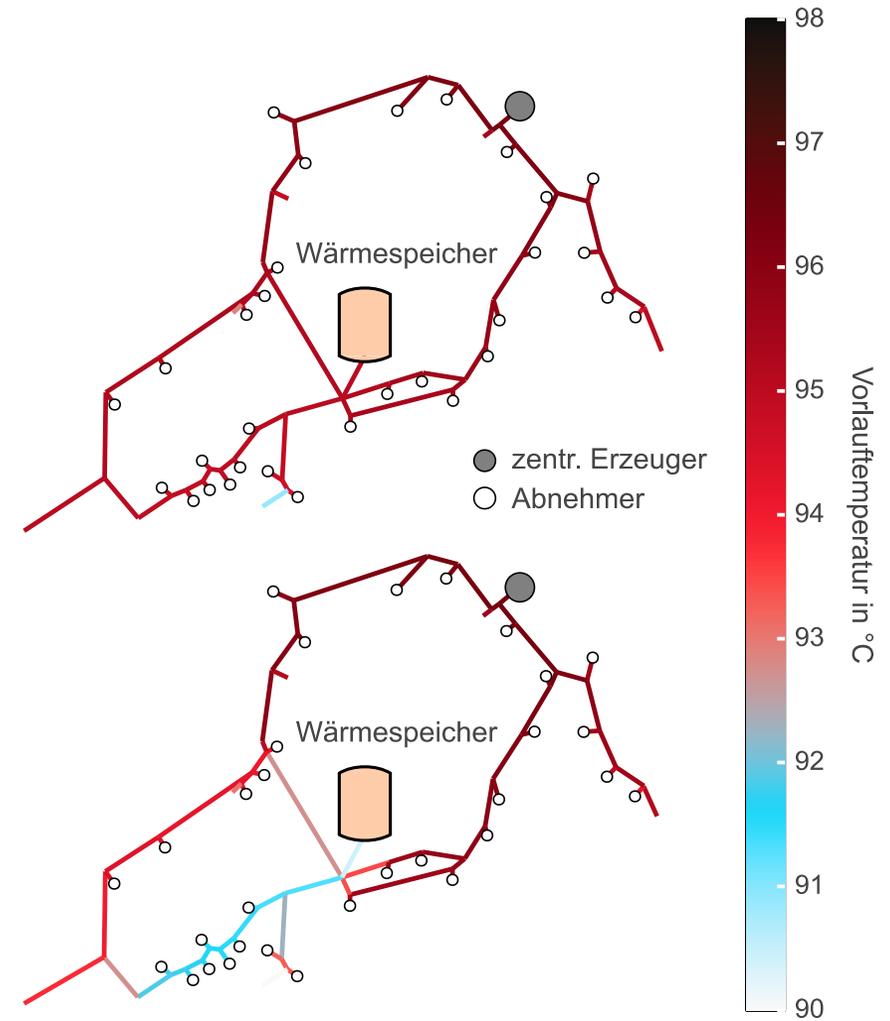
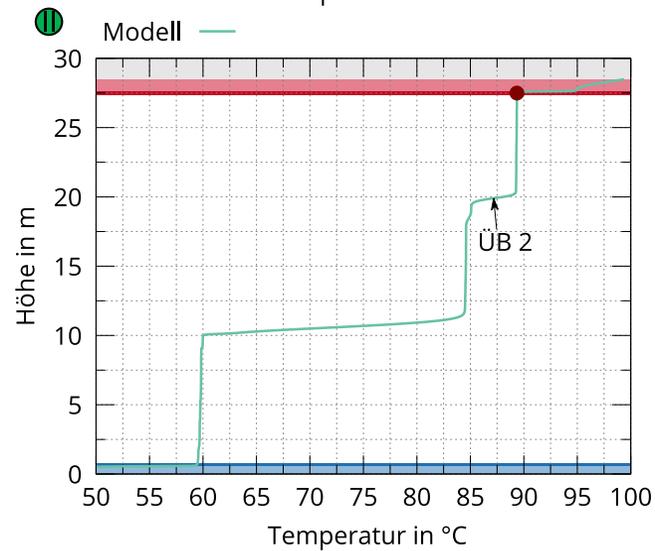
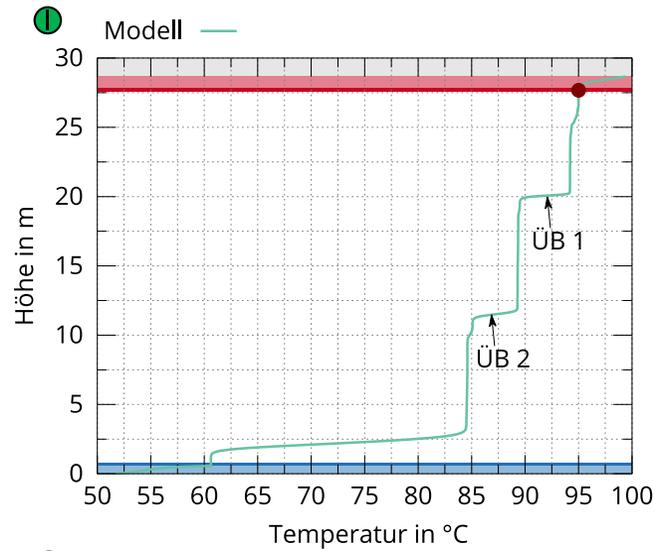
Endphase Entwicklung eines leistungsfähigen Speichermodells zur Abbildung der Temperaturschichtung



# Auswirkung auf das Netz bei Entladung des Speichers

Beginn  
Entladung

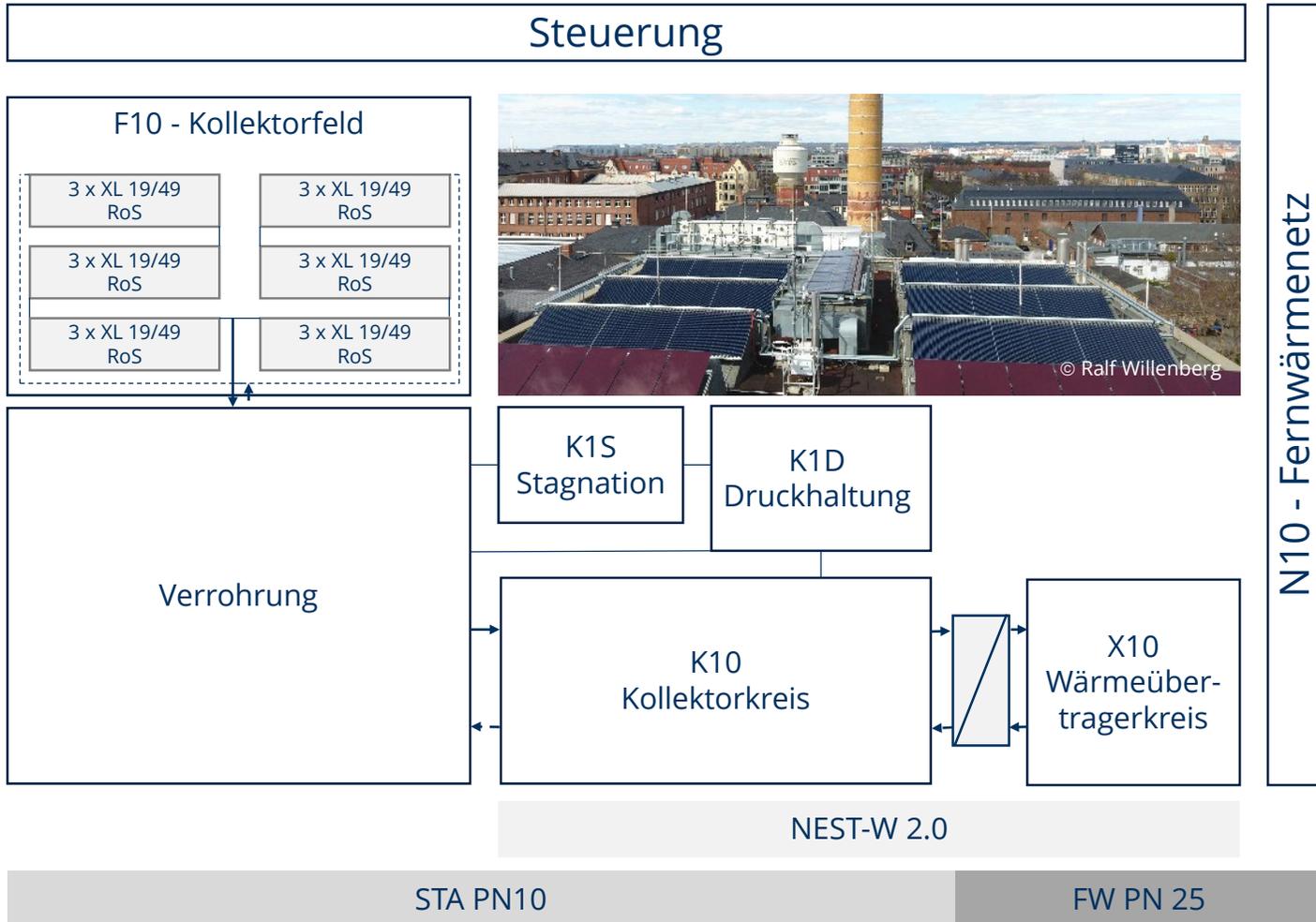
Tagesende



# Beispiele und Zukunftsvisionen

# Kleine Feldanlage Zentrum für Energietechnik der TU Dresden

## Vereinfachter standardisierter Grundaufbau , Hauptkenndaten, Ziele



### Hauptkenndaten

Kollektortyp	Ritter XL19/49 RoS
Anzahl Kollektoren	18
Verschaltung	2 parallele Reihen á 9 Koll.
Bruttokoll.-fläche	89 m <sup>2</sup>
Inklination	25 °
Azimut	- 4,81 ° (SSO)
Einspeisetemp.	$\vartheta_{FW,VI} = 90 \dots 110 \text{ °C}$
Nennleistung	49,5 kW
	(bei 1000 W/m <sup>2</sup> und 60/110 °C FW)

### Test unter realen Betriebsbedingungen

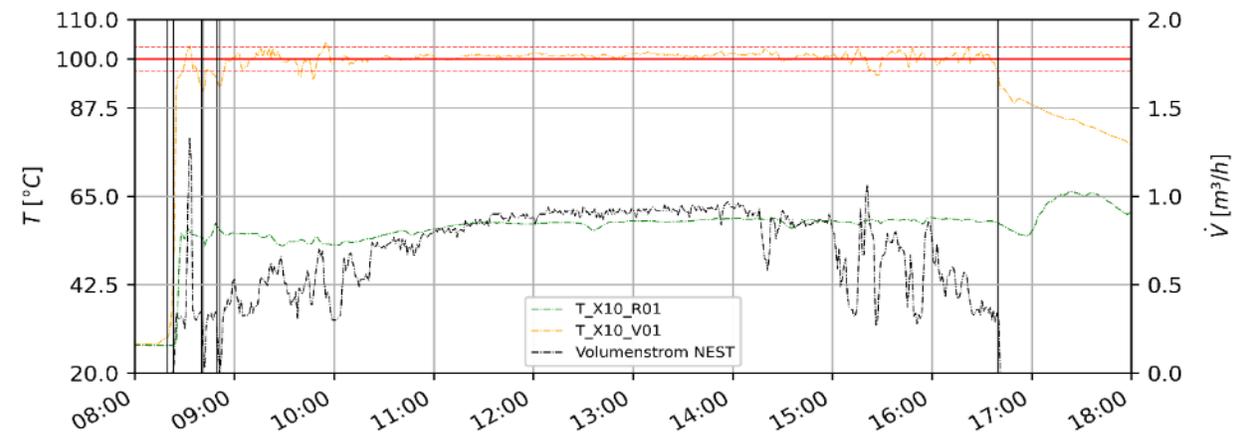
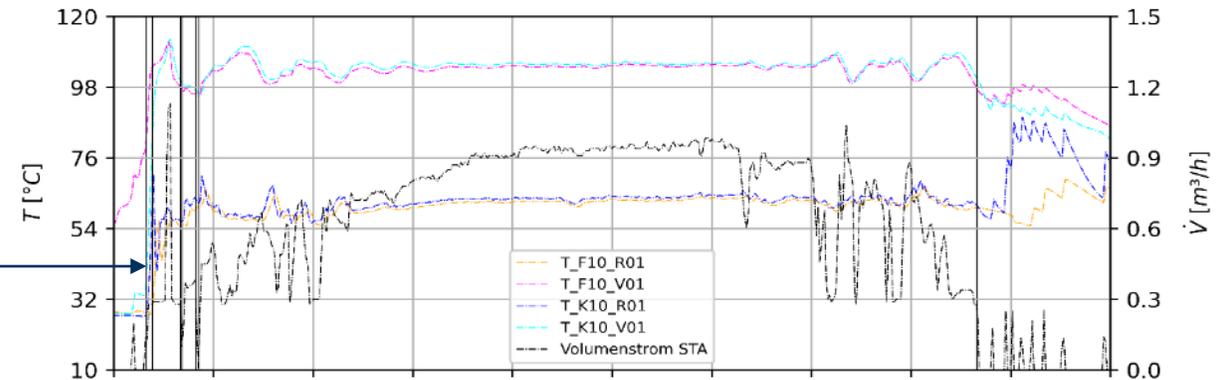
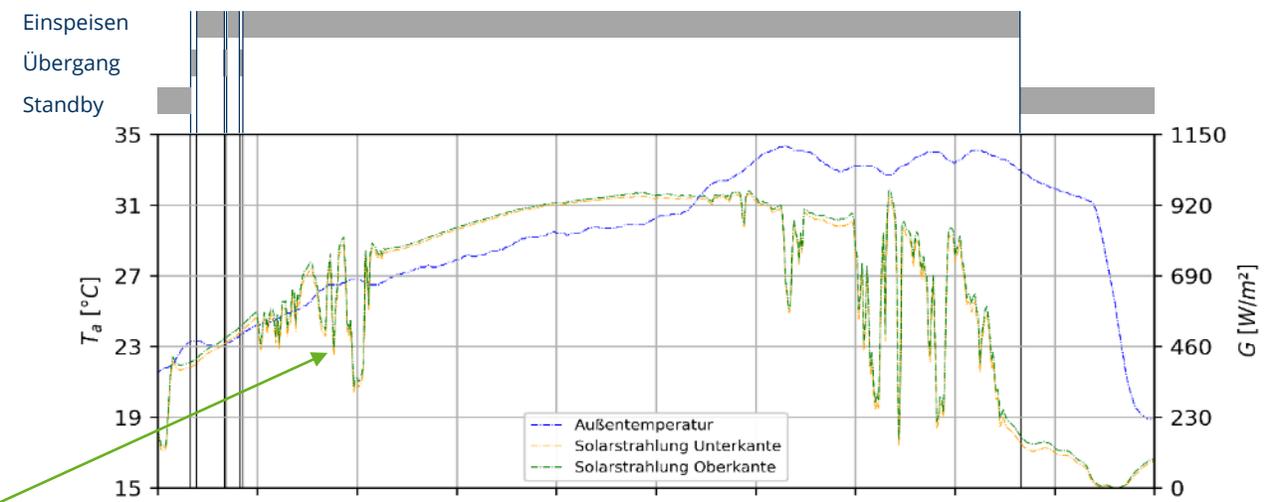
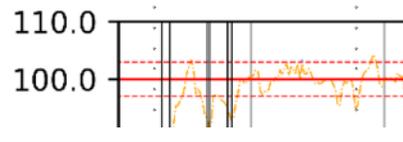
- innovative XL 19/49 RoS mit Wasser als Wärmeträger auf ST-Seite
- Realer Fernwärme-Einspeisebetrieb
- Stresstests durch künstlich herbeigeführte Stagnationen

# Funktionsüberprüfung Grundfunktion

## Einspeisung in den Vorlauf des Fernwärme-Primärnetzes Dresden

07. Juni 2024

- Wechselhaft bewölkter Sommertag
- Frühzeitige Einspeisung am Morgen und kurzer Einschwingprozess
- Stabile Einspeisung bei 100 °C
- Hohe Regelgüte (überwiegend  $\pm 3$  K)

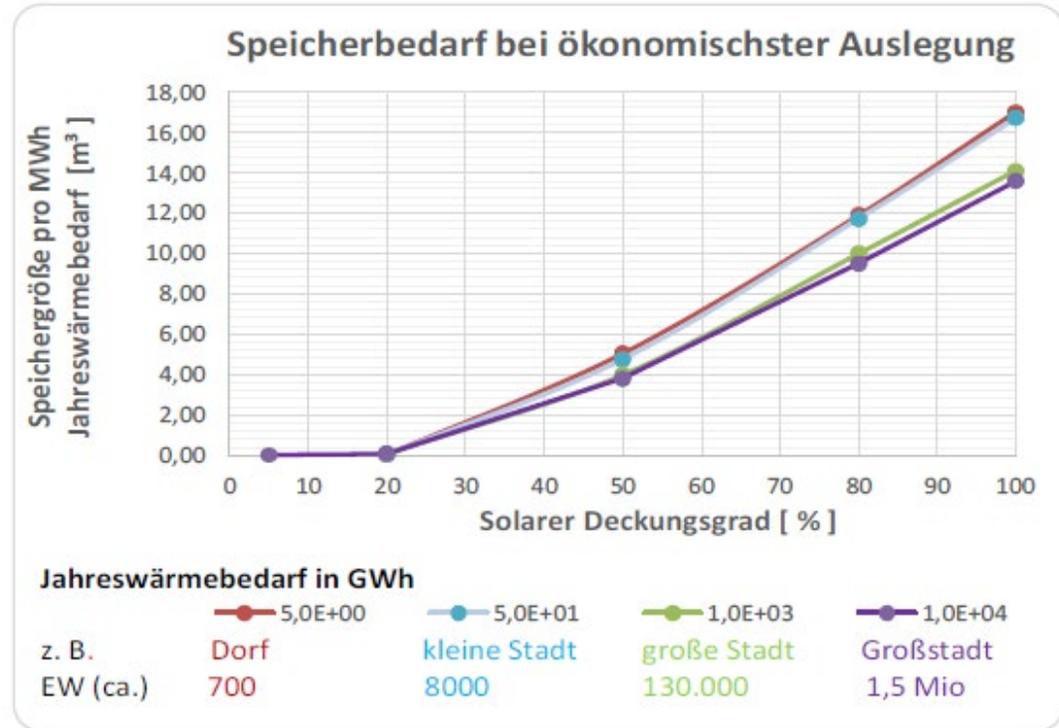
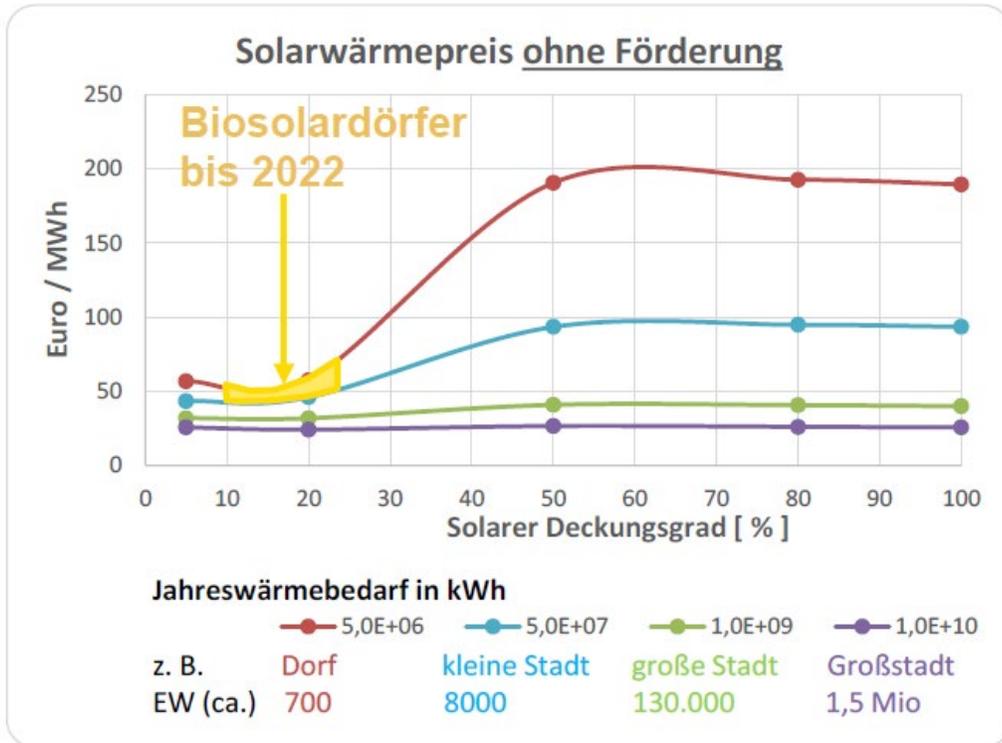


# Großanlagen Solarthermie TRL 9 auch in Deutschland in „Dänischer Dimension“



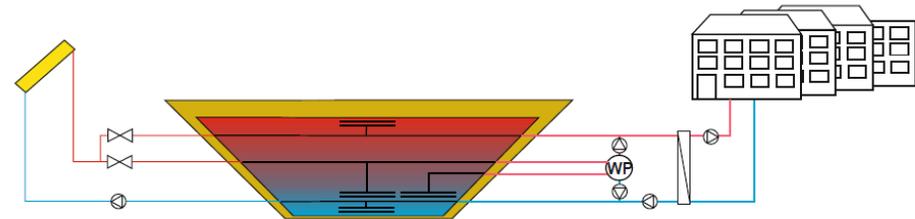
Status 3/2023  
Quelle: <https://www.solarserver.de/wissen/basiswissen/solarthermie-in-der-fernwaerme/>; Download 15.04.24 09:00 Uhr

# Gedankenansatz 100 % EE-Wärme mit Großanlagen ST, Regenerations-WP sowie Speichern



- Solarautarkie mit ST-Großanlagen möglich
- Ab 20 % solare Deckung Speicher zwingend
- Regeneration Speicherschichtung mit WP;  $P_{WP} \approx 0,03\dot{Q}_{ST}$

Quelle: Meißner, R.; Abrecht, S.: Die Zeit ist überreif. Heizungsjournal 7-8 (2022)





**Danke!**

**Kontakt:**

**Technische Universität Dresden**

**Professur für Gebäudeenergie-technik und Wärmeversorgung**

**<https://tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/iet/gewv/forschung/forschungsprojekte>**

**Dr.-Ing. Karin Rühling,**

**karin.ruehling@tu-dresden.de, Tel.: 0049 (0) 351 463 -32375**