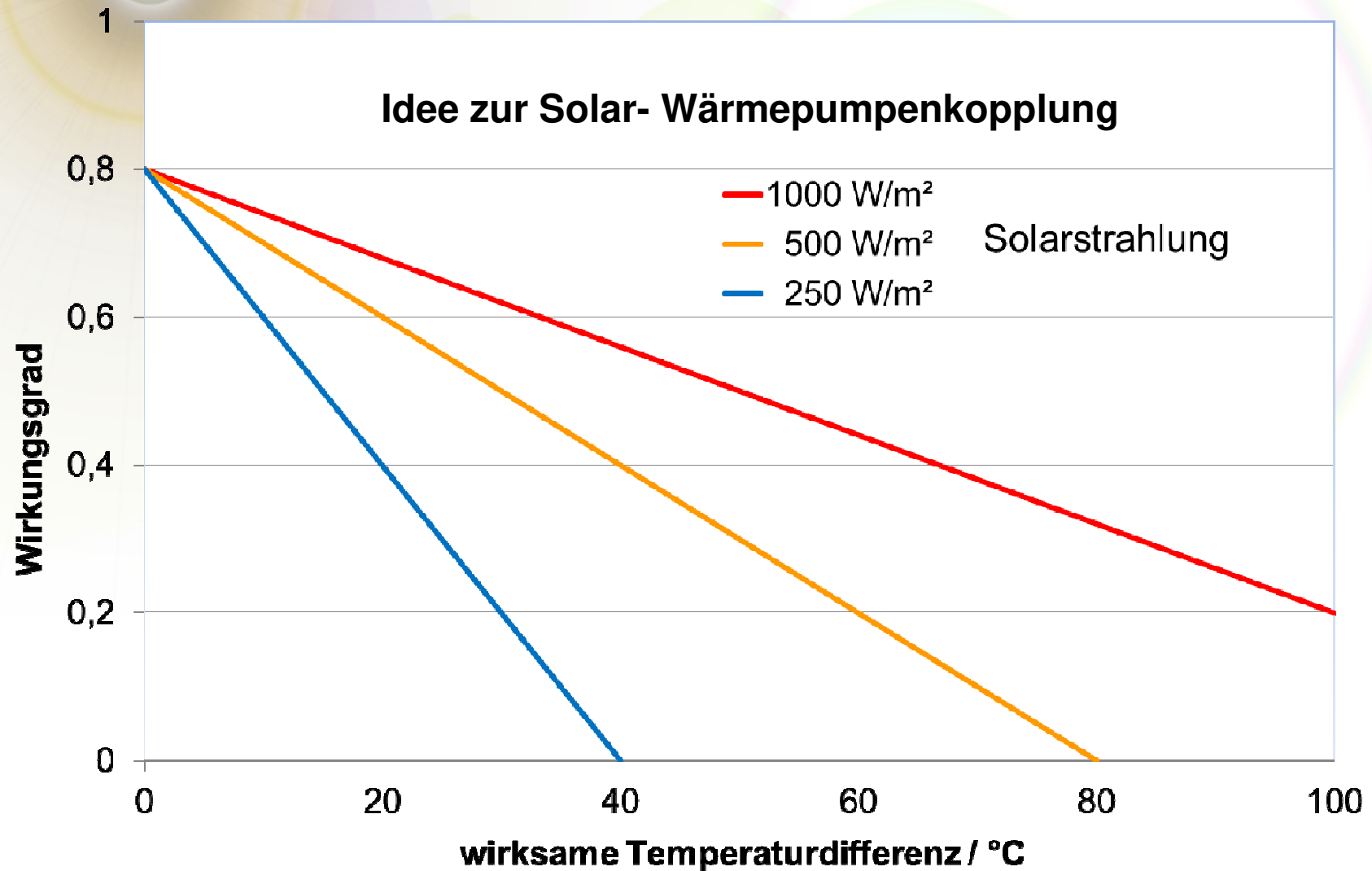
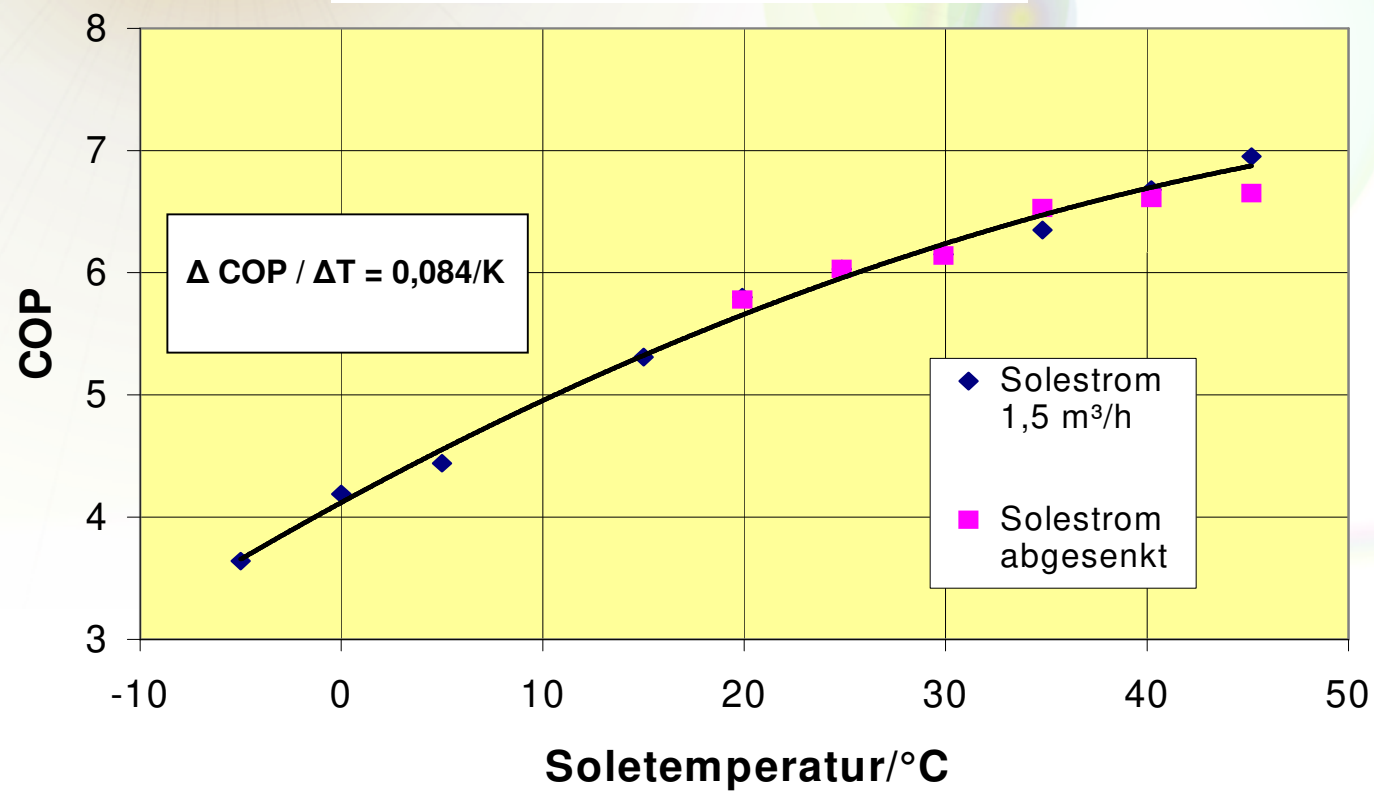


Potential der Solarthermie zur Steigerung der Leistungszahl von Wärmepumpen

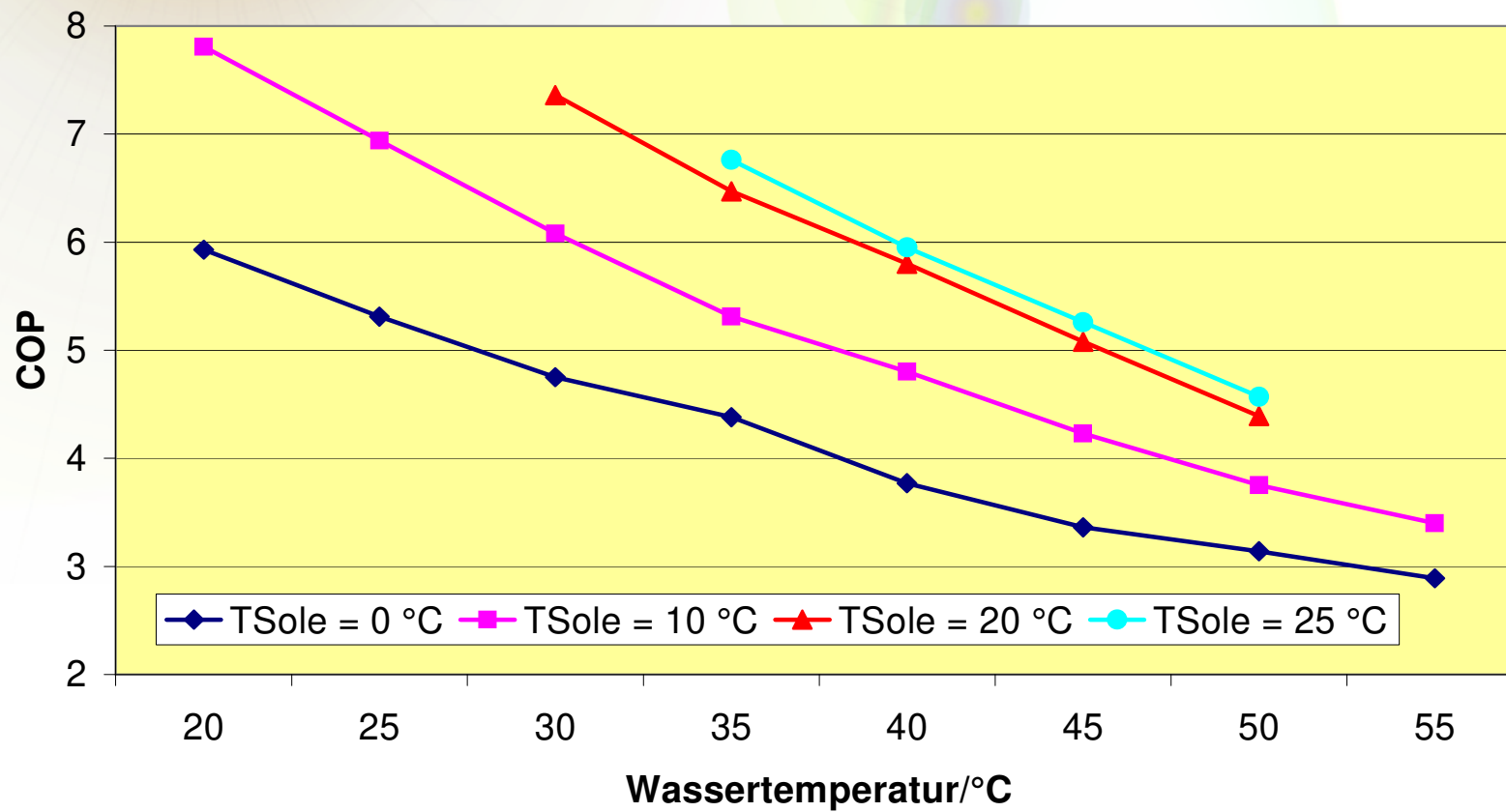
Vortrag am 12. November 2014 im Solarzentrum Hamburg
Vortragender
Dr.-Ing. Henning Schmidt



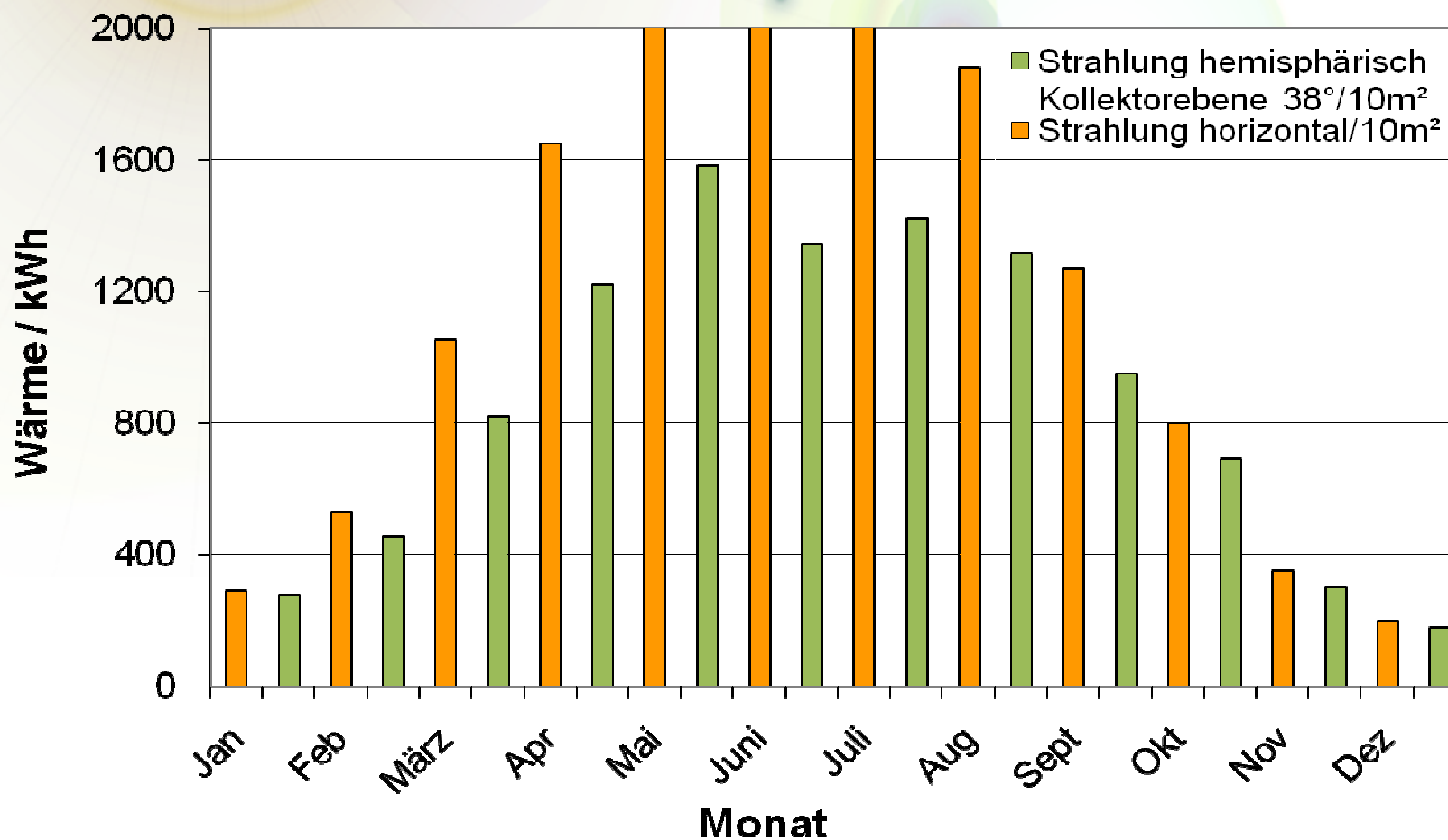
COP vs. T_{Sole} für $T_{\text{Wasser}} = 40\text{ °C}$



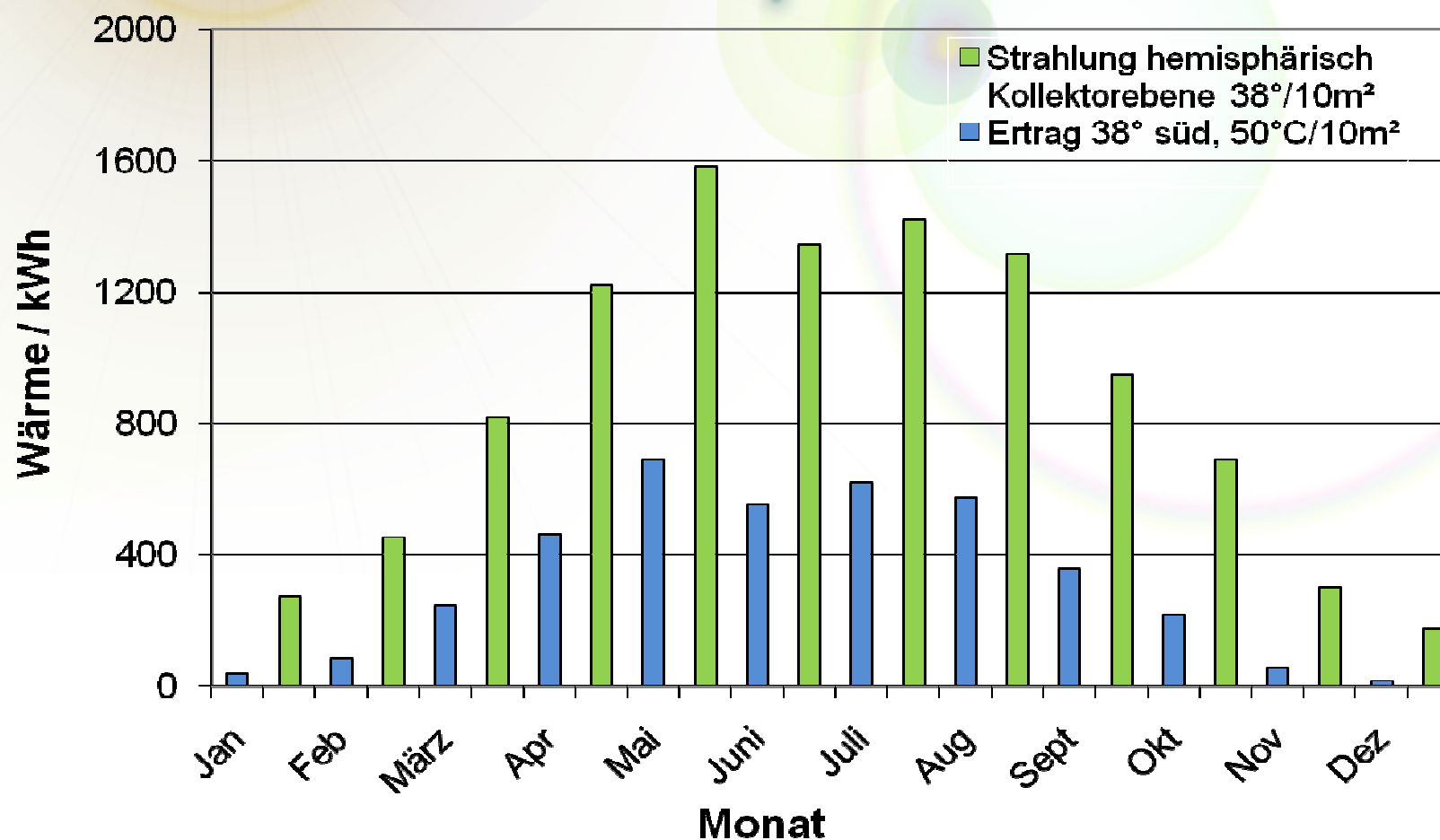
COP vs. T_{Wasser} für $T_{\text{Sole}} = 0, 10, 20$ und 25 °C



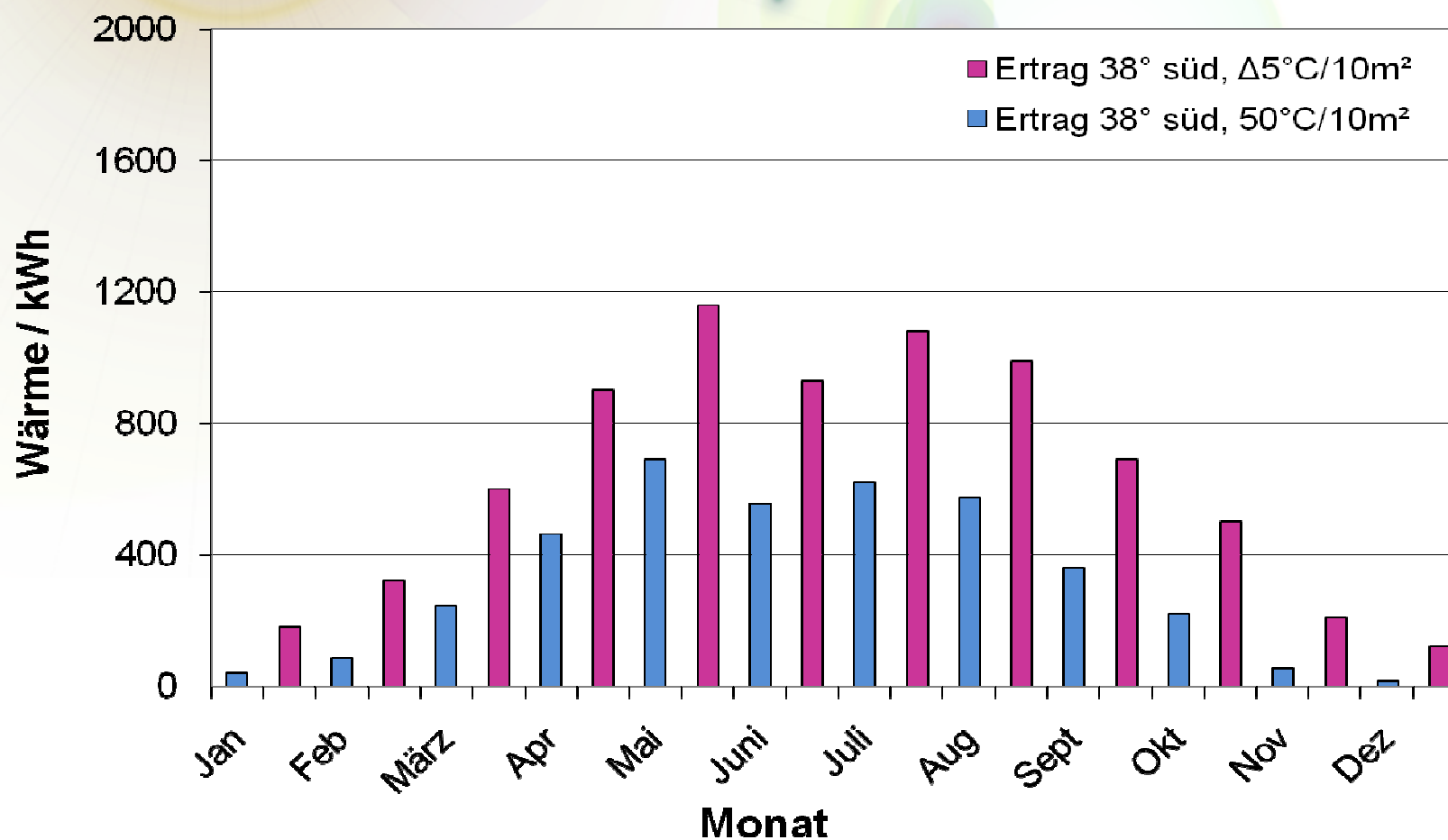
Potential an Strahlungsenergie Region Hamburg



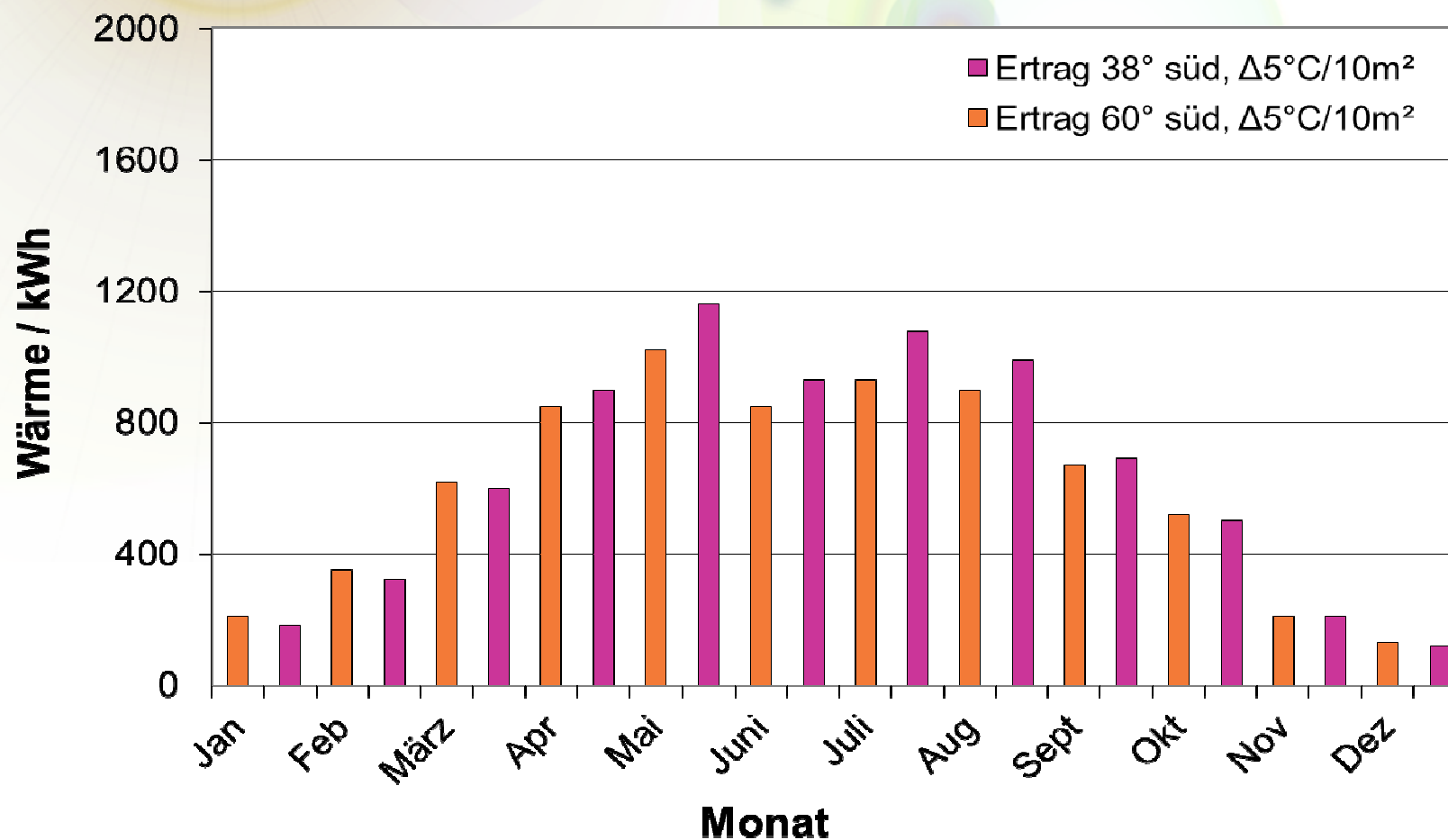
Ertrag Wagner C18 Normalbetrieb Region Hamburg



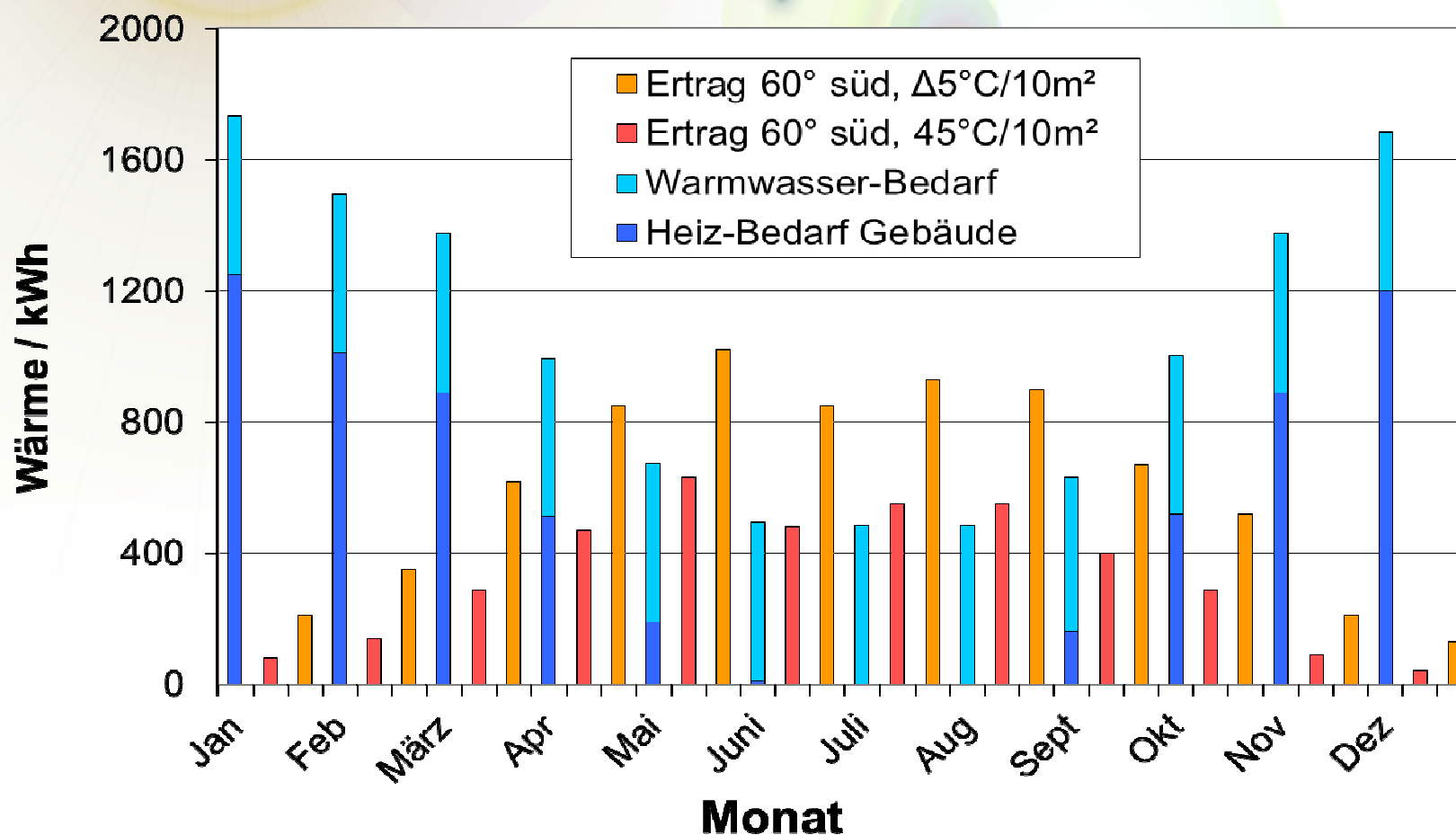
Ertrag Wagner C18 Absenkbetrieb Region Hamburg



Ertrag Wagner C18 Absenkbetrieb Region Hamburg



Wärmebilanz eines modernen Wohnhauses



Vergleich der energetischen Wertigkeit Direktnutzung zu Wärmepumpen-Nutzung

Primärnutzung:

$T_{S,p} = 40^\circ \text{C}$, $T_{Ko,ein} = 41^\circ \text{C}$, $T_{Ko,aus} = 43,4^\circ \text{C}$, $T_{Ko,m} = 42,2^\circ \text{C}$, $T_U = 0^\circ \text{C}$
Kollektorkonstanten $C_0 = 0,85$, $C_1 = 3,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K})$, Kollektorfläche 10 m^2 ,
Strahlung $S = 220 \text{ W}/\text{m}^2$, Solestrom $0,05 \text{ kg/s}$

Wärmestrom der Sole

$$Q' = m' \cdot c \cdot \Delta T \quad \Rightarrow \quad Q' = 0,05 \text{ kg/s} \cdot 3,65 \text{ kJ/kg/K} \cdot 2,4 \text{ K} \approx 440 \text{ W}$$

Nutzwärme $440 \text{ W} - 2,5 \text{ (PEF)} \cdot 26 \text{ W (Kollektorpumpe)} = \mathbf{375 \text{ W}}$

resultierender Kollektorwirkungsgrad $\eta \approx 0,2$, PEF = Primärenergiefaktor

Sekundärnutzung:

$T_{WP,aus} = 6^\circ \text{C}$, $T_{WP,ein} = 10^\circ \text{C}$, $T_{Ko,m} = 8^\circ \text{C}$

$\eta = 0,85 - 3,4 \cdot 8/220 = 0,73 \Rightarrow Q' = 10 \text{ m}^2 \cdot 0,73 \cdot 220 \text{ W}/\text{m}^2 = 1,6 \text{ kW}$ mögliche Kälteleistung

aus WP-Vermessung bekannt: $COP_{0/40} = 4,15$, $COP_{10/40} = 4,95$

Antriebsleistung $P_{10/40} = 1,6/(4,95 - 1) = 405 \text{ W} \Rightarrow \text{Heizleistung} = 2,05 \text{ kW}$

Heizleistung bei gleicher Antriebsleistung $P_{0/40}$: $4,15 \cdot 405 = 1,68 \text{ kW} \Rightarrow \mathbf{370 \text{ W}}$ Differenz

SOLTEX

Solar- und Wärmepumpenkopplung



Solar- Wärmepumpen- Kopplung



Anforderungen an die Komponenten

Solarkollektor:

- guter Umwandlungswirkungsgrad (optische Konversion)
- guter Luftaustausch zur Vermeidung von Kondensation
- große Kollektorfläche, jedoch ohne Stagnation im Sommer
=> Flachkollektoren

Wärmepumpe:

- exzellenter COP im Norm-Betriebspunkt
- möglichst großes Potential $\Delta\text{COP} / \Delta T_{\text{Sole}}$
- Möglichkeit zum Betrieb mit hoher Temperatur verdampferseitig

Wärmeverteilung:

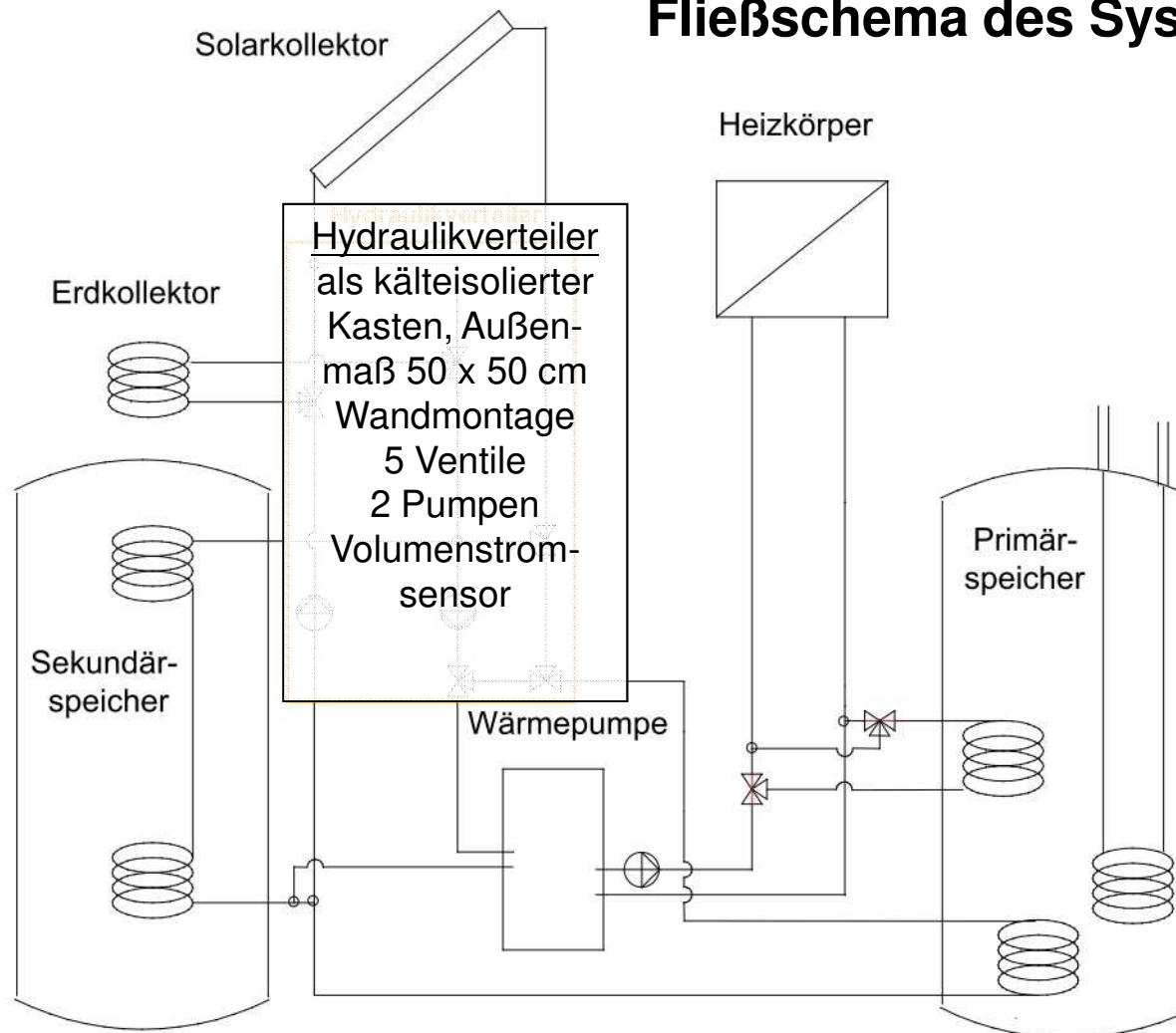
- möglichst wenige Pumpen
- möglichst wenige Ventile
- möglichst geringer Stillstandsverbrauch
- keine externen Wärmetauscher

Versuchsobjekt

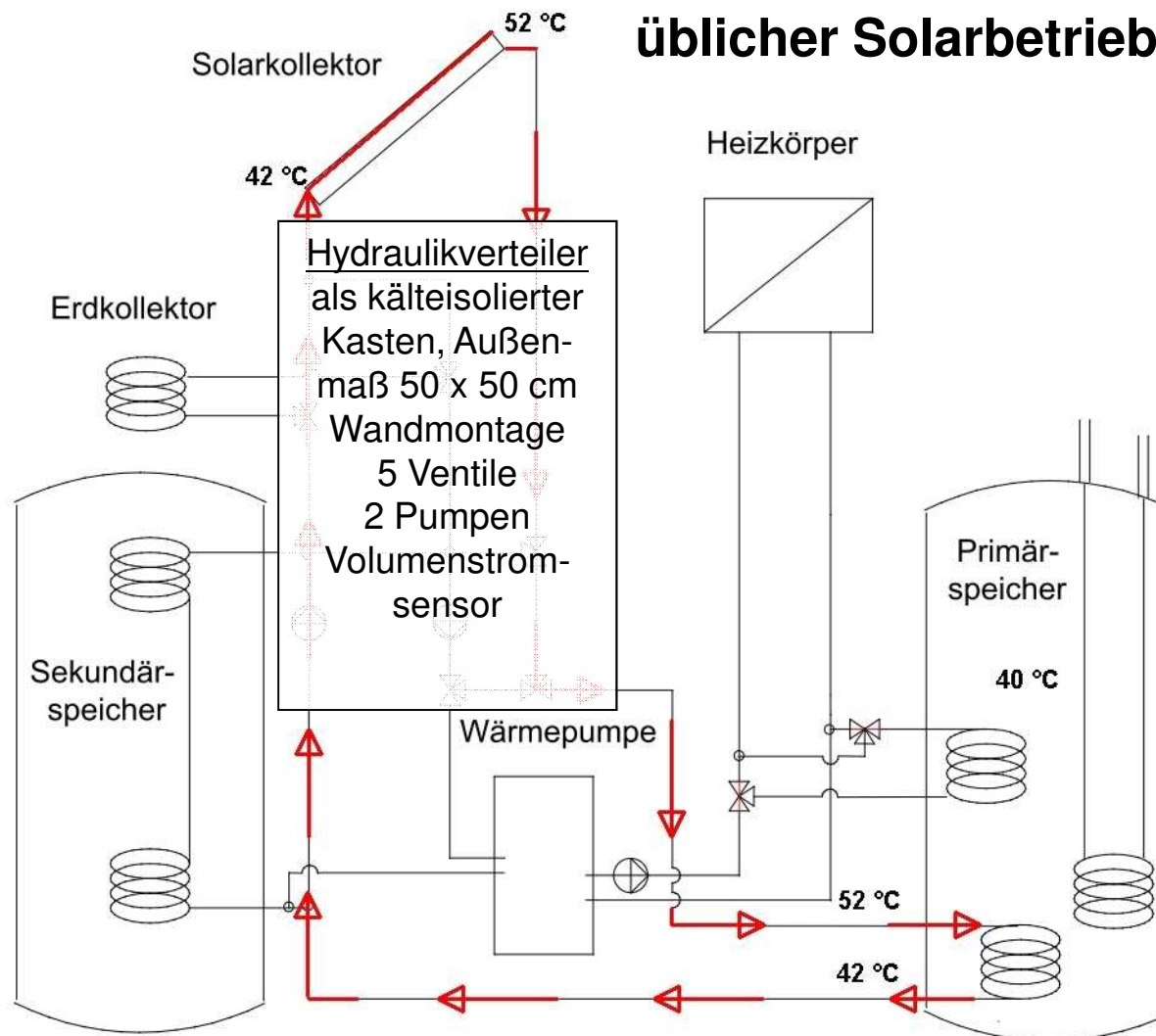
- Einfamilienhaus Region Hamburg
- berechneter Jahresheizwärmebedarf 6.630 kWh
- geschätzter Bedarf an Warmwasser 5.840 kWh
- Solarkollektor ARCON STU 9,6 m² Absorberfläche
- Wärmepumpe 5 kW Nennwärmeleistung, Kältemittel R290
- Förderung der Untersuchung durch die DBU



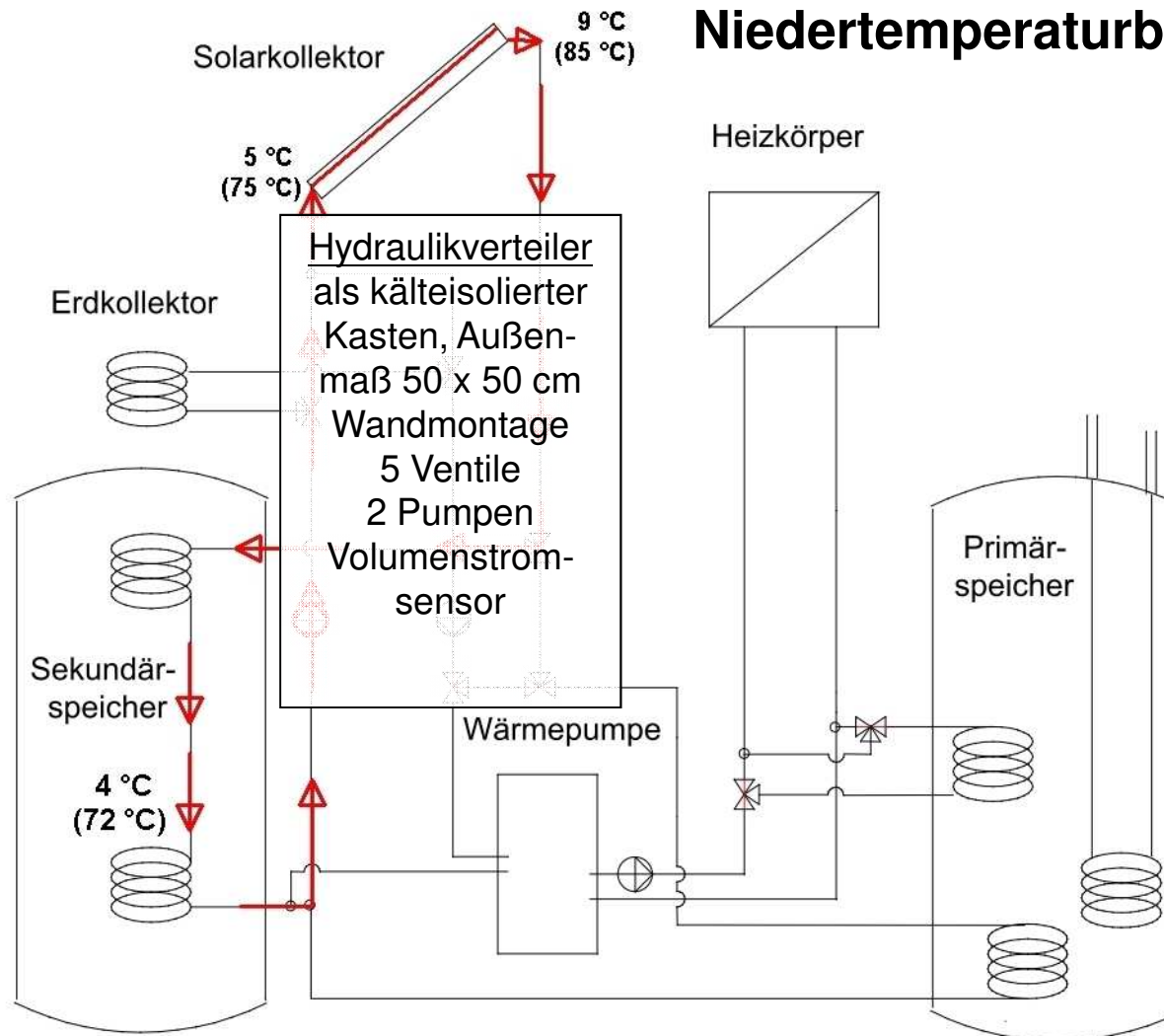
Fließschema des Systems



üblicher Solarbetrieb



Niedertemperaturbetrieb



Herleitung der Umschaltbedingung sekundär $\Rightarrow$ primär

$$\Rightarrow S_{\min} = C_1/C_0 (T_{S,P} - T_U) \quad \text{Mindestrahlung in W/m}^2 \text{ für } \eta = 0$$

Eine Energiebilanz am Kollektor liefert den Zusammenhang:

$$S_{\text{ist}} = (Q'_{\text{Sole}} + Q'_{\text{Verlust}})/(C_0 \cdot A_{K0}) =$$

$$[V'_{\text{Sole}}/A_{K0} \cdot \varphi \cdot c \cdot (T_{K0} - T_R) + C_1 \cdot (T_m - T_U)]/C_0$$

$Q' =$ Wärmestrom

$A_{K0} =$ wirksame Kollektorfläche

$V'_{\text{Sole}} =$ Solevolumenstrom

$\varphi =$ Dichte

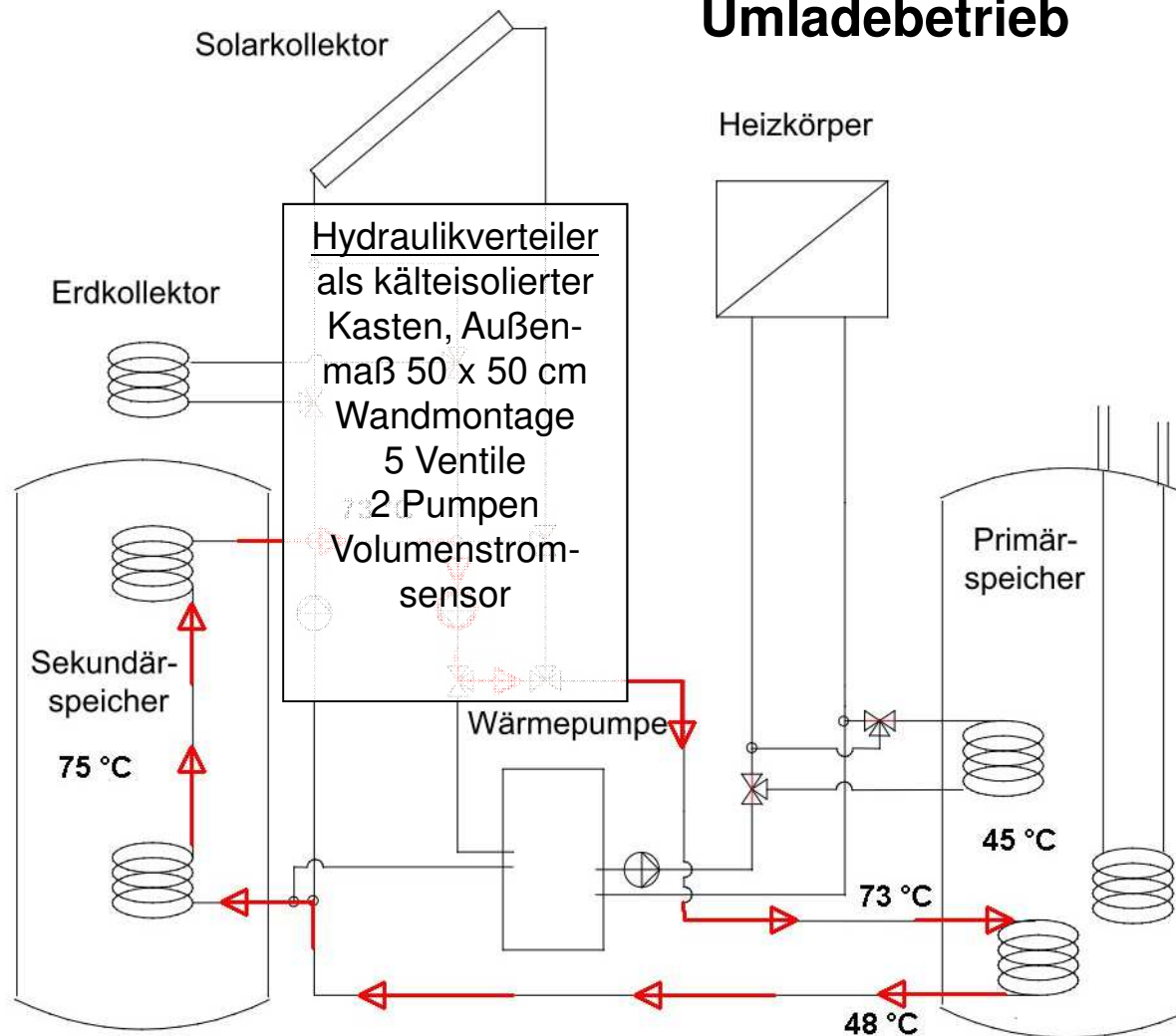
$c =$ Wärmekapazität

$$\Rightarrow S_{\text{ist}} = [V'_{\text{Sole}}/A_{K0} \cdot \text{Faktor} \cdot (T_{K0} - T_R) + C_1 \cdot ((T_{K0} + T_R)/2 - T_U)]/C_0$$

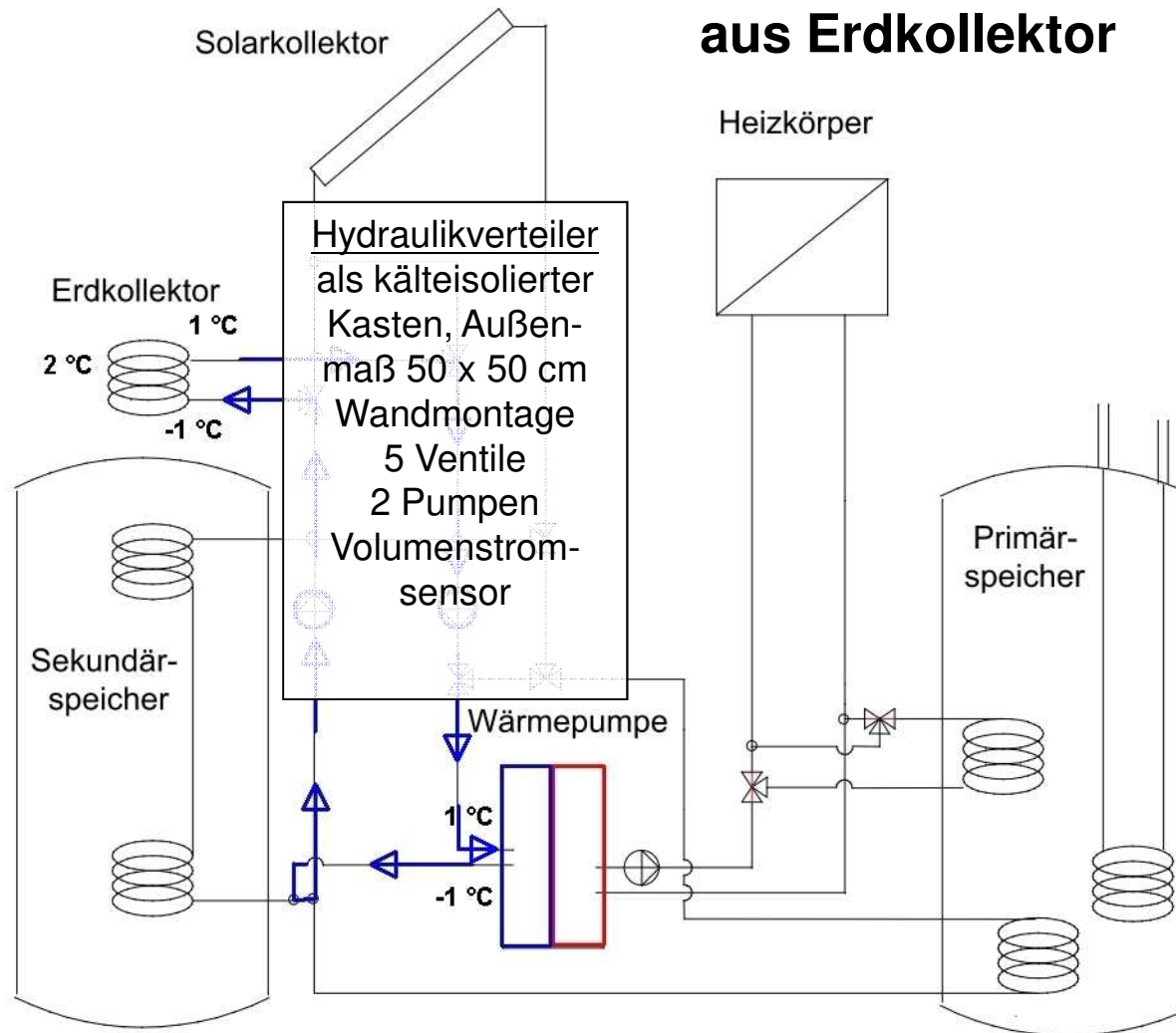
Als Umschaltbedingung gilt dann: $S_{\text{ist}} \geq S_{\min}$ (bei gleichem Solestrom). Auflösung nach $T_{S,P}$ ergibt:

$$\Rightarrow T_{S,P} \leq \text{Faktor} \cdot V'_{\text{Sole}}/(A_{K0} \cdot C_1) \cdot (T_{K0} - T_R) + (T_{K0} + T_R)/2$$

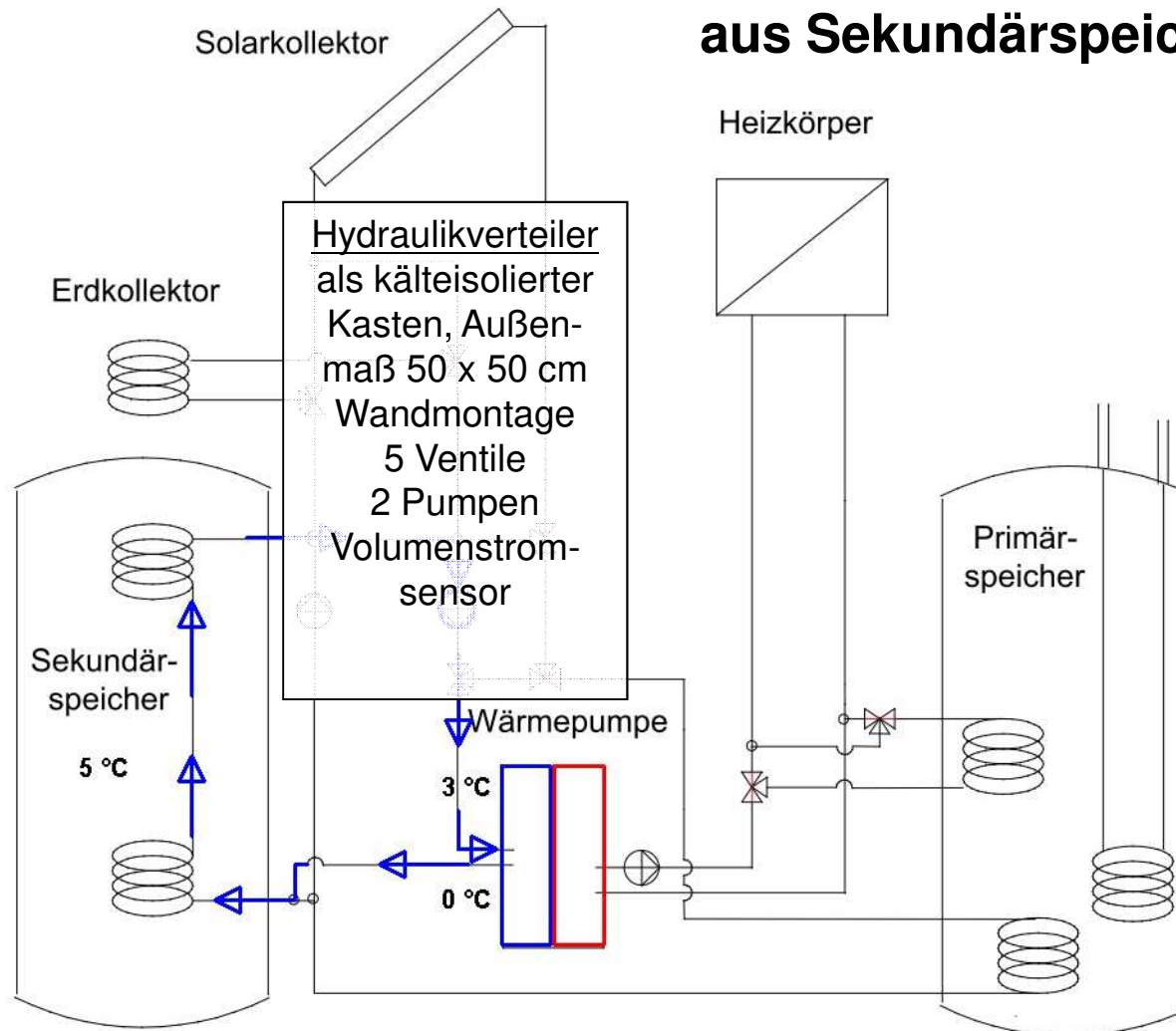
Umladebetrieb



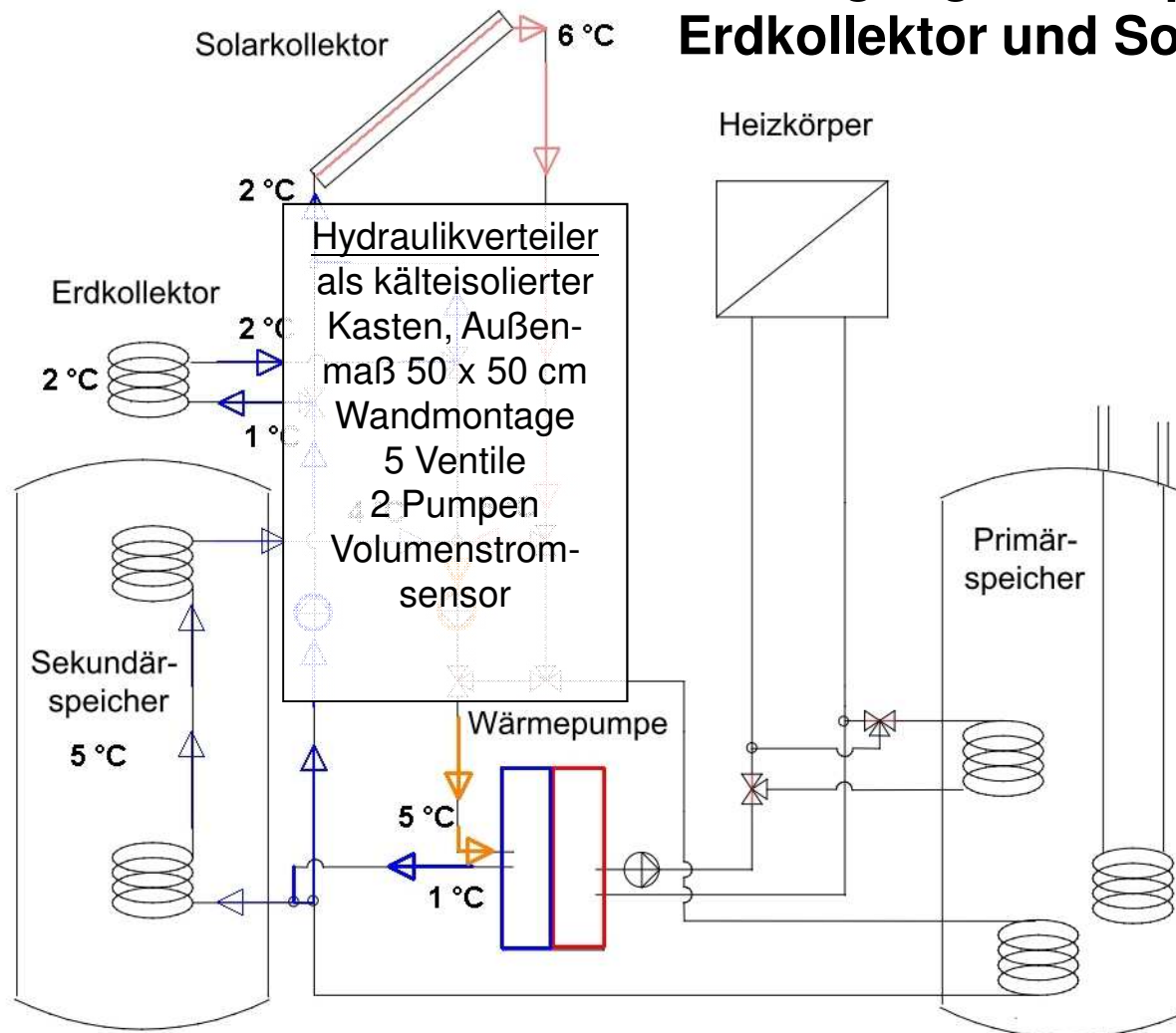
Versorgung Wärmepumpe aus Erdkollektor



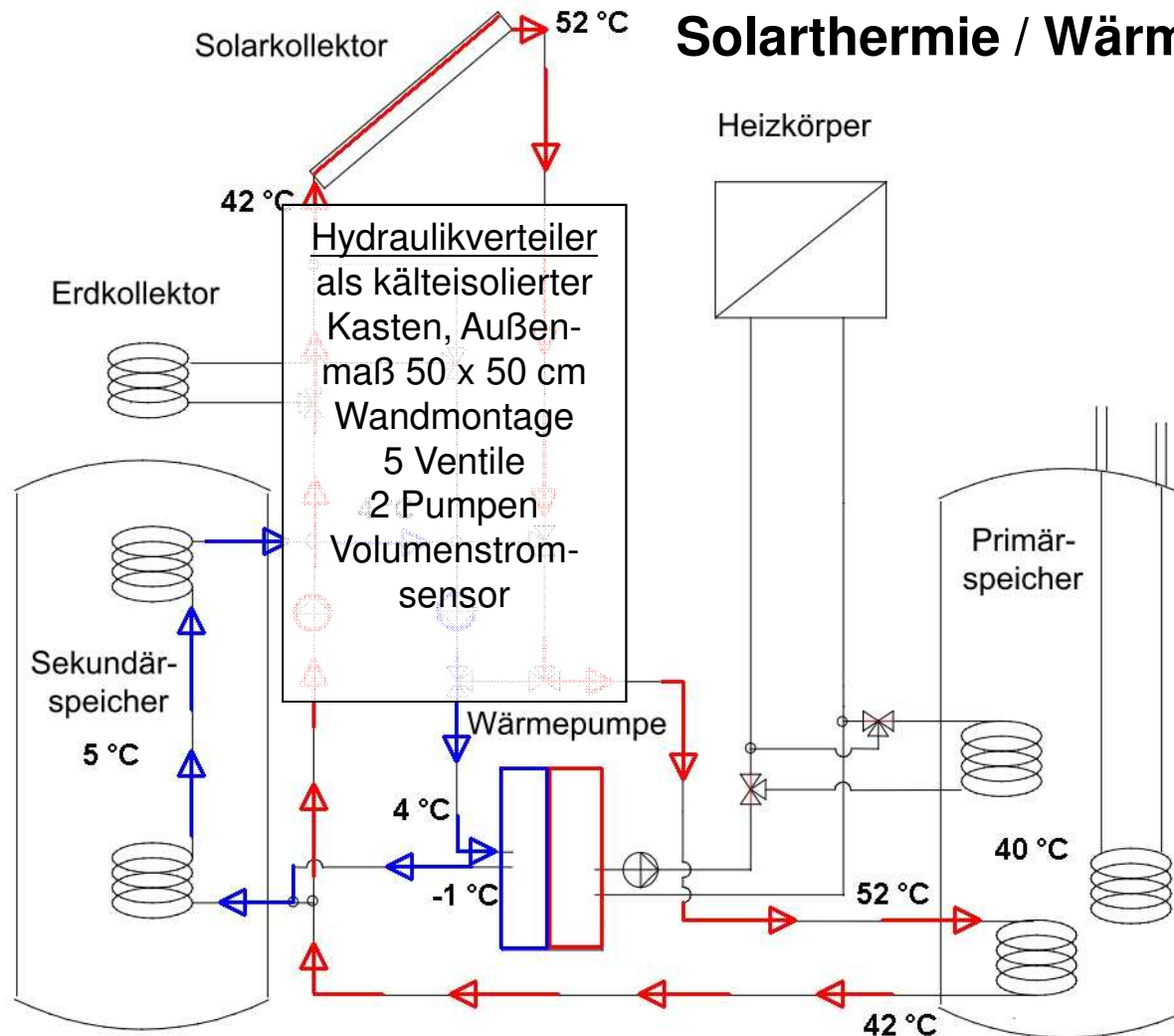
Versorgung Wärmepumpe aus Sekundärspeicher



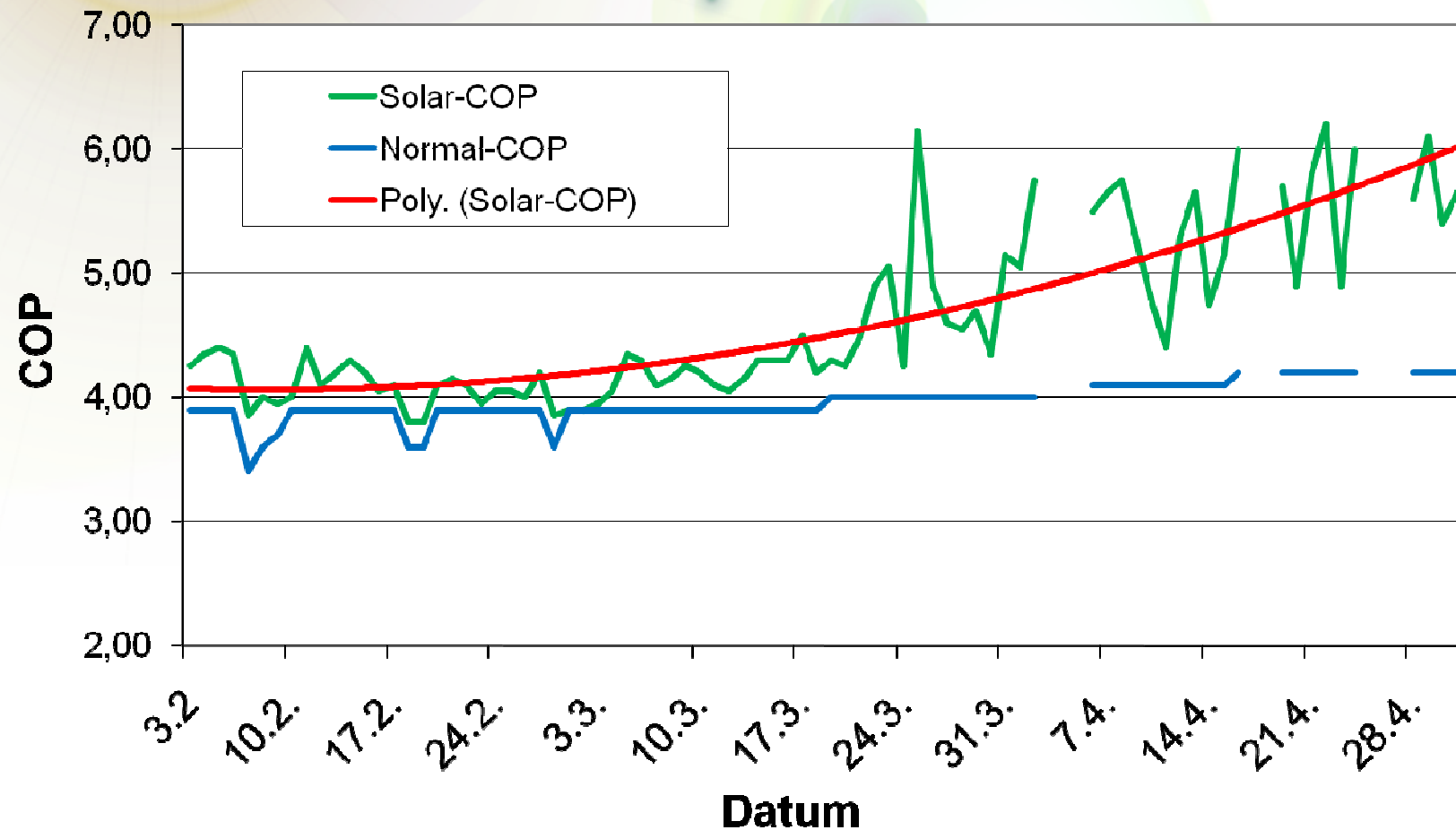
Versorgung Wärmepumpe aus Erdkolektor und Solarkollektor



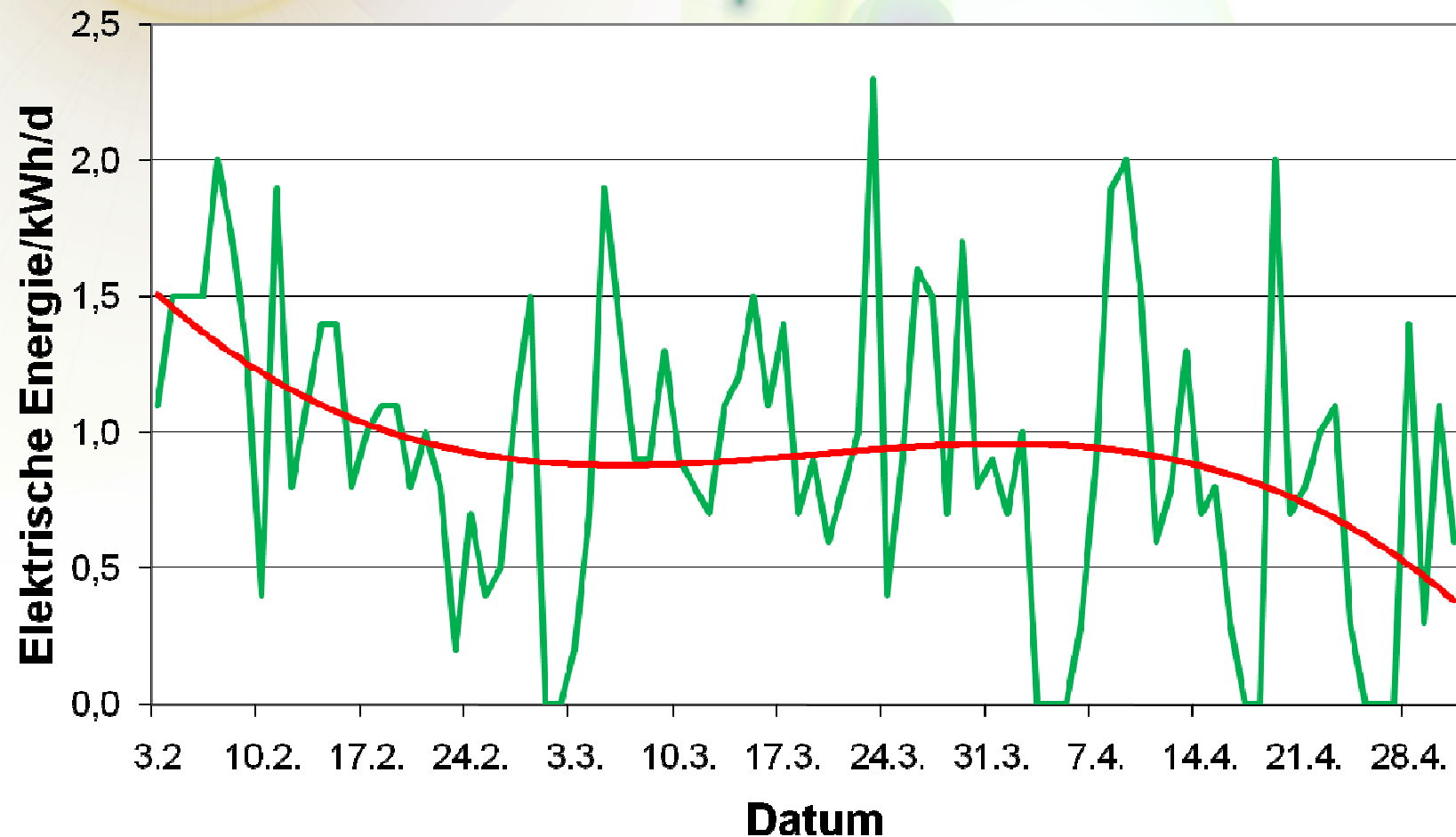
Parallelbetrieb Solarthermie / Wärmepumpe

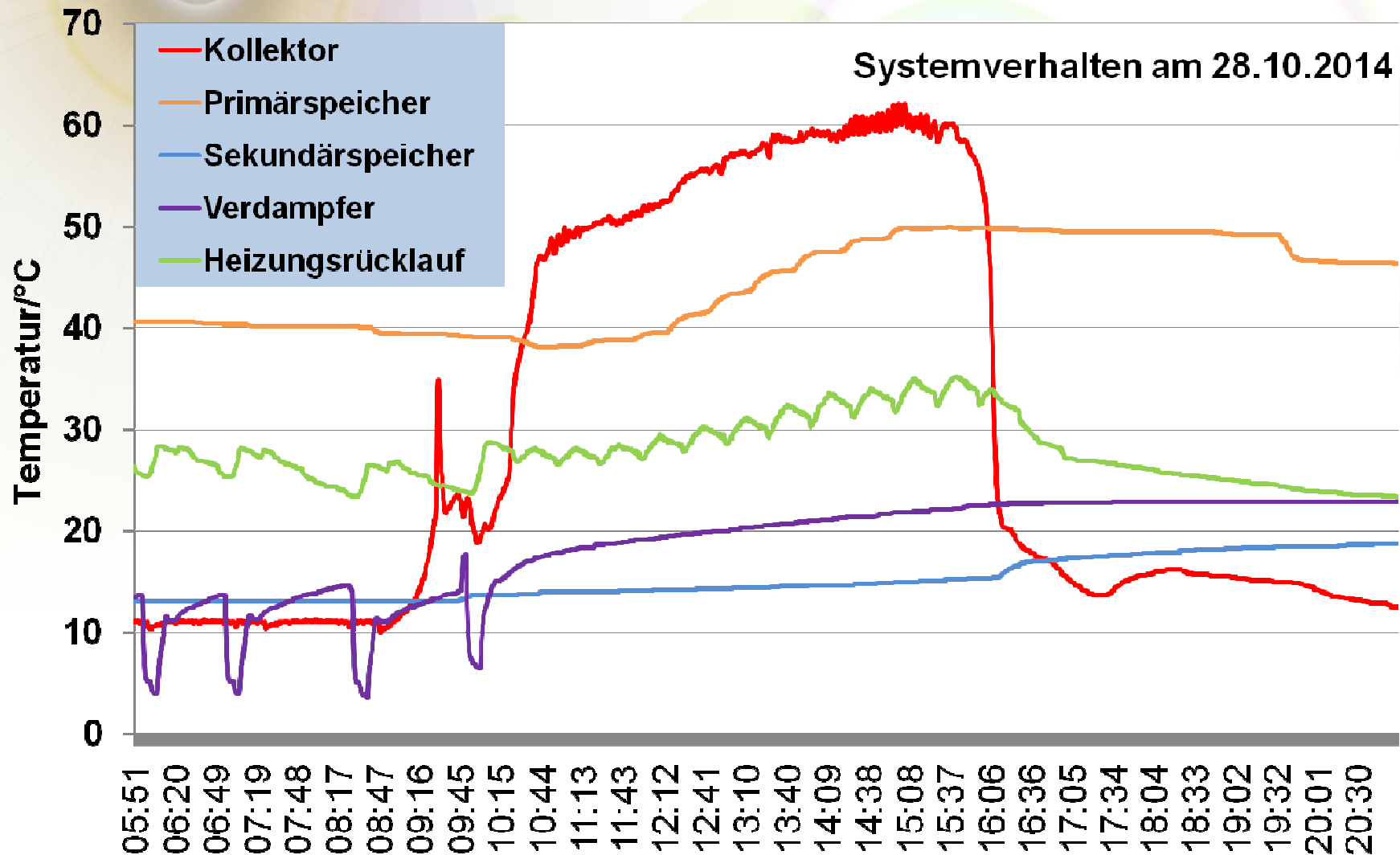


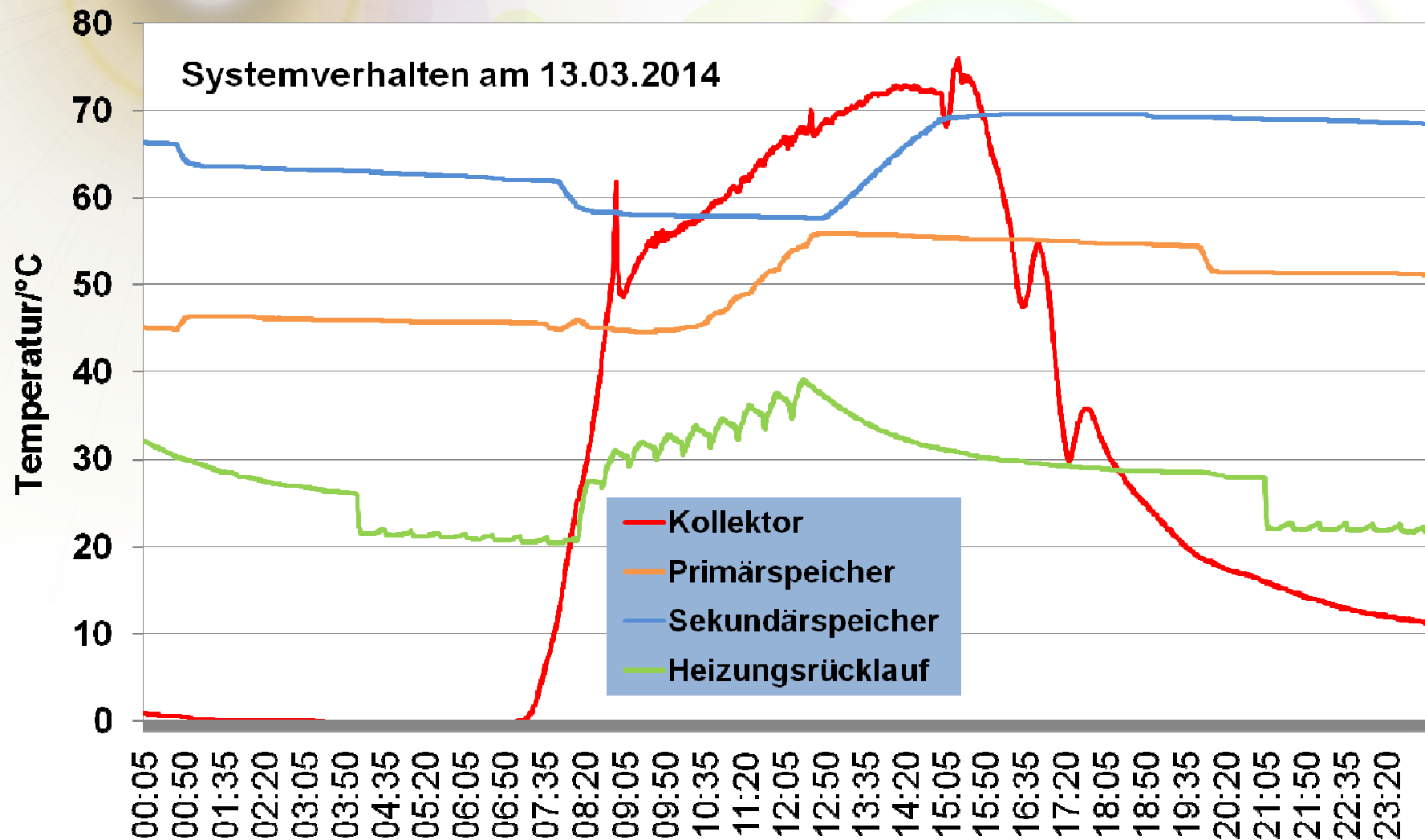
COP mit Solarkopplung und Normalverlauf



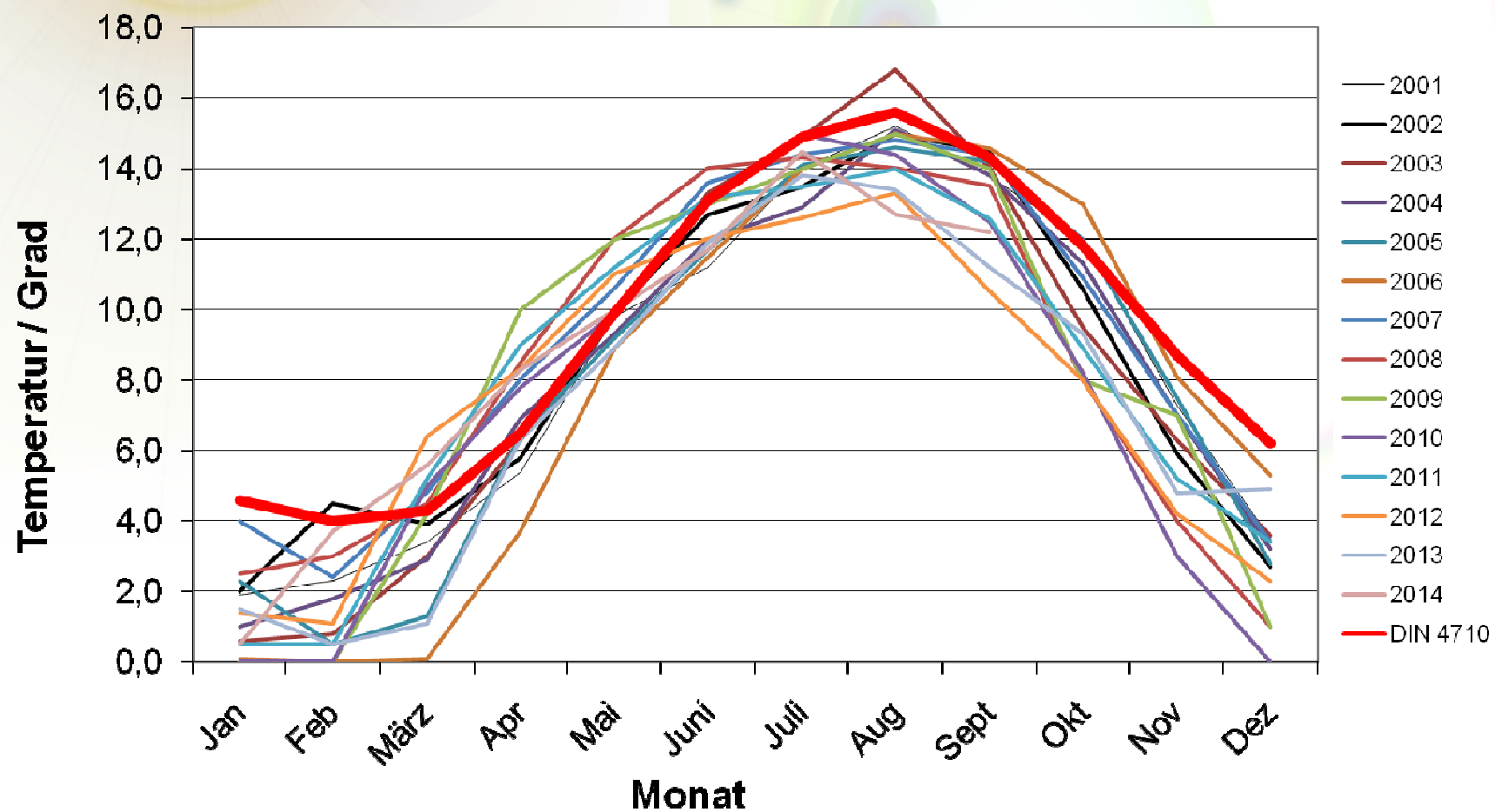
Differenz der Stromverbräuche durch solare Erhöhung der Verdampfungstemperatur







Erdtemperatur Kollektorgraben 2001 - 2014



Zahlen und Fakten

Primärertrag 2364 kWh = 22% des Gesamtbedarfs

Sekundärertrag 656 kWh = 28% des Primärertrags

Gesamteinsparung 10 % = 240 kWh Strom

10% entspricht Anhebung der Soletemperatur um 5 K