

Wärmepumpen- und Photovoltaikanlagen

Technik – Anwendung – Wirtschaftlichkeit

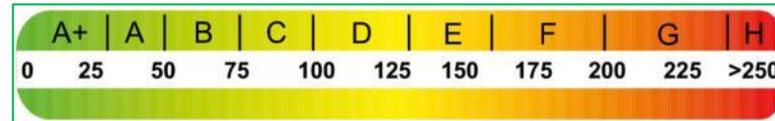
IB ZAHORSKY 

Ingenieurbüro für Energieeffizienz und erneuerbare Energien

Stefan Zahorsky

Wärmepumpen und Photovoltaikanlagen rechnen sich...in jeder Hinsicht

- Ökologisch



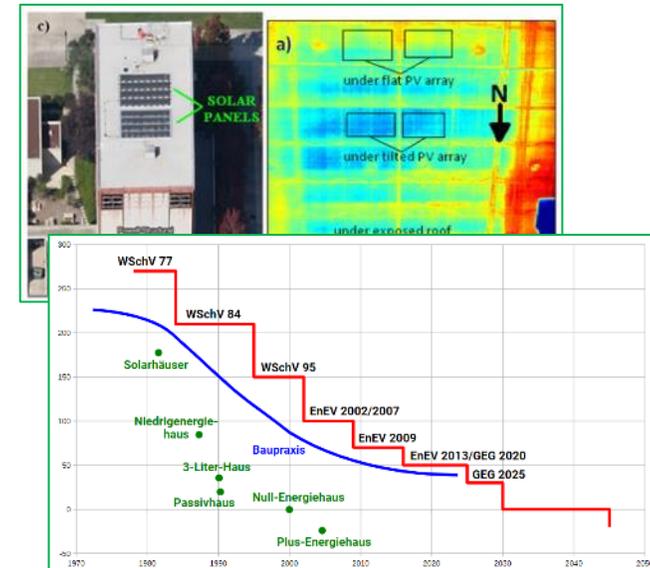
- Ökonomisch



- Komfort

Sommer 2023
Ein neuer Hitzerekord - der nicht lange halten dürfte
Stand: 06.09.2023 11:36 Uhr

- Wertsteigerung und Investitionssicherheit



Photovoltaik- Grundlagen

- Dachfläche ertragsoptimiert ausnutzen
- Möglichst eine hohe Eigenverbrauchsquote
- Optimalen Auslegung Wirtschaftlichkeit-Eigenverbrauch-Ertrag

Wirtschaftlichkeit:

Investitionskosten **€ je kWp**

Erzeugungskosten **ct/kWh**

ROI, wann hat sich die Investition amortisiert

Ertrag:

Effizienz der Anlage **kWh/kWp**

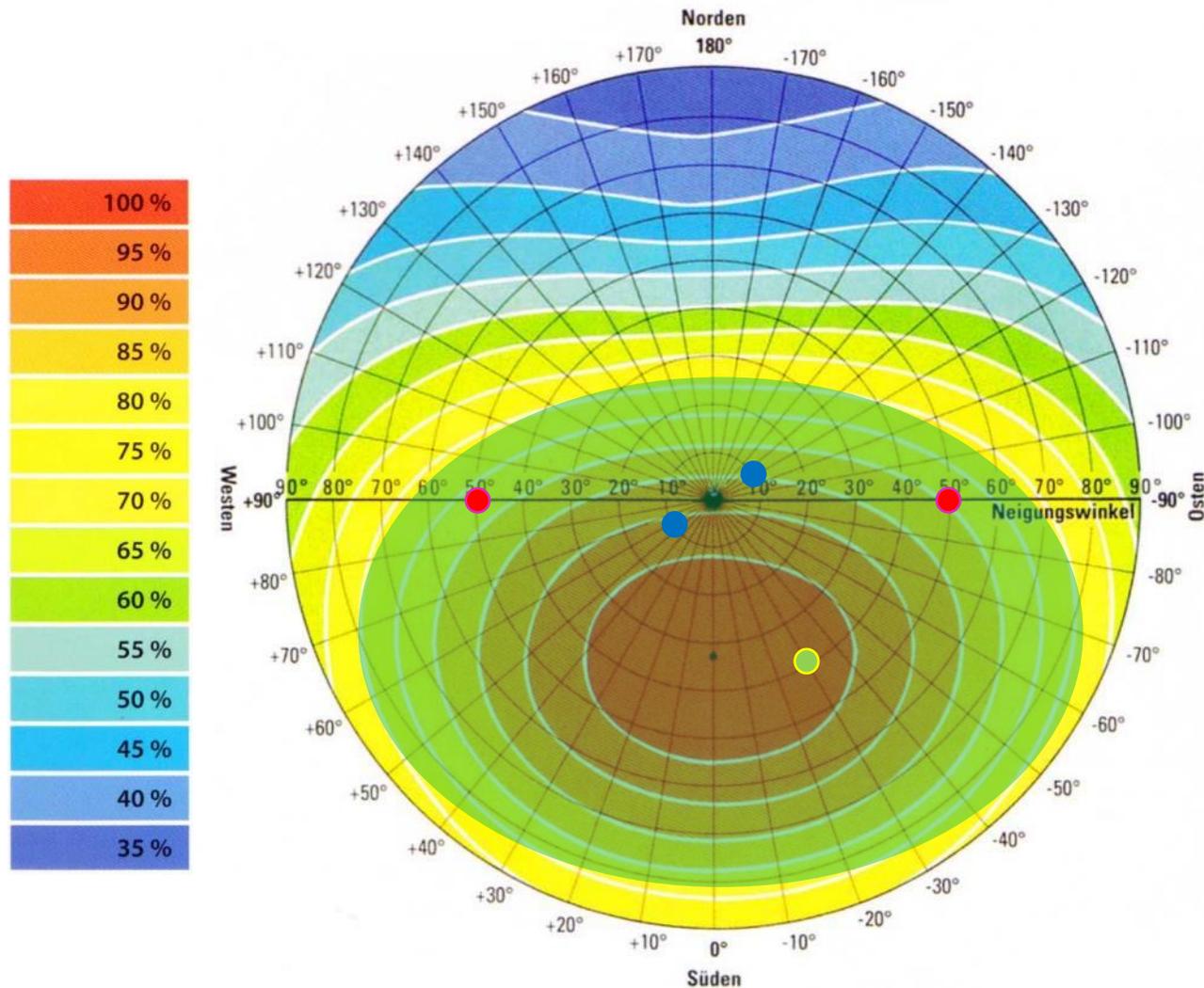
Eigenverbrauch:

%-Deckungsanteil der direkten Stromnutzung
während der Erzeugung

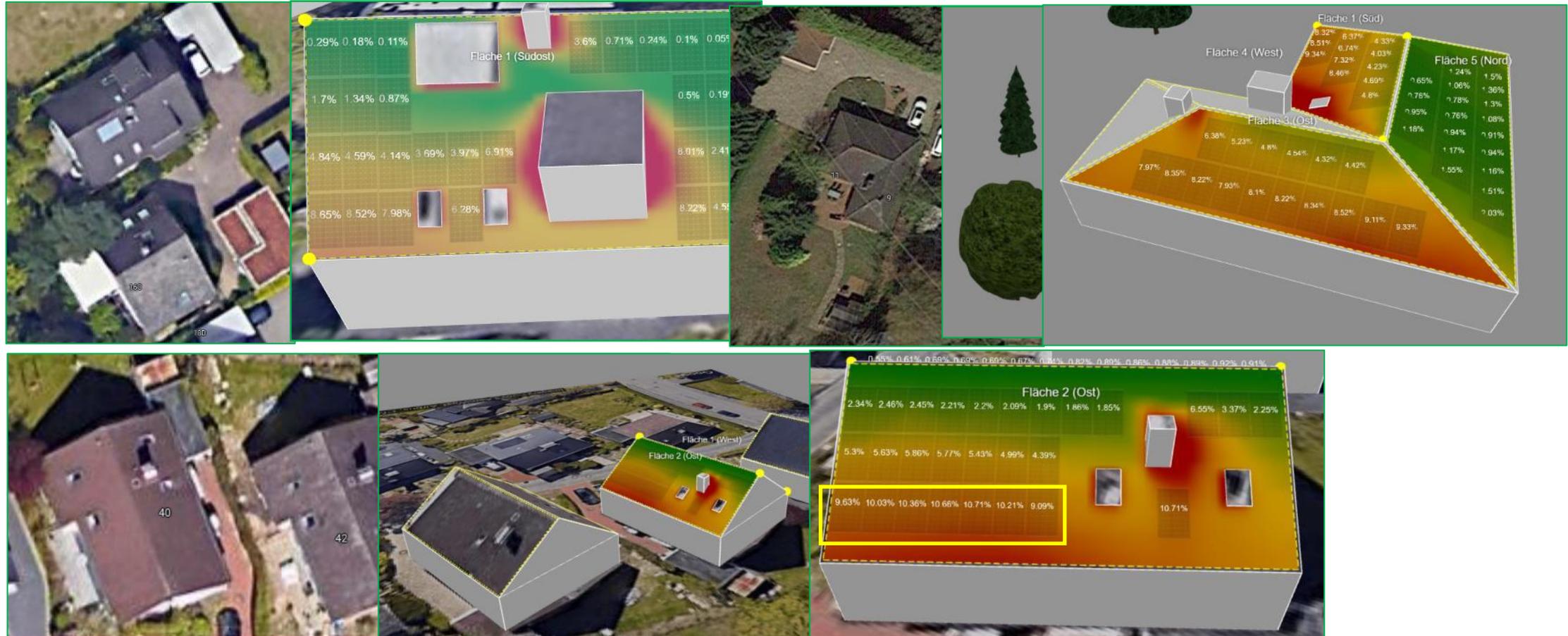
Autarkie:

% Deckungsanteil des gesamten Strombedarfs

Lohnt sich mein Dach?



Verschattungen berücksichtigen!



Qualität ist auf dem ersten Blick schwer zu erkennen....aber auf dem zweiten Blick!

Wirtschaftlichkeit

- Eigenverbrauchsanteil
- Investitionskosten € je kWp
- Ertragskosten ct/kWh

Anlageneffizienz

- Spezifischer Ertrag kWh je kWp

Statischer Bericht/Aufbauplan

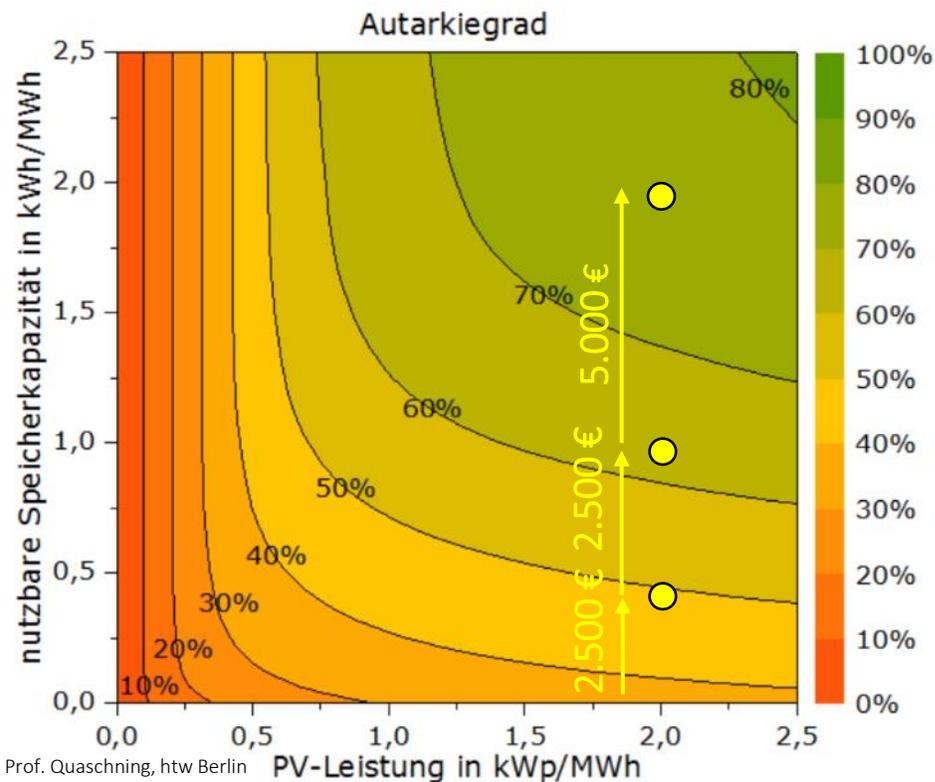
- Statik Unterkonstruktion und Belegungsplan
- Geländekategorie
- Dachsparren/-pfetten

Wechselrichtererauslegung/Verschaltung

- Spannungsbereich (Arbeitsbereich und max. Verträglichkeit)
- Qualität der Visualisierung
- Berücksichtigung von Dachflächen und Verschattungen
- Unabhängig regelbare MPP-Tracker

Batteriespeicher: Sinnvoll und welche Größe?

Beispiel: 3.000 kWh Haushaltsstromverbrauch + 2000 kWh Wärmepumpenanlage = 5.000 kWh Jahresstromverbrauch
10 kWp Photovoltaikanlage
Batteriespeichergröße 2,5 kWh, 5 kWh, 10 kWh?



Quelle: Prof. Quaschnig, htw Berlin

Stromspeicher.... kosten ca. 800-1200 €/kWh

erhöhen die Erzeugungskosten ct/kWh

erhöhen den Eigenverbrauchsanteil

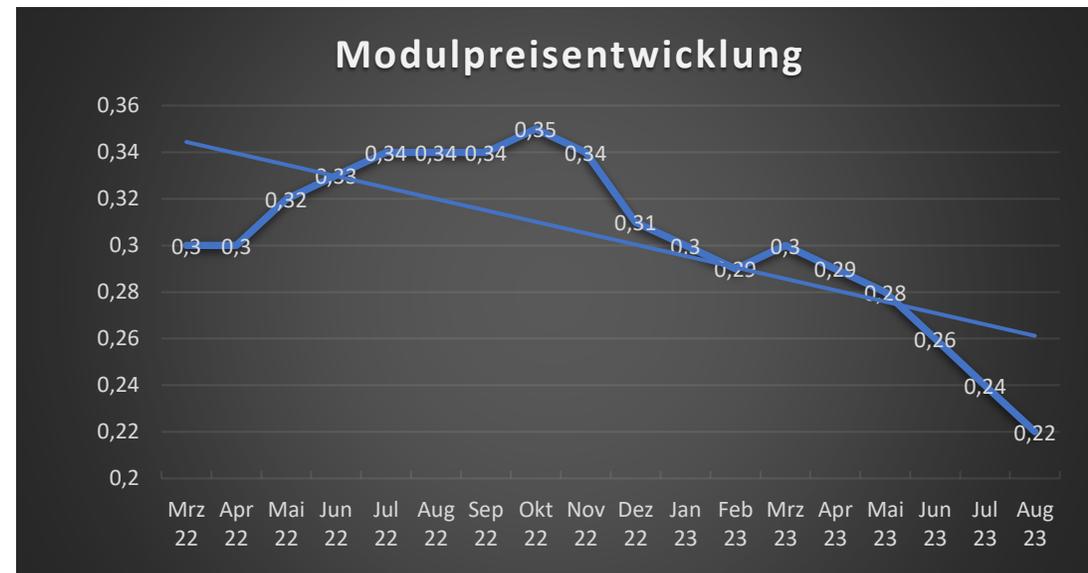
benötigen zur Herstellung einen erhöhten Ressourcenaufwand

Wirtschaftlich/ökologisch sorgsam abwägen

Erst wenn alle nutzbaren Dachflächen belegt sind, die zukünftige Elektrifizierung Wärme und Mobilität in der Planung abgeschlossen sind, bitte erst in Erwägung ziehen!!!

Für Ihr/ihr Zuhause-Kraftwerk

- Desto größer die Photovoltaikanlage, desto geringer die spezifischen Ertragskosten
- Fixkosten elektrischer Anschluss und Gerüststellung fast unabhängig von PV-Anlagegröße < 20 kWp
- Wechselrichter Kosten nur leicht steigend bei größeren Anlagen (10kWp ca. 1.500 € / 15 kWp ca.1.800 €)
- Batteriespeicher, ca. 800-1200 €/kWh Kapazität
- Aufdachanlagen, Betondachstein, einschl. Gerüst, ohne Speicher: ca. 1300 – 1600 €/kWp
- Modulpreise sind seit 01.2023 um ca. 25% gefallen



Bewertung von Angeboten

Wirtschaftlichkeit:

Investitionskosten €/kWp

Ertragskosten ct/kWh

ROI, wann hat sich die Investition amortisiert

Autarkie: % Deckungsanteil des gesamten Strombedarfs

Eigenverbrauch:

%-Deckungsanteil der direkten Stromnutzung während der Erzeugung



The screenshot shows the 'Stiftung Warentest' website with a search bar and navigation menu. The main content area features a calculator titled 'Photovoltaik Berechnen Sie die Rendite Ihrer Solaranlage' with a date of 29.12.2022 and 4910 likes.

<https://www.test.de/Photovoltaik-Rechner-1391893-0/>



The screenshot shows the 'htw' website (Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin) with a calculator titled 'Unabhängigkeitsrechner'. It features three sliders: 'Jahresstromverbrauch' (6000 kWh), 'Photovoltaikleistung' (10,0 kW), and 'Nutzbare Speicherkapazität' (6,0 kWh). A diagram on the right illustrates the energy flow between 'elektrische Verbraucher', 'Photovoltaik-anlage', 'Batteriesystem', and 'Stromnetz'.

<https://solar.htw-berlin.de/rechner/unabhaengigkeitsrechner/>

Bewertung von Angeboten

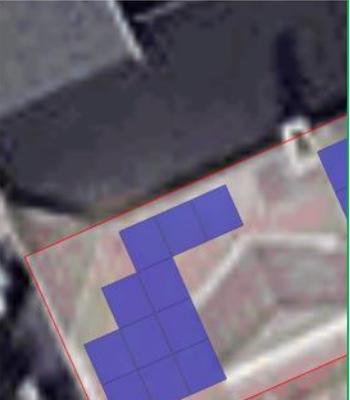
Aufbauplan Modulfeld(er) und Dachbelastung

K2 | Connecting Strength

Inhalt

- Projektübersicht
- Dach 1
- Montageplan
- Ergebnisse
- Statikbericht

Dächer



K2 | Connecting Strength

Projektübersicht

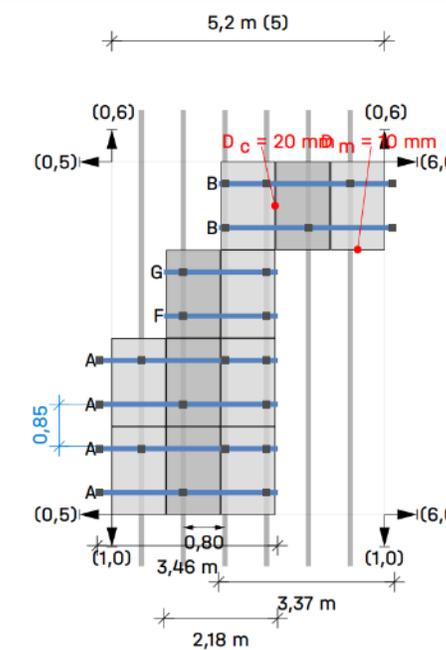
Projektinformation

Name
Adresse
Geländehöhe
Kunde
Ansprechpartner
Bearbeiter

Lasten

Bemessung	DIN EN
Schadensfolgeklasse	CC2
Nutzungsdauer	25 Jahre
Geländekategorie	II/III - gemischtes Profil Wohngebiet
Windlastzone	3
Schneelastzone	3
Bodenschneelast	0,85 kN/m ²

Dächer



5,2 m (5)

(0,6)

(0,5)

(0,6)

(6,0)

$D_c = 20 \text{ mm} \Rightarrow m = 10 \text{ mm}$

B

B

G

F

A

A

A

A

(0,5)

(1,0)

0,85

0,80

3,46 m

3,37 m

2,18 m

(1,0)

(6,0)

Informationen zum Dach

Gebäudehöhe	7,00 m
Dachtyp	Satteldach
Dachneigung	45°
Befestigungsmethode	In Dach-Unterkonstruktion
Eindeckung	Ziegel
min. Randabstand	0,00 m
Sparrenabstand	0,800 m
Randsparren links setzen	Nein
Sparrenabstand links	250,0 mm
Sparrenabstand rechts	Nein
Sparrenabstand	250,0 mm
Lattenabstand	340,0 mm

Lasten

Bemessung	DIN EN
Schadensfolgeklasse	CC2
Nutzungsdauer	25 Jahre
Geländekategorie	II/III - gemischtes Profil Wohngebiet

Windlast

Windlastzone	3
Geschwindigkeitsdruck	$q_{p,50} = 0,705 \text{ kN/m}^2$
Anpassungsfaktor für Nutzungsdauer	$f_w = 0,901$
Geschwindigkeitsdruck	$q_{p,25} = 0,635 \text{ kN/m}^2$

DAS PROJEKT IST VERIFIZIERT.

Das gewählte Montagesystem kann wie geplant gebaut werden. Vielen Dank, dass Sie sich für ein K2 Montagesystem entschieden haben.

Statik ist normalerweise bauseits zur prüfen. Anbieter/Errichter muss jedoch die Prüfbarkeit ermöglichen!

Impressionen Photovoltaik (so bitte nicht)

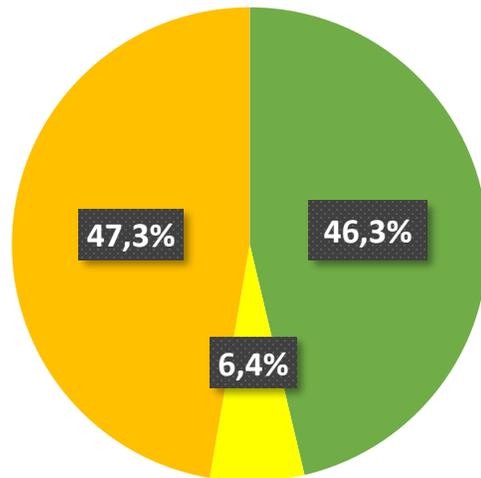


Warum eine Wärmepumpe? Ökologische Aspekte

- Effiziente Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien
- Reduzierung des größten Treibhausgases CO₂ durch Sektorkopplung
- Keine Emissionen der Wärmebereitstellung am Aufstellungsort
- Verbrennungsprozesse mit über 1000°C für 20°C Raumtemperatur vertretbar?

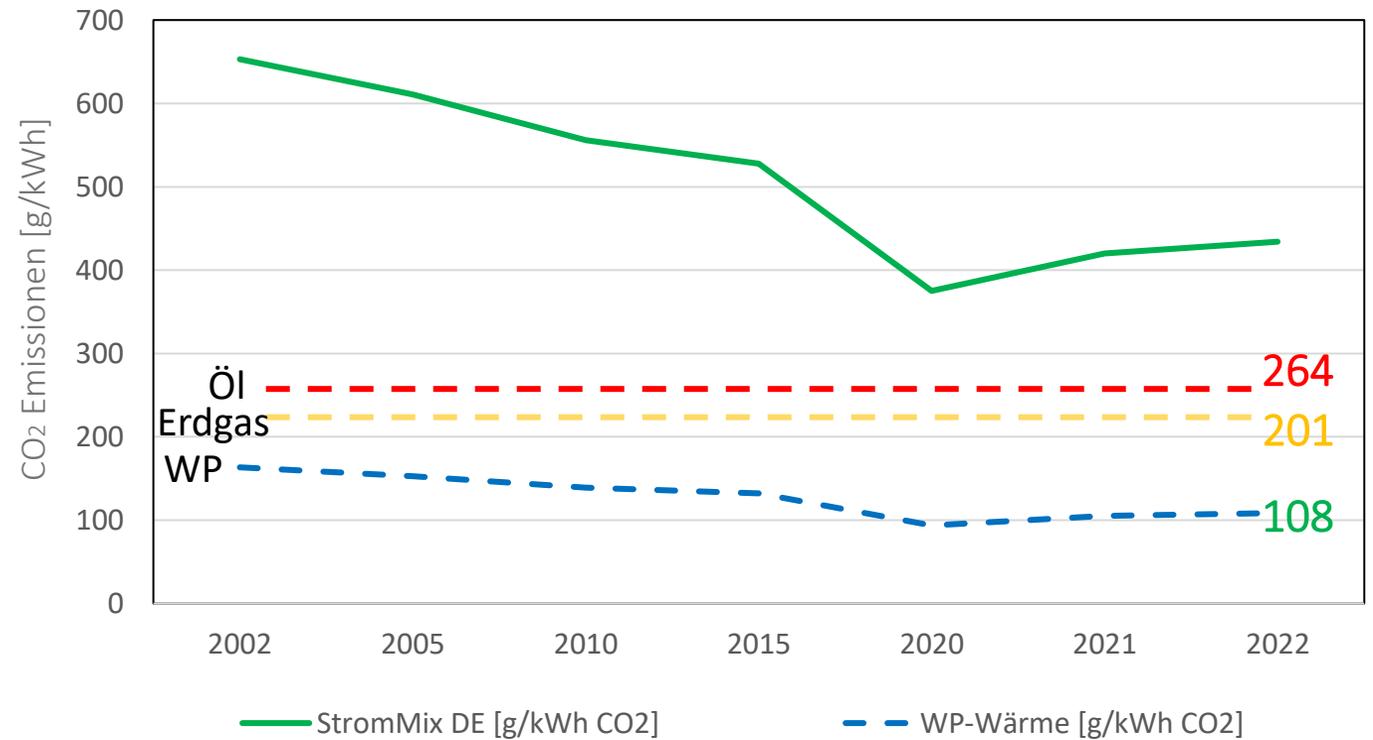
Warum eine Wärmepumpe? Ökologische Aspekte

Deutsche Stromerzeugung 2022



- Erneuerbare Energien
- Kernenergie
- Fossile Energie (Gas, Öl, Kohle)

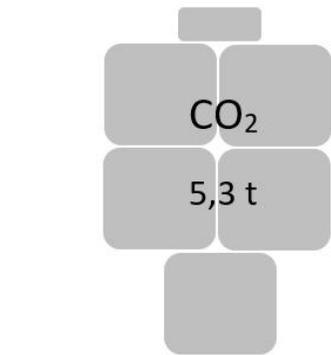
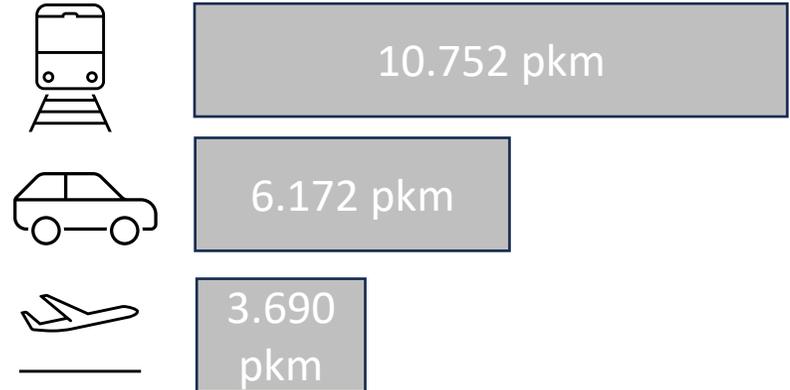
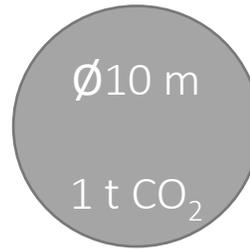
CO₂-Bilanz in der Wärmebereitstellung



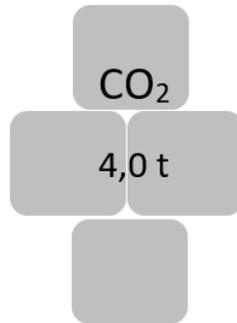
Anteil Wärmepumpen [%]

Warum eine Wärmewende? Ökologische Aspekte

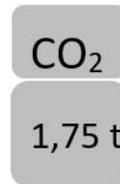
Beispiel Einfamilienhaus
18.000 kWh Nutzwärmebedarf



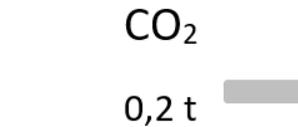
Öl-Brennwertkessel



Gas-Brennwertkessel



Wärmepumpe JAZ 4



Wärmepumpe JAZ 4
mit Ökostrom



1t CO₂ = 80 Buchen

Warum eine Wärmewende? Wirtschaftliche Aspekte

- Langfristige Wertsteigerung des Gebäudes
- Geringe Wärmegestehungskosten
- Preisvolatilität Öl und Gas aufgrund der Transportfähigkeit sehr hoch
- Keine Gebühren für Gaszähler oder Flüssiggastanks
- Keine gesetzliche Überwachungspflicht

Warum eine Wärmewende? Wirtschaftliche Aspekte

Beispiel Einfamilienhaus (Preisbasis 09/2023)

18.000 kWh Nutzwärmebedarf

Annahmen: Gaspreis 13 ct/kWh (SWK)

Ölpreis 12 ct/kWh (Tescon)

Strompreis 39 ct/kWh (SWK)

Heute 13,2 ct/kWh

2026 15,1 ct/kWh



Öl-Brennwertkessel

14,3 ct/kWh

15,7 ct/kWh



Gas-Brennwertkessel

9,8 ct/kWh

10,4 ct/kWh



Wärmepumpe JAZ 4

10,1 ct/kWh

10,2 ct/kWh



Wärmepumpe JAZ 4
mit Ökostrom

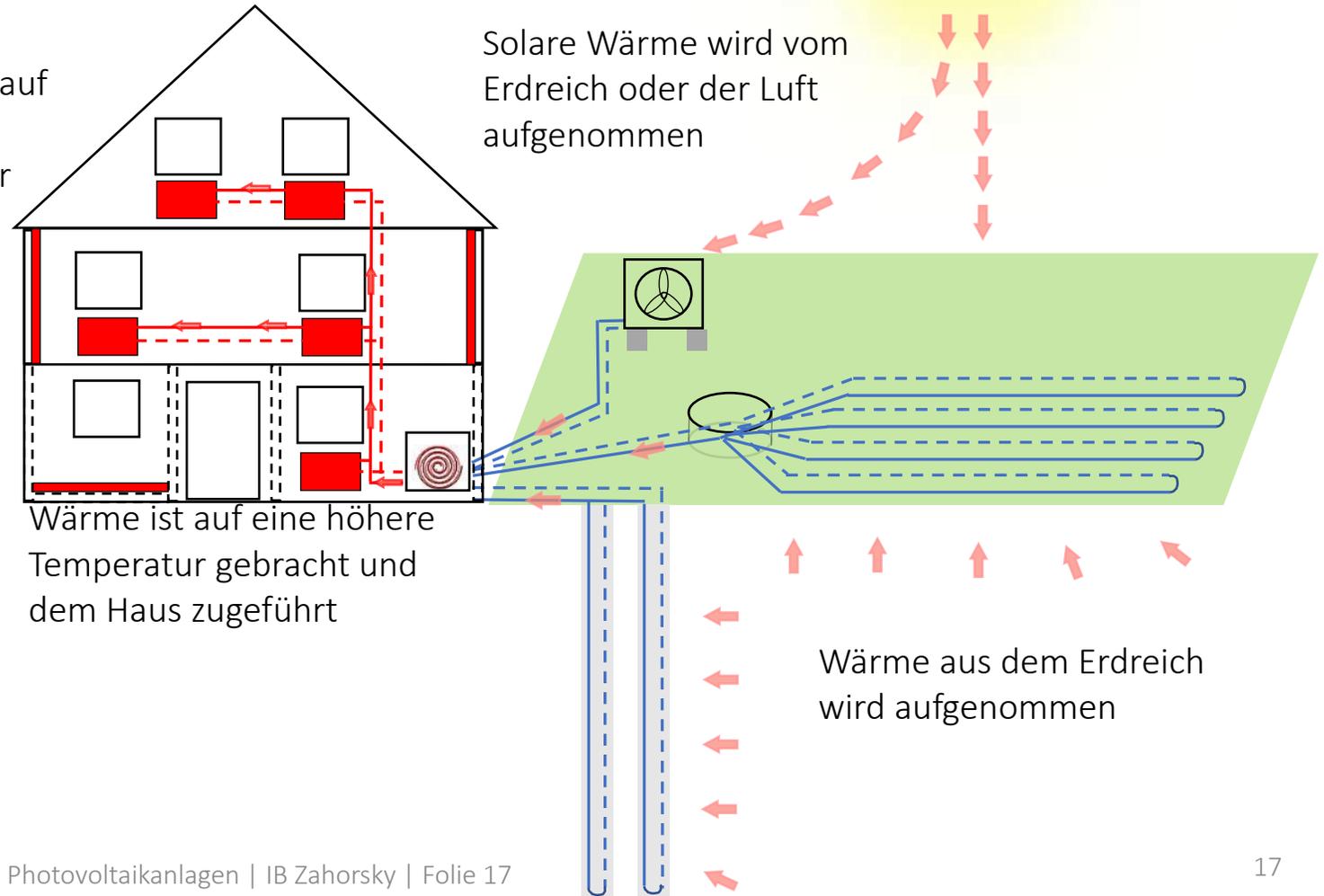
Was ist eine Wärmepumpe?

Wärmepumpe:

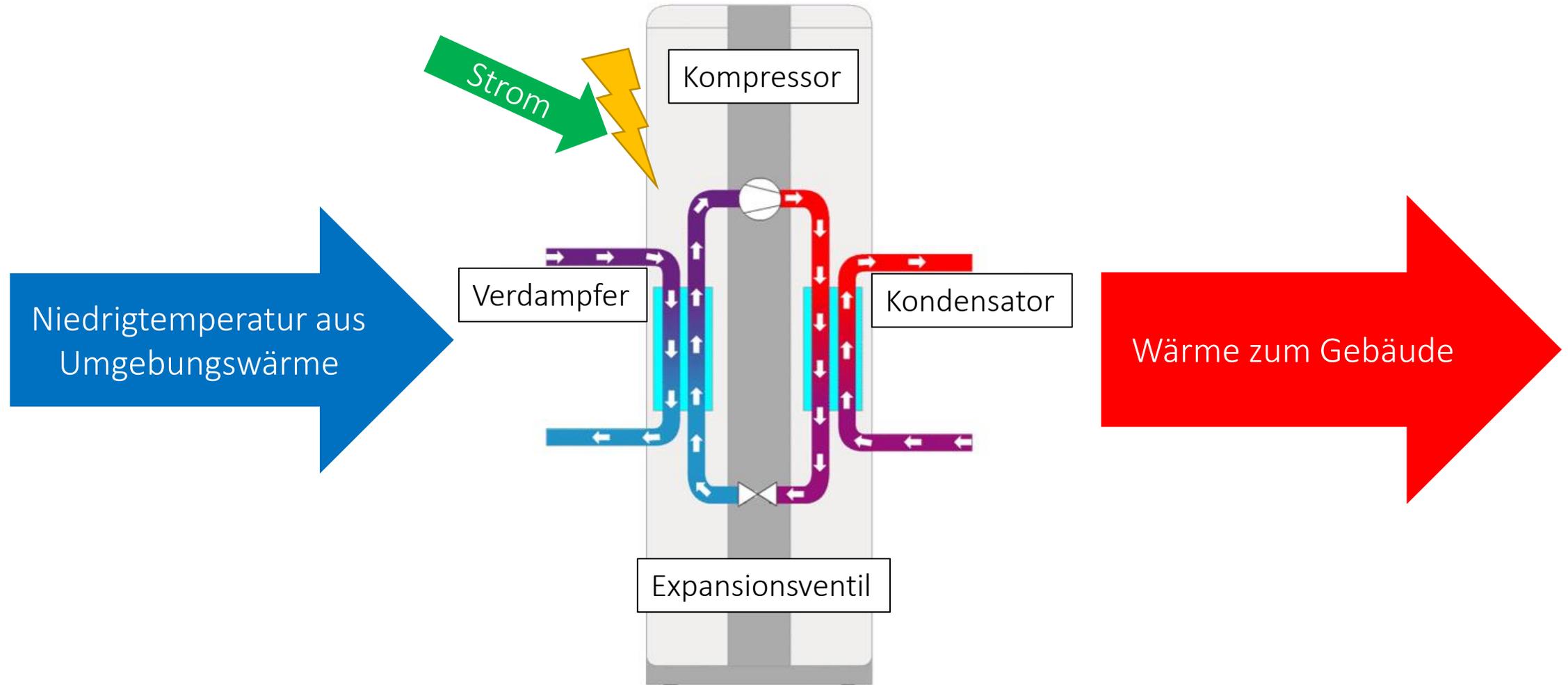
- nimmt Niedrigtemperaturwärme von außen auf
- „pumpt“ Wärme auf eine höhere Temperatur
- gibt Wärme an das Gebäude ab

Wärmequelle:

- kostenlose Umweltwärme
- erneuerbare Wärme



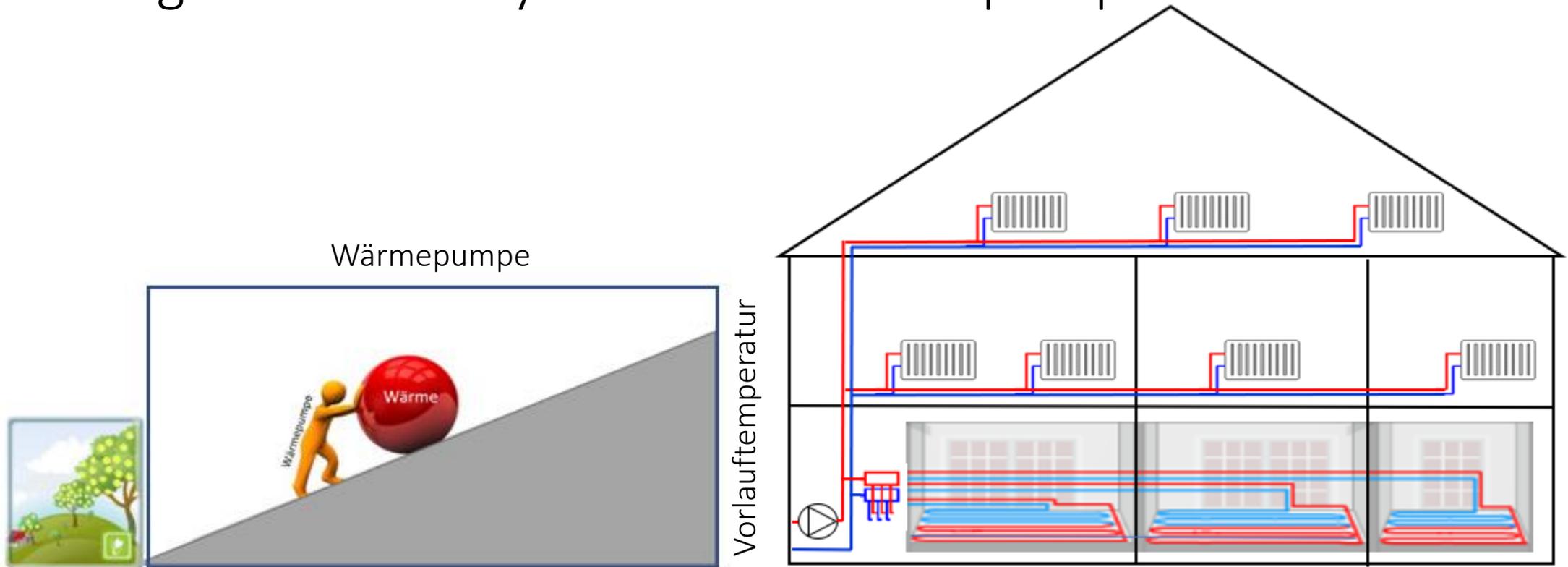
Was ist eine Wärmepumpe? Funktionsaufbau



Wassergeführte Heizsysteme mit Wärmepumpen



Wassergeführte Heizsysteme mit Wärmepumpen



Kriterien für geringe Vorlauftemperatur:

- Gute Wärmeverteilung (Hydraulik)
- Viele Wärmeübertragungsflächen
- Auf das Objekt individuell eingestellte Heizkurve

Wichtige Kenngrößen & Merkmale von Wärmepumpen

- *COP*: Leistungszahl an einem Betriebspunkt

$$\text{COP} = \frac{\text{Heizleistung (kW)}}{\text{Elekt. Leistungsaufnahme (kW)}}$$

- *SCOP*: Gemittelte Leistungszahl über mehrere Betriebspunkte

- *JAZ (SPF)*: Effektive Leistungszahl

$$\text{JAZ} = \frac{\text{Heizleistungsarbeit (kWh)}}{\text{Elekt. Arbeit (kWh)}}$$

- Luft- und Körperschall

- Bivalenzpunkt bei Luftwärmepumpen und elektrische Zusatzheizungen

Wärmepumpen sind effizienter als konventionelle Heizkessel

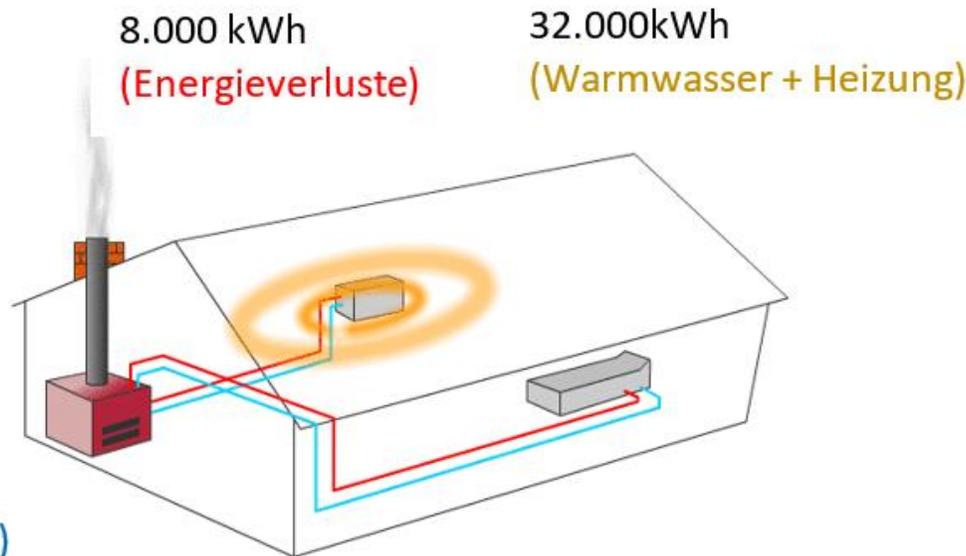
Gesamte Energie aus dem Brennstoff

Umwandlungsverluste reduzieren Brennstoffausbeute

Endenergie (Input) > Nutzenergie (Output)

40.000 kWh für 32.000 kWh nutzbare Wärme

Ölheizung



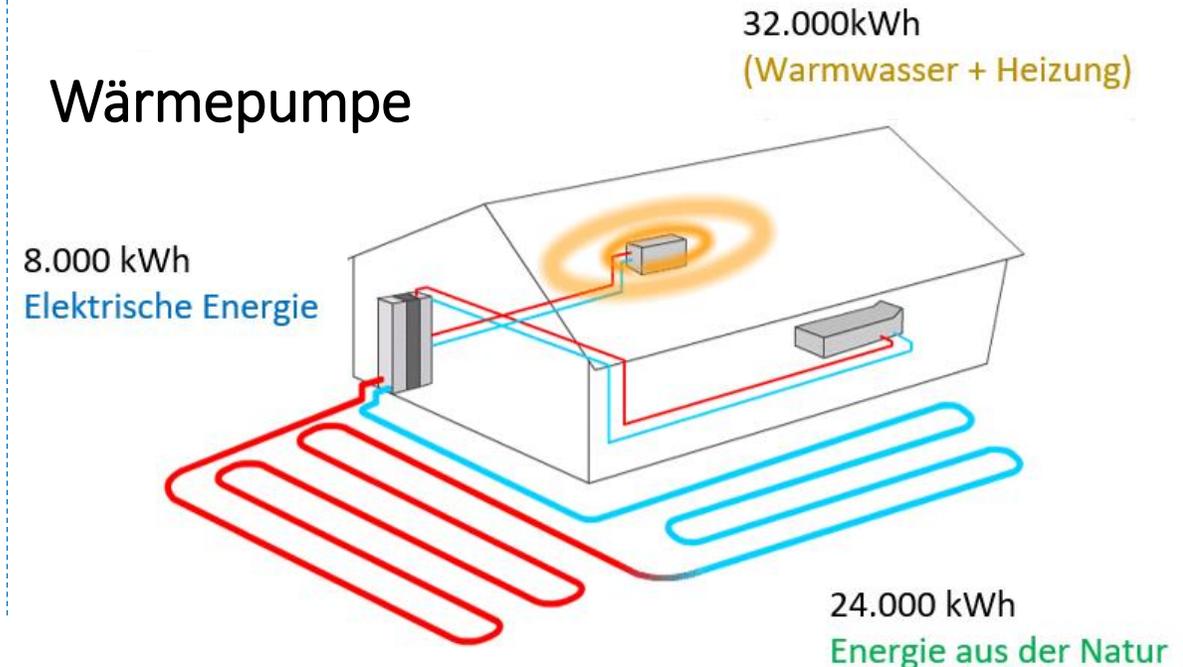
Elektrische Energie für Prozessumsetzung

Hauptsächlich erneuerbare Wärme aus der Umwelt

Endenergie (Input) << Nutzenergie (Output)

8.000 kWh für 32.000 kWh nutzbare Wärme

Wärmepumpe



Wichtige Kenngrößen & Merkmale von Wärmepumpen

Schall-Leistung der Außeneinheit bei Nenn-Wärmeleistung (Messung in Anlehnung an EN 12102/EN ISO 9614-2) Bewerteter Schall-Leistungs-Summenpegel bei A7/W55		
– ErP	dB(A)	54
– Max.	dB(A)	58
– Geräuschreduzierter Betrieb	dB(A)	54
Energieeffizienzklasse nach EU-Verordnung Nr. 813/2013 Heizen durchschnittliche Klimaverhältnisse		
– Niedertemperaturanwendung (W35)		A+++
– Mitteltemperaturanwendung (W55)		A+++
Leistungsdaten Heizen nach EU-Verordnung Nr. 813/2013 (durchschnittliche Klimaverhältnisse)		
Niedertemperaturanwendung (W35)		
– Energieeffizienz η_s	%	197
– Nenn-Wärmeleistung P_{rated}	kW	10,0
– Saisonale Leistungszahl (SCOP)		5,01
Mitteltemperaturanwendung (W55)		
– Energieeffizienz η_s	%	152
– Nenn-Wärmeleistung P_{rated}	kW	9,6
– Saisonale Leistungszahl (SCOP)		3,87

Warmwasserwärmepumpen



Erdwärmequellen



- Erdsonden erzeugen eine Entzugsleistung in W/m bzw. $\text{kWh/m}^*\text{a}$
- Erdsondenanlagen sind anzeigepflichtig
- Tatsächliche Entzugsleistungsermittlung während der Bohrung
- Erdkollektoren erzeugen eine Entzugsleistung in W/m^2
- **100m² Wohnfläche benötigen ca. 100m Erdwärmesondenbohrung oder 200m² Erdkollektorfläche**

Nicht alles ist Gold was glänzt...



Beispiel Einfamilienhaus

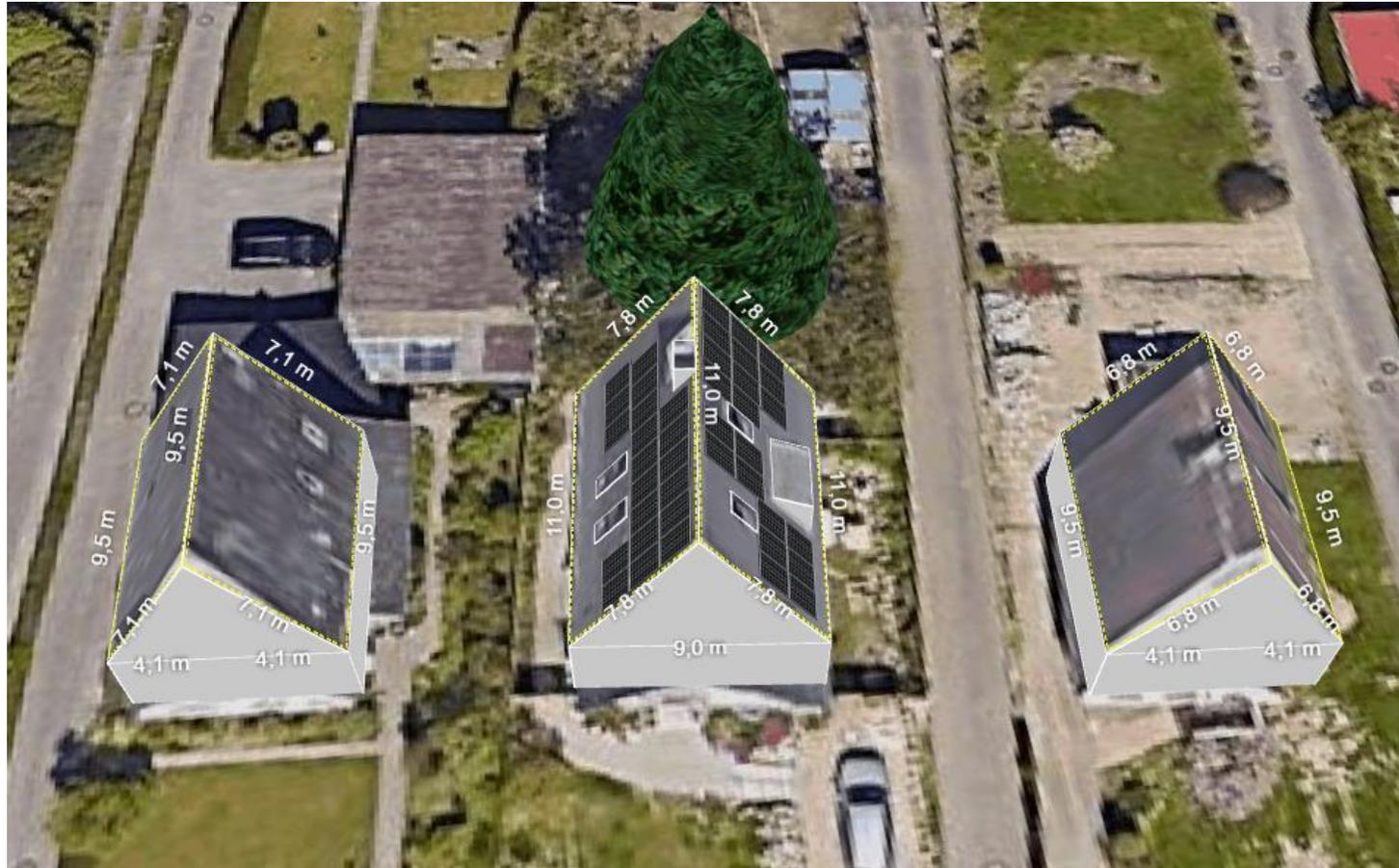
Gebäudedaten

- Einfamilienhaus mit ca. 160m² Wohnfläche
- 4 Personenhaushalt + Einliegerwohnung eine Person
- Stromverbrauch 2022 ca. 5.000 kWh
- Wärmeverbrauch 2022 ca. 18.000 kWh

Potential Dachflächen

- Wohngebäude mit nahen Nachbargebäuden
- Verschattungsanteile durch Nachbarhäuser
- Schrägdach mit ca. 55° Dachneigung
- Ost- und Westdach mit Gaube

Beispiel Einfamilienhaus



41 Module mit je 380 Wp = 15,58 kWp

Ökologische Beweggründe

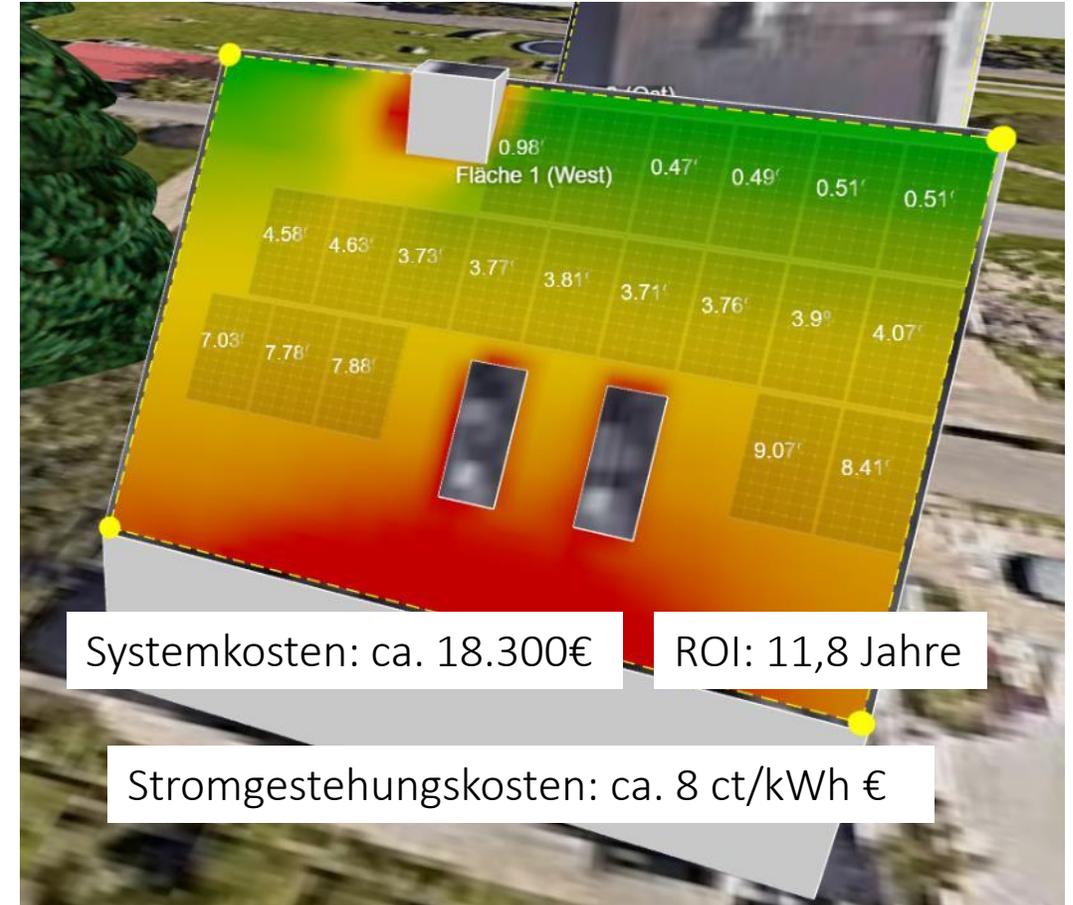
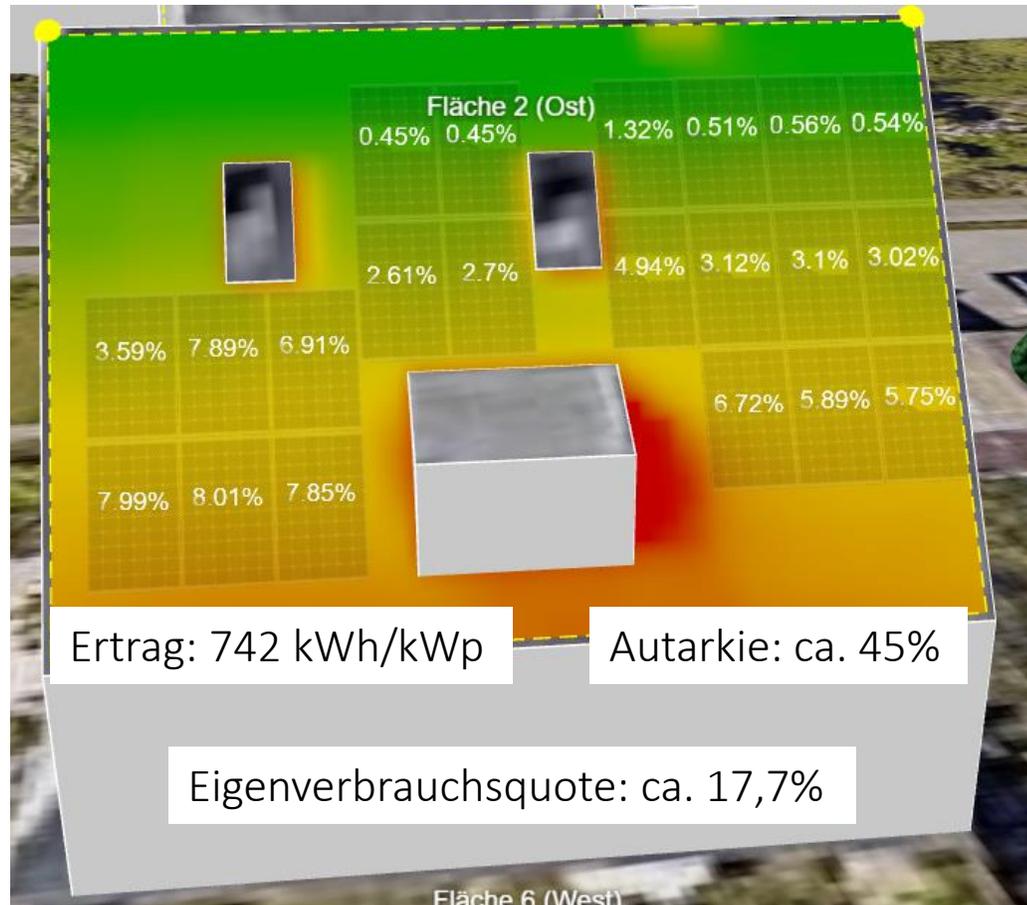
Elektrifizierung Wärme und Verkehr

Systemkosten reduzieren

Ausnutzung diffuse Strahlung im Winter (Wechselrichterauslastung)

Stein ins Rollen gebracht: Förderung!

Beispiel Einfamilienhaus



Ergebnis Umsetzung

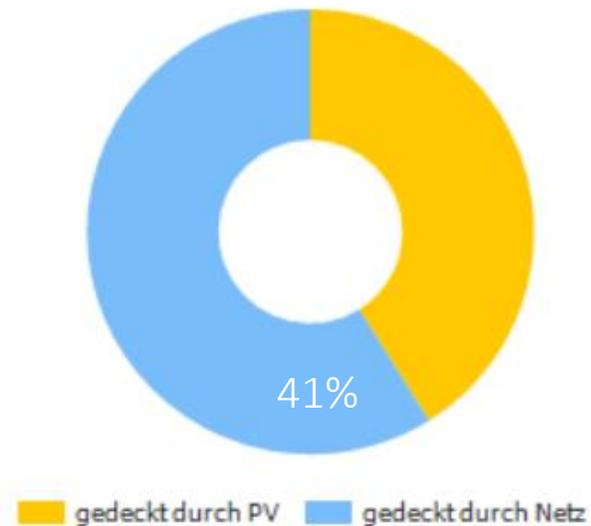
Ertrag PV-Anlage: 11.600 kWh

Eigenverbrauch: ca. 2.200 kWh

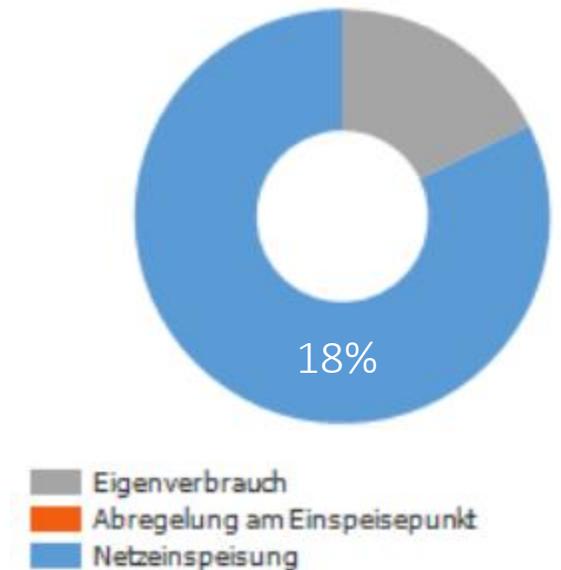
Netzeinspeisung: ca. 9.400 kWh

Vermieden CO₂-Emissionen: ca. 5,4 t/a

Gesamtverbrauch



PV-Generatorenergie (AC-Netz)



Wärmewende zu Hause Planung 1/3

- Umstellung von Erdgas auf Wärmepumpen
- Zwei Ausbauschritte: Wärme für Warmwasser und Heizung getrennte Betrachtung
 - 1. Umstellung der Trinkwasserwärme
 - 2. Umstellung der Raumheizungswärme
- Betrachtung: ökologische und ökonomische Bewertung
- Auswirkung auf die Photovoltaikanlagen

Wärmewende zu Hause Planung 2/3

- Wärmebedarf Warmwasser: Wieviel Wärme wird benötigt, um den Warmwasserbedarf zu decken?

- 4 Personenhaushalt

- $t_{w, \text{Eintritt}} : 10 \text{ }^\circ\text{C}$

- $t_{w, \text{Austritt}} : 50 \text{ }^\circ\text{C}$

- $m: 200 \text{ Liter}$ (ca. 50 Liter/Person)

- $c: 1,1633 \frac{\text{Wh}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$

- $Q_{ww} = m * c * dT = 200 \text{ l/d} * 0,988 \frac{\text{kg}}{\text{l}} * 1,1633 \frac{\text{Wh}}{\text{kg} \cdot \text{K}} * 40 \text{ K} = 9.194,7 \text{ Wh} = 9,2 \text{ kWh/d}$

-> ca. 3.360 kWh/a Wärmebedarf -> ca. 4000 kWh/a Erdgas!

-> ca. 1.120 kWh elektrische Antriebsenergie für die Brauchwasserwärmepumpe (JAZ 3,0)

Wärmewende zu Hause Planung 3/3

- Wärmebedarf Heizung: Wieviel Wärme wird benötigt um den Heizwärmebedarf zu decken?
- Gasverbrauch 2022: 18.000 kWh (Warmwasser- und Raumwärme Endenergie)
- abzgl. 4.000 kWh Endenergie Warmwasser

$$Q_{hzg} = 18.000[kWh] - 4000 [kWh] = 14.000[kWh]$$

- 10% Umwandlungsverluste für die Umwandlung Erdgas in Raumwärme

Erdgas(Input=Endenergie) > Raumwärme (Output=Nutzenergie)

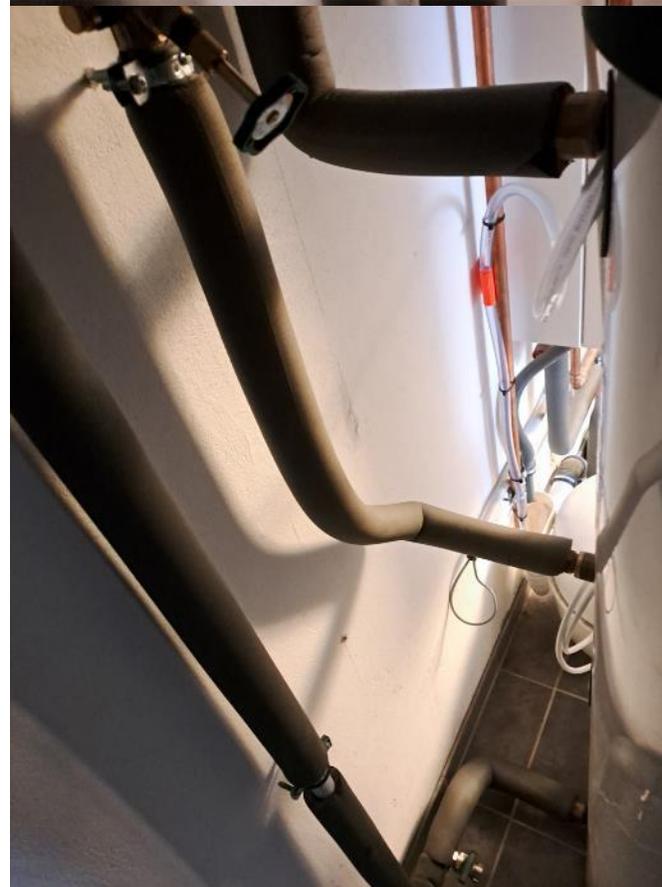
Elektrische Antriebsenergie Heizungs-Wärmepumpe: 3.150 kWh (JAZ 4,0)

Wärmewende zu Hause, Bauabschnitt 1:

Vorher



Betriebskosten: 600 €/a
CO₂-Emissionen: 880 kg/a



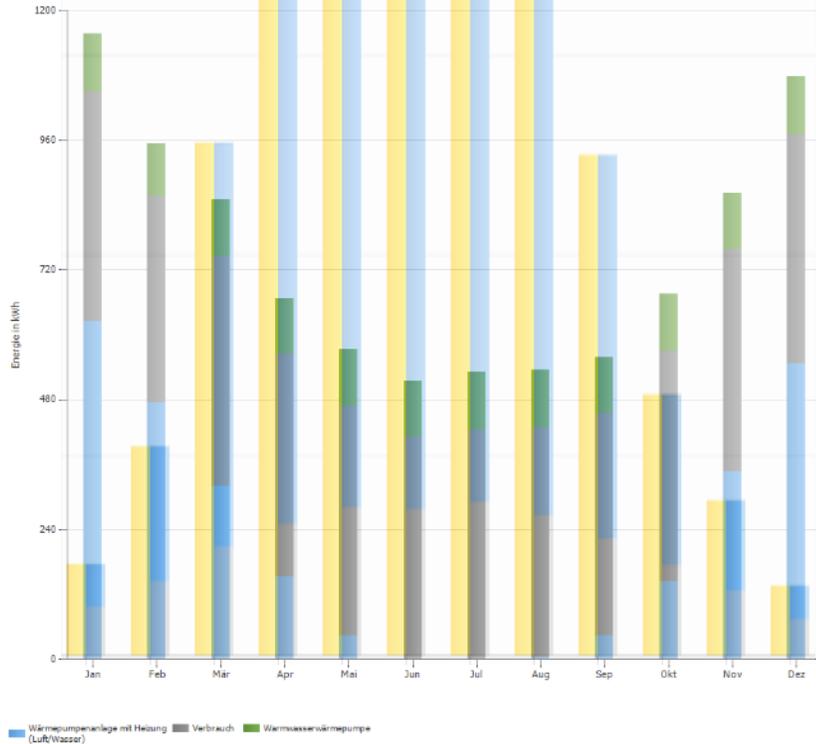
Nachher



Betriebskosten: ca. 150 €/a
CO₂-Emissionen : ca. 130 kg/a

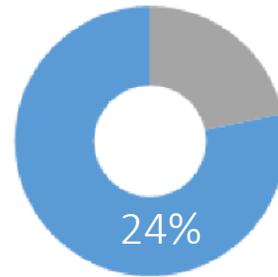
Wärmewende zu Hause und PV-Anlage, Ausblick

Lastprofil mit Hausstrom & WWP & Heizungs-Wärmepumpe



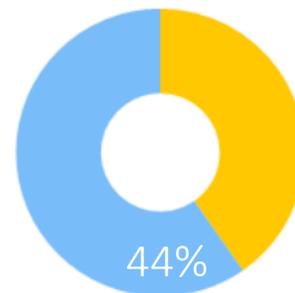
Deckungsanteile PV & WWP

PV-Generatorenergie (AC-Netz)



Legend: Eigenverbrauch (grey), Abregelung am Einspeisepunkt (orange), Netzeinspeisung (blue)

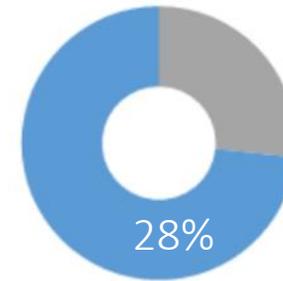
Gesamtverbrauch



gedeckt durch PV (yellow), gedeckt durch Netz (blue)

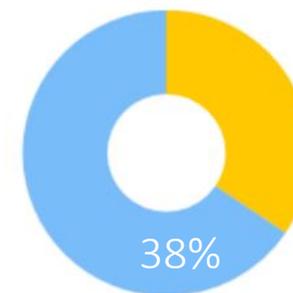
Deckungsanteile PV & WWP & HWP

PV-Generatorenergie (AC-Netz)



Legend: Eigenverbrauch (grey), Abregelung am Einspeisepunkt (orange), Netzeinspeisung (blue)

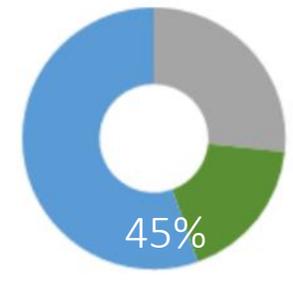
Gesamtverbrauch



gedeckt durch PV (yellow), gedeckt durch Netz (blue)

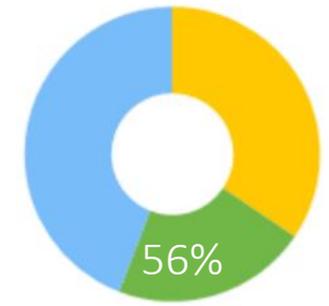
Deckungsanteile PV+8kWh BT & WWP & HWP

PV-Generatorenergie (AC-Netz)



Legend: Direkter Eigenverbrauch (grey), Batterieladung (green), Abregelung am Einspeisepunkt (orange), Netzeinspeisung (blue)

Gesamtverbrauch



gedeckt durch PV (yellow), gedeckt durch Batterie netto (green), gedeckt durch Netz (blue)

Zusammenfassende Kennzahlen CO₂

Ausgangsbasis

18.000 kWh Gasverbrauch = 3,9 t CO₂
5.000 kWh Stromverbrauch = 2,1 t CO₂

-6,0 t CO₂

Mit Photovoltaikanlage

18.000 kWh Gasverbrauch = 3,9 t CO₂
5.000 kWh Stromverbrauch = 2,1 t CO₂
11.500 kWh PV-Erzeugung = 5,4 t CO₂

-0,6 t CO₂

1. Bauabschnitt (Warmwasser-WP 02/2023)

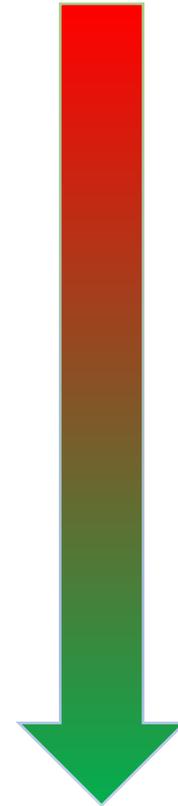
14.000 kWh Gasverbrauch = 3,1 t CO₂
6.250 kWh Stromverbrauch = 2,7 t CO₂
11.500 kWh PV-Erzeugung = 5,4 t CO₂

-0,4 t CO₂

2. Bauabschnitt (Heizung-WP 2024/2025)

0 kWh Gasverbrauch = 0 t CO₂
9.400 kWh Stromverbrauch = 4,0 t CO₂
11.500 kWh PV-Erzeugung = 5,4 t CO₂

+1,4 t CO₂



Förderung von Wärmepumpen und Photovoltaik

- Austausch der Heizungsanlagen 25% bis zu 40%

Ab 01.01.2024 30% bis zu 70%

- **Energetische Fachplanung und Baubegleitung 50%**
- KFW-Finanzierung
- Zuschuss bei Vollsanierung (Effizienzhaus)

BEG Einzelmaßnahmenförderung	Austausch ineffiziente Heizung*		Austausch sonstige Heizung	
	Luft, Abluft	Erdreich, Grundwasser, Abwasser	Luft, Abluft	Erdreich, Grundwasser, Abwasser
Wärmepumpe	35%	40%	25%	30%
EE-Hybrid: Wärmepumpe und Solarthermie	35%	40%	25%	30%
EE-Hybrid: Wärmepumpe und Biomasseheizung	30%	35%	20%	25%

*funktionstüchtige Öl-, Kohle-, Nachspeicher-, Gasetagen- oder min. 20 Jahre alte Gaszentralheizung

Quelle: Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V.

- **Solarförderung Stadt Kiel** (ab 5kWp 300 € je kWp EFH)
- Solarstrom für Elektroautos (KFW 442, Zuschuss bis 10.200€)
- KFW-Finanzierung
- Zuschuss bei Vollsanierung (Effizienzhaus)

1. Angebot oder Kostenschätzung
2. Förderantrag stellen
 - Fotos der Dachflächen
 - Eigentumsnachweis
 - Brandschutzklasse Module
3. Ggfs. vorzeitigen Maßnahme beginn anzeigen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Stefan Zahorsky

M. Eng. Energie- und Ressourceneffizienz

Energie-Effizienz-Experte BAFA/DENA | Sachkundiger Wärmepumpe VDI | Solarfachberater DGS
20 Jahre Berufserfahrung im technischen Anlagenbau

Kontakt:

Ingenieurbüro ZAHORSKY 

Tel.: +49 (0) 431 908 604 3

IB Zahorsky

Mobil: +49 (0) 176 55 97 91 97

Schillerstraße 27

Web: www.ib-Zahorsky.de

24116 Kiel

Mail: stefan.zahorsky@ib-zahorsky.de

Zertifiziert und Mitglied u.a.:



Sachkundiger Kälte-, Klima- und Sorptionsanlagen