

Vortragsbeiträge der  
Energie-Gruppe Daisendorf  
zur gemeinsamen Veranstaltung mit dem  
Forum für Wissenschaft und Kultur FoWiK  
in Meersburg 14.11.2013

„Hausheizung mit  
Wärmepumpen und  
Solarenergie“

# Hausheizung mit Wärmepumpen

Funktionsweise und Kosten von  
elektrisch angetriebenen  
Kompressoranlagen  
mit Beispiel und Anhang

Dr. H. Henseler

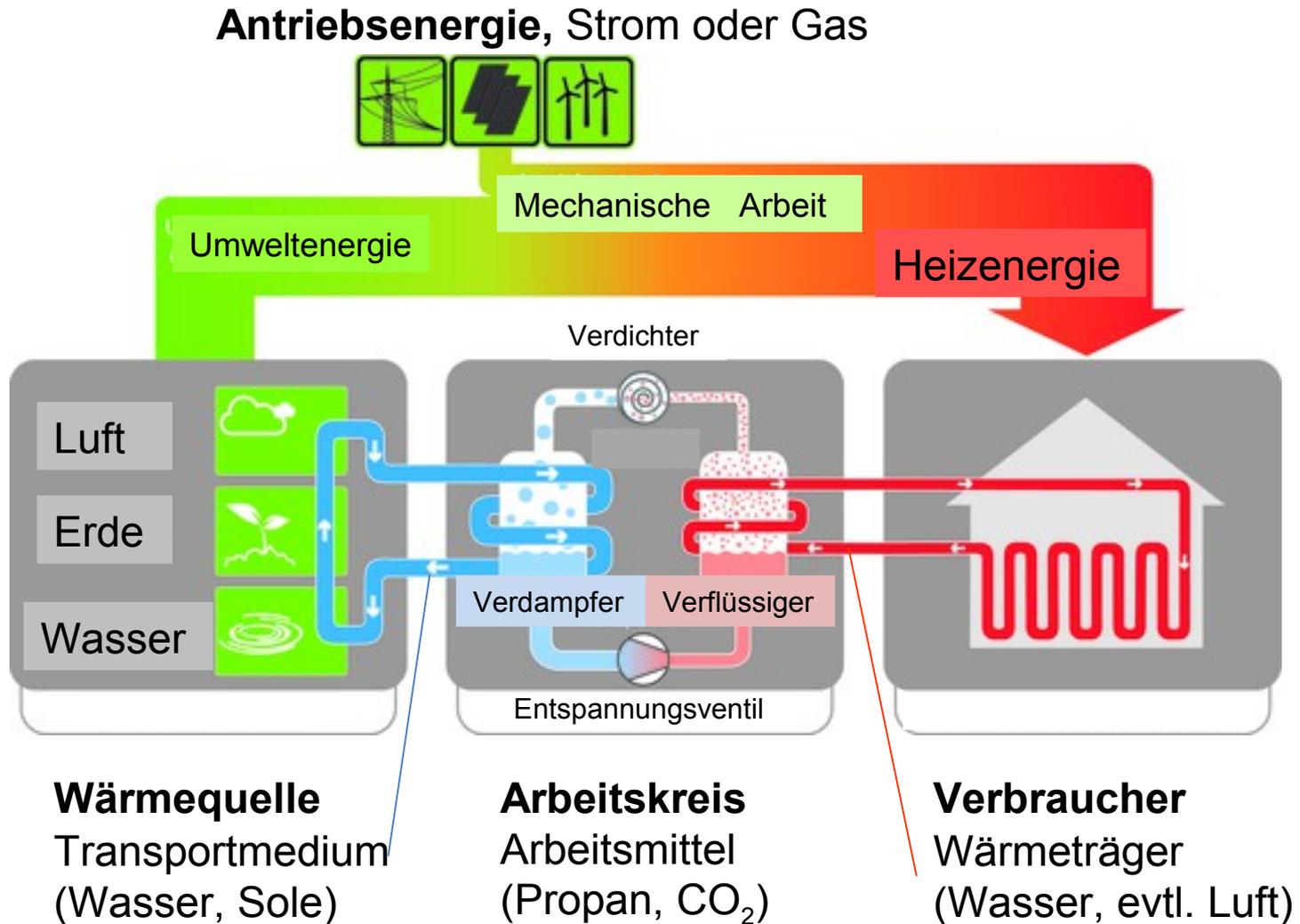
# Prinzip der Wärmepumpen

- Wärmepumpe befördert Wärme von einer niedrigeren auf eine höhere Temperatur
  - Sie nimmt Energie aus einer Wärmequelle,
  - führt ihr Arbeit (mechanische Energie) zu und
  - liefert die gesamte Energie an einen Verbraucher.

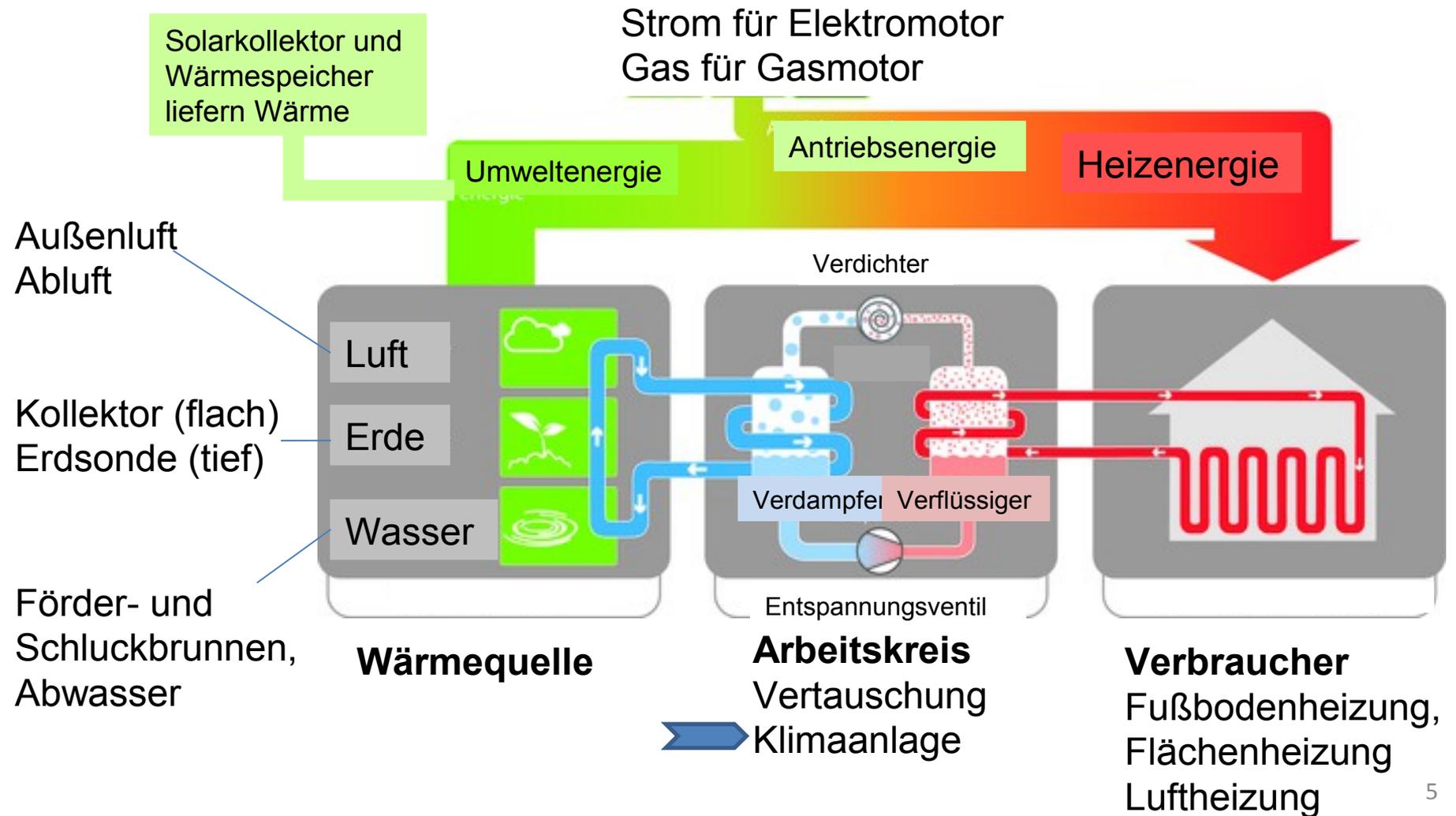
*Verfahren wie beim Kühlschranks*

*(Wärmequelle ist das Kühlgut, geheizt wird die Küche)*

# Schema einer Kompressoranlage



# Bauarten der Kompressoranlage



# Leistungsziffer der Wärmepumpe

$$\text{Leistungsziffer (LZ)} = \frac{\text{Heizenergie}}{\text{Antriebsenergie}}$$

$$\text{Heizenergie} = \text{Umweltenergie} + \text{Antriebsenergie}$$

Andere Bezeichnungen:

Leistungszahl, Coefficient of Performance (COP)

Arbeitszahl; für das ganze Jahr: Jahresarbeitszahl

# Temperaturbereiche der Wärmequellen

Luft-Wärmepumpe (-25 bis +15°C)  
Jährliche Leistungsziffer LZ = 2,1 -3,3

Grundwasser  
(8 bis 12°C)  
LZ = 3,8 -5,0

Leistungsziffer fällt mit  
sinkender Temperatur  
der Wärmequelle

Tiefe Erdsonde  
(0 bis 10°C)  
LZ = 3,5 -4,5

Flache Erdkollektor  
(-5 bis +5°C)  
LZ = 2,6 - 4,0

Temperatur →

-25°C

-5°C

0°C

5°C

10°C

15°C

# Kosten\* der Wärmepumpen

- Wärmepumpe mit Warmwasserbereitung für Einfamilienhaus mit 8-9 kW Heizleistung
  - Wärmepumpenanlage ohne Erschließung der Wärmequelle 8 500 - 12 000 €
- Wärmequellenerschließung für 8-9 kW Heizleistung
  - Luft- Wärmetauscher mit Ventilator 200 - 600 €
  - Erdkollektoren (fach) mit Umwälzpumpe 2 000 - 2 700 €
  - Grundwasser (Förder- und Schluckbrunnen) 4 500 - 5 500 €
  - Erdwärmesonden (tief) mit Umwälzpumpe 5 200 - 8 500 €

Erschließung macht 3 – 50 % der Gesamtkosten aus.

\* Richtwerte, abhängig von örtlichen und geologischen Bedingungen  
Quelle: Verbraucherportal Erdwärmepumpe.de

Anhang  
zum Vortrag  
„Hausheizung mit Wärmepumpen“

# Arbeitsschritte der Kompressorwärmepumpe

1. Transportmittel bringt per Pumpe Umwelt-Wärme von der Wärmequelle zum Verdampfer (ggf. auch Solarwärme)
2. Arbeitsmittel verdampft bei geringen Druck im Verdampfer
3. Arbeitsmittel wird im Verdichter unter Zufuhr der Antriebsenergie komprimiert und strömt zum Verflüssiger
4. Arbeitsmittel kondensiert bei hohem Druck im Verflüssiger
5. Arbeitsmittel strömt zum Verdampfer und reduziert seinen Druck im Entspannungsventil
6. Wärmeträger bringt per Pumpe die Umweltwärme plus Antriebsenergie vom Verflüssiger zur Heizung
7. Fußbodenheizung verteilt die Wärme im Haus

# Betriebsarten der Wärmepumpen

- Monovalent  
Heizung nur mit Wärmepumpe,  
(keine andere Energiebereitstellung)
- Bivalent  
ein zusätzlicher Energielieferant  
(z. B. Gastherme für Spitzenlast)
- Multivalent  
Mehrere Energielieferanten  
(z.B. Gastherme und Kaminfeuer/ Elektroheizstab)

# Bezeichnungen von Wärmepumpenanlagen

- Nach der Wärmequelle
  - Luft-WP
  - Erdwärme-WP
- Nach dem Transportmedium der Wärme
  - Sole-WP
  - Sole/Wasser-WP
- Nach der Antriebsenergie für den Kompressor
  - Elektro-WP
  - Gasmotor-WP
  - Es gibt auch Gas-getriebene WP (sog. Absorber-WP)
- Nach der Wärmequelle und Wärmeverteilung
  - Wasser/Wasser-WP
  - Wasser/Luft –WP (in Deutschland selten)

# Wärmepumpe als Klimaanlage

- Nach Vertauschung bzw. Umschaltung von Verdampfer und Verflüssiger kann der Energiefluss umgekehrt werden, so dass die Wärmepumpe die warme Seite abkühlt und die kalte Seite aufheizt.
- Das System arbeitet dann als Klimaanlage.
- Die Funktion und die Effizienz der Anlage hängt von den thermodynamischen Eigenschaften des Arbeitsmittels ab.
- Anlagen, bei denen die Wärmequelle und der Arbeitskreis an verschiedenen Orten untergebracht sind, bezeichnet man als Split- Anlagen.

# Grundsätze der Auslegung von Wärmepumpen

- Wärmequelle mögl. hoher Temperatur nutzen
- Niedertemperaturheizung verwenden
- Wärmebedarf genau ermitteln
- Wärmebedarf-Schwankung gering halten
- Anlagenkomponenten sorgfältig abstimmen

(Zu große oder zu kleine Dimensionierung der Komponenten beeinträchtigt die Jahresarbeitszahl bzw. Wirtschaftlichkeit)

# Hausheizung mit Solarenergie

Heizungsunterstützung durch  
Solarthermie und Solarstrom  
mit Beispielen und Anhang

E. Kienscherf

Dr. P. Boese

# Heizungsunterstützung durch Nutzung der Solareinstrahlung in Form von:

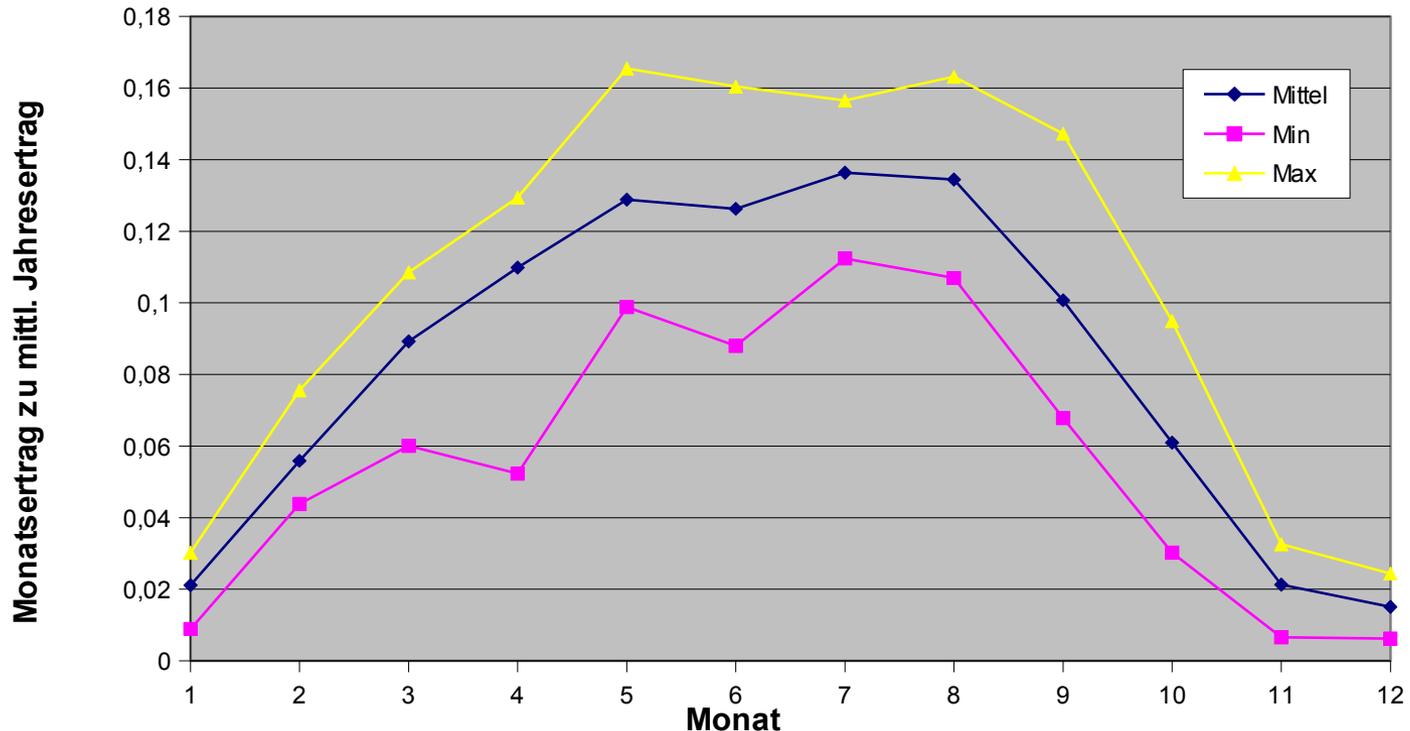
- Solarthermie
  - bei Öl- / Gas- /(ggfs. Elektro-) Heizungsanlagen
  - bei Wärmepumpenanlagen
  
- Solarstrom
  - bei Elektroheizungsanlagen
  - bei Wärmepumpenanlagen

# Solarthermische Energieerträge

## Beispiel einer Kollektoranlage mit Vakuumröhren

Monatlicher Verlauf der Solarerträge  
in kWh pro Jahr und qm Aperturfläche  
(Vakuumröhren 3,75 qm)

gemessene Jahreserträge über 10 Jahre: Mittel 688 kWh/J\*qm  
Minimal 598 kWh/J\*qm  
Maximal 812 kWh/J\*qm



# Warmwasseraufbereitung durch Solarthermie

- Solarkollektoren (Flach oder Röhren) mit Solar-Warmwasserspeicher und Umwälzpumpe
- Solarer Wärmeertrag reicht im Sommerhalbjahr zu 80 - 100% für den normalen Warmwasserbedarf
- Über das ganze Jahr kann bis zu 70% des Energiebedarfs eingespart werden
- Heizungsbetrieb mit schlechtem Wirkungsgrad im Sommer wird vermieden (ggfs. Nachheizen mit Elektroheizstab)
- Mit einer Kollektorfläche von 6 qm können ca. 3 000 kWh/a Strom, bzw. 300 l/a Öl eingespart werden
- D.h. jährl. Einsparung bei Strom 21 ct/kWh: 630 € ; bzw. bei Öl 90 ct/l: 270 €
- Investitionskosten ohne Speicher ca. 3 500 € (5 000 € mit Speicher)
- Amortisation nach 5 (7) Jahren; bzw. 11 (14) Jahren - bei jährlich um 3% steigenden Energiepreisen

# Heizungsunterstützung durch Solarthermie bei Wärmepumpenheizung

- Standardlösung: Solarkollektoreinbindung in Pufferspeicher
- Alternativ: Temperaturerhöhung der Wärmequelle über Wärmetauscher, dadurch höhere Leistungsziffer möglich
- Kollektorfläche: mindestens 4 % der Wohnfläche (EnEG-BW)
- Ertragsmaximum in Übergangszeiten (Frühjahr/Herbst)
- Relativ komplexe Regelung des Gesamtsystems notwendig
- Wirtschaftlichkeit gewährleistet
- Ökologisch sinnvoll

# Heizungsunterstützung durch Solarthermie bei Wärmepumpenheizung

- Standardlösung: Solarkollektoreinbindung in Pufferspeicher
- Alternativ: Temperaturerhöhung der Wärmequelle über Wärmetauscher, dadurch höhere Leistungsziffer möglich
- Kollektorfläche: mindestens 4 % der Wohnfläche (EnEG-BW)
- Ertragsmaximum in Übergangszeiten (Frühjahr/Herbst)
- Relativ komplexe Regelung des Gesamtsystems notwendig
- Wirtschaftlichkeit gewährleistet
- Ökologisch sinnvoll

# Heizungsunterstützung durch Solarthermie

(Fallbeispiel mit Pufferspeicher)

- Wärmebedarf (Sept.- April): 20 000 kWh (Heizung) + 1 250 kWh (Warmwasser)
- Möglicher Energieertrag bei 12 qm-Solarkollektorfläche:  
7 500 kWh/Jahr; davon 3 420 kWh (Sept. – April); 4 080 kWh (Mai - August)
- Wärmedeckung 35%, davon 16,3% im Winter und 12,3% im Sommer (ungenutzter Wärmeüberschuss)
  - Eingesparte Heizölkosten (90 Ct/Liter): 353 € pro Jahr
- Investitionskosten: ca. 10 000 €
- Bafa-Förderung: 1 500 €
- Die finanzielle Amortisationszeit beträgt ca. 17 Jahre (bei jährlich um 3% steigenden Energiepreisen)

# Elektroheizungsunterstützung durch Solarstrom

- Einsatz bei strombetriebenen Fußboden- und Speicherofenheizungen
- Überschüssiger Solarstrom wird nicht ins Stromnetz eingespeist sondern bereits tagsüber als Wärme gespeichert und genutzt
- Erhöhung des Eigenverbrauchsanteils der Photovoltaikanlage und damit Beitrag zur Stabilisierung des Stromnetzes.
- Bei nicht ausreichender Leistung der PV-Anlage wird der Strom aus dem Netz bezogen
- Wirtschaftlicher Betrieb, da selbsterzeugter Solarstrom mit ca. 9 Ct/kWh günstiger als Netz- bezogener Niedertarifstrom mit z. Zt. ca.22 Cent/kWh
- Voraussetzungen:
  - ausreichende Dachfläche mit Ausrichtungen Süd-Ost bis Süd-West  
Ost- oder Westausrichtung akzeptabel, wenn Dachneigung < 30 Grad
  - möglichst geringe Beschattung; evtl. Baumwuchs berücksichtigen

# Heizungsunterstützung durch Solarstrom bei Wärmepumpen

- Von der Photovoltaikanlage erzeugter Solarstrom wird als Antriebsenergie für die Wärmepumpe genutzt
- Im Haushalt nicht verbrauchter Solarstrom betreibt die Wärmepumpe. Überschüssiger Solarstrom wird in das Stromnetz eingespeist und vergütet
- Selbsterzeugter Solarstrom verringert den Bezug von teurem Netzstrom und erhöht die Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpe
- Höherer Eigenverbrauch des selbsterzeugten Solarstroms verbessert die Wirtschaftlichkeit der Photovoltaikanlage und verringert Einspeisespitzen im Stromnetz
- Nutzung erneuerbaren Energiequellen (Wärme aus der Luft oder anderen Wärmequellen und Strom aus Sonnenenergie) liefern einen Beitrag zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen

Anhang  
zum Vortrag  
„Hausheizung mit Solarenergie“

# Unterstützung Elektroheizung durch Solarstrom (Fallbeispiel)

- Jährl. Wärmebedarf: 20 000 kWh (Heizung) + 1 500 kWh (WW)
- Jährlicher Haushaltsstrombedarf: 3 000 kWh
- PV-Anlagenleistung: 10 kWp
- Jährl. mittlerer Stromertrag: 10 500 kWh
  - 5 120 kWh von Sept.- April (Heizperiode); 90% Eigenverbrauch
  - 5 380 kWh von Mai - August; 20 % Eigenverbrauch
- Stromkostensparnis (Elektroheizungstarif 22 Ct/kWh):
  - 912 € (Winter) + 237 € (Sommer) = 1 149 €/a

# Unterstützung Elektroheizung durch Solarstrom (Fallbeispiel; Fortsetzung)

- Einspeisevergütung (14,27 Ct/kWh): 73 € (Winter) + 614 € (Sommer) pro Jahr
- Summe Vergütung und Stromkosteneinsparung: 1 836 €/a
- Investitionskosten für 10 kWp-PV-Anlage: 17 000 €
- Betriebskosten (Rücklagen, Versicherung, Zählermiete) 255 €
- Finanzielle Amortisationszeit: 10,7 Jahre (inkl. Wartung, Reparaturen etc.)
- Bei 5 % jährlicher Strompreissteigerung liegt der Strompreis bereits nach 10 Jahren bei 35,8 Ct/kWh. Die jährl. Einsparung beträgt dann 2 557 € statt 1 836 €/a

# Betrieb Heizungs-Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Solarstrom-Unterstützung (Fallbeispiel)

- Wärmebedarf (Sept.- April): 20 000 kWh (Heizung) + 1 000 kWh (Warmwasser)
- Wärmebedarf (Mai bis August): 500 kWh (nur Warmwasser)
- Pumpenstrom Sept.- April (mittl. LZ = 2,0): 10 500 kWh
- Pumpenstrom Mai - August (mittl. LZ = 3,5): 143 kWh
- Haushaltsstrom: 2 200 kWh (Winter); 800 kWh (Sommer)
- PV-Anlagenleistung: 6 kWp
- Jährl. mittlerer Stromertrag: 6 300 kWh
  - 3 072 kWh (Winter) mit 90% Eigenverbrauch
  - 3 228 kWh (Sommer) mit 20 % Eigenverbrauch

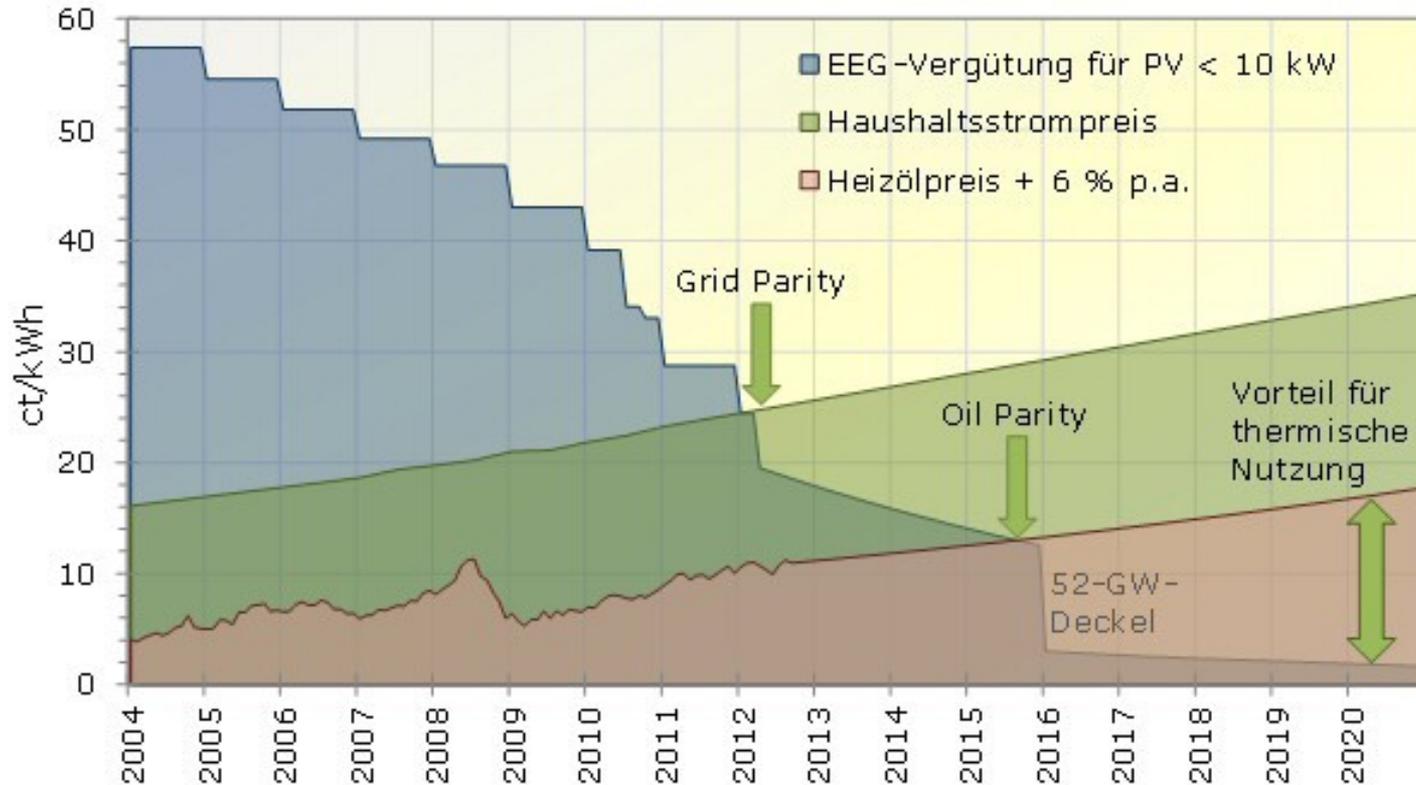
## Betrieb Heizungs-Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Solarstrom-Unterstützung (Fallbeispiel; Fortsetzung)

- Stromkostensparnis (Wärmepumpentarif: 22 Ct/kWh):  
608 € (Winter) + 142 € (Sommer) = 750 €/a
- Einspeisevergütung (14,27 Ct/kWh ab Nov. 2013 für 20 Jahre):  
44 € (Winter) + 368 € (Sommer) = 412 €/a
- Summe Vergütung und Stromkosteneinsparung: 1 162 €/a
- Investitionskosten für 6 kWp-PV-Anlage: 11 000 €
- Finanzielle Amortisationszeit: 10,6 Jahre (ohne Wartung, Reparaturen) bei gleichbleibendem Strombezugspreis
- Bei 5 % jährlicher Strompreissteigerung liegt der Strompreis bereits nach 10 Jahren bei 35,8 Ct/kWh. Die jährl. Einsparung beträgt dann 1 632 € statt 1 162 €/a

# Betrieb Heizungs-Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Solarstrom-Unterstützung (Schlussfolgerungen)

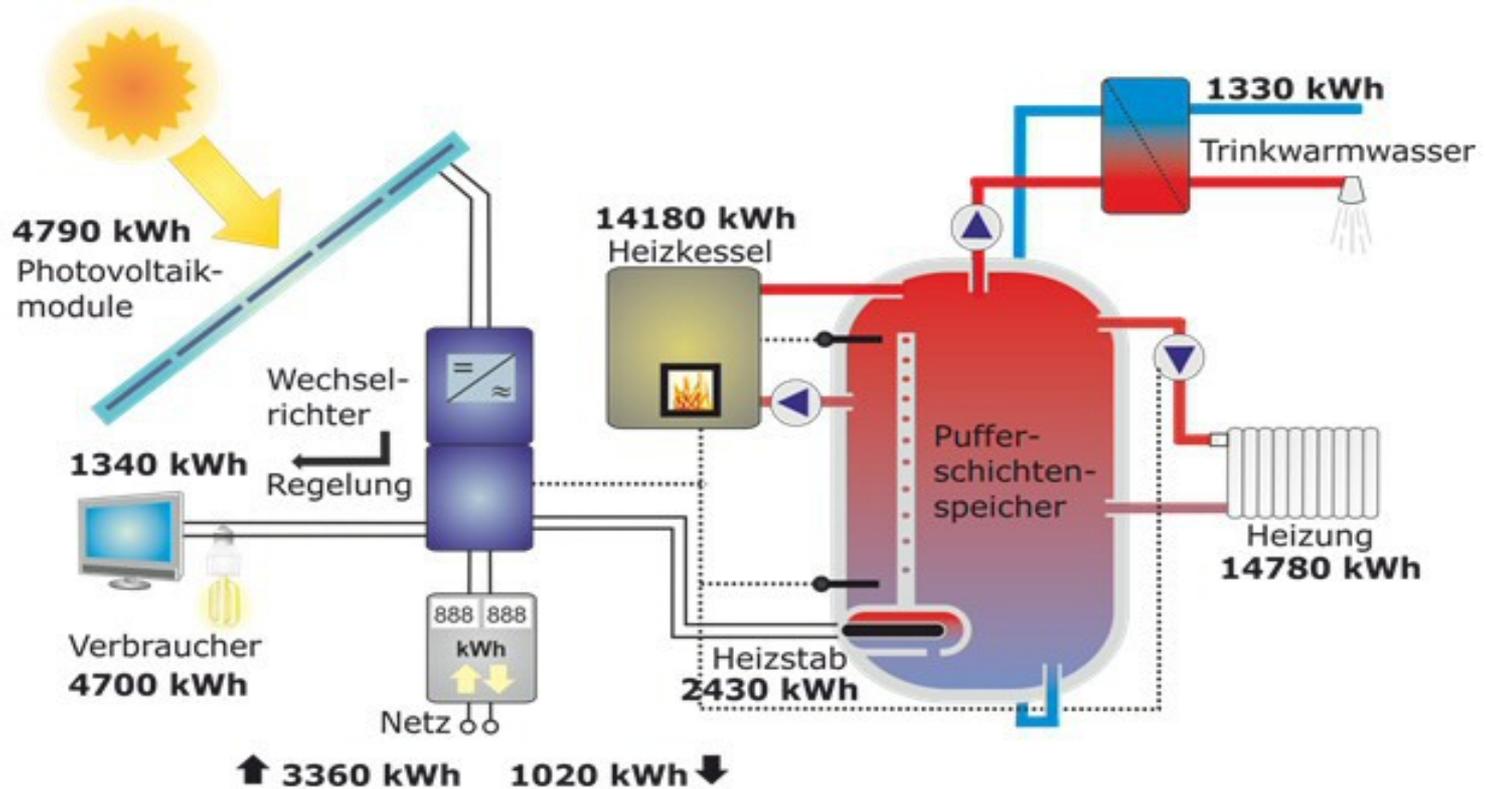
- Verringerung der WP-Stromkosten um 11 % (Fallbeispiel)
- Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der Photovoltaikanlage durch Erhöhung des Solarstrom-Eigenverbrauchs
- Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems abhängig von
  - Wärmepumpentyp
  - Temperatur der Wärmequelle (möglichst hoch)
  - Temperatur des Heizkreises (möglichst niedrig; FB-Heizung)
  - Nennleistung von Wärmepumpe und Photovoltaikanlage
  - Sorgfalt bei der Anlagenauslegung
  - Steuerung des Gesamtsystems
  - Jetzige und zukünftige Strombezugskosten

# Kostenparität von EEG-Vergütung, Haushaltsstrom und Heizöl (Quelle: www.tst-solarladen.de)



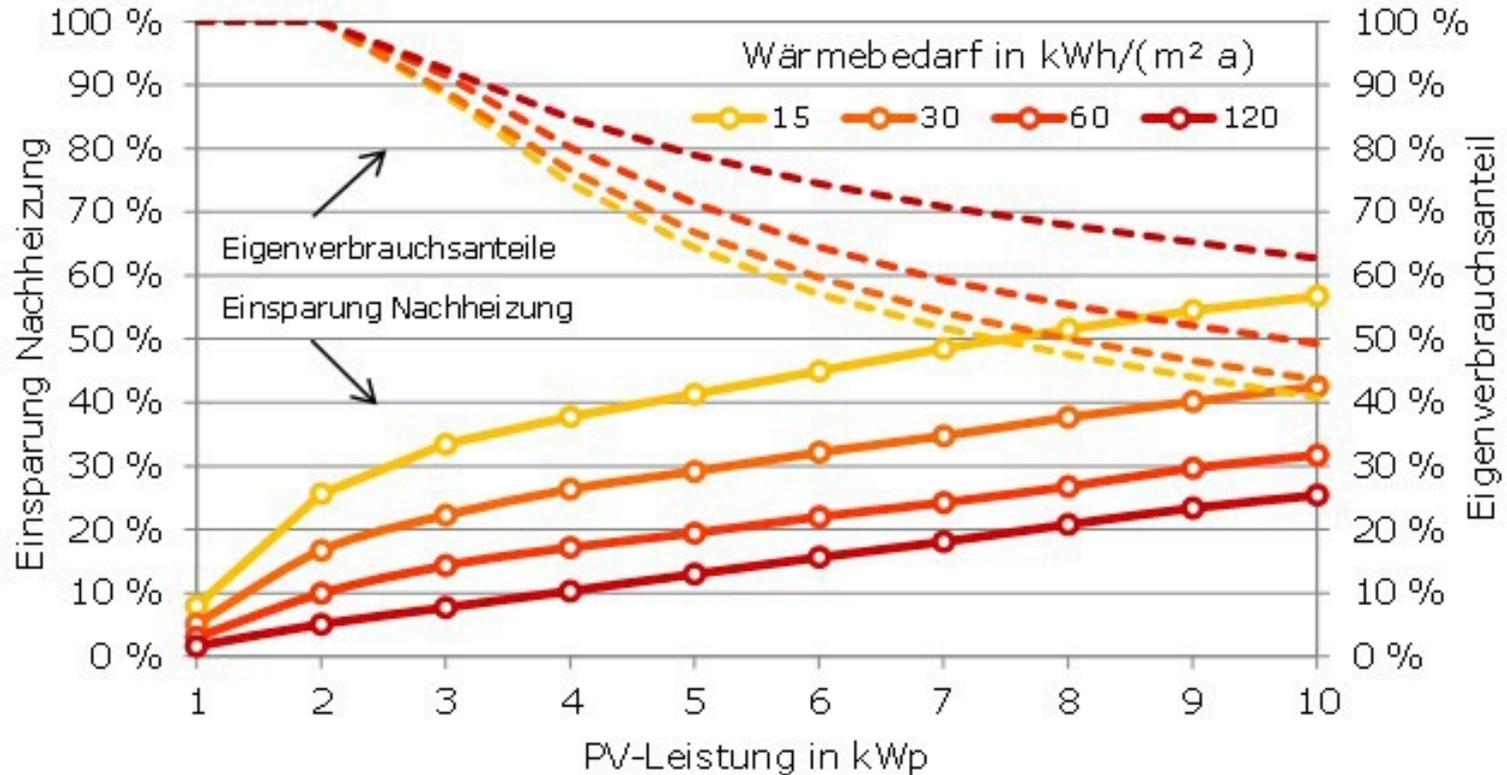
# Heizungssystem mit PV-Anlage

(Quelle: [www.tst-solarladen.de](http://www.tst-solarladen.de))



Systemaufbau des Referenzsystems mit 5-kW-PV-System, 800-l-Schichtenpufferspeicher sowie jährliche Energiemengen

# Einsparung von konventioneller Nachheizenergie (ohne Warmwasser)



Einsparung an konventioneller Nachheizung für das Referenzsystem bei einer Gebäudefläche von 127 m<sup>2</sup> in Abhängigkeit des Gebäudestandards und der PV-Leistung bei einem Strombedarf von 4.700 kWh/a