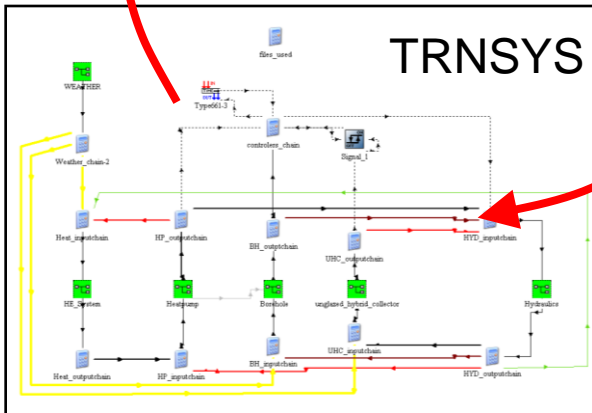


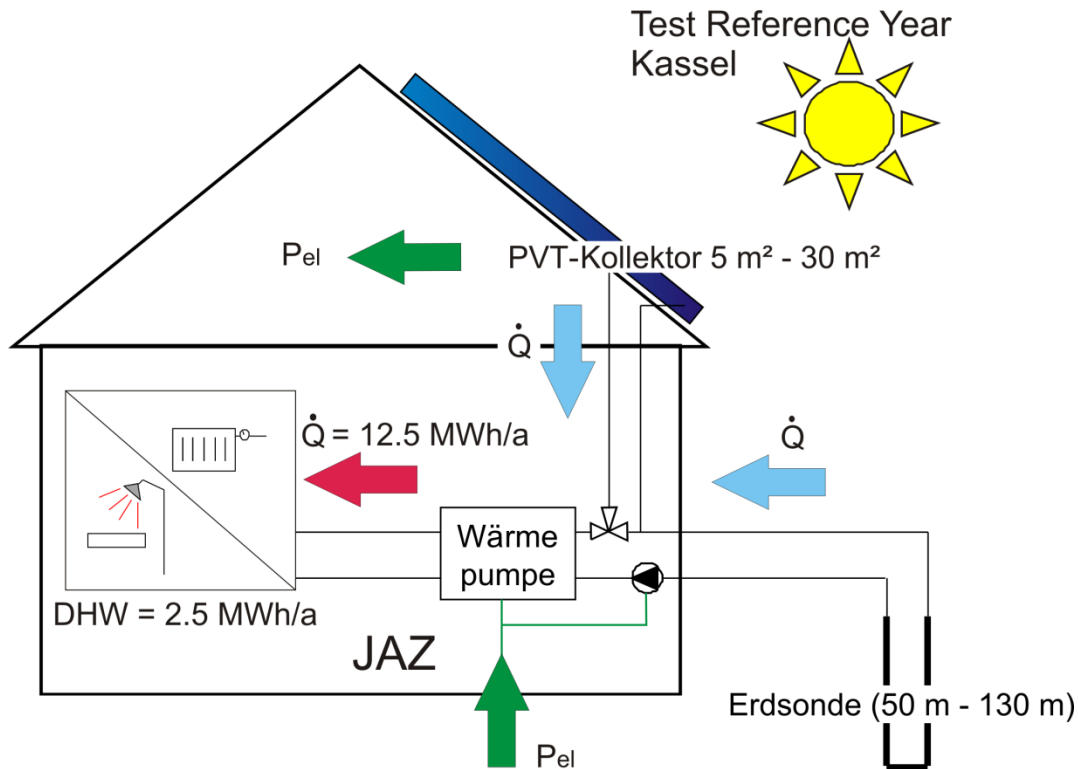
Simulation und Optimierung

E. Bertram

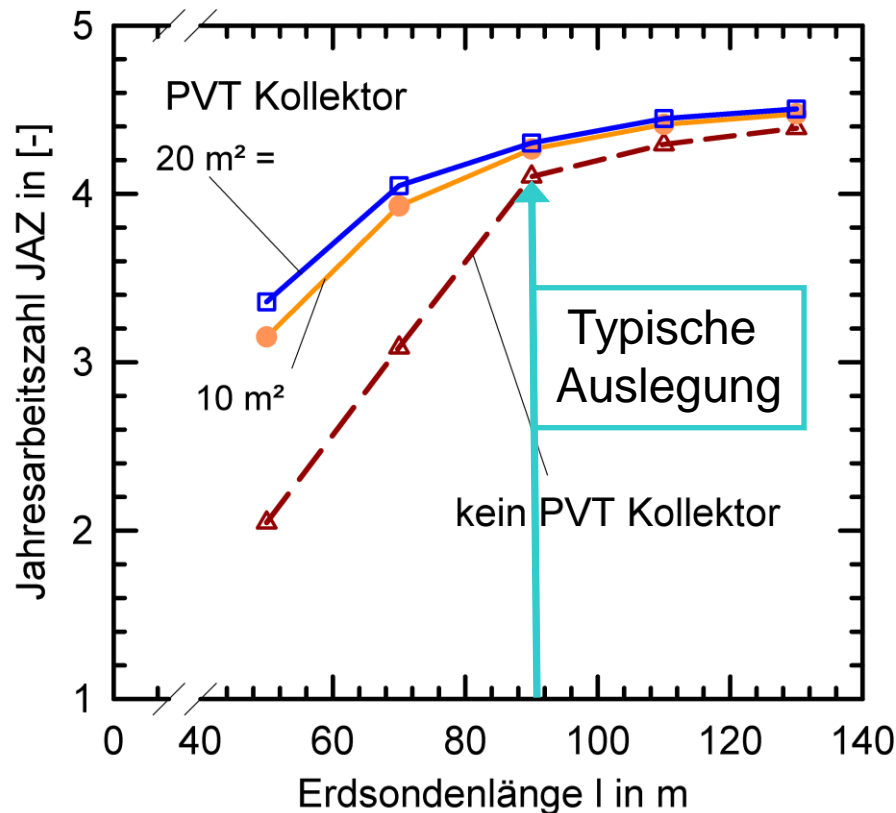


- Simulation erlaubt Isolierung und Untersuchung von einzelnen Größen.
- Was sind die bestimmenden Größen, und wie ist ihr Einfluss?
 - Lange oder kurze Erdsonde?
 - Kleine oder große PVT-Fläche?
 -
- Wie sind die Ergebnisse übertragbar?

- Referenzsystem
- Übertragbarkeit
 - Lastgröße
 - Standort
 - PVT-Kollektoren + Windeinfluss
- Ausgeglichene Jahresbilanz
- Kombination verglaste Solarthermieanlage
- Regelung
- Überschlägige Dimensionierung



- Einfamilienhaus (140 m²) 4 Personen
- Anlehnung an IEA Task 26 und 32
- Sensitivitätsanalyse
Variation:
Erdsondenlänge,
PVT-Kollektorfläche,
weitere Parameter

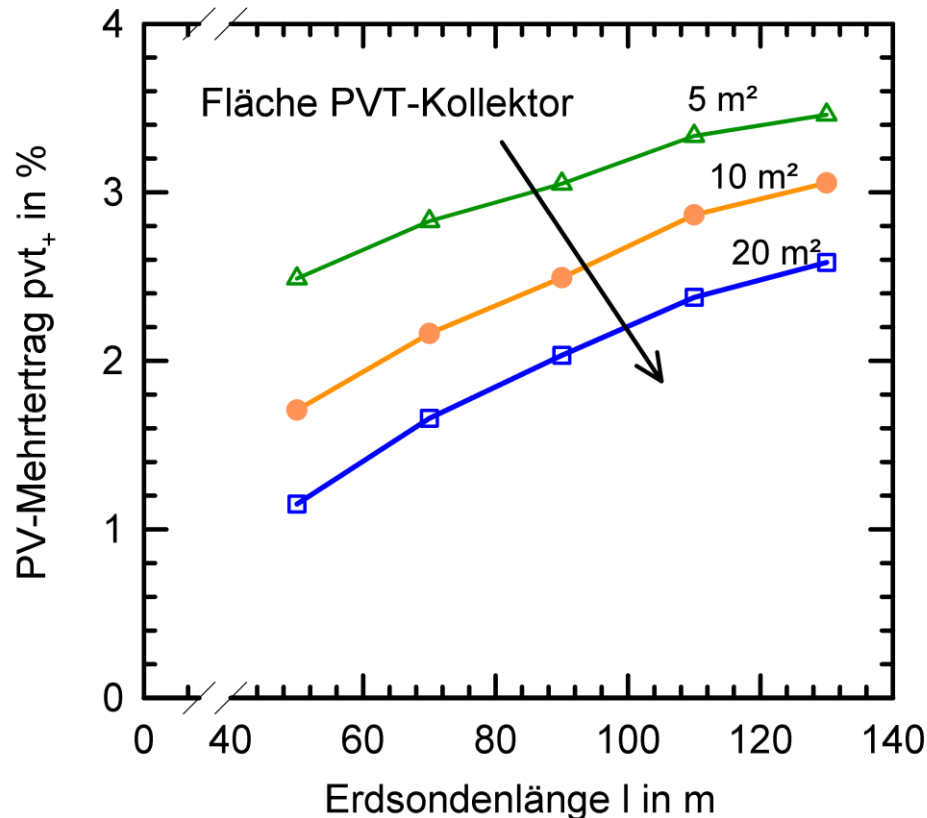


$$JAZ = \frac{Q_{\text{gesamt}}}{E_{\text{el-Wärmepumpe}}}$$

- $E_{\text{el-Wärmepumpe}}$ inkl. Pumpen + Nachheizung

Hohe JAZ durch

- Lange Erdsonden
- PVT-Kollektor



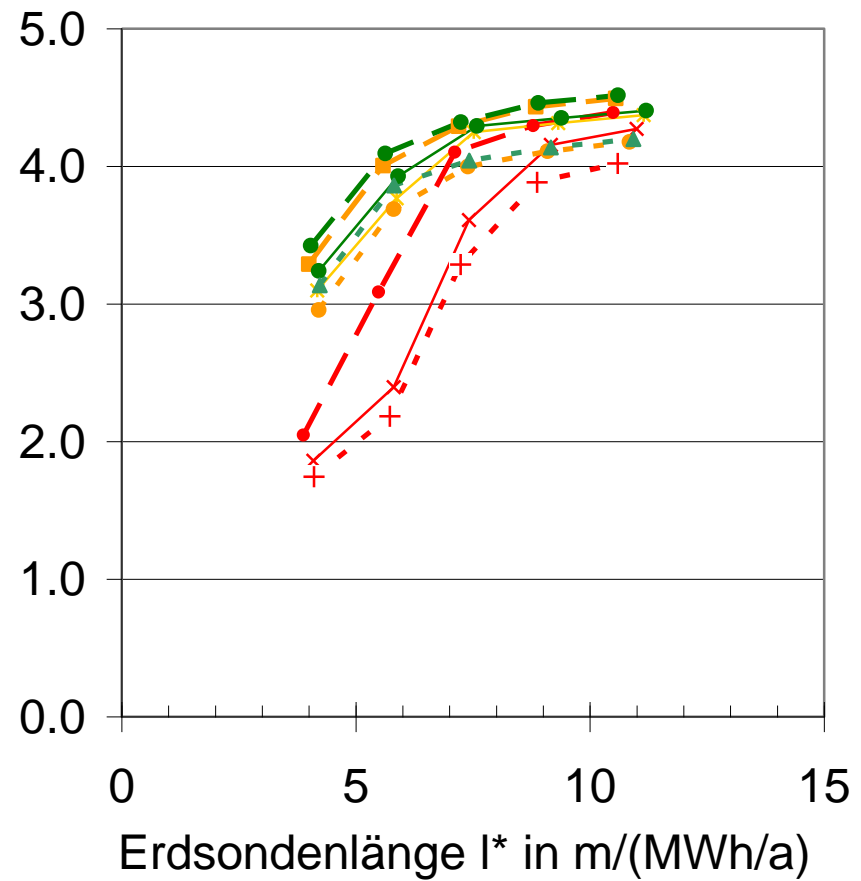
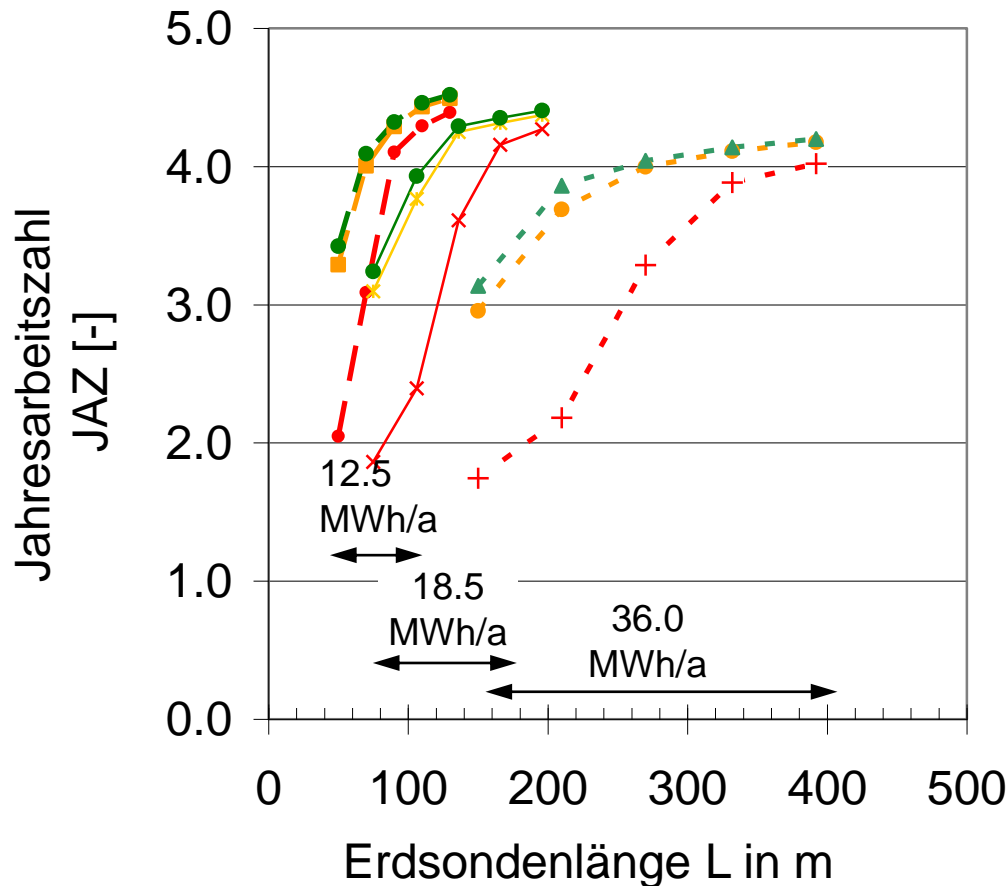
- PV-Mehrertrag p_{vt+} steigt durch:
 - Längere Erdsonden
 - Kleine Kollektorflächen

- Übertragbarkeit der Ergebnisse
 - Lastgröße
 - Standort
 - Bauarten und Montagesituation PVT-Kollektoren

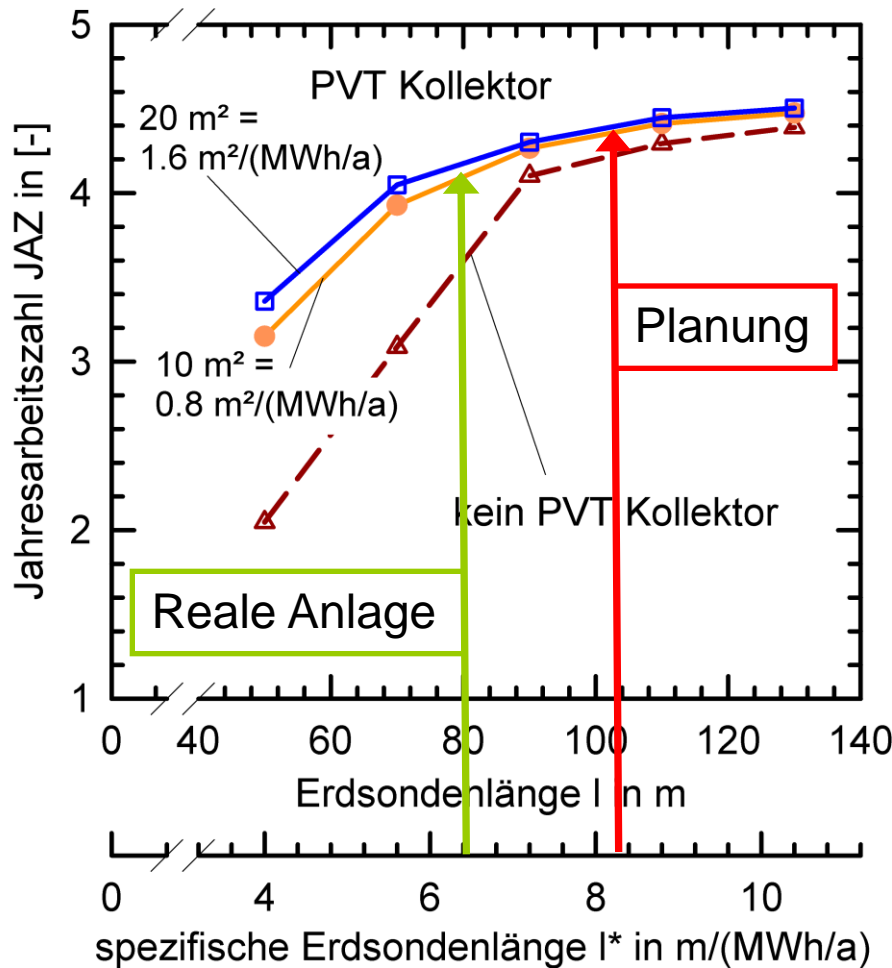
Übertragung auf andere Lastfälle durch Normierung



Normierung der Erdsondenlänge

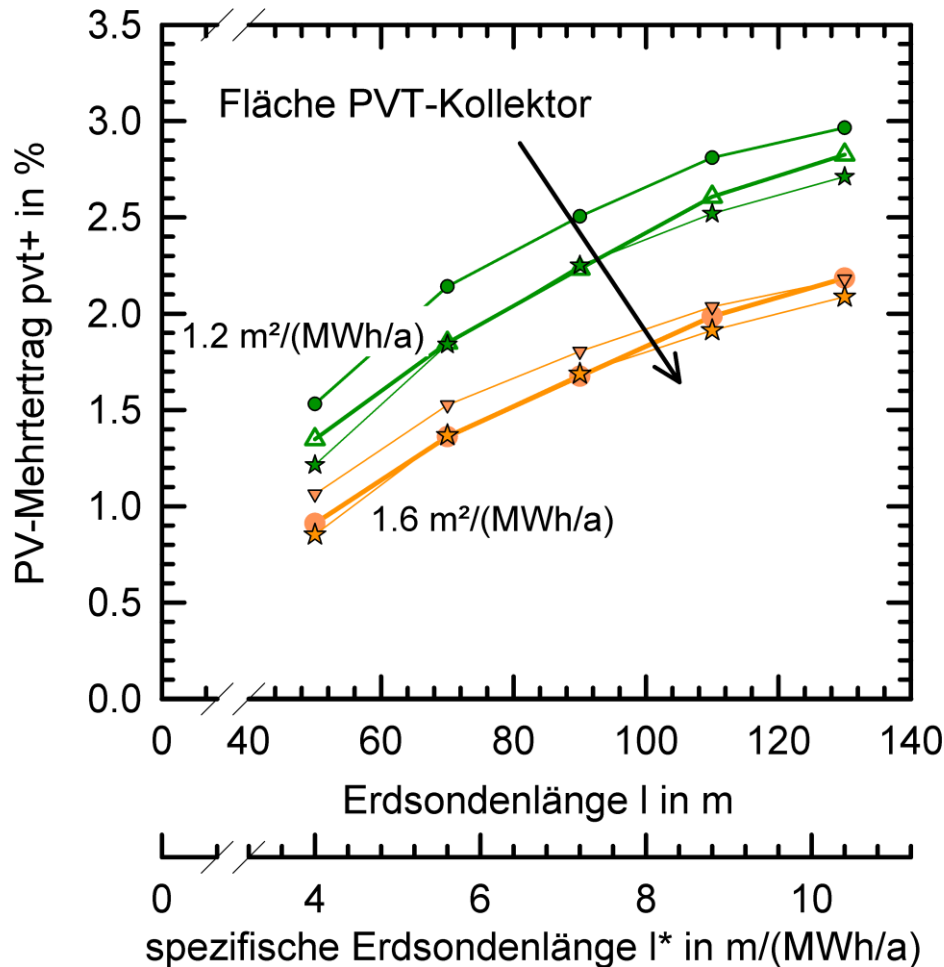


Übertragung auf andere Lastfälle durch Normierung



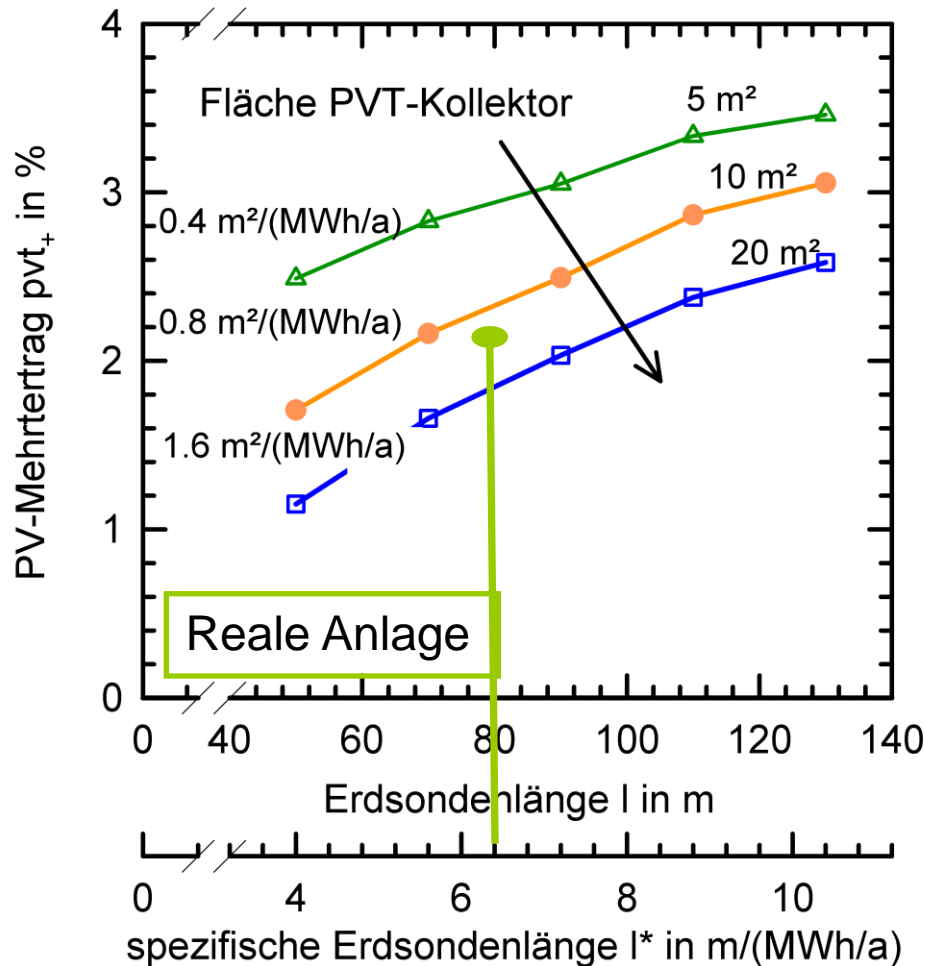
- Erdsondenlänge
 $l^* = l / Q_{\text{Nutzen}}$
- Kollektorfläche
 $A^* = A / Q_{\text{Nutzen}}$
- Pilotanlage 3-Eich
 Messwerte
 $A^* = 39 \text{ m}^2 / 35 \text{ MWh/a}$
 $= 1.1 \text{ m}^2 / (\text{MWh/a})$
 $l^* = 225 \text{ m} / 35 (\text{MWh/a})$
 $= 6.4 \text{ m} / (\text{MWh/a})$

Übertragbarkeit Last PV-Mehrertrag



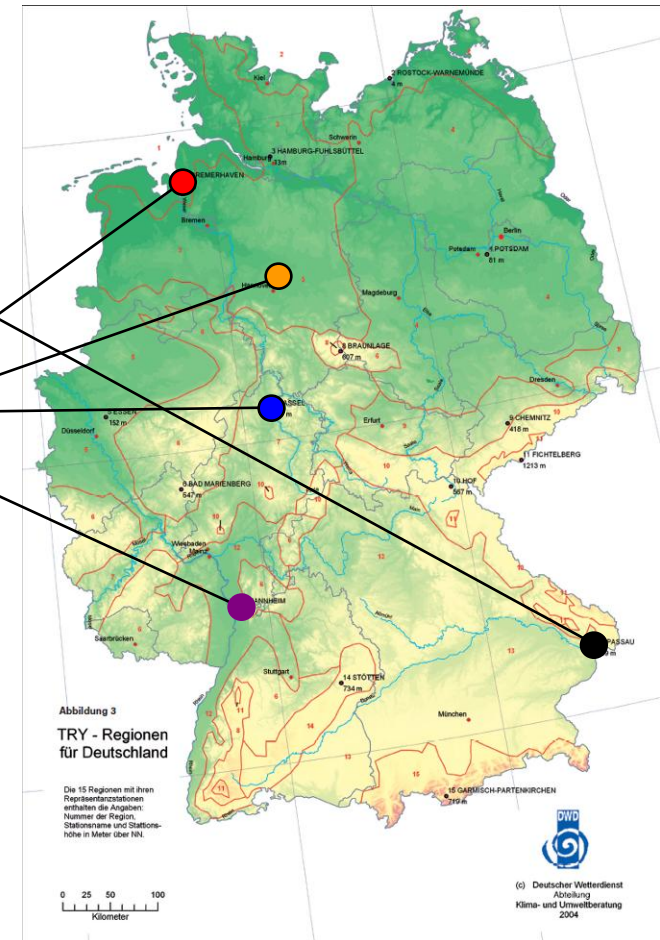
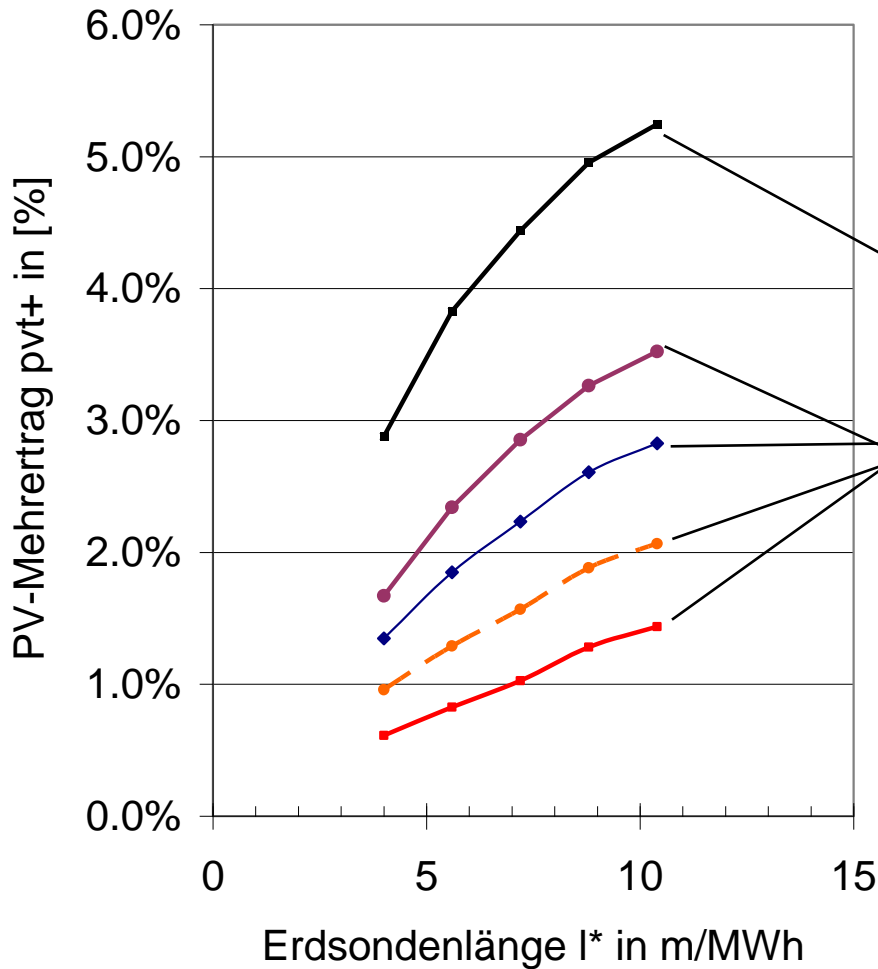
- PV-Mehrertrag unabhängig von der Last
- Simulationen für Systeme mit 12.5 / 18 / 36 MWh/a Wärmebedarf

Übertragbarkeit Last PV-Mehrertrag

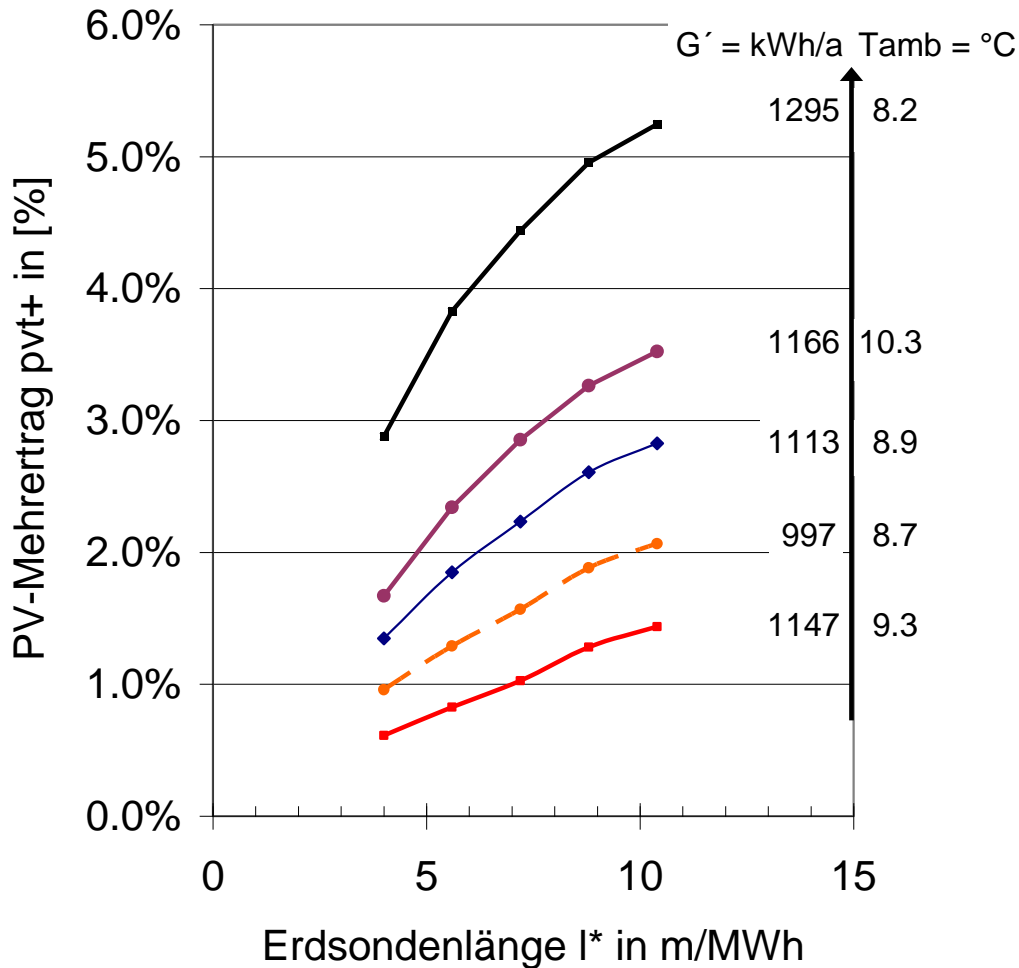


- Ergebnisse Referenzsystem übertragbar durch Normierung
- Aus Simulation 2% PV-Mehrertrag für 3-Eich zu erwarten

Übertragbarkeit Standort PV-Mehrertrag

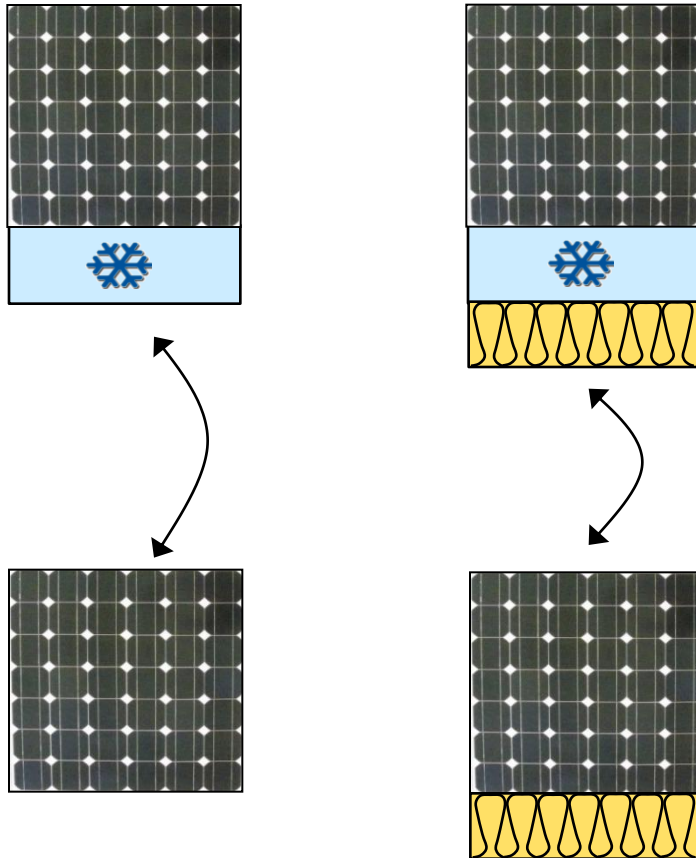


Übertragbarkeit Standort PV-Mehrertrag



- Deutliche Standortabhängigkeit
- Nord-Süd Tendenz

Montagesituation PVT-Kollektoren



Freie Montage
Aufdachmontage

Warmdach / rück-
seitige Dämmung

PV-Mehrertrag pvt+:

Aus Vergleich PV-Modul gleicher
thermischer Eigenschaften

Simulationen für Referenzpunkt:

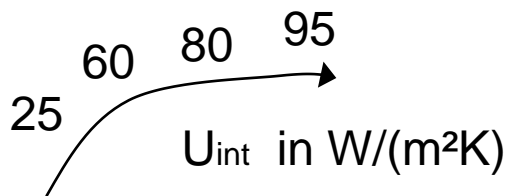
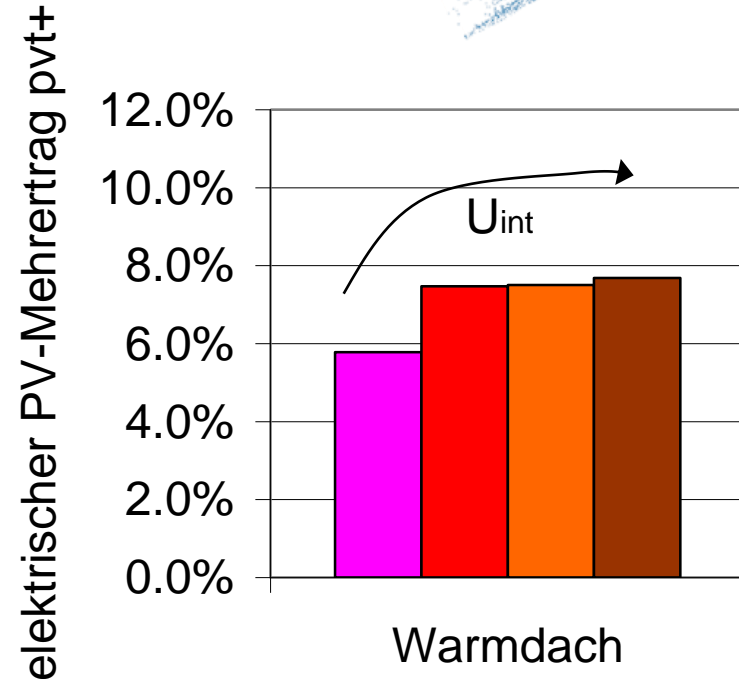
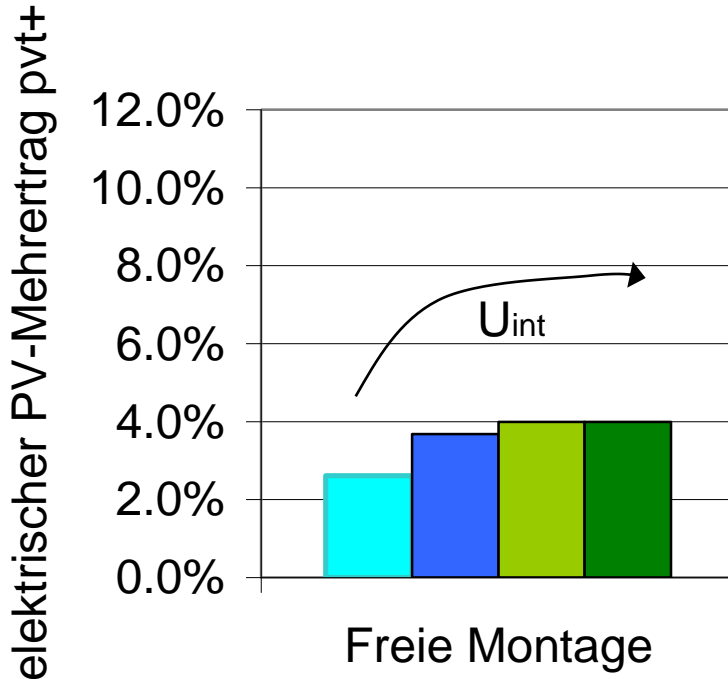
Erdsondenlänge

= 110 m = 8.8 /(MWh/a)

Kollektorfläche

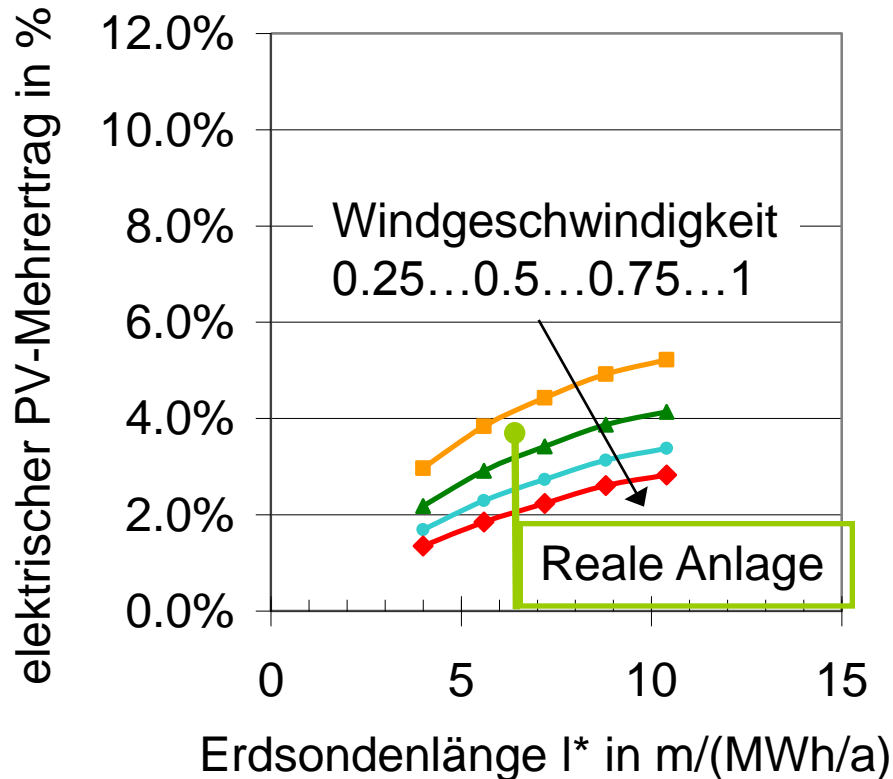
= 15 m² = 1.2 m²/(MWh/a)

U_{int} Einfluss Mit und ohne Rückseitige Dämmung



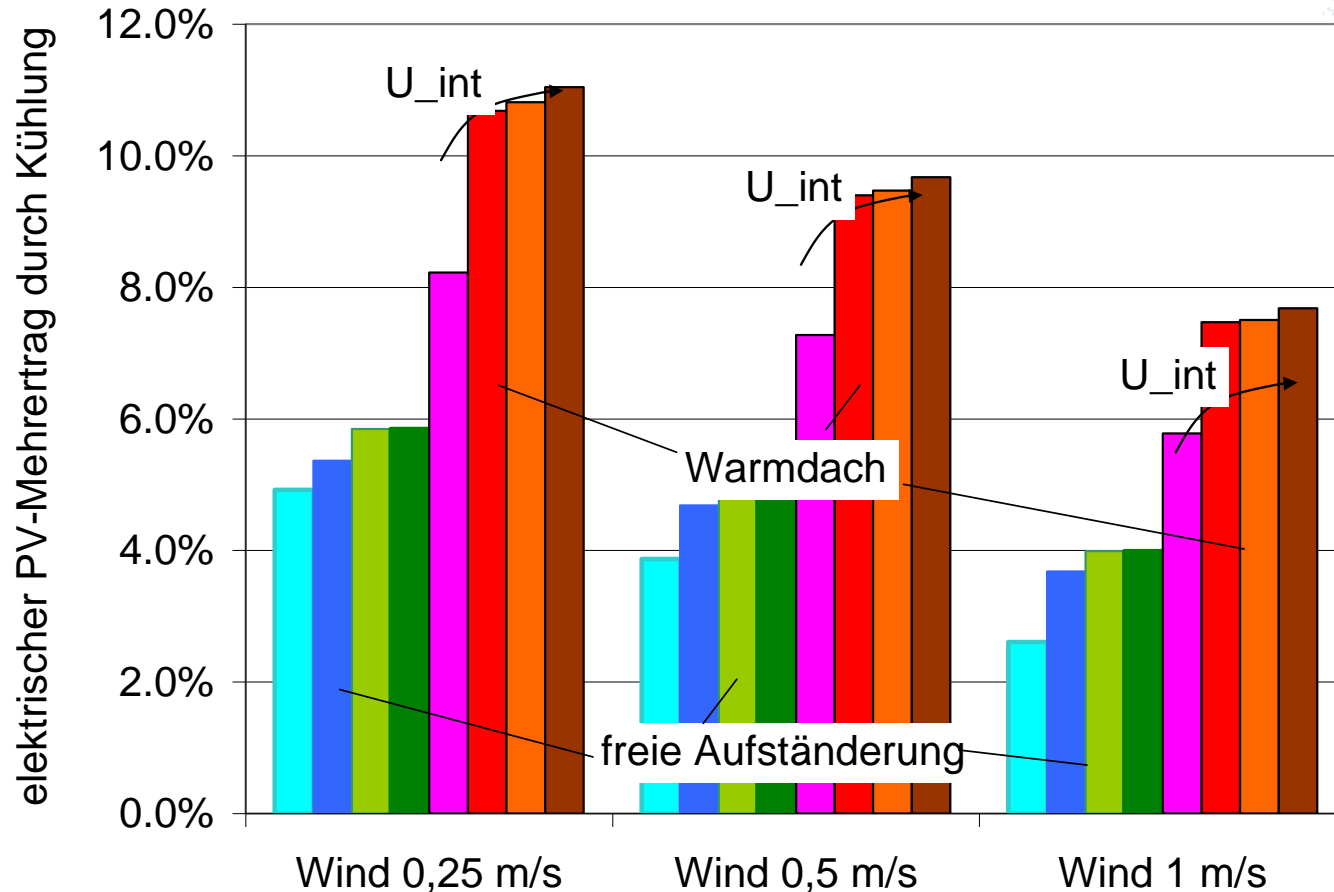
- Je wärmer das Modul, desto entscheidender die Kühlung
- U_{int} von 60 W/m²K erstrebenswert

Vergleich PVT-Kollektoren Mikroklima - Wind



- Beispiel Pilotanlage:
Wetterdaten 3 m/s
Messung 1 m/s
- Windeinfluss kann PV-Mehrertrag verdoppeln
- Meteorologische Windgeschwindigkeit ungeeignet

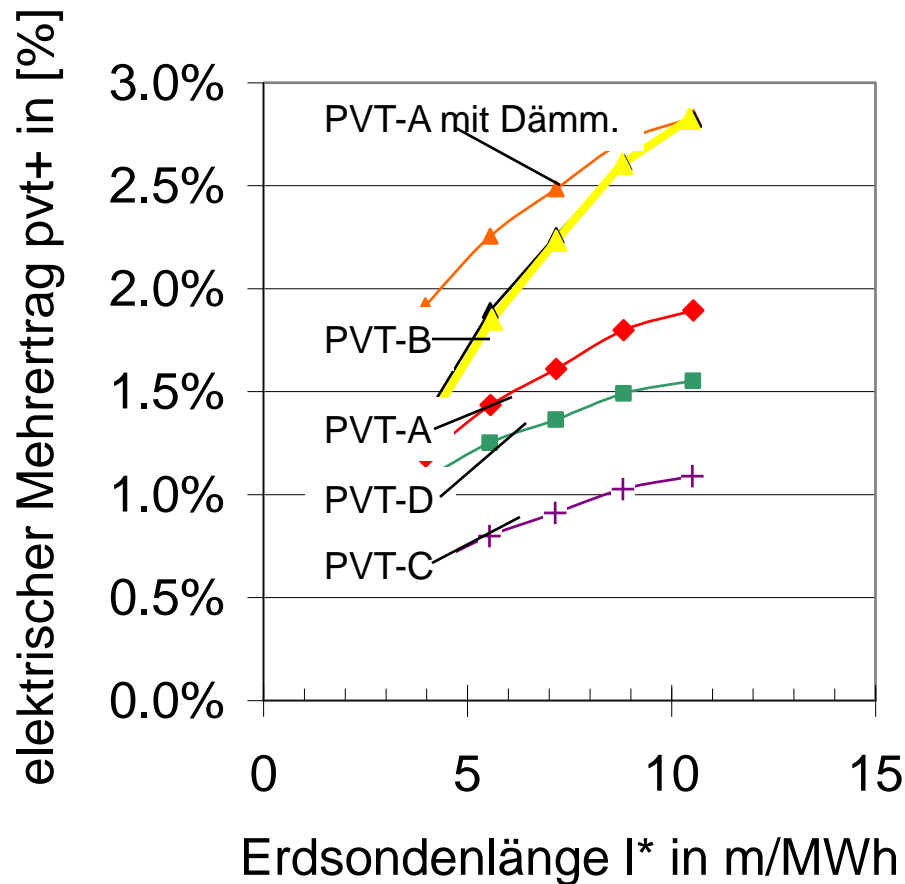
Kombination Wind und Rückseitendämmung



Mikroklima:
lokale
Umgebungs-
temperatur

- Wind- und Montagesituation entscheidend für PV-Mehrertrag
- 10% PV-Mehrertrag möglich

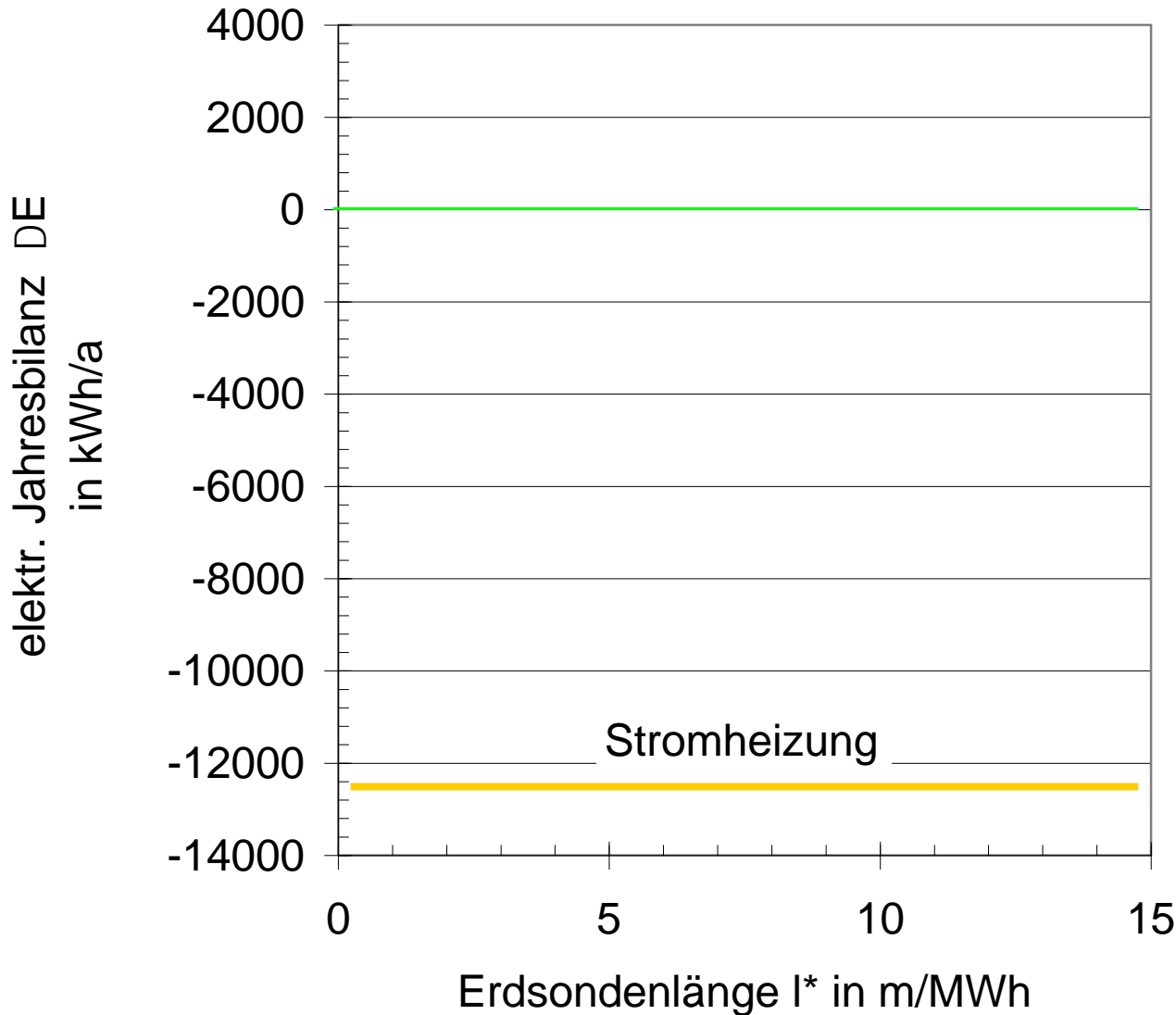
PV-Mehrertrag bei gemessenen PVT-Kollektoren



- Referenzsystem mit 15 m² Kollektor
- Haupteinfluss durch
 - Leitwert U_{int}
 - Wirkungsgrad η_{PV}

Referenzsystem

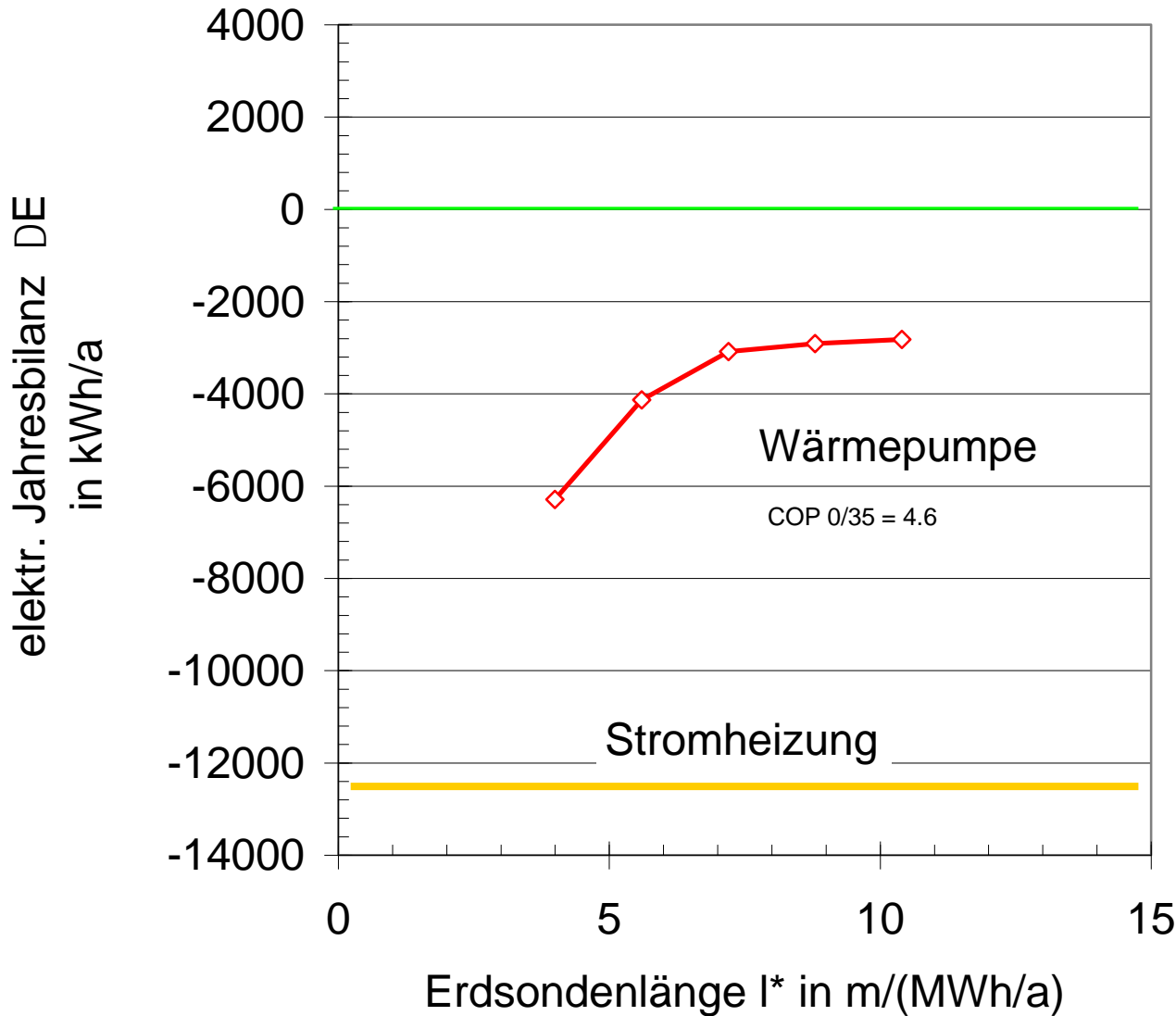
Ausgeglichene Jahresbilanz



$$\Delta E = E_{PV} - E_{WP}$$

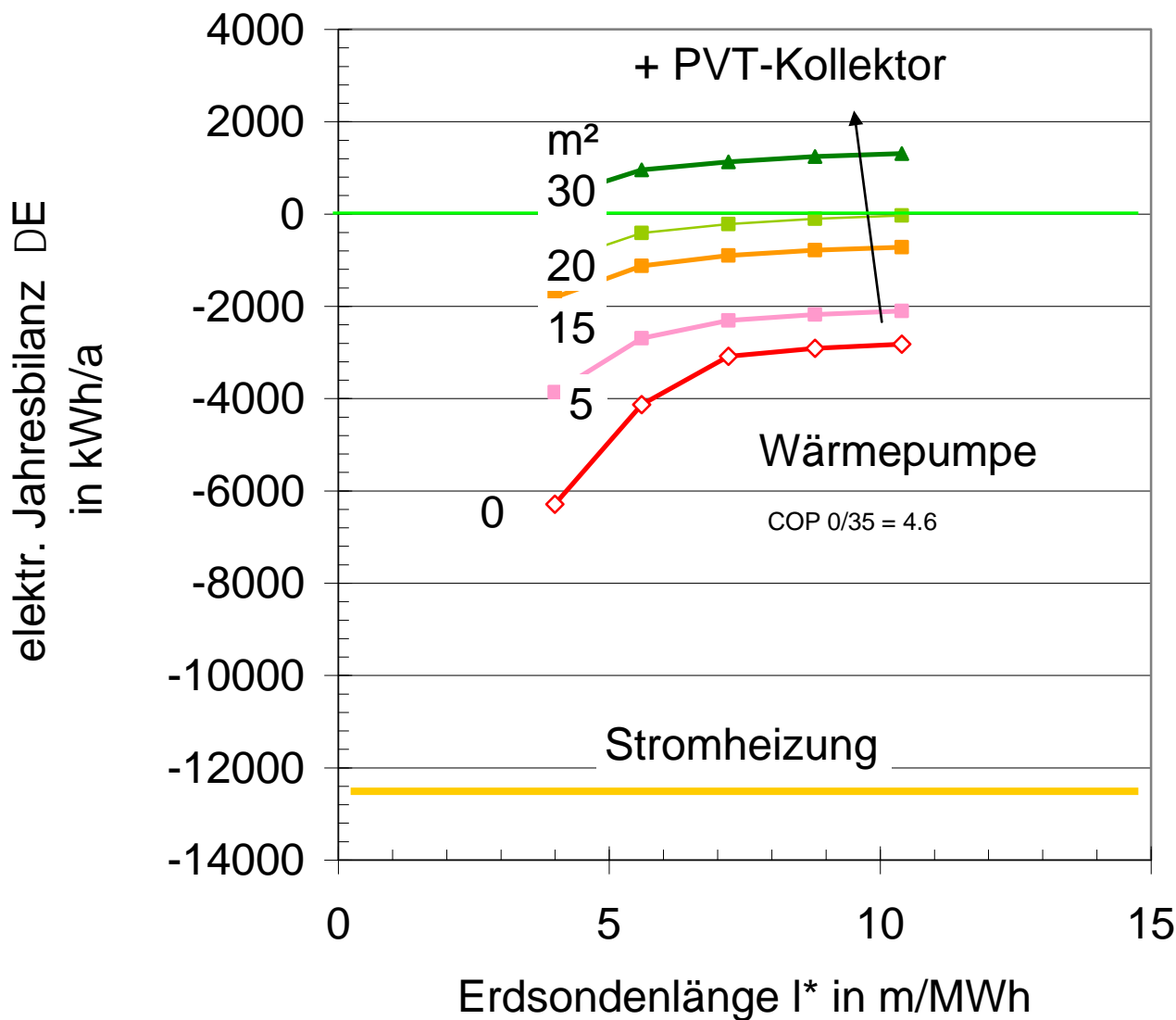
Referenzsystem

Ausgeglichene Jahresbilanz



Elektrische Jahresbilanz

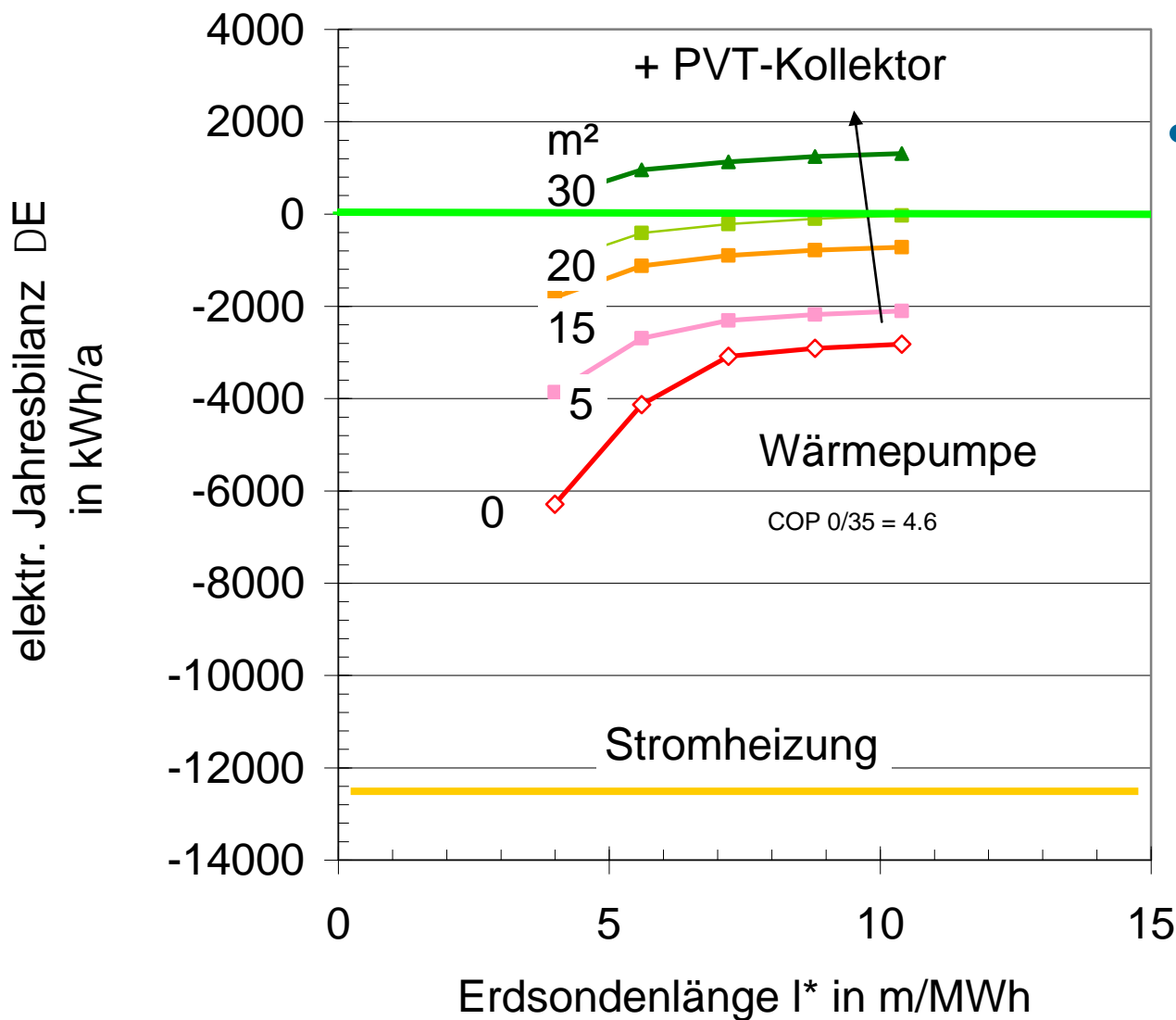
Bedarf PVT- Kollektorfläche



- Ausgeglichene Bilanz durch
 - WP-System
 - Vergrößerung PV-Fläche
 - ca. 22 m² oder 3.2 kW PVT
- Spezifische Überschlagswerte
2 m²/MWh
0.25 kW/MWh

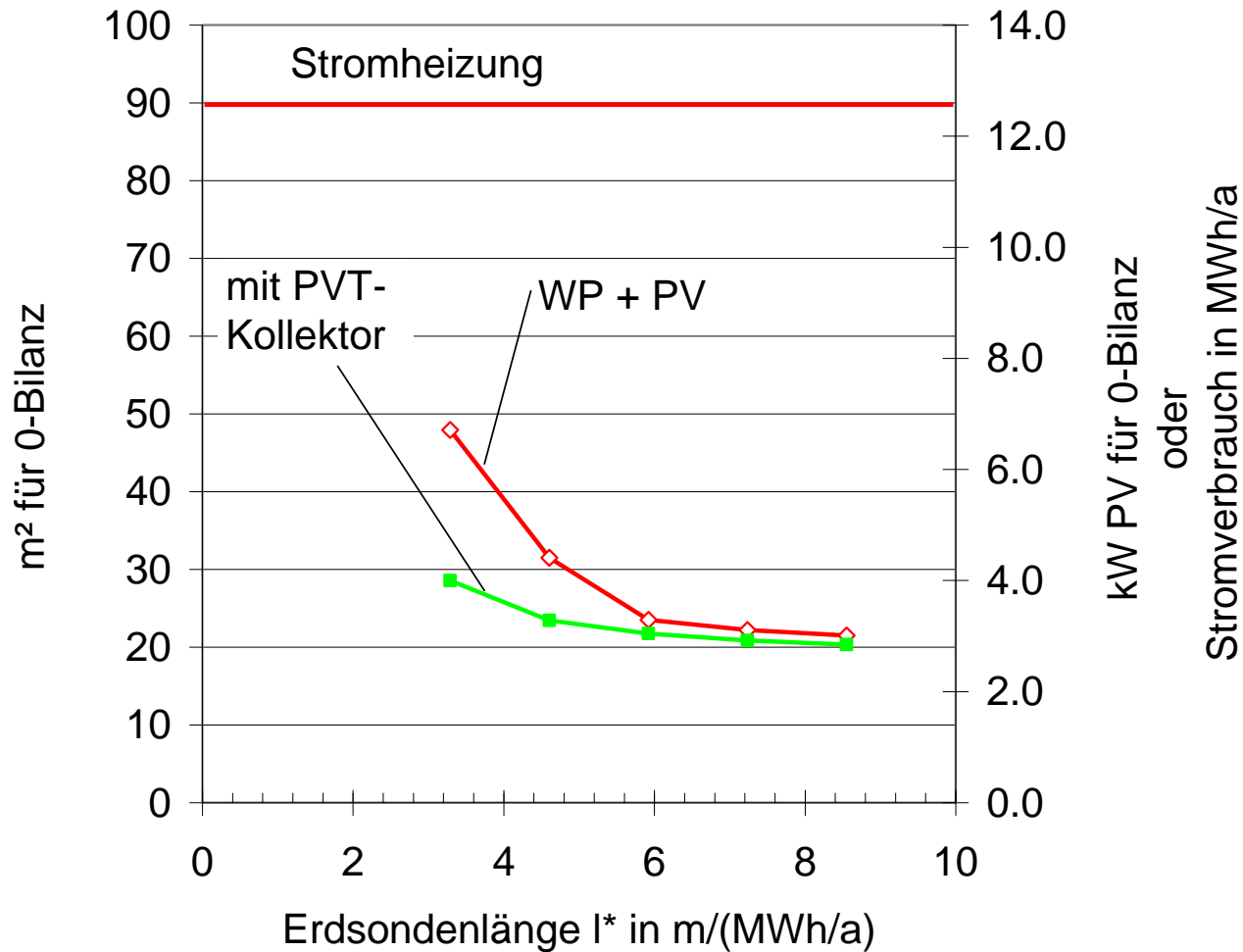
Elektrische Jahresbilanz

Bedarf PVT- Kollektorfläche

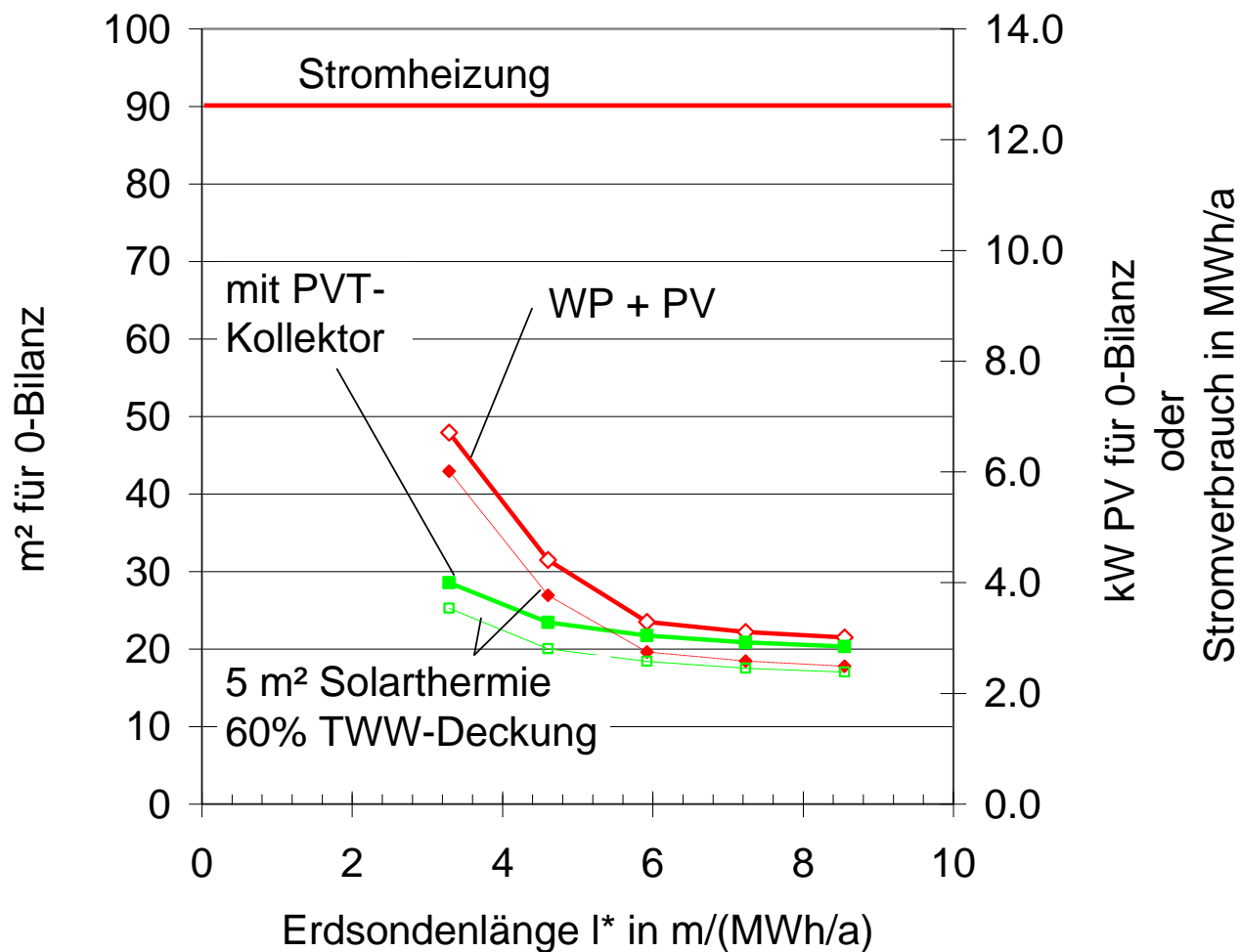


- Betrachtung des Systems für ausgeglichene Bilanz (grün)

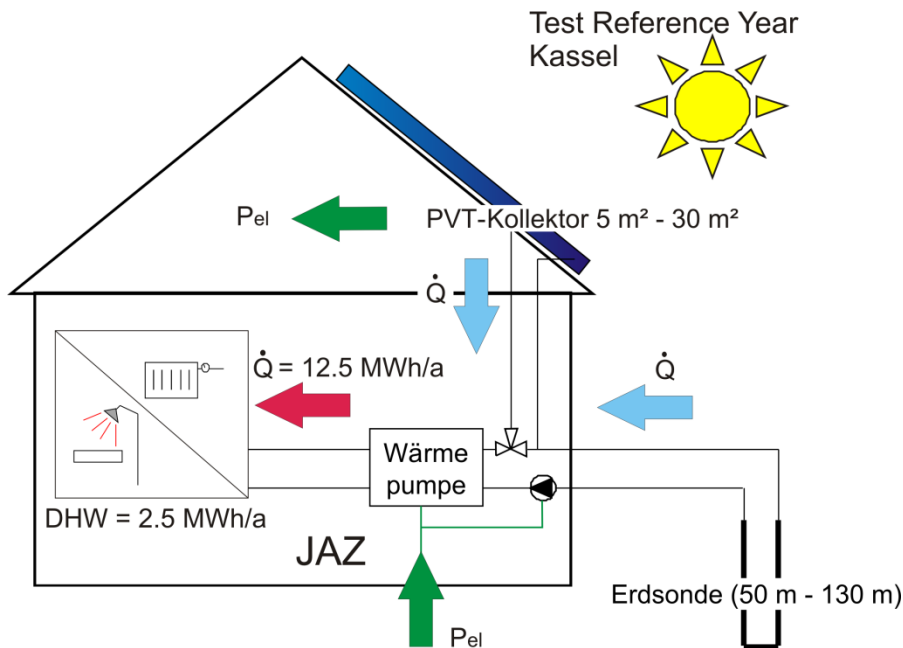
Ausgeglichene Bilanz Bedarf PVT-Kollektorfläche



Ausgeglichene Bilanz mit TWW- Anlage



- 5 m² Solarthermie = ca. 5 m² PVT – Einsparung



Getestete Regelungsstrategien

- Kleine Regeleinschalttemperaturen: Jeder Funke Solarwärme wird genutzt
- Hohe Regelungsdifferenzen im Sommer – Kleine Regelungsdifferenzen im Winter
- Einschaltsschwelle Sonnenstrahlung

Ergebnis: 2-Punkt Regler mit Ein- und Ausschalttemperaturdifferenz 6 / 3

$$E_{PVT} - E_{WP} \stackrel{!}{=} 0$$

mit $E_{PVT} = e_{pv} \cdot A_{PV} \cdot (1 + pvt +)$

$$E_{WP} = \frac{Q_{gesamt}}{JAZ}$$

$$A_{PV} = \frac{Q_{gesamt}}{JAZ} \cdot \frac{1}{e_{pv} \cdot (1 + pvt +)}$$

- Bestimmung von A_{PV} aus PV-Mehrertrag $pvt+$ und Jahresarbeitszahl
- Auslegung erfordert sorgfältige Planung der Einzelsysteme Photovoltaik und Wärmepumpe
- Ausgeglichene Strombilanz ist integrale Kontrollgröße für
 - Wärmeverbrauch
 - PV- Stromerzeugung
- Einfache Kontrolle der Gesamtkette aus Planung, Umsetzung und Nutzerverhalten

- Bestätigung der Messergebnisse
- Normierung macht Ergebnisse auf andere Einfamilienhäuser o. ä. übertragbar
- PV-Mehrertrag ist standortabhängig
- PV-Mehrertrag kann sich durch Windeinfluss verdoppeln
- PV-Mehrertrag im Warmdach liegt bei ca. 10%
- 1 m² verglaster Kollektor entspricht 1 m² PVT-Kollektor
- Ausgeglichene Bilanz ist einfache und integrale Kontrollgröße für Planung, Umsetzung und Verbraucher

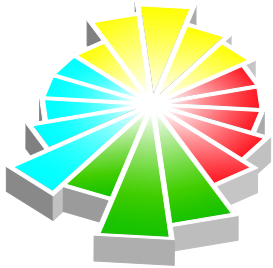
Danksagung



Das Verbundvorhaben

“Solare Gebäude-Wärmeversorgung mit unverglasten photovoltaisch-thermischen Kollektoren, Erdsonden und Wärmepumpen für 100% Deckungsanteil“ -Kurzname BiSolar-WP- Förderkennzeichen: 0325952

wird mit Mitteln des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Die Projektpartner bedanken sich für die Unterstützung.



SOLAR + HEAT PUMP



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit

Verbundpartner



Gesellschaft zur Entwicklung
und Förderung von
Geothermen Anlagen mbH

Institut für Solarenergieforschung Hameln

