

Willkommen zum Vortrag

Wärmepumpen in Bestandsgebäuden



Referent : Dr.-Ing. Peter Klafka
S4F Regionalgruppe Aachen

Beginn: 19:30 Uhr

29.11.2023
Langerwehe

- Studiert: Elektrotechnik RWTH Aachen
Promoviert: Energiewirtschaft: langfristige Planung KWK-Systeme
1994 – 1998 **Beratung:** Ausbauplanung KWK und regenerative Energien
1998 **Gründung** eigenes Beratungsunternehmen
Strategie, Liberalisierung, Marktregeln
Seit 2000 **Klafka & Hinz Energie-Informationssysteme GmbH**
heute 150 Mitarbeiter
Software für die Energiewirtschaft:
Energiedaten, EEG, Prognose, finanzielle Abrechnung
Geschäftsprozesse
Energiewirtschaftliche Fragestellungen
Planung und Bau von Anlagen-Prototypen in Energie-Systemen
Ehrenamtlich engagiert bei **Scientists for Future**,
u.a. Regionalgruppe Aachen, Koordination bundesweite Fachgruppe Energie

Wir
stellen
ein

Viele Infos heute:

- Folien werden auf Wunsch zugesendet:
WPAK-S4F-AC@gmx.de
- Austauschgruppe Erfahrungen mit Wärmepumpe
WPAK-S4F-AC@gmx.de
- Bilder machen erlaubt

Mythen und Fakten zur Wärmepumpe

Falsch

Die Behauptung
„Wärmepumpe geht nur im Neubau“
ist falsch.

Die Behauptung
„WP nur sinnvoll mit Fußbodenheizung“
ist falsch.

Behauptung
„Geothermie-WP ist immer besser als Luft-WP“
ist falsch.

Behauptung
„Luftwärmepumpe ist zu laut für Wohngebiet“
ist falsch.

Richtig

Wärmepumpen sind in Bestandsgebäuden sinnvoll einsetzbar

Für Wärmepumpeneinsatz ist eine Fußbodenheizung nicht notwendig.

Luft-Wärmepumpen können genauso oder effizienter sein als Geothermie-Wärmepumpen.

Es gibt sehr leise Luft-Wärmepumpen, die in Wohngebieten nicht stören.

Falsch

Die Behauptung
„Wärmepumpe geht nur im komplett energetisch sanierten Haus.“
ist falsch.

Die Behauptung
„Wir werden nie genug Strom haben, damit alle mit Wärmepumpen heizen können“
ist falsch.

Richtig

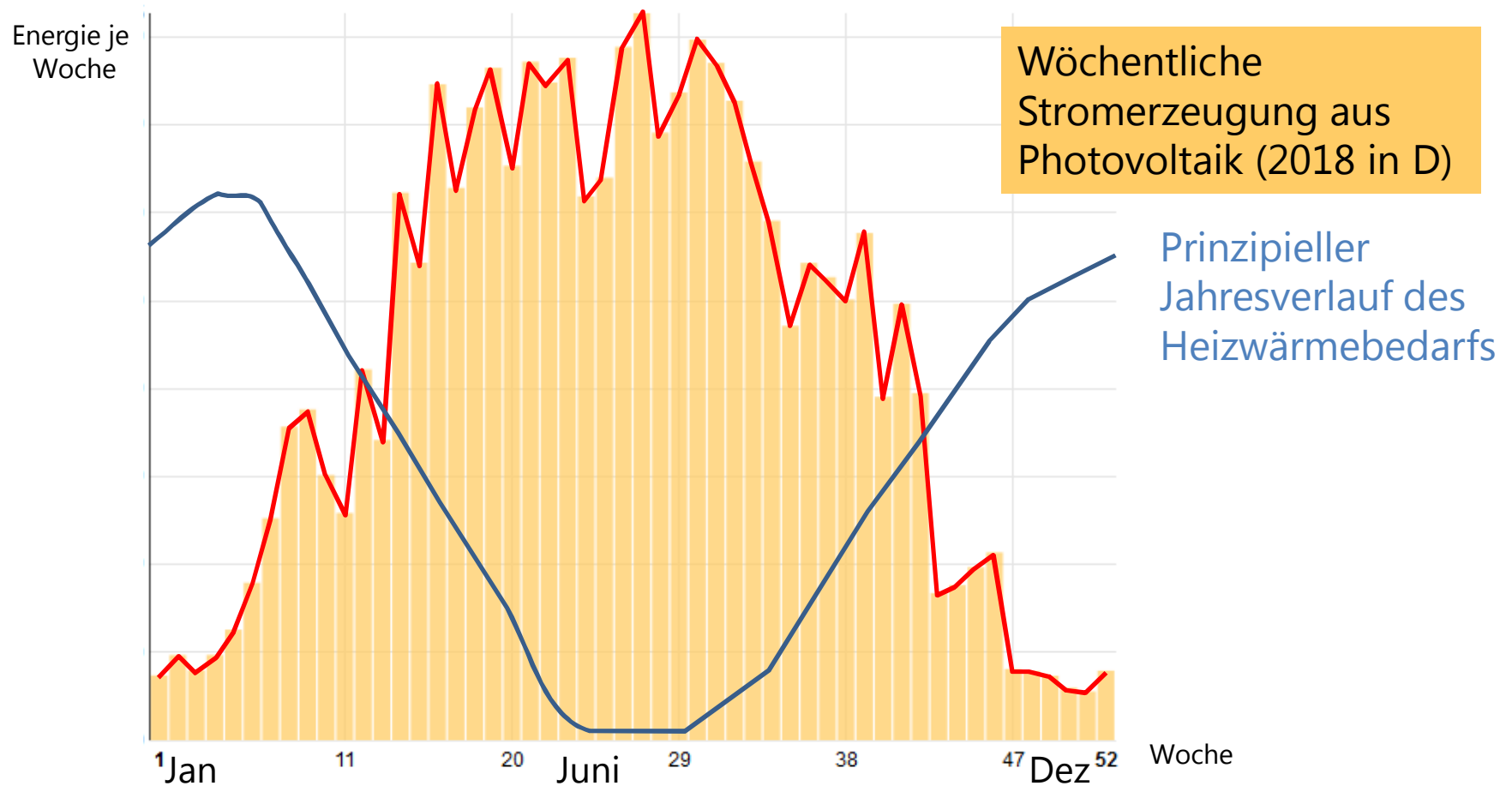
Wärmepumpen können auch ungedämmte Häuser beheizen. Aber: Häuser dämmen ist immer sinnvoll, unabhängig vom Heizsystem:

- wirtschaftlich
- ökologisch
- um die Behaglichkeit zu erhöhen

Bei hoher Effizienz der Wärmepumpen und Windkraftausbau werden wir in der Heizperiode genug Strom haben.

Eigener Vortrag: 100 % klimaneutrale Energieversorgung

Energiewirtschaft



Zeitraum	Außen-temperatur °C	15° Heizgrenztemperatur				12° Heizgrenztemperatur				10° Heizgrenztemperatur				Anteil PV
		Gradtag-zahl	Anzahl Heiztage	Temperatur an Heiz-tagen °C	Anteil Heiz-bedarf	Gradtag-zahl	Anzahl Heiztage	Temperatur an Heiz-tagen °C	Anteil Heiz-bedarf	Gradtag-zahl	Anzahl Heiztage	Temperatur an Heiz-tagen °C	Anteil Heiz-bedarf	
Januar	2,9	530	31	2,9	16%	528	31	2,9	18%	517	30	2,5	20%	0%
Februar	3,3	471	28	3,3	14%	468	28	3,2	16%	458	27	3	17%	33%
März	6,1	433	31	6	13%	423	30	5,7	14%	392	26	5,1	15%	90%
April	10	289	27	9,2	9%	248	20	7,9	8%	201	15	6,9	8%	100%
Mai	13,5	172	20	11,4	5%	114	11	9,5	4%	72	6	8,3	3%	100%
Juni	16,8	67	10	13,1	2%	21	2	10,8	1%	5	0	9,2	0%	100%
Juli	18,7	30	5	14	1%	2	0	11,5	0%	0	0	0	0%	100%
August	18,2	30	5	13,8	1%	3	0	11,5	0%	0	0	0	0%	100%
September	14,7	131	18	12,5	4%	62	7	10,7	2%	18	2	9,2	1%	100%
Oktober	11	264	27	10,1	8%	206	18	8,6	7%	153	12	7,3	6%	90%
November	6,9	392	30	6,8	12%	376	27	6,3	13%	348	24	5,7	13%	33%
Dezember	3,8	501	31	3,8	15%	499	31	3,7	17%	485	29	3,4	18%	0%
Jahr	10,5	3310	263	7,3	100%	2950	205	5,6	100%	2649	171	4,6	100%	

Durch eigene PV möglich:

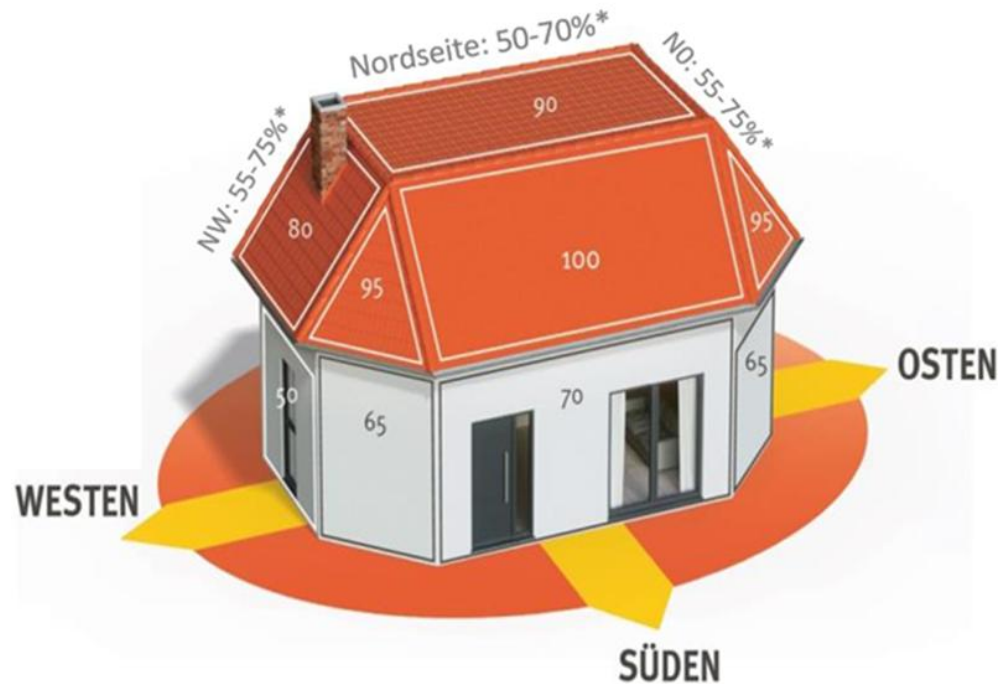
25- 49%

25 - 44%

30 - 40%

Stark abhängig von: Heizbedarf, Größe PV-Anlage, sonstiger Strombedarf

Heizgrenztemperatur: Temperatur, ab der geheizt werden muss, vom Dämmstandard des Hauses abhängig



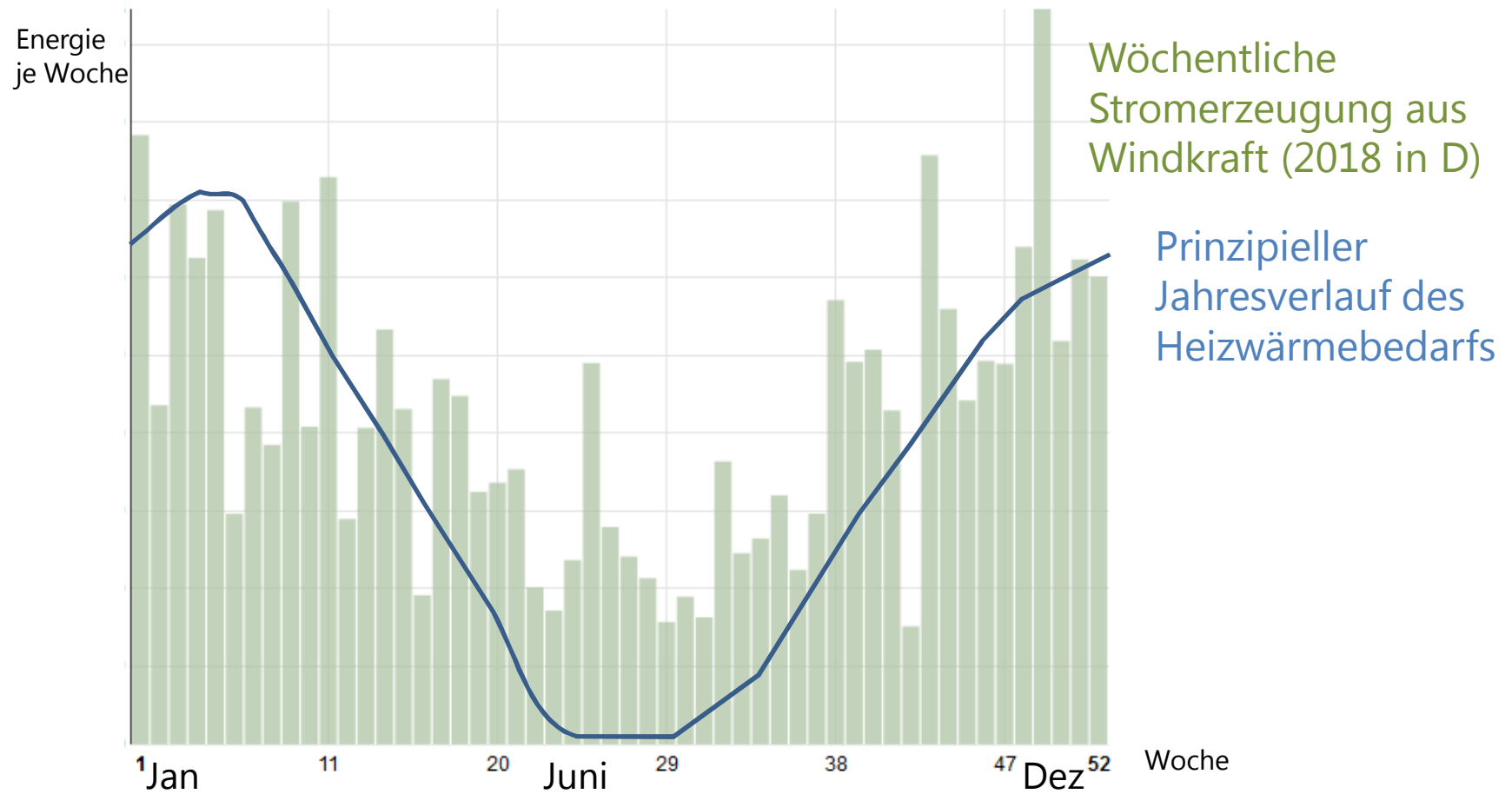
Nicht nur Süddächer belegen:

- flache Norddächer sind geeignet
- Ost-West gut für frühen und späten Ertrag am Tag
- Südfassaden haben hohen Ertrag im Winter

Verfügbare Flächen komplett belegen senkt Kosten deutlich:
Im EFH: Doppelt so große Anlage kostet nur 60% mehr.

Nachrüsten ist teurer

Quelle: PacksDrauf-Initiative



klimateutraler Strom
für **Heizungs-Wärmepumpen**
zum kleineren Teil aus Photovoltaik,
überwiegend aus **Windkraft**

Ein modernes Windrad erzeugt genug Strom zur
Wärmeerzeugung mit Wärmepumpen für ca. 10.000 Menschen

Was ist mit ...

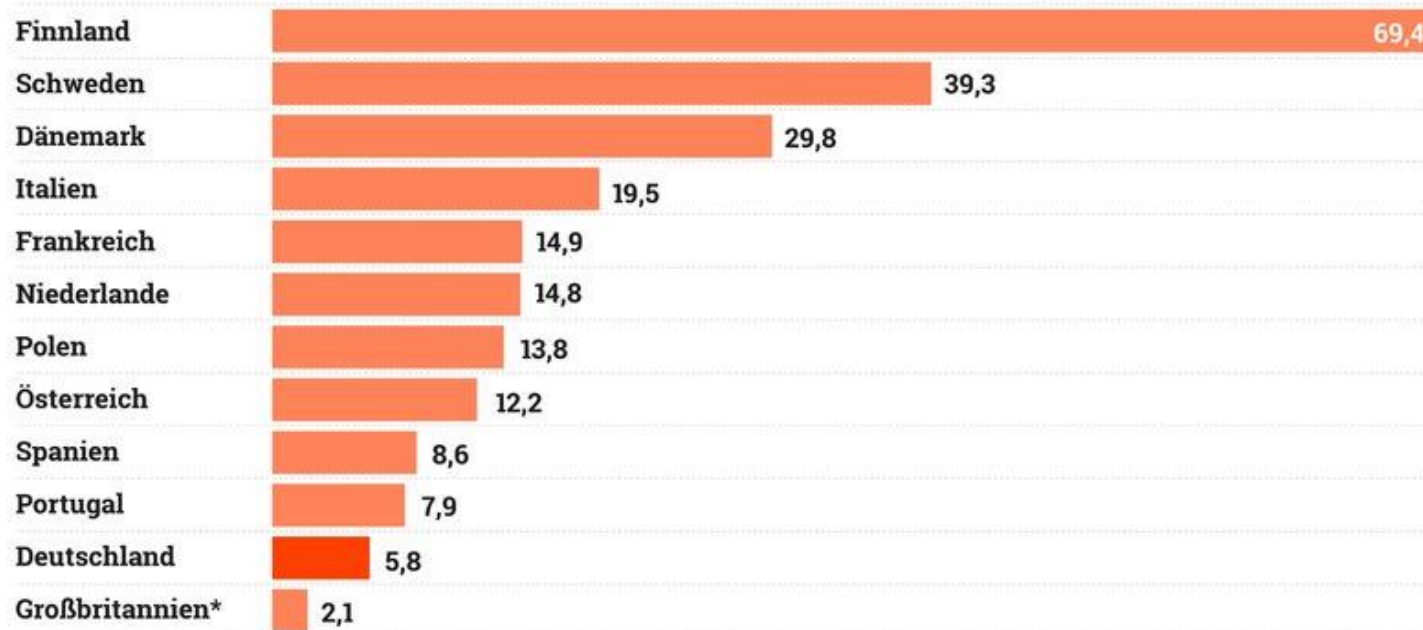
?

Konkurrenz, Problematik

Wasserstoff zum Heizen	Chemieindustrie, Stahlwerke, Dunkelflauten-Kraftwerke, Industrie	✗
E-Fuels zum Heizen oder PKW-Fahren	Flugverkehr: derzeitige EU-Planung für 2030: 1,2 % E-Fuel-Anteil, ineffizient, teuer	€€€
Holz	Bausektor, viele andere Holzheizer	€€€
Biomasse, Biogas	Chemieindustrie, Nahrungsmittelanbau	€€€
Fernwärme	Nur in Kern-Gebieten, langsam im Ausbau, Dekarbonisierung schwierig	
Erdgas	Hohe Kosten, Abstellen der Gasnetze	€€€
Öl	Hohe Kosten, Verbot	€€€ ✗

€€€: wird sehr teuer ✗: wird nicht verfügbar sein

In der EU 2022 verkaufte Wärmepumpen pro 1000 Haushalte



* Die Zahlen Großbritanniens sind nicht offiziell, sondern eine auf Expertenmeinungen basierende Schätzung.

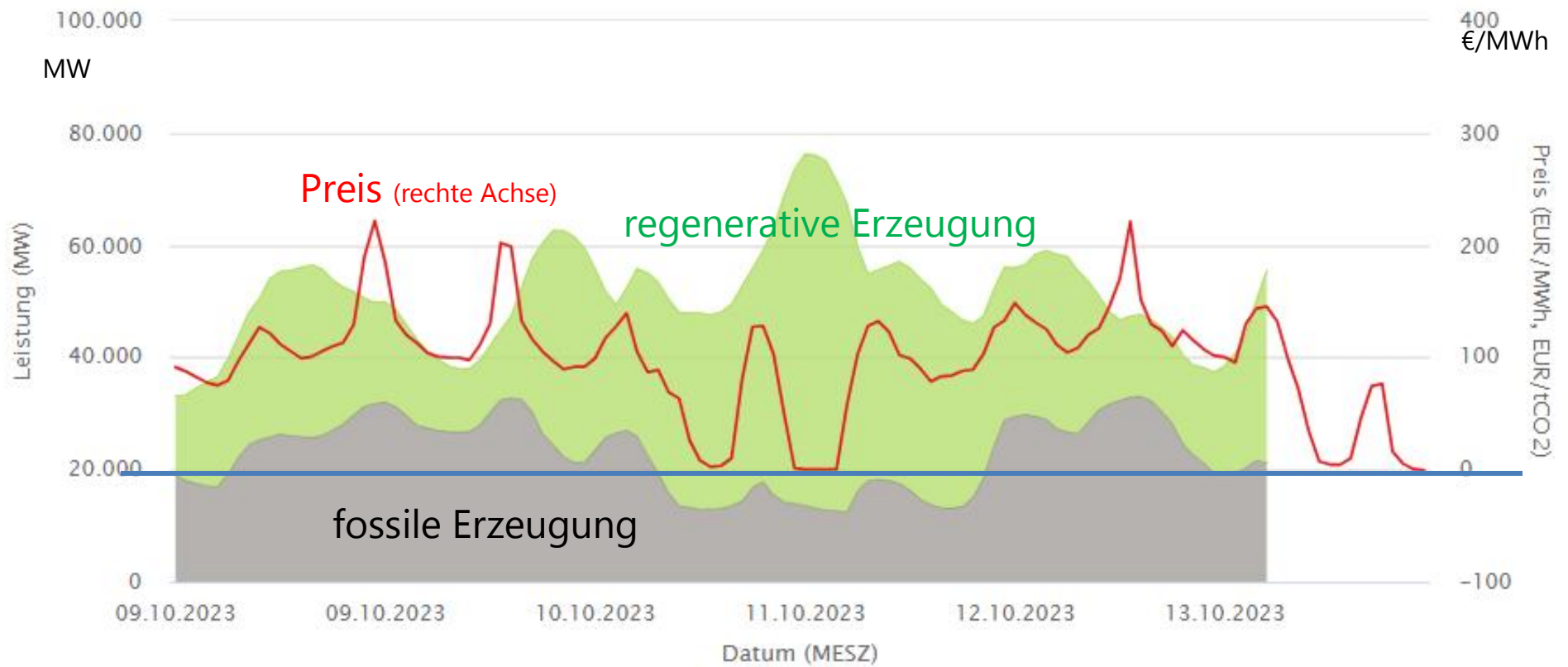
 www.Table.Media

Quelle: European Heat Pump Association (EHPA)

Die Energiewende kommt jetzt mit großen Veränderungen

Wochenverlauf Preise im Spotmarkt Beispiel 09.10. – 14.10.23

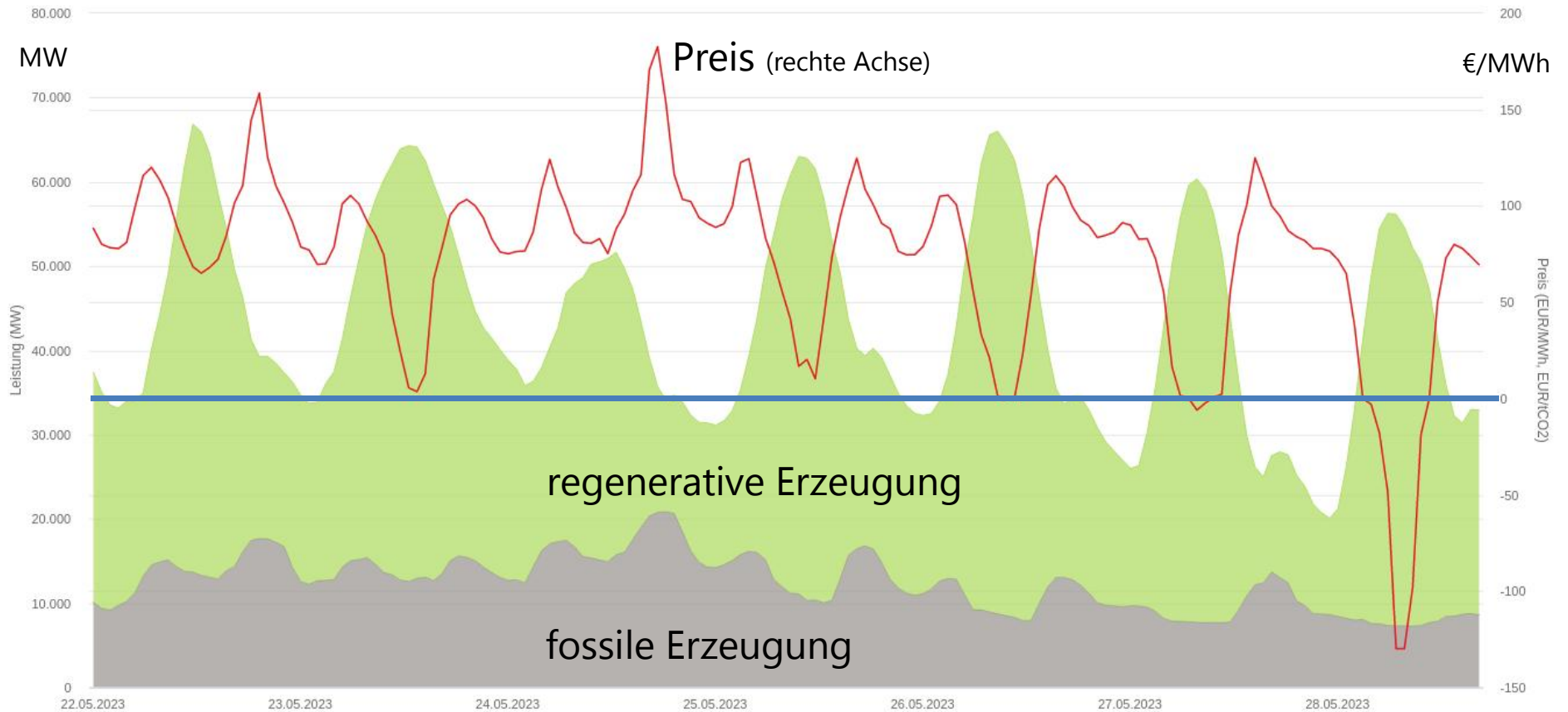
Peter Klafka

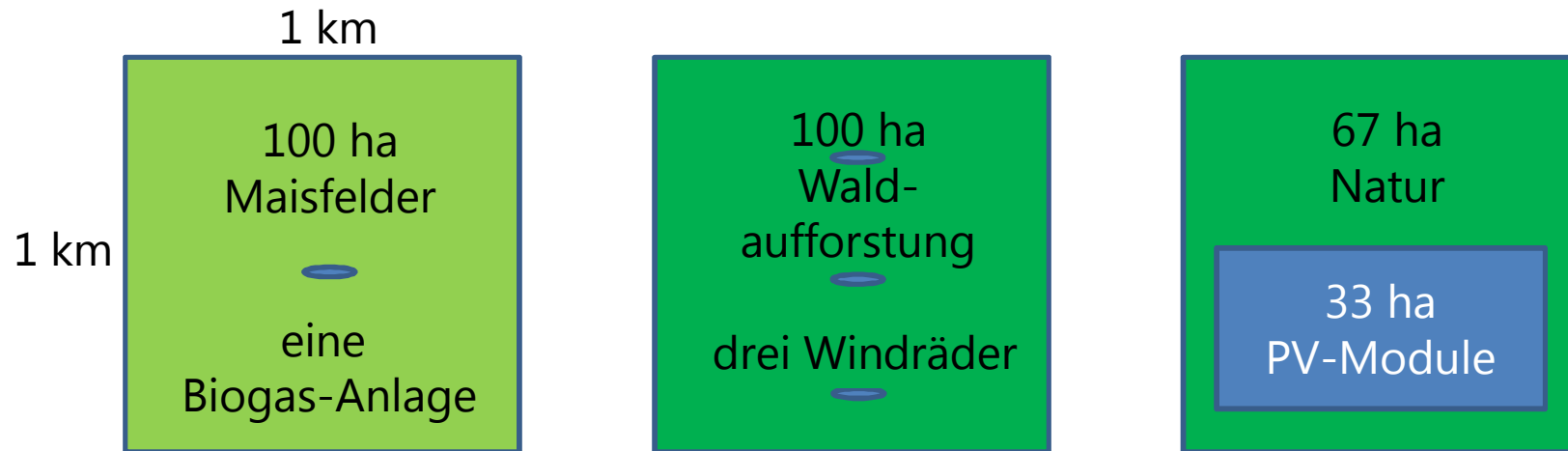


- **Dynamische Strom-Tarife** kommen
ab 2025 verpflichtendes Angebot von allen Strom-Lieferanten
- **Strom wird**
 - in der Mittagszeit häufig billig sein
 - morgens und abends sehr teuer sein
- **Große, zeitlich nicht steuerbare Stromverbraucher werden unattraktiv**
 - Durchlauferhitzer
 - Strombetriebene Infrarot-Wand- und -Deckenheizungen

Wochenverlauf Preise im Spotmarkt Beispiel Mai 2023

Peter Klafka





jährl. el. Energie	2 Mio. kWh	40 Mio. kWh	60 Mio. kWh
Preis 2020	14 c/kWh	5 c/kWh	5 c/kWh
Preis 2021	17 c/kWh	6 c/kWh	5 c/kWh

Planung der Bundesregierung bis 2035

Wind auf Land: + 57.000 MW

Wind auf See: + 22.000 MW

Photovoltaik: +150.000 MW

Energieerzeugung wie
37 Kernkraftwerke mit je 1400 MW

Beschleunigungsgesetz
Digitalisierung des Messwesens
Stundengenaue Erfassung des
Verbrauchs

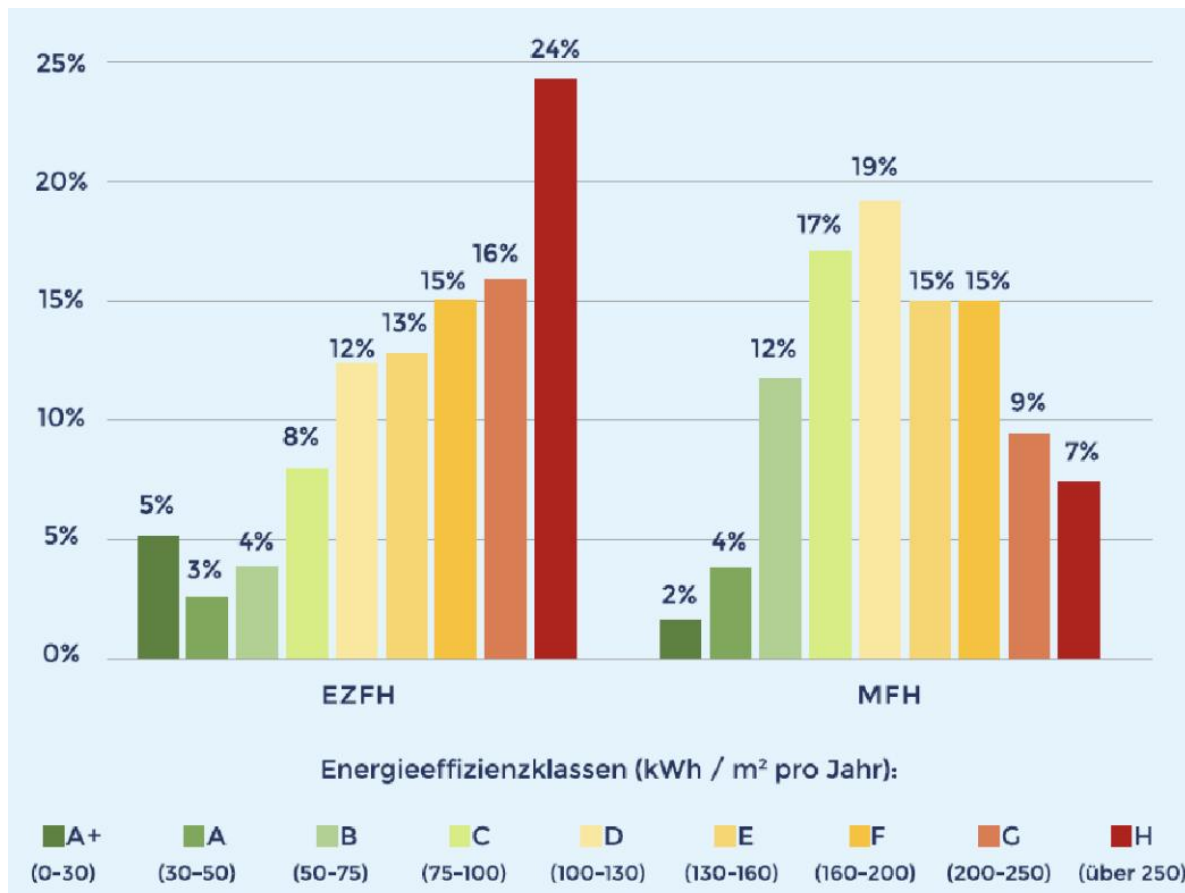
Die Strompreise schwanken im
Tagesverlauf sehr deutlich.

Pflicht zum Angebot dynamischer Tarife

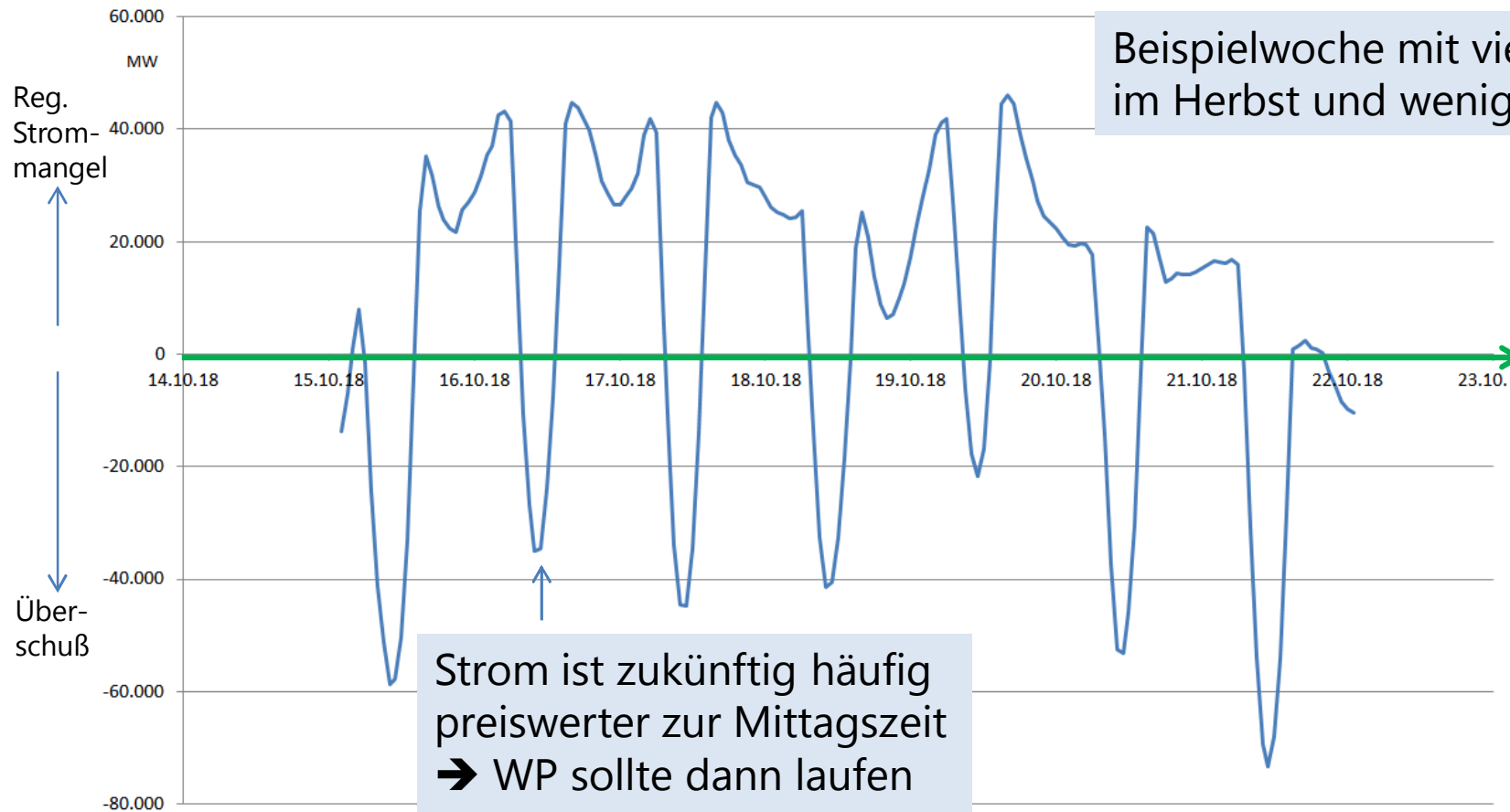
Verbraucher können
Preisschwankungen nutzen

Häufigkeitsverteilung Gebäude nach Effizienzklassen

Peter Klafka

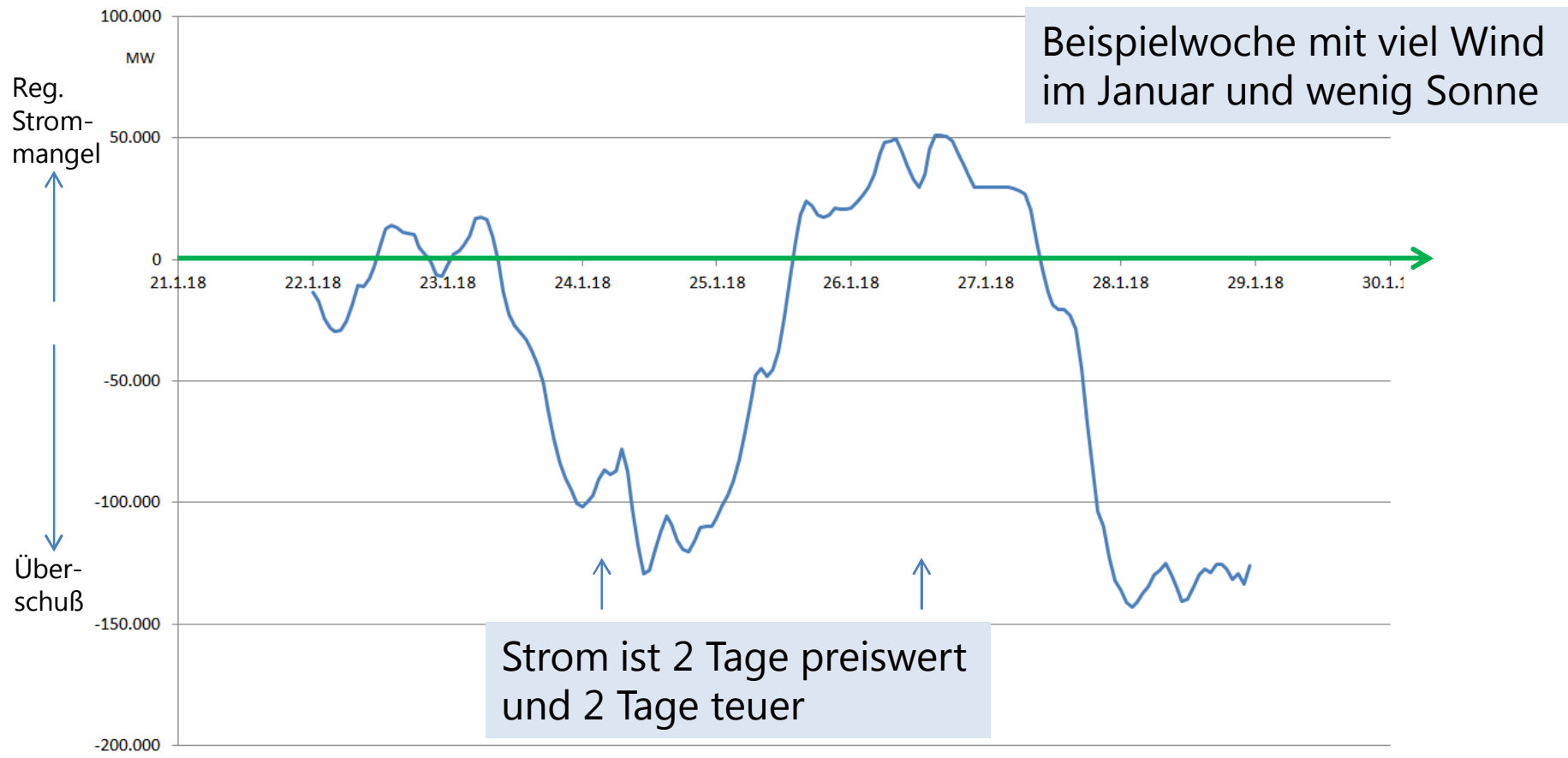


Wochenganglinien Beispiele



Wochen-Restganglinie Simulation (KW 3 / 2018)

Peter Klafka



Um Wärmepumpen klimaschonend einsetzen zu können benötigen wir:

- Windkraftausbau
- zeitvariable Tarife

Warmwasser- Wärmepumpe

Einfachste Art der Warmwasser-Wärmepumpe

Peter Klafka

Sehr einfacher Anschluss:
nur Kaltwasserzuleitung,
Warmwasser-Leitung und
Kondensatablauf

Wärmequelle ist die Kellerluft
Wärme strömt nach durch
Kellerwände und Kellerboden

Gute Möglichkeit
insbesondere im
ungedämmten Keller

Vorteil: Keller wird entfeuchtet
Verfügbar seit 20 Jahren



Niedrige elektrische
Anschlussleistung

Ca. 2.500 € (brutto, nur Gerät)

Für Mehrfamilienhäuser

- Dezentrale Installationen im Haus
- Je Wohnung
(oder gemeinsam für 2 kleine Wohneinheiten)
- Vermeidet lange Warmwasserleitungen
- keine Zirkulationsleitungen
- ➔ sehr einfach beim Legionellenschutz
- ➔ Geringe Verluste

Wärmequelle ist der Heizungs-Rücklauf
wandhängend, 150 Liter

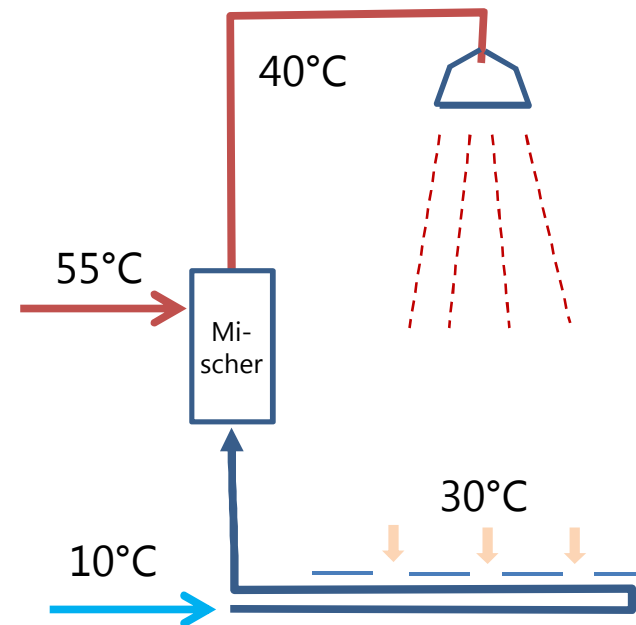
Bei direktem Stromanschluss in Wohnung keine
Abrechnung

Ca. 3.500 Euro (brutto, nur Gerät)

Sehr neu



- Dezentrale Warmwasserversorgung
bevorzugt mit Speicher zur zeitlichen Entkopplung von Strombedarf und Warmwasserbedarf
- Keine Zirkulationsleitungen
starke Verringerung von Energieverlusten
- Warmes Abwasser nutzen direkt an der Dusche
Einsparpotential: 30%
- Eher schlecht: Durchlauferhitzer:
haben hohe Leistung
Bedarf morgens und abends
kaum PV-Eigenanteil

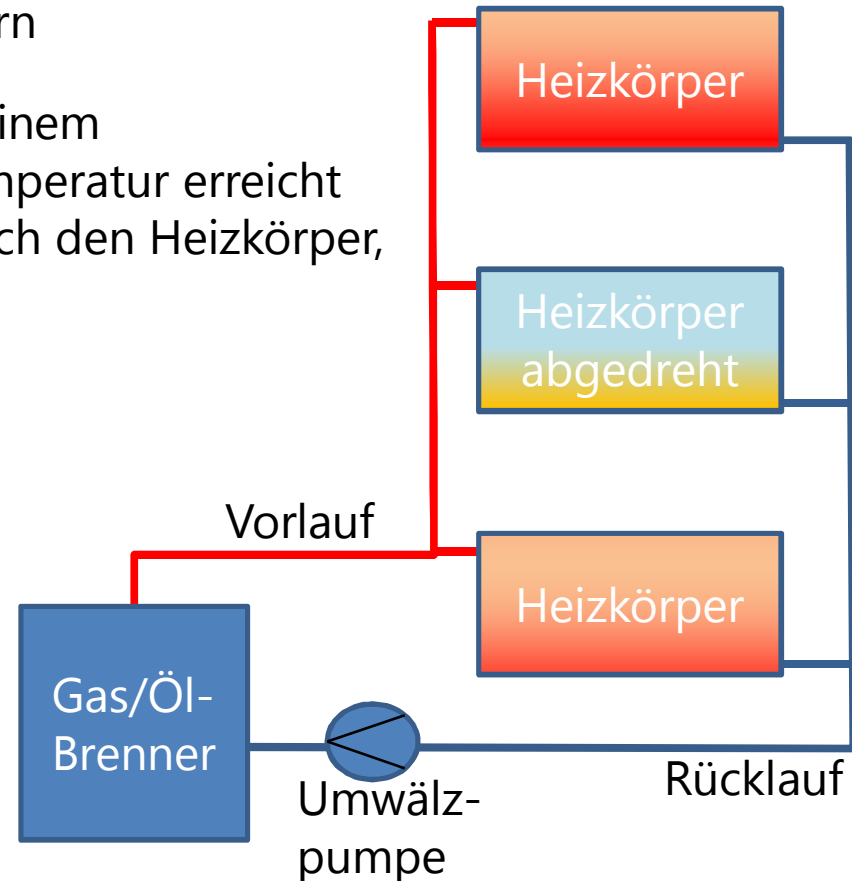


Grundwissen Heizung

Vorlauf: Wasserzufluss hin zu den Heizkörpern

Regelt das Heizkörper-Thermostatventil an einem Heizkörper zu, weil die gewünschte Raumtemperatur erreicht ist, dann fließt kein oder weniger Wasser durch den Heizkörper, er wird kälter und gibt weniger Wärme ab.

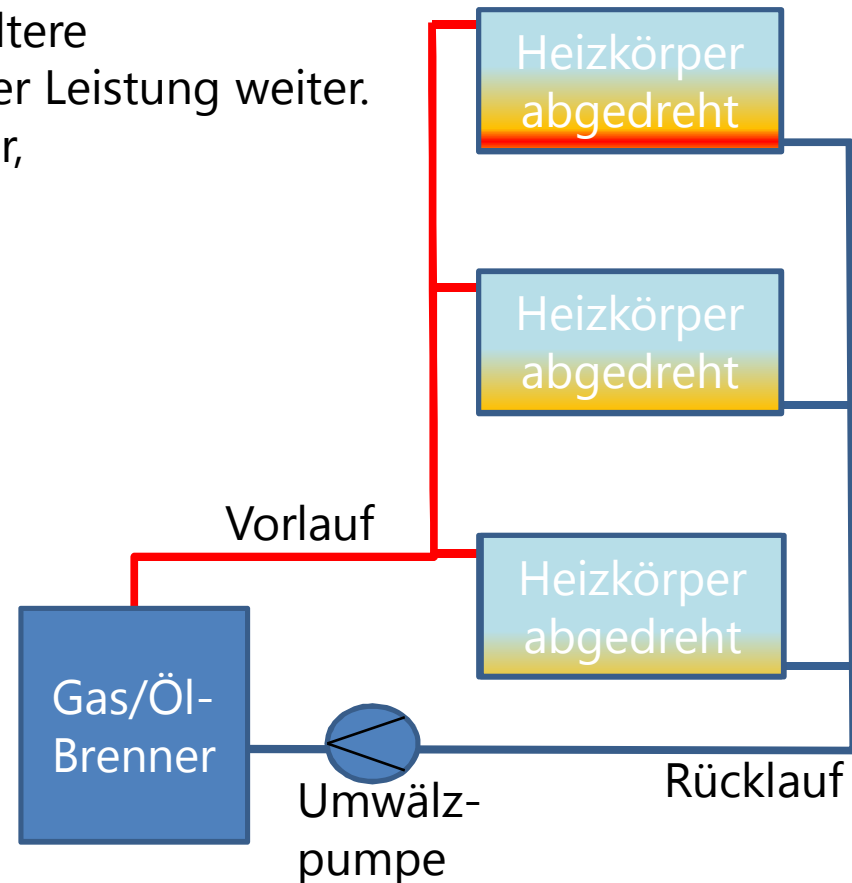
Wird die Vorlauftemperatur höher, gibt der Heizkörper mehr Wärme in den Raum ab



Haben alle Ventile abgeregelt, dann laufen ältere Standard-Umwälzpumpen trotzdem mit voller Leistung weiter. Solche Pumpen sind große Stromverbraucher, oft mehrere hundert kWh pro Jahr.

Der Einbau einer Hocheffizienzpumpe spart viel Strom, ist finanziell stark lohnend und schont das Klima.

neue Wärmepumpen werden installiert mit Hocheffizienzpumpen
neue Gaskessel auch



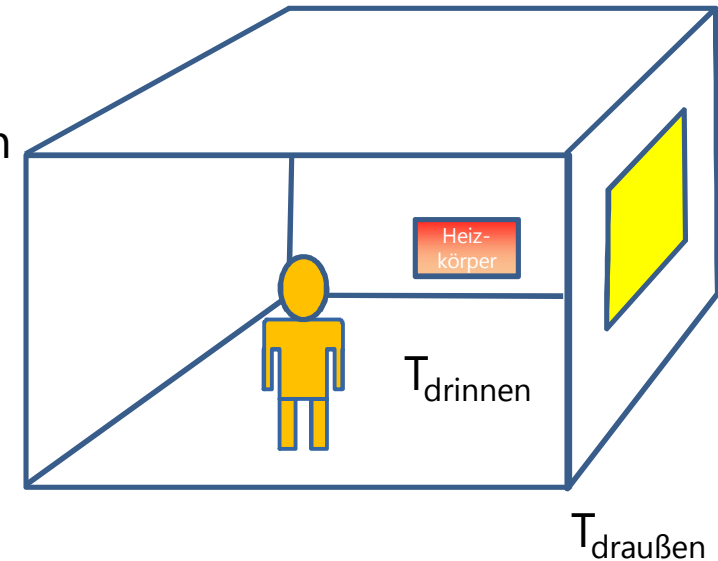
Wärmebedarf eines Raums abhängig von:

- Isolierung Außenwände, Decke, Fußboden, Fenster
- Temperaturunterschied zwischen drinnen und draußen

Wärmeabgabe in den Raum abhängig von

- Größe des Heizkörpers
- seiner Wärmeabgabefähigkeit
(Anzahl der Rippen, Lamellen, Platten)
- seiner Durchströmungsgeschwindigkeit
also dem Temperaturverlauf im Heizkörper
- der Temperaturdifferenz zwischen
Vorlauf- und Raumtemperatur

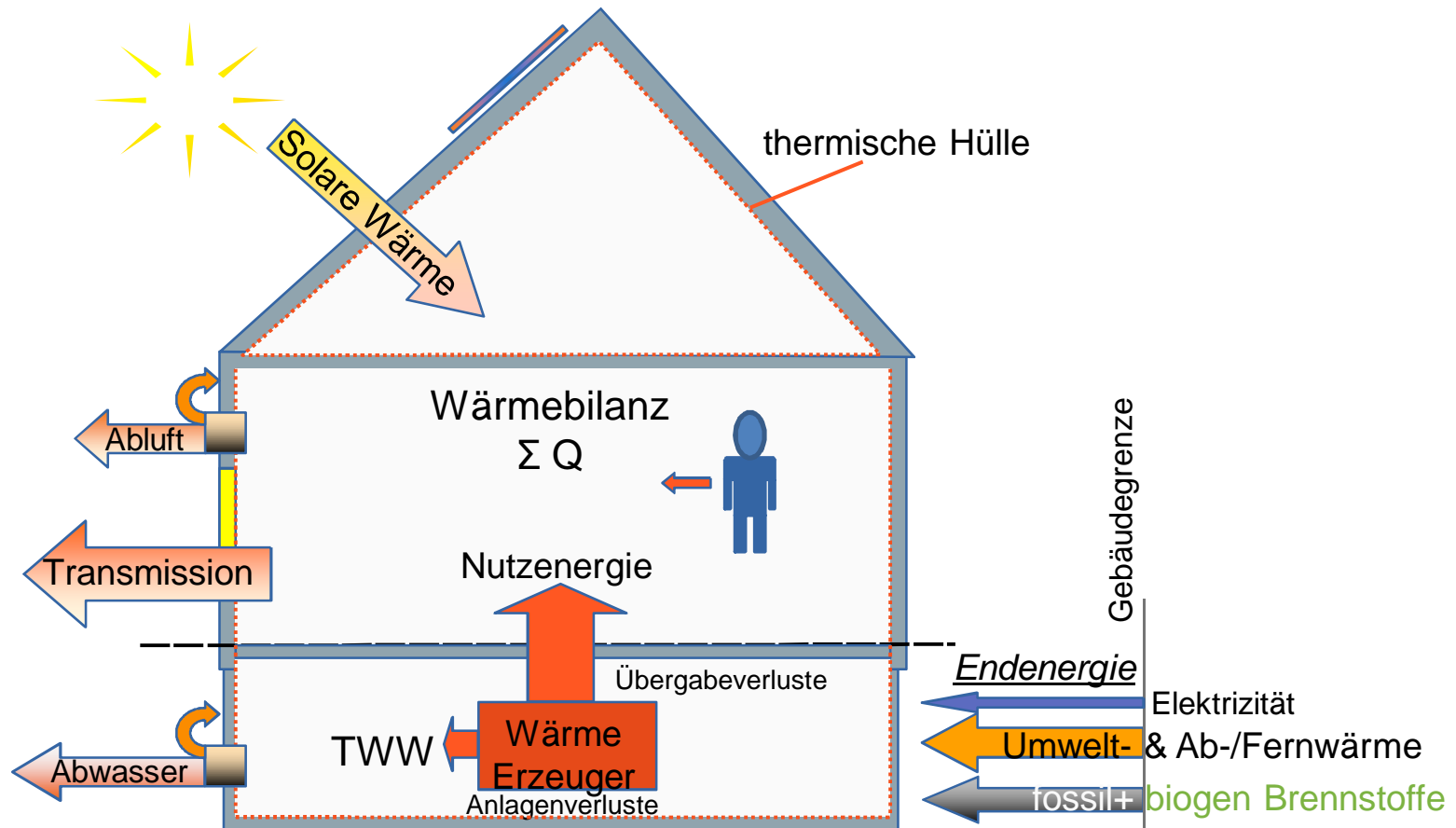
Die Heizungssteuerung regelt die Vorlauf-Temperatur automatisch hoch, wenn es draußen kälter wird.



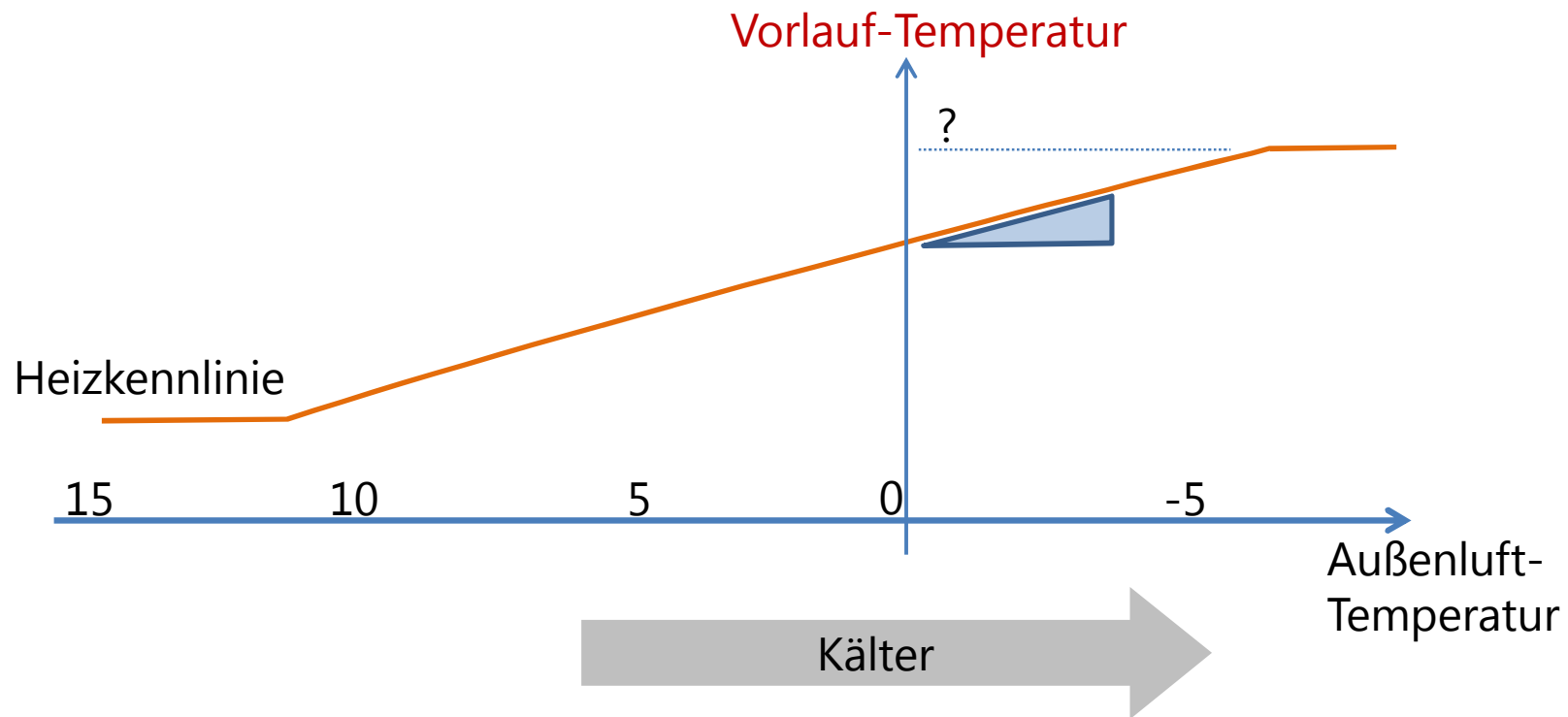
meisten nur für das gesamte Haus eine Vorlauf-Temperatur

genauer: je Heizkreis

der schlechteste Raum im Haus bestimmt die Vorlauftemperatur

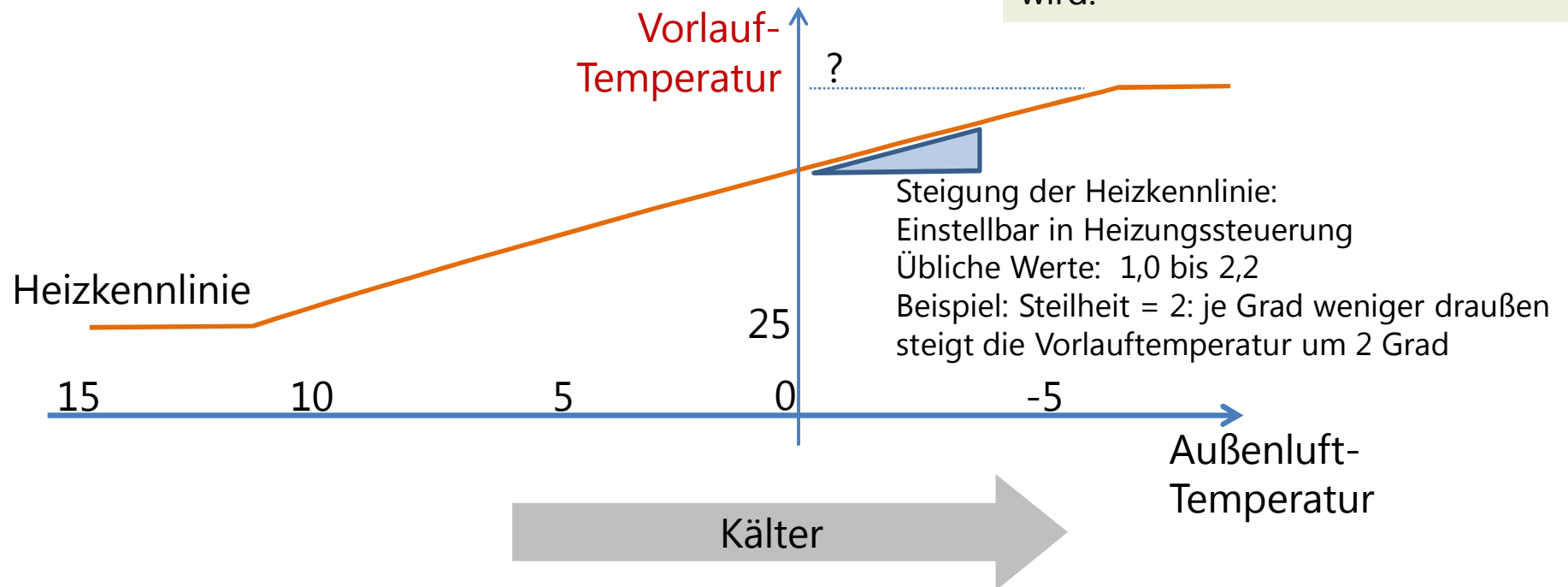


Die Vorlauf-Temperatur wird automatisch höher, wenn es draußen kälter wird.



Die Vorlauf-Temperatur wird automatisch höher, wenn es draußen kälter wird.

Die Heizungssteuerung regelt die Vorlauf-Temperatur automatisch hoch, wenn es draußen kälter wird.



niedrige
Durchströmung



hohe
Durchströmung



höhere
Wärme-Abgabe-Leistung

Die Vorlauftemperatur ist häufig viel zu hoch eingestellt.

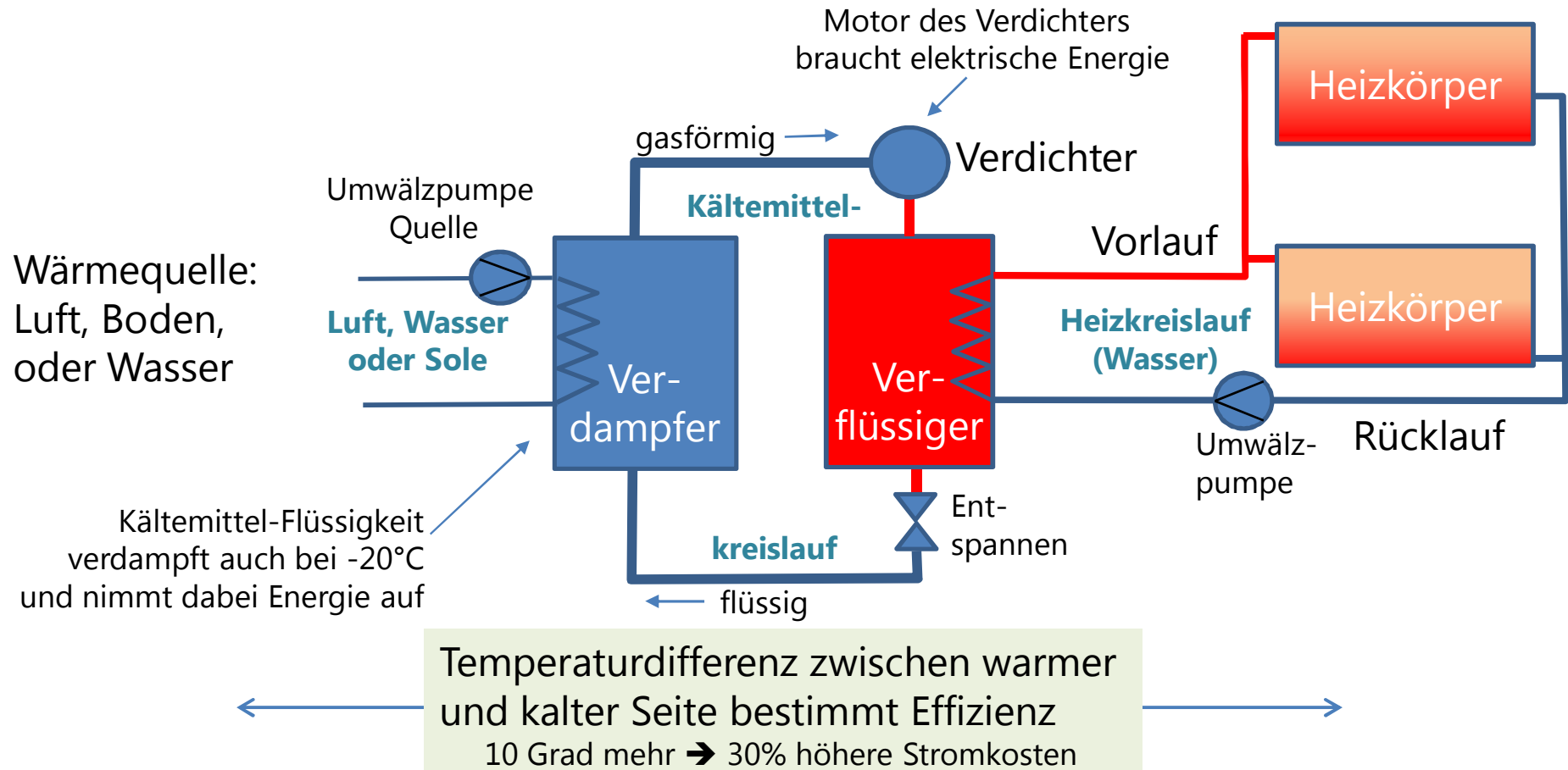
Viele Heizungs-Installateure wollen Beschwerden und/oder nachträgliche Einstellungs-Änderungen vermeiden

Das verschwendet Energie, erhöht die Treibhausgas-Emissionen und kostet auch bei Gas- und Ölheizungen viel Geld, denn:

- Abgas ist heißer
- Verluste in Rohrleitungen sind höher
- **keine Kondensation des Wasserdampfs im Abgas**

Brennwert kann (in den meisten Heizungen) nur ausgenutzt werden, wenn Rücklauftemperatur (aus Heizungen zum Kessel) deutlich niedriger als Taupunkte sind: Erdgas 57 °C, Heizöl 47 °C

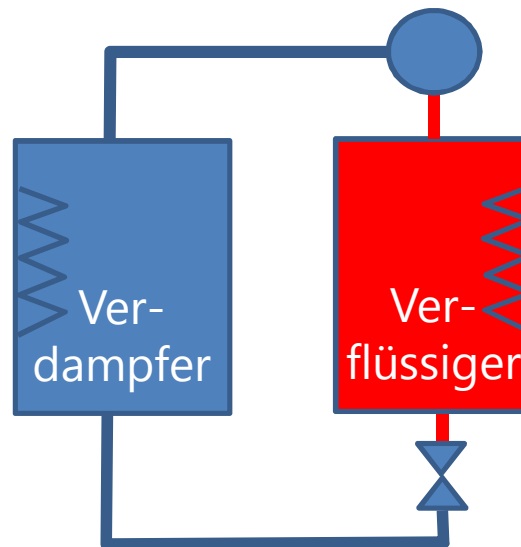
Grundprinzip der Funktionsweise von Wärmepumpen



Temperatur der Wärmequelle anheben

Geothermiebohrung
Bodenkollektor
Grundwasser, Flusswasser
Abluft, Abwärme

€€€



Benötigte Temperatur der Wärmeverbraucher senken

Vorlauf-Temperatur senken (s. weitere Folien)

€ bis €€€

Auf welcher Seite die Maßnahmen erfolgen ist für die Effizienzsteigerung nicht wichtig
10 Grad weniger → 30% niedrigere Stromkosten

$$\text{Leistungszahl} < \frac{T_h}{T_h - T_k}$$

Theoretische Grenze

T_k Temperatur kalte Seite in Kelvin

T_h Temperatur heiße Seite in Kelvin

Q_h Wärmeenergie heiße Seite

W_{el} aufzuwendende elektrische Energie

Beispiel 1: theoretisches Maximum

$T_k = 2^\circ\text{C} = 275$ Kelvin

$T_h = 35^\circ\text{C} = 308$ Kelvin

Leistungszahl = $308 / (308 - 275) = \mathbf{9,333}$

Reale sehr gute Wärmepumpe

A2/W35: Leistungszahl **5,19**

56% des theoretischen Optimums

Beispiel 2

$T_k = 2^\circ\text{C} = 275$ Kelvin

$T_h = 36^\circ\text{C} = 309$ Kelvin

Leistungszahl = $309 / (309 - 275) = \mathbf{9,088}$

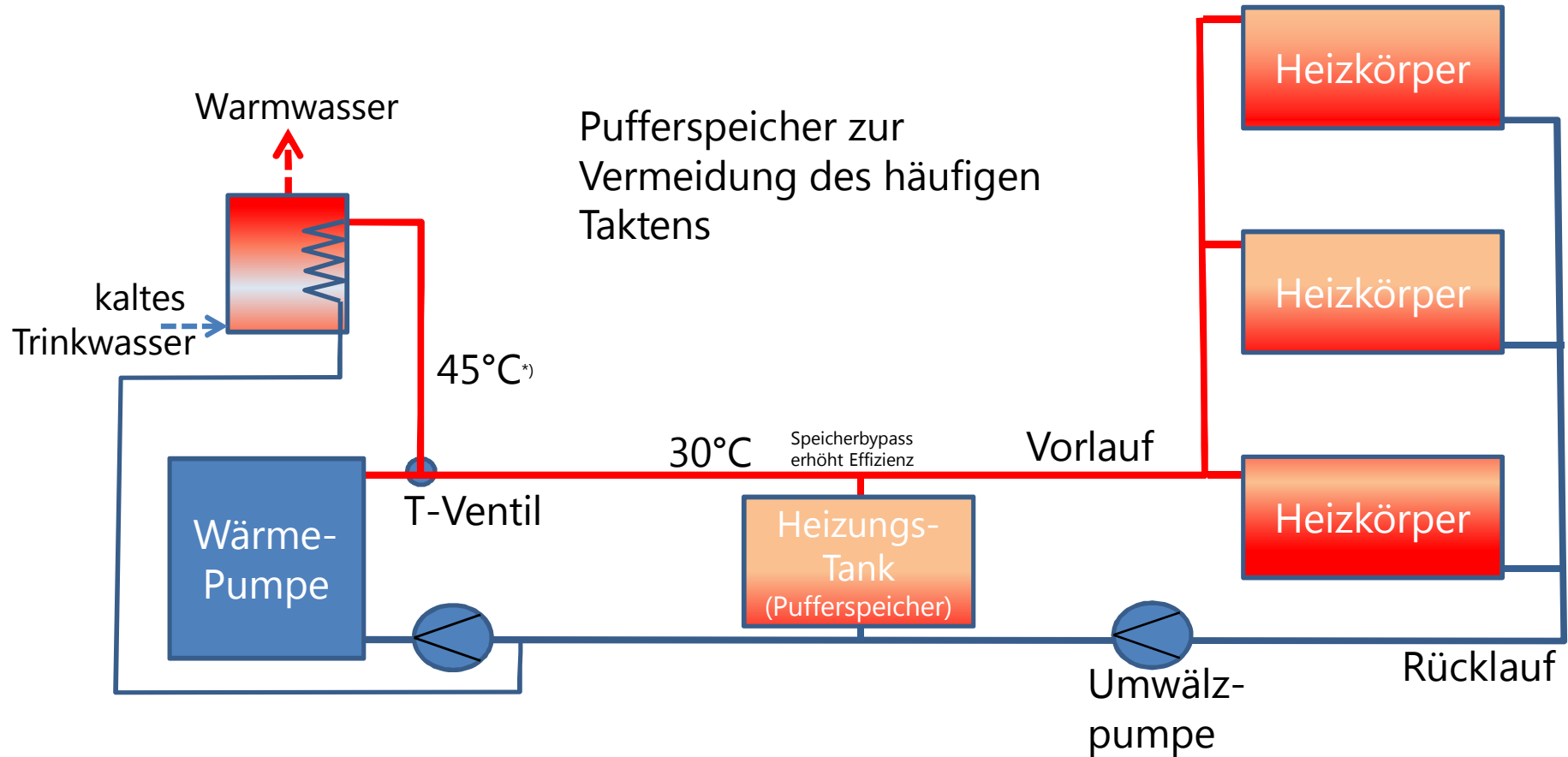
Strommehrverbrauch

$9,333/9,088 - 1 = 1,027$ **2,7%**

**bei ein Grad höherer
Vorlauf-Temperatur**

Beispiel für Warmwasserbereitung und Heizung mit Wärmepumpe

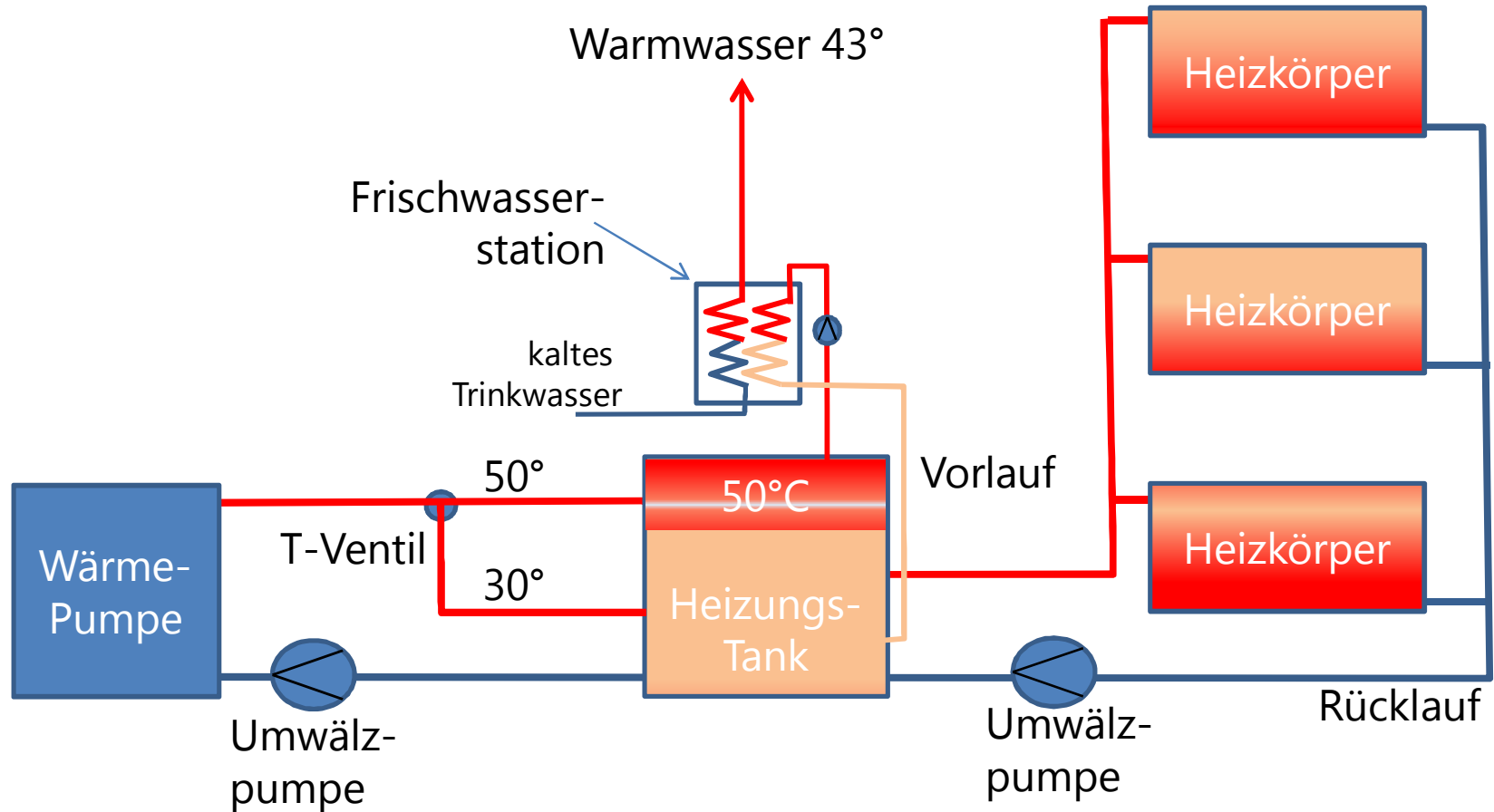
Peter Klafka



*) Legionellenschutzprogramm: 1x Woche 60°C

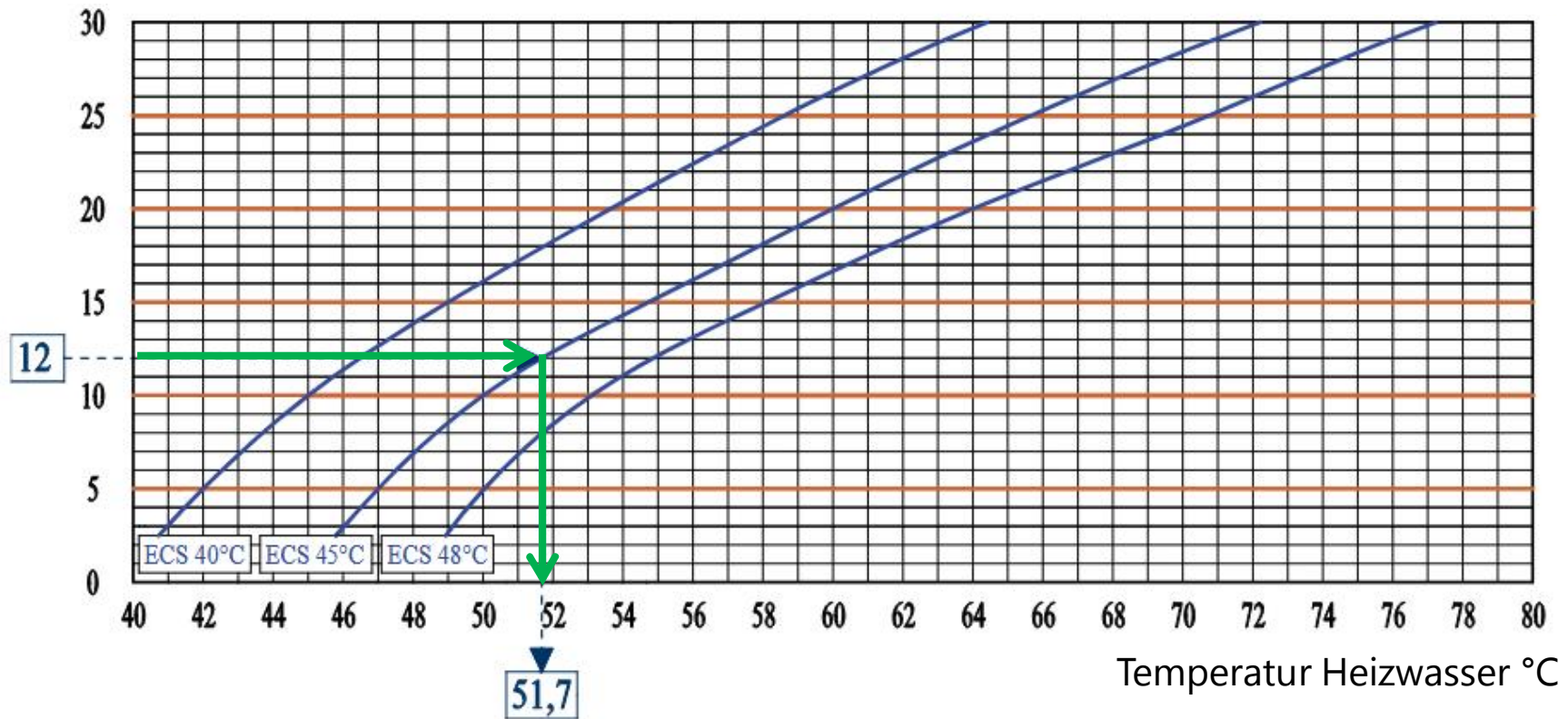
Beispiel für Warmwasserbereitung und Heizung mit Wärmepumpe (2)

Peter Klafka



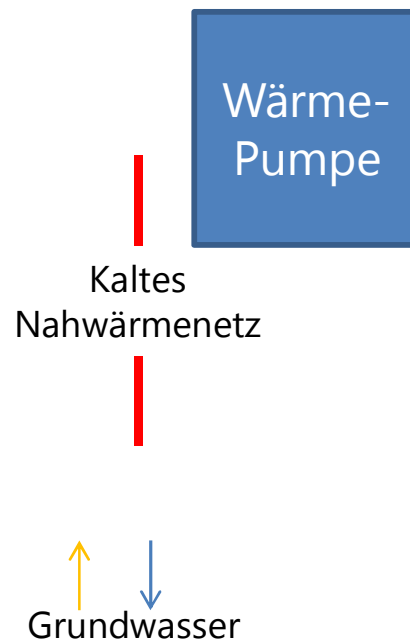
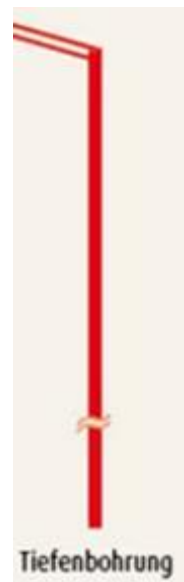
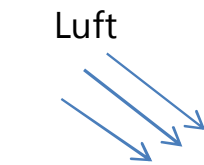
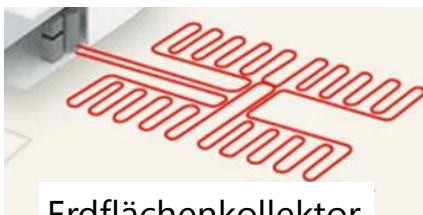
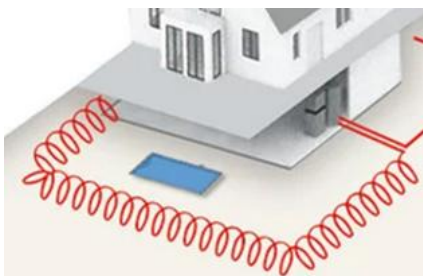
Warmwasserentnahme
Liter/Minute

Kaltwasser: 10°C



Einordnung

Wärmequellen



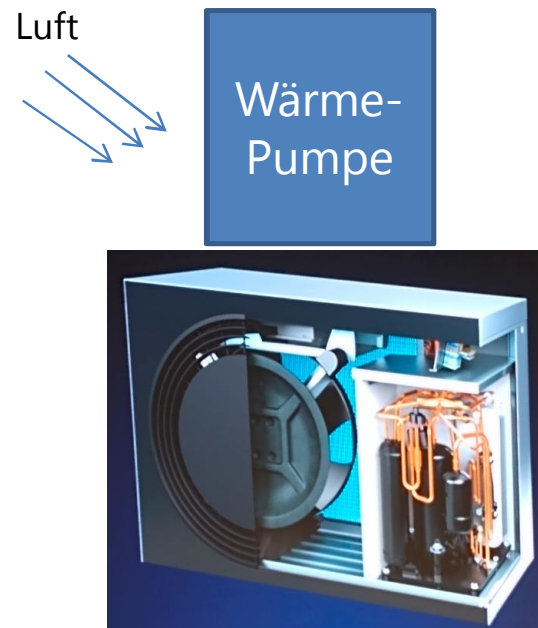
Wärmeabgabe



Wärmequellen

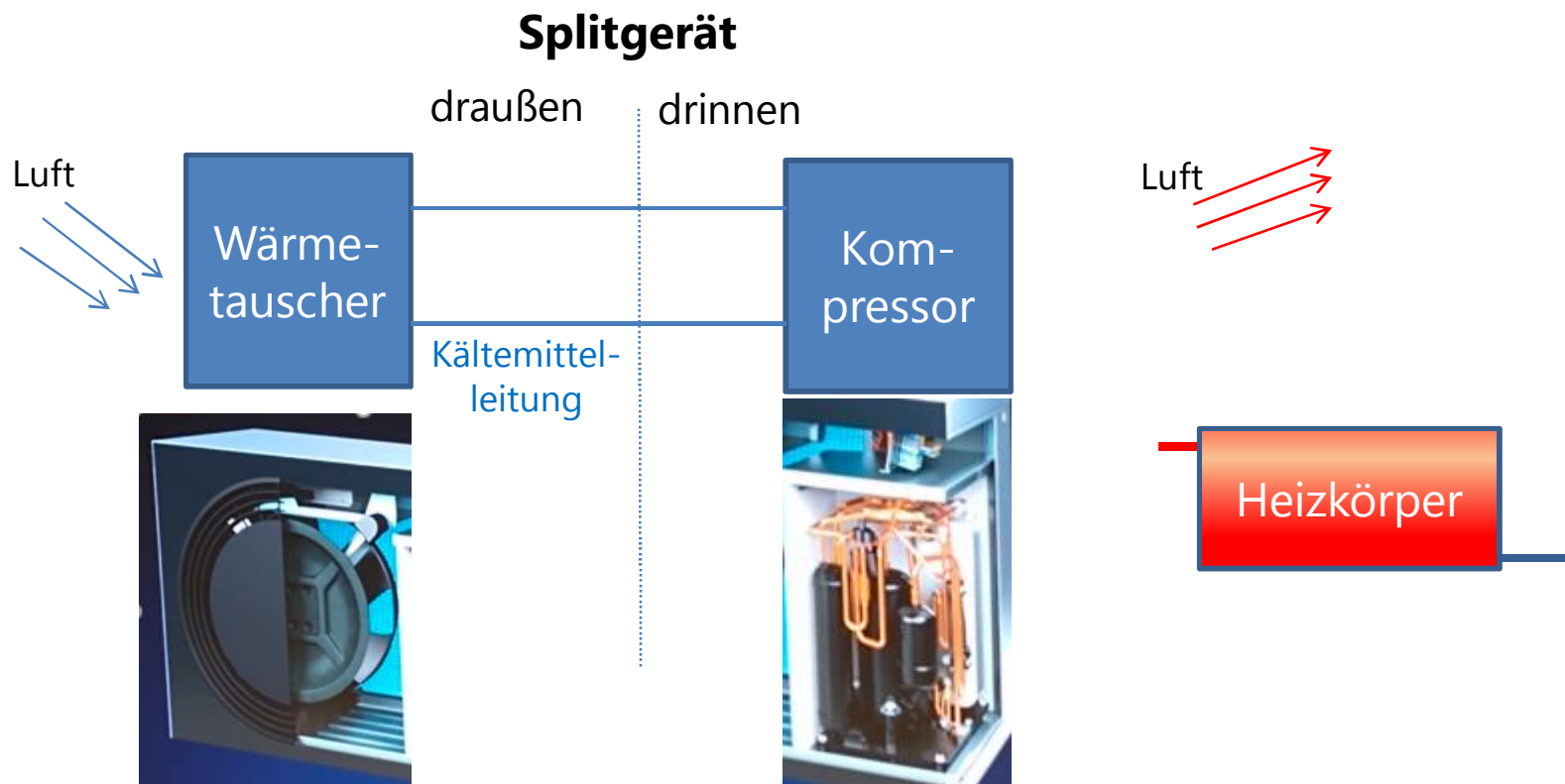
Wärmeabgabe

Monoblock



Wärmequellen

Wärmeabgabe



Wärme-Quelle

Außenluft, Abluft,
Erdwärme aus Bodenkollektoren,
Erdwärme aus Tiefenbohrung,
Grundwasser, Bachlauf

Wärme-Quellenmedium

Luft oder Wasser (Sole)

Wärme-Abgabe-Medium

Wasser, Luft

Bauart

Monoblock,
Splitgerät (nur bei Luft-WP)

- Wärme-Quelle: Luft, Erdreich, Wasser
- Wärme-Abgabe-Medium: Wasser, Luft
- Effizienz COP, SCOP, JAZ

- Kältemittel GWP Greenhouse Warming Potential
- Bauart Monoblock, Splitgerät
- Lautstärke direkt am Gerät, in 3 m Entfernung, Tag/Nachtbetrieb
bei Split-Geräten unterschiedlich für Lüfter (draußen)

- Wärmeleistung kW
- Abmessung cm

Wärmequellen

Tiefenbohrung

Flächenkollektoren

Ringgrabenkollektor

Erdwärmekörbe

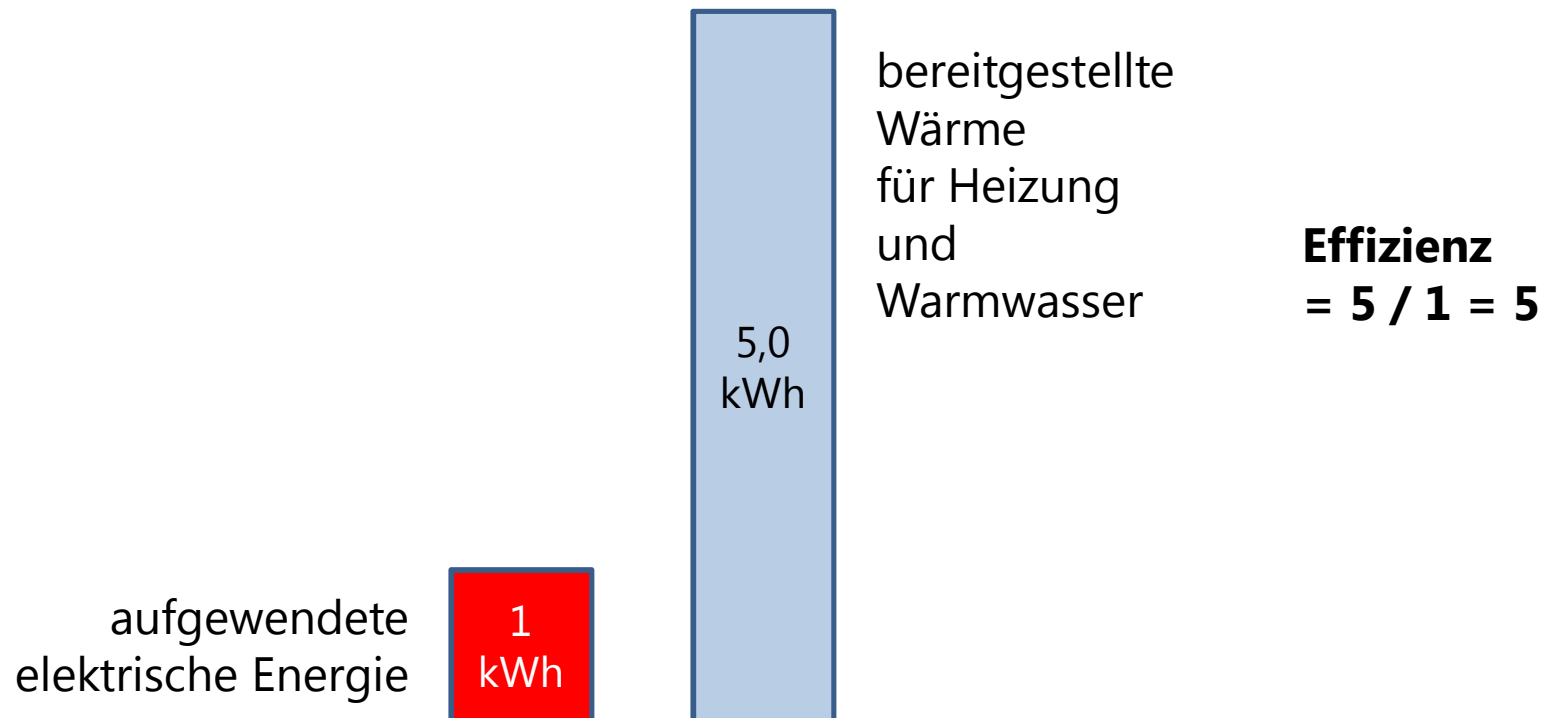
Grundwasser mit Förder- und
Schluckbrunnen selten möglich

Kalte Nahwärmenetze

Außenluft

Effizienz

Die Effizienz wird angegeben als Verhältnis von Wärmebereitstellung zu aufgewendeter elektrischer Energie



COP coefficient of performance
wird jeweils für einen Betriebspunkt angegeben bei voller Leistung

Beispiel: A7/W35 COP=5,8
Außenluft hat 7°C bei Eintritt in die Wärmepumpe
Wasser des Vorlaufs hat 35°C

Daten für aktuell eine der besten Luft-Wärmepumpen für EFH & kleine MFH

Bei 7 Grad Außentemperatur		
Vorlauf	COP	Strom-Mehrbedarf
35 °C	5,8	-
45 °C	4,5	29%
55 °C	3,5	66%

EN14511		Leistung [kW]	COP
Heizbetrieb	A7W35	4,1	5,77
	A2W35	8,2	5,19
	A-7W35	8,4	3,79
	A-15W35	6,7	3,02
	A7W45	4,6	4,46
	A7W55	4,4	3,55
	A-7W55	8,1	2,55

SCOP seasonal coefficient of performance

Mittelwert der Betriebspunkte über ein Jahr mit Temperaturverlauf

Berücksichtigung von

Heizstabeinsatz, Abtauenergie bei Vereisung, Teillast, Standby^{*)}

Der SCOP wird separat berechnet und ausgewiesen für:

- Niedertemperatur-Verwendung (Vorlauf <35°)
- Mitteltemperatur-Verwendung (Vorlauf <55°)

Beispiel: (derzeit beste Wärmepumpe für EFH und kleine MFH)

Niedertemperaturen (bis 35°C Vorlauf): SCOP = 5,7

Mitteltemperaturen: (bis 55°C Vorlauf): SCOP = 4,5

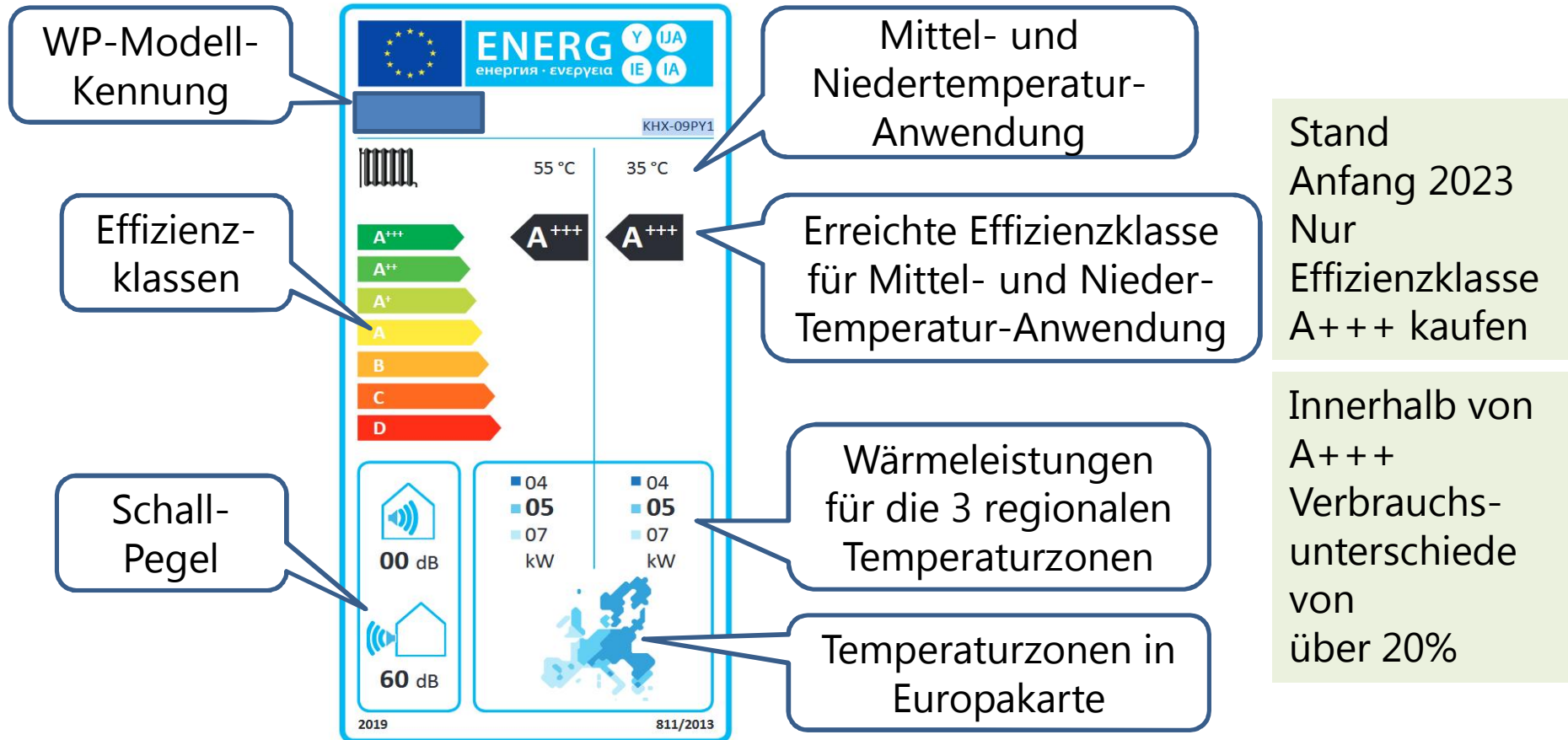
Umrechnungs-Beispiel, falls Effizienz in % angeben:

$$\mathbf{SCOP = 180\% / 100 * 2,5 = 4,5}$$

^{*)} Standby nicht im ESCOP

Kennzahlen der Wärmepumpe: EU-Label

Peter Klafka



Auch oft verwendet wird die jahreszeitbedingte Raumheizungs-Energieeffizienz

- $\eta_S = \text{SCOP} : \text{PEF} \times 100$

$$\text{SCOP} = \eta_S / 100 * \text{PEF}$$

PEF: Primärenergiefaktor der Energiequelle (Strom)

Als PEF wird der EU-weite Strommix angesetzt: 2,5

Deutschland hat aber PEF von: 1,8

Trotzdem wird der EU-Wert verwendet

Umrechnungs-Beispiel:

$$\text{SCOP} = 180\% / 100 * 2,5 = 4,5$$

$$\text{SCOP} = 3,75 \rightarrow \eta_S = 150\%$$

$$\text{SCOP} = 3 \rightarrow \eta_S = 120\%$$

Die prozentuale Angabe ist nicht sinnvoll, da sie vom Anteil fossiler Energie im Stromsystem abhängt, der nicht EU-einheitlich ist und sich in den nächsten Jahren stark ändern wird.

JAZ Jahresarbeitszahl

Verhältnis aus tatsächlicher Wärmebereitstellung zu Energiebedarf
Angabe für ein konkretes Jahr für eine konkrete Anlage

$$\text{JAZ} = \text{kWh}_{\text{th}} / \text{kWh}_{\text{el}}$$

Beispiel:

„Die Anlage meines Kollegen hatte 2021 eine JAZ von 4,5
meine identische Wärmepumpe eine von 4,1“

Gründe für unterschiedliche JAZ bei gleicher Anlage:

- andere benötigte Vorlauftemperaturen
- andere Außenluft-Temperaturen (oder Bodenkollektor-Temperaturen)
- anderes Verhältnis von Warmwasserbedarf zu Heizwärmebedarf

Bei gleicher Vorlauftemperatur gibt es sehr große Unterschiede bei der real erreichten **Jahresarbeitszahl JAZ**:

Bandbreite bei maximalem Vorlauf von 45°C: 4,1 bis 1,6
→ Stromkosten um Faktor 2,5 höher

Vielfältige Gründe möglich

- Regelung defekt oder falsch eingestellt
- falsch dimensioniert, deshalb Heizstab häufig an
- Bodenkollektoren oder Tiefbohrung falsch dimensioniert und daher vereist
- schlechte Wärmepumpe gekauft

Wärmepumpen für Mehrfamilienhäuser:
z.b. 2 x 15 kW in Kaskade aufstellen oder parallel:

SCOP35: 5,7

SCOP55: 4,6

Wärmepumpen für große Gebäudekomplexe: Schulen, Bürogebäude
im Leistungsbereich von: 600 – 1300 kW

SCOP35: 7,0

SCOP55: 5,2

Eine Marktübersicht:

Liste der förderfähigen Wärmepunkte des BAFA:

https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/ee_waermepumpen_anlagenliste_bis_2020.pdf?__blob=publicationFile&v=1

Enthält COPs für ausgewählte Betriebspunkte und Nenn-Leistung
(leider nicht SCOP-Werte)

Immer: EU-Effizienzlabel prüfen

Datenblatt prüfen, darin sollte man die beiden SCOP-Werte finden

wichtig: nicht mit COP-Werten begnügen

- Wärmebereitstellung über Heizstab hat COP von 1 ☹️
- Bei guter Auslegung der Wärmepumpe wird er nie gebraucht
- Mehrjährige Auswertungsstudie zeigt: bei 70% aller Erdwärme-Anlagen und 50% aller Luft-WP ist Heizstab nie aktiv
- Aber: bei einigen Anlagen im Fast-Dauerbetrieb
→ unwirtschaftlich
- Prüfen, ob ein Heizstab überhaupt eingebaut werden soll.
- Wenn ja: Empfehlung: nur manuelle Aktivierung **Wenn automatisch:
Heizstabeinsatz
kontrollieren**
- Einbau auch im Speicher möglich

Kältemittel

Kältemittel GWP Greenhouse Warming Potential
 Angabe als Faktor der Treibhauswirkung zu CO2

Kältemittel	GWP
R410a	2088
R134a (Tetrafluorethan)	1430
R32 (CH ₂ F ₂)	635
R290 (Propan)	3

Beispiel: 1 kg Kältemittel R134a
 hat Klimawirkung von 1,4 t CO₂
 (wenn es aus Wärmepumpe entweicht)

Kältemittel mit hohem GWP:

- werden sukzessive verboten und sind daher bei Reparaturen entweder sehr teuer oder gar nicht mehr verfügbar
- bei größeren Füllmengen ist jährliche Kontrolle durch Fachfirma vorgeschrieben

Propan sehr sinnvoll: sehr hohe Effizienz möglich, sehr hohe Vorlauftemperaturen möglich, insbesondere bei Monoblock einfach

Kältemittel GWP Greenhouse Warming Potential
Angabe als Faktor der Treibhauswirkung zu CO₂

Kältemittel Propan (R290) sehr sinnvoll: sehr hohe Effizienz möglich, sehr hohe Vorlauftemperaturen möglich, GWP=3

andere Kältemittel haben sehr hohe GWP: (600 - 2000)

- z.B. R410a, R134a, R32
- Einsatz wird sukzessive verboten
- problematisch bei zukünftigen Reparaturen (Preis, Verfügbarkeit)
- bei größeren Füllmengen ist zudem eine jährliche Kontrolle durch Fachfirma vorgeschrieben

andere mögliche natürliche Kältemittel: Ammoniak, CO₂, Wasser (eher nicht für EFH-WP)

Lautstärke Luft-WP

Lautstärke

Unterschiedliche Angaben üblich:

- **direkt am Gerät** oder
- **in 3 m Entfernung**
- Bei Tagbetrieb / Nachtbetrieb, EN12102
- bei Split-Geräten unterschiedlich für Lüfter und Kompressor

Nur gleiche
Angaben vergleichen

<https://www.waermepumpe.de/schallrechner/>

Schallschutzhauben und Schallschutzwände sind teuer und verschlechtern die Effizienz

Mindestabstand zum Nachbarn
in NRW aufgehoben seit
16.12.2022

<https://www.mhkbd.nrw/ministerin-scharrenbach-klimaschutz-hausgemacht-solaranlagen-auf-reihenhaeusern-und-erleichterungen>

Mit dem neuen Erlass fällt Mindestabstand weg. Die Ausnahme von der Einhaltung des Mindestabstandes muss schriftlich bei der Bauaufsichtsbehörde beantragt werden, einer Baugenehmigung für das Aufstellen der Wärmepumpe bedarf es nicht.

Schall Beispiel für gute Werte		
Schallleistungspegel EN12102	dB(A)	42
Max. Schallleistungspegel Tag	dB(A)	56
Max. Schallleistungspegel Nacht (70% Leistung)	dB(A)	51
Max. Schallleistungspegel Nacht (50% Leistung)	dB(A)	46
Tonalität / Tonhaltigkeit	dB(A)	0

Leistung

Angegeben werden:

- **Wärmeleistung** in kW_{th}
- elektrischer Leistungsbedarf nur Kompressor in kW_{el}
- zusätzlicher Leistungsbedarf durch Heizstab in kW_{el}

Achtung: höchste erreichbare Vorlauftemperatur
meist nicht möglich bei höchster Wärmeleistung

Norm-Auslegungs- temperatur

ist die kälteste Temperatur, für die die Heizung ausgelegt wird

tritt innerhalb von 10 Jahren mindestens 10 mal auf
an 2 aufeinanderfolgenden Tagen

ist die Tagesmitteltemperatur

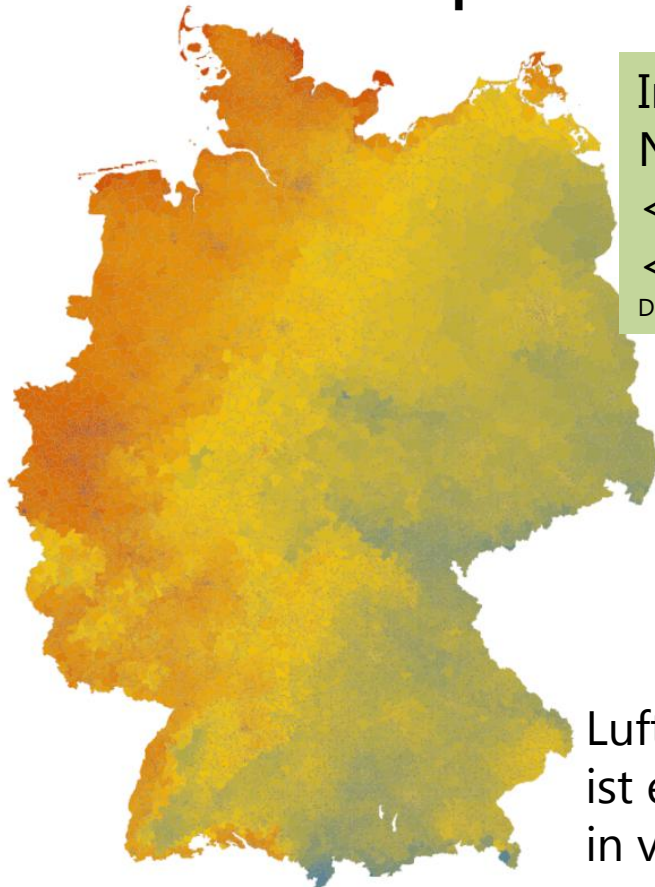
die wärmste Stadt Deutschlands im Jahresmittel 2021 war: **Köln**

Insbesondere im Winter sind die Temperaturen im Rheinland eher hoch im Vergleich mit anderen Teilen Deutschlands.

Durch den Klimawandel ist die Lufttemperatur im Winter deutlich gestiegen: Beispiel Aachen:
Auslegungstemperatur Norm 2008: $-12,0^{\circ}\text{C}$,
neue Norm: auf Basis 1995 – 2012: $- 7,1^{\circ}\text{C}$

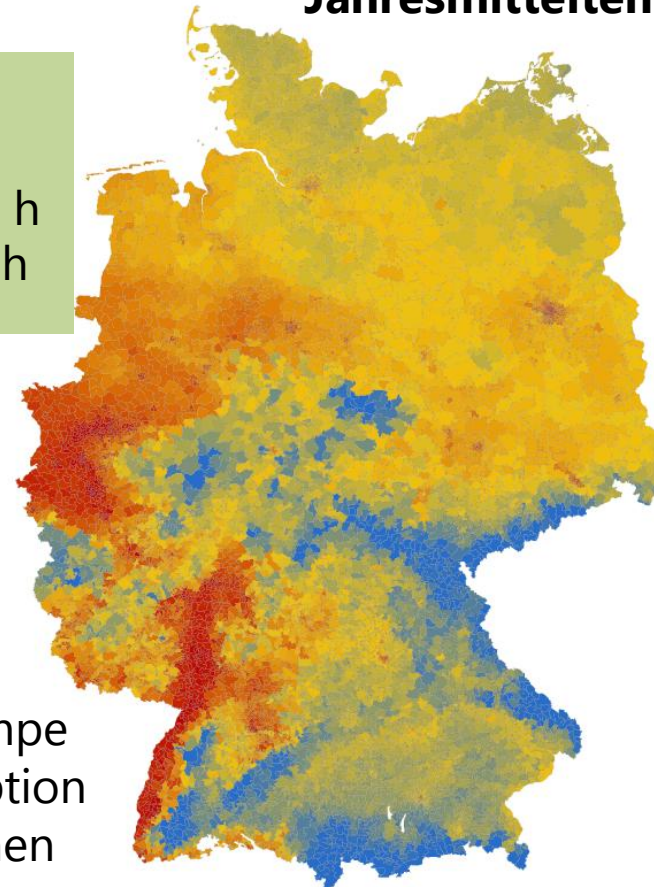
➔ Luft-Wärmepumpe ist eine gute Option in vielen Regionen

Normaußentemperatur



In Ingelheim:
Norm-T: -9,5
< 0°C : 504 h
< -7°C : 48 h
Datenbasis: 2011 - 2021

Jahresmitteltemperatur



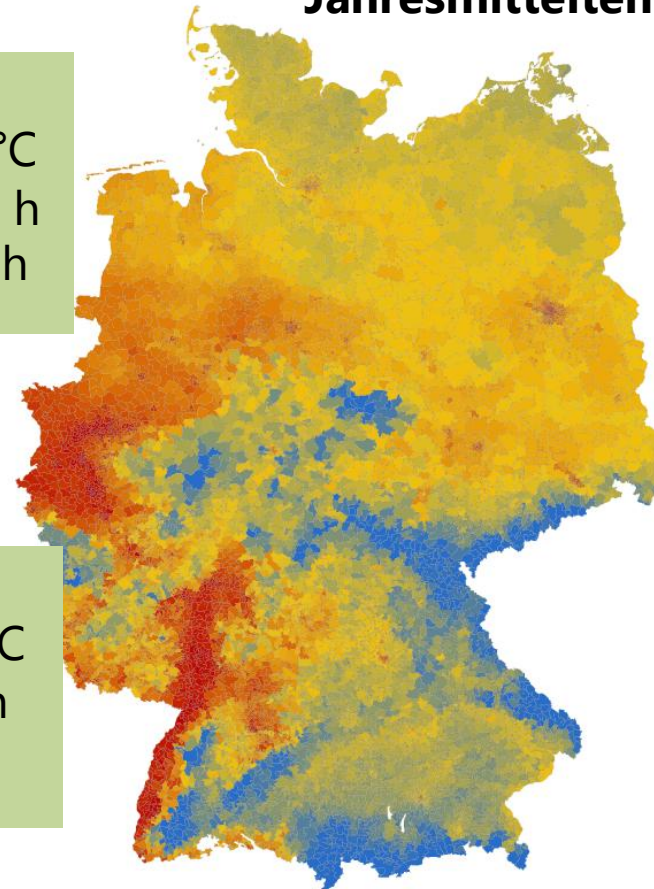
Luft-Wärmepumpe
ist eine gute Option
in vielen Regionen

Normaußentemperatur



In Aachen:
Norm-T: $-7,8^{\circ}\text{C}$
 $< 0^{\circ}\text{C}$: 336 h
 $< -7^{\circ}\text{C}$: 23 h
Datenbasis: 2011 - 2021

Jahresmitteltemperatur



In Nideggen:
Norm-T: $-8,8^{\circ}\text{C}$
 $< 0^{\circ}\text{C}$: 550 h
 $< -7^{\circ}\text{C}$: 32 h
Datenbasis: 2011 - 2021

Tiefenbohrung: 30 – 100 W/m

Bei Wärmepumpe mit 10 kW Wärmeleistung:

Benötigte Leistung aus Erdreich = $10 \text{ kW} * (1 - 1/\text{COP})$

Mit COP = 5:

Wärmeleistung aus Erdreich (auch Kälteleistung genannt): 8 kW

$8 \text{ kW} / 50 \text{ W/m} = 160 \text{ m}$

→ 2 Bohrungen notwendig (max. 100 m je Bohrung)

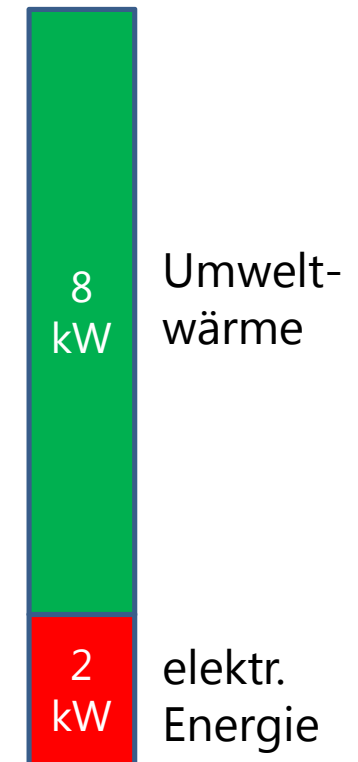
Nachsehen für eigenes Grundstück:
www.geothermie.nrw.de

Flächenkollektor: 25 W/m²

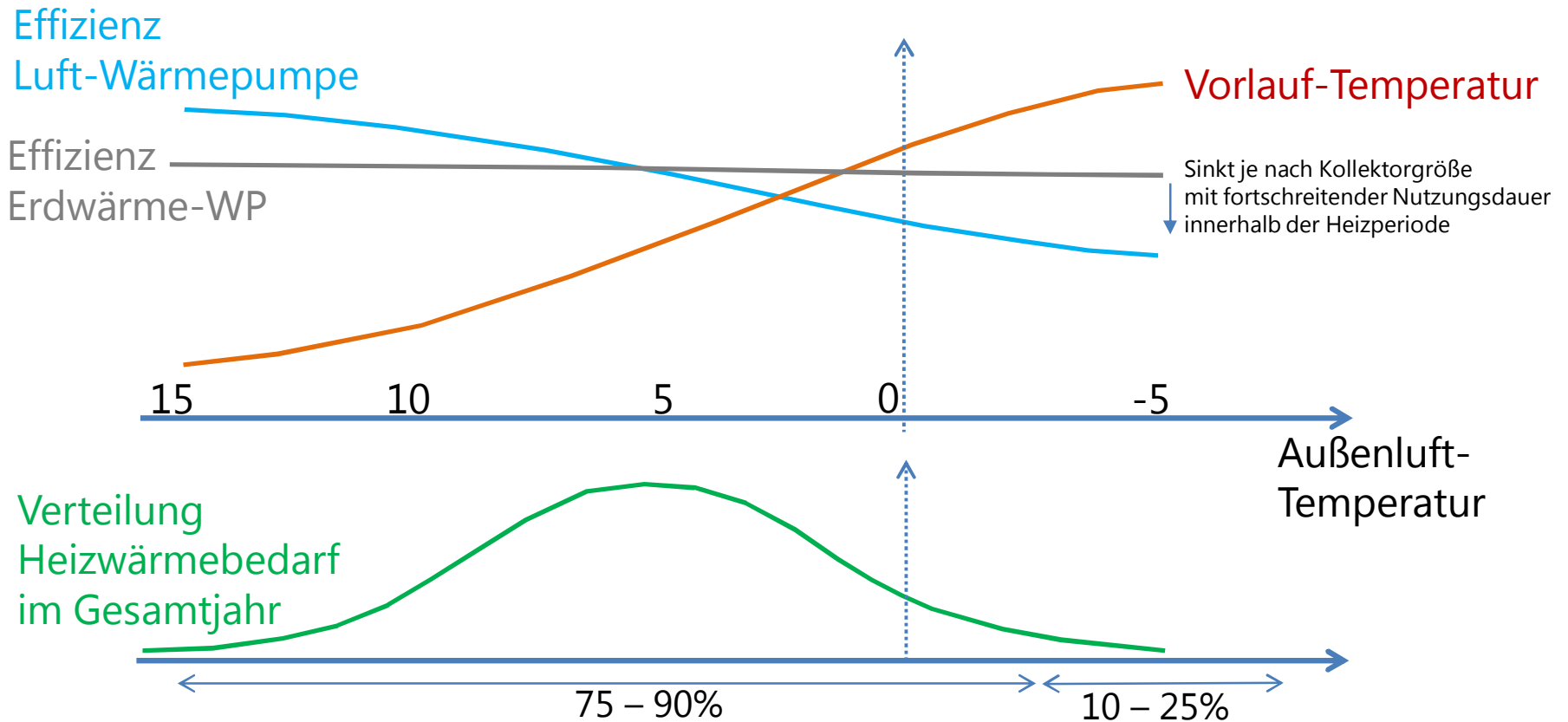
→ Flächenbedarf: $8 \text{ kW} / 25 \text{ W/m}^2 = 320 \text{ m}^2$

Achtung: wenn Bohrung nicht lang genug oder Kollektoren zu klein vereist der Boden, die Effizienz bricht stark ein, da T dann bei $<0^\circ\text{C}$

Beispiel
10kW



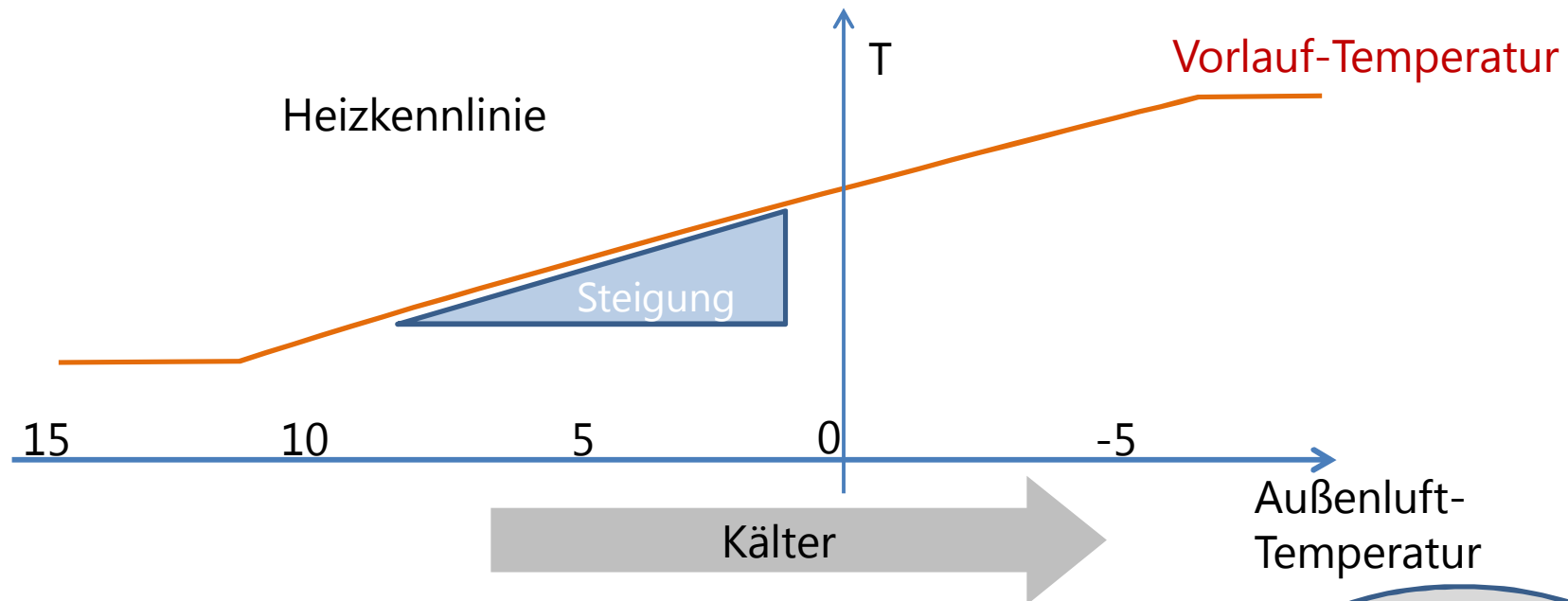
Effizienz Luft-WP / Erdkollektor-WP



- Erdkollektoren sind teuer
- Luft-WP kaufen und eingesparte Mehrkosten stattdessen investieren in:
 - **PV-Anlage**
<https://www.pv-magazine.de/2023/05/09/ganzheitliche-bewertung-von-waermepumpensystemen/>
 - **Maßnahmen, die Vorlauftemperatur-Absenkung ermöglichen**
 - Größere / dickere Heizkörper, Wand- bzw. Deckenheizung senkt Vorlauftemperatur, erhöht damit WP-Effizienz

Noch auszuarbeiten

Vorlufttemperatur Steigung



Steigung der Heizkennlinie: Einstellbar in Heizungssteuerung
Übliche Werte: 1,0 bis 2,2
Beispiel Steilheit = 2: je Grad weniger draußen steigt die Vorlauftemperatur um 2 Grad

Persönliche Erfahrung
2,1 → 0,95

Viele Heizungs-Installateure wollen Beschwerden und/oder nachträgliche Einstellungs-Änderungen meist vermeiden

Daher ist die Steilheit der Heizkennlinie meist viel zu hoch eingestellt.

Das verschwendet Energie, erhöht die Treibhausgas-Emissionen und kostet auch bei Gas- und Ölheizungen viel Geld.

Bei Brennwertheizungen: Taupunkte Erdgas 57 °C, Heizöl 47 °C
Brennwert kann nur genutzt werden, wenn Vorlauftemperatur deutlich niedriger

Handlungsanleitung Vorlufttemperatur optimieren und ermitteln

1. Im Display der Heizung **Vorlauftemperatur ablesen** und notieren an verschiedenen Tagen bei verschiedenen Luft-Temperaturen

Außen-Temp.	Vorlauf-Temp.	Steilheit
3 °C	55 °C	2,1
-1 °C	60 °C	2,1

Möglichst morgens vor oder bei Sonnenaufgang im Winter Temperaturen $< 5^{\circ}\text{C}$ am besten $< 0^{\circ}\text{C}$

Achtung: Heizbetrieb muss aktiv sein, nicht Warmwasserladung

2. Steilheit der Heizkennlinie reduzieren
3. Mehrere Tage (2-3) warten
4. Haus ausreichend warm \rightarrow ja
 \rightarrow nein vorherigen Wert einstellen
5. Referenzwert Außentemperatur ist bekannt für z.B. 0°C , Steilheit optimal eingestellt



Handlungsanleitung benötigte Wärmepumpen- Leistung ermitteln

Datum	Außen-temp.	Gas-Verbrauch
	-3 °C	2,1 m ³
	-1 °C	2,1 m ³

Tabelle täglich ausfüllen möglichst zur gleichen Uhrzeit

im Winter bei Temperaturen um 0°C oder tiefer

- Tag mit höchstem Gasverbrauch bestimmen
- Energiemenge für Tag berechnen:
Energie = Gasverbrauch * Heizwert * Z_Zahl

Heizwert: ca. 11 kWh/m³

Z-Zahl: 1 bis 0,9 (je nach Höhenlage) Beide Zahlen stehen auf der Rechnung

Auslegungstag:
sehr kalter Tag am
Ende einer längeren
Kälteperiode

- Benötigte Wärmepumpenleistung: $P_{\text{Wärme}} = \text{Energie}/18\text{h}$

Achtung: eher mehr Leistung einplanen, um in Stunden mit niedrigen Strompreisen höhere Wärmemenge einspeichern zu können.

Achtung: häufig wird in einem Winter die Norm-Auslegungstemperatur nicht erreicht, dann muss die benötigte Wärmeleistung für die Norm-Auslegung abgeschätzt werden.

Beispiel:

Gemessener Energiebedarf: 100 kWh
an einem Tag mit -3 °C (mittlerer Temperatur)
Norm-Außentemperatur: -8,5 °C
Innenraumtemperatur: 21 °C

Berechnung Energiebedarf für einen Tag mit -8,5°C:

$$100 \text{ kWh} * (-8,5 - 21) / (-3 - 21) = 123 \text{ kWh}$$

Benötigte Wärmeleistung: $123 \text{ kWh} / 18 \text{ h} = 6,8 \text{ kW}$

- Abschätzung aus Jahresmenge möglich:
- Heizleistung = Jahresenergie Brennstoff * Effizienz Brenner / Volllaststunden
- Jahresenergie aus Gas-Rechnung entnehmen in kWh
für Öl: Jahresverbrauch in Liter * 10 ergibt kWh
- Effizienz (im Jahresmittel): ca. 0,9 bis 1
(1 für Brennwertheizung mit niedrigen Vorlauftemperaturen)
- Volllaststunden:
 - Für Wohngebäude ohne Warmwasserbereitung: 2000 h/a
 - Für Wohngebäude mit Warmwasserbereiter: 2300 h/a
- Beispiel: 20.000 kWh Jahresenergieverbrauch * 0,95 / 2300
→ Heizleistung = 8,3 kW

In Abhängigkeit von Normaußentemperatur:

z.B. für $-7,5^{\circ}\text{C}$

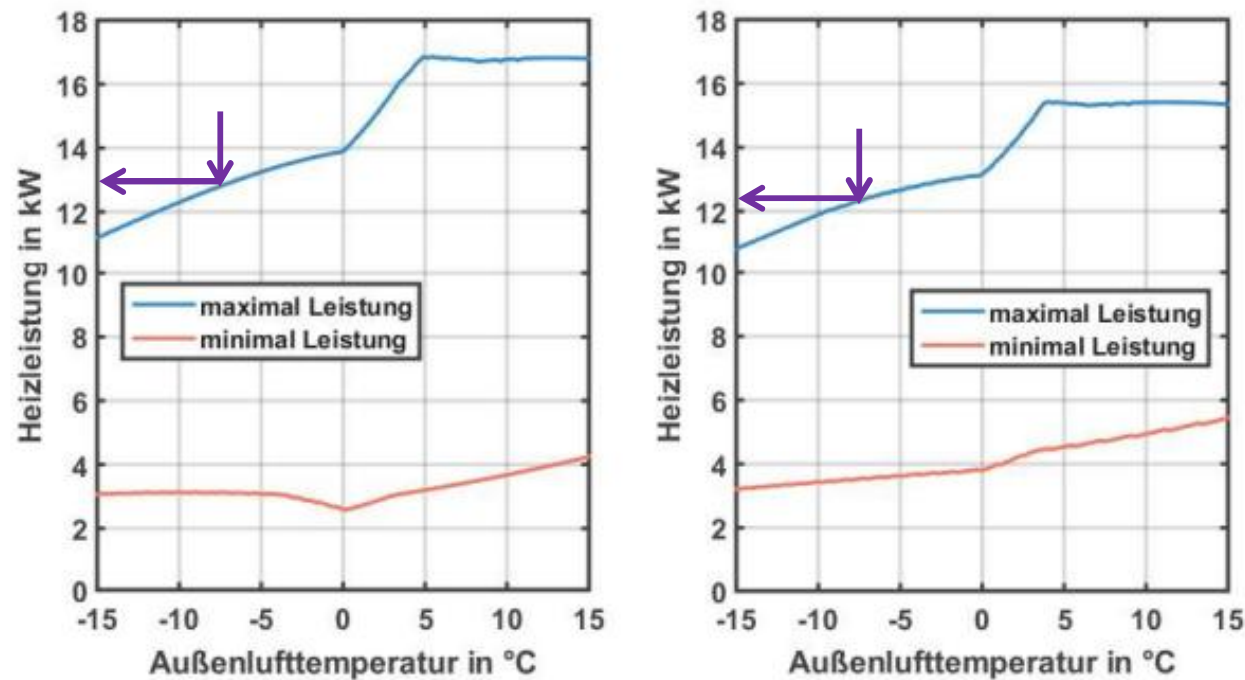


Abbildung 29: EU13L bei 5K Spreizung (links: 35°C Vorlauftemperatur / rechts: 55°C Vorlauftemperatur)

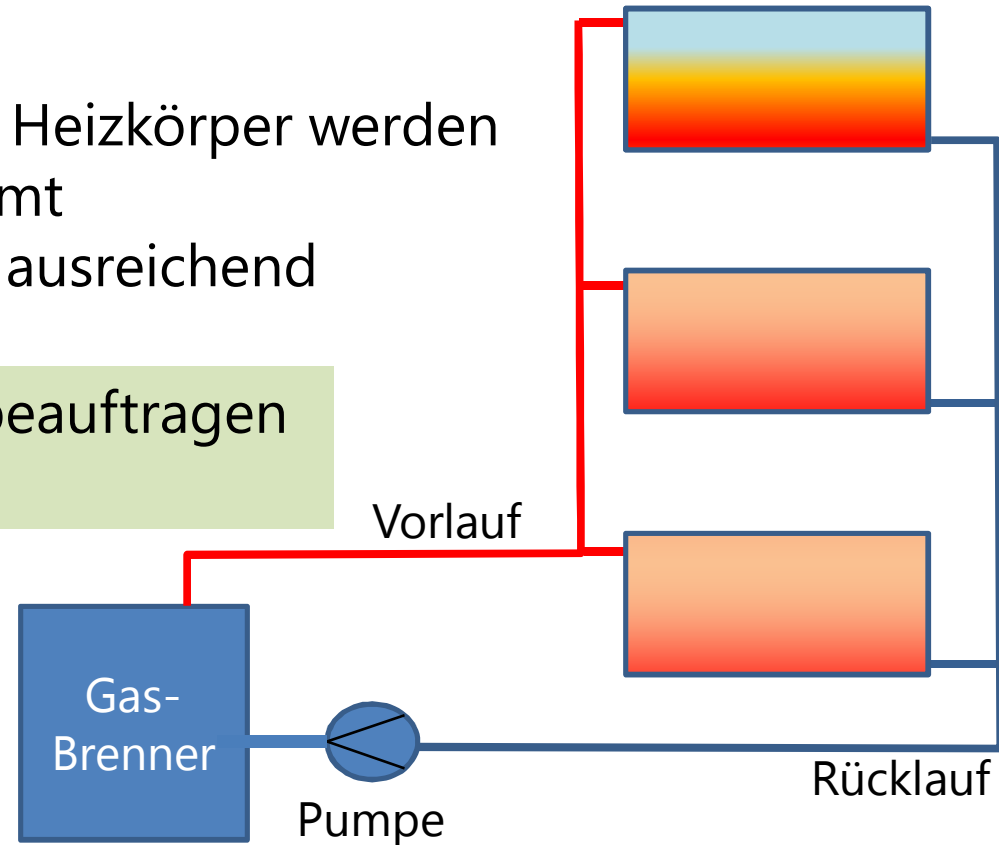
Maßnahmen um benötigte Vorlauftemperatur zu senken

Hydraulischer Abgleich

Häufiges Problem:
von Pumpe weiter entfernte Heizkörper werden
nicht ausreichend durchströmt
→ Wärmeabstrahlung nicht ausreichend

→ Hydraulischen Abgleich beauftragen
oder selber durchführen

Beim hydraulischer Abgleich
werden zu stark durchströmte
Heizkörper gedrosselt, so dass
zu wenig durchströmte mehr
durchströmt werden.



Selber machen

Praxis

www.youtube.com/watch?v=0ueyXtGcGRo

Theorie

www.youtube.com/watch?v=We6IYKwZJBU&t=0s



Einstellungen vorher und Änderungen notieren

Fortlaufender automatisierter Abgleich über elektronische Heizkörperventile

Achtung: ggf. ist vorher trotzdem eine Volumenstromermittlung notwendig, fachlich strittig, ob das so erfolgreich geht

www.haustec.de/heizung/waermeverteilung/homematic-thermostate-automatisieren-den-hydraulischen-abgleich

Fachfirma beauftragen

- Alle Heizkörperventile voll aufdrehen
- Vorlauftemperatur senken, bis es in einem Raum zu kalt ist (Raum K)
- In dem Raum Drosselung auf minimal stellen
- Im dann wärmsten Raum W Drosselung vergrößern
- Wenn es dann in Raum K zu warm ist, Vorlauftemperatur senken
- Wenn es jetzt in Raum W zu kalt ist, Drosselung verringern
- In anderen Räume entsprechend Drosselung verringern oder erhöhen
- Es muss immer mindestens einen Raum geben, der nicht gedrosselt ist, sonst Vorlauftemperatur weiter senken

Wichtige Maßnahmen zur Senkung der Vorlauftemperatur

Vorlauftemperatur senken bis ein oder mehrere Räume nicht ausreichend warm werden, dann in diesen Räumen

- Handtücher runternehmen ☺
- Heizkörper-Abdeckungen entfernen, Möbel abrücken
- Dämmen (Fenster, Wände)
- weitere Heizkörper aufhängen
- Heizkörper tauschen gegen einen mit mehr Wärmeabgabe Fläche größer oder dicker durch mehr Bleche / Rohre
- Heizkörper mit Ventilator installieren
- Ventilator nachrüsten
- Wandheizung installieren
- Deckenheizung installieren
- Fußbodenheizung installieren

Wichtig:

hier sind wassergeführte Heizungen gemeint, nicht verwechseln mit Elektro-Infrarot-Heizungen



Mögliche Art der Installation
im Bestand:

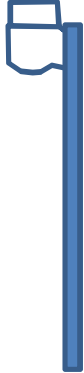


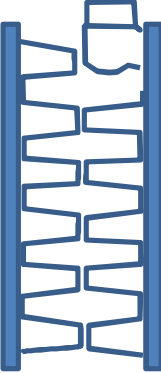

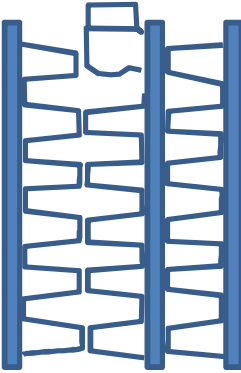
Platten mit 4 cm Dämmung
gegen Wand und
2 cm mit Heizrohren Verkleben
bzw. Dübeln

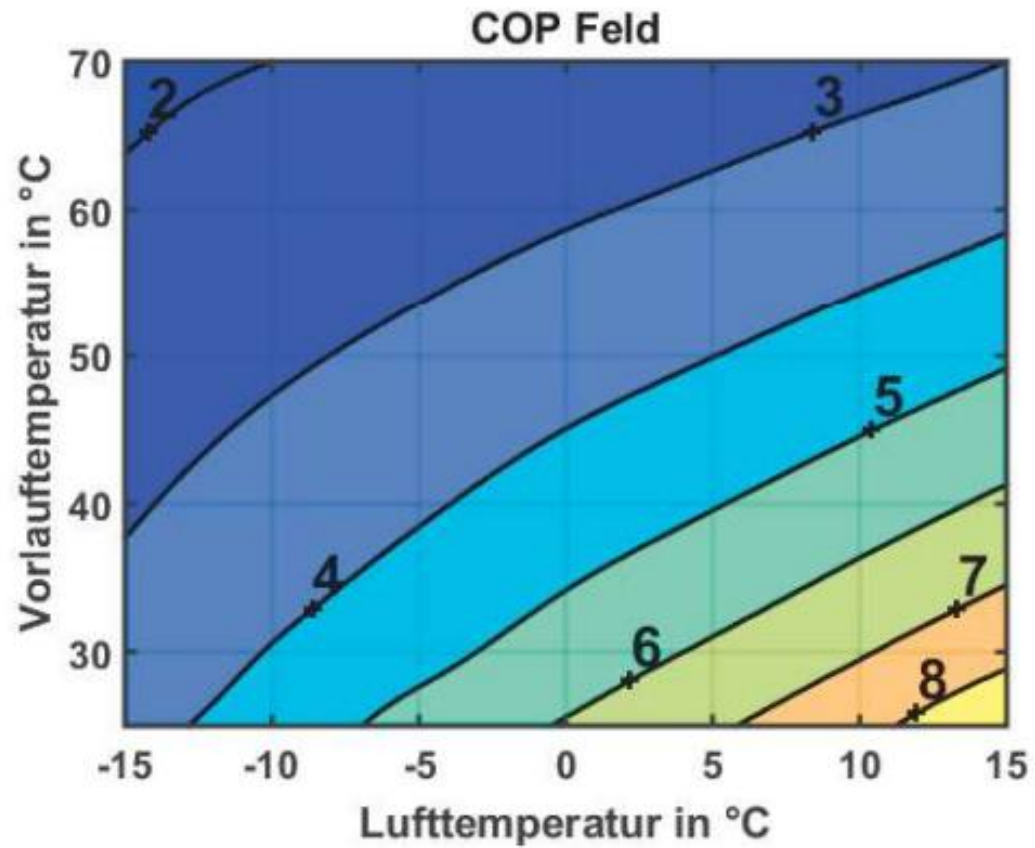
Dann verputzen, streichen,
tapezieren möglich.

Diese Art der Heizung sieht man nach Installation nicht.

Heizkörper: Einfluss der Typen auf benötigte Vorlauftemperatur

Peter Klafka

	Typ 10	Typ 11	Typ 21	Typ 22	Guß-Radiator	Typ 33
Heizkörpergröße Breite: 140 cm Höhe: 50 cm T_{Raum} : 21°C Leistung: 950 W						
Tiefe:	59 mm	62	66	102	160 mm	157 mm
Vorlauf:	81°C	69°C	57°C	53°C	49°C	46°C
Rücklauf:	73°C	60°C	49°C	45°C	41°C	38°C
COP A-5/W_{VL} : 1*	2,3	2,8	3,0	3,25	3,5	
<small>Für WP Lambda-EU15L</small>						
Mehrverbrauch Strom ggü. Typ 33:	250%	52%	25%	17%	8%	0%
					<small>3-säuliger Stahlrohr radiator hat ähnliche Werte</small>	



Lambda-WP
EU15L

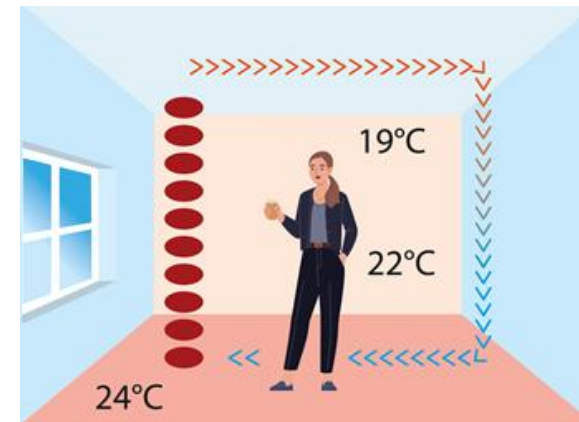
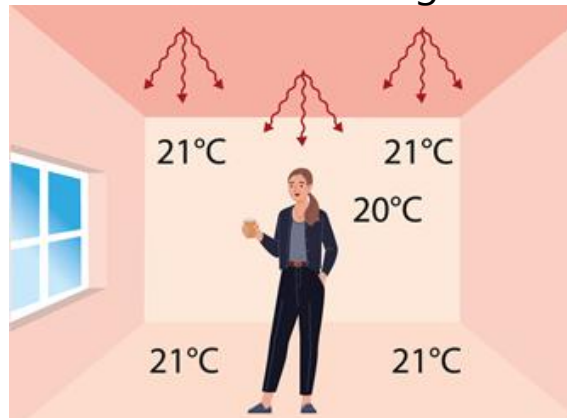
Decken und Wand- heizungen

wichtig: hier sind Decken- und Wandheizungen mit Wasserkreislauf gemeint

keine Elektro-Infrarot-Heizungen installieren lassen, die haben SCOP von nur 1 statt erreichbaren 5



Deckenheizung



Fußbodenheizung

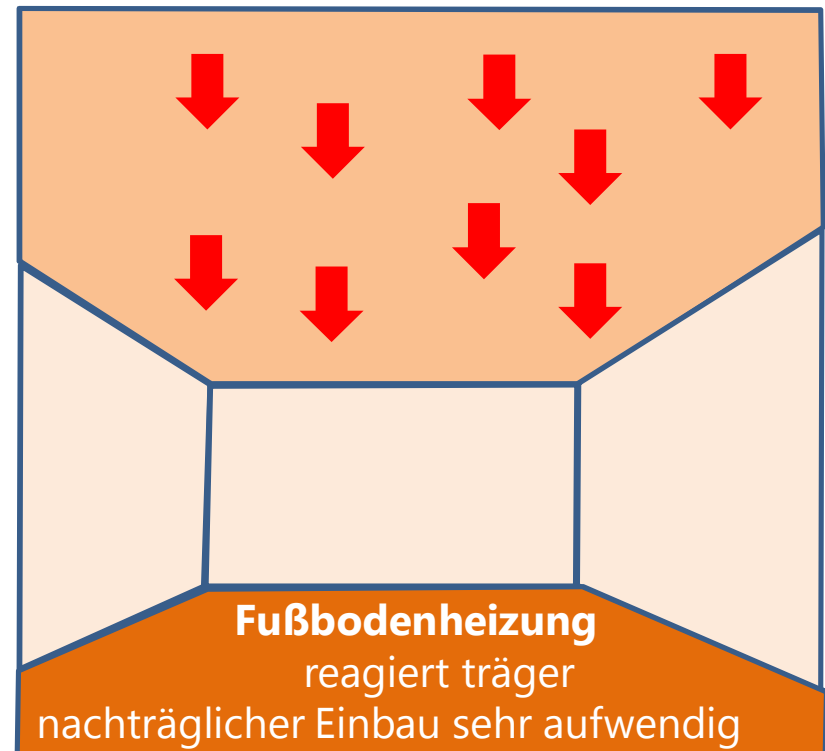
Vorteile Deckenheizung

- keine Zugluft und keine Konvektion
- mehr Platz, da keine Heizkörper nötig sind
- nachträglicher Einbau einfach möglich
- kein Wärmestau, weil eine Deckenheizung nicht durch Möbel blockiert wird, also komplette Deckenfläche nutzbar
- relativ preiswert

Nachteile Deckenheizung

- nachträglicher Einbau von Deckenlampen schwieriger (wo bohren)

Wandheizungen haben ähnliche Eigenschaften



wichtig: keine Elektro-Infrarot-Heizungen installieren lassen

Wärmespeicher

Man braucht einen Wärmespeicher

- Häufiges Ein-/Ausschalten (Takten) der Wärmepumpe vermeiden
- Sperrstunden Strom überbrücken
- Zukünftig: dynamische Stromtarife kommen
Wärmepumpenbetrieb in Stunden mit hohen Strompreisen
(z.B. morgens, abends) vermeiden



zur Nutzung solcher Preise: Pufferspeicher groß dimensionieren



zur Nutzung solcher Preise:
Leistung der Wärmepumpe höher ansetzen, Pufferspeicher groß dimensionieren



zur Nutzung solcher Preise: Leistung der Wärmepumpe höher ansetzen
Pufferspeicher groß dimensionieren:

Faustformel: 6 kW Wärmeleistung 1 Stunde in Betrieb: 6 kWh Wärme erhöhen 1000 Liter Pufferwasser um 5 Grad

möglichst geringe Temperaturerhöhung sinnvoll, da sonst Effizienz der Wärmepumpe sinkt.

Beispiel: 10 Grad → Füllung in 2 Betriebsstunden → Energieinhalt 12 kWh

Kosten 1000-Liter-Puffer: 900 Euro plus Installation

Kosten 300-Liter-Puffer: 600 Euro plus Installation

Preisdifferenz für Investition: 300 Euro

Zusätzliche Einsparung Strom je Befüllung: 1000-Liter gegenüber 300-Liter-Speicher

Zusätzlicher Speicher: $12 \cdot 7 / 10 = 8,4 \text{ kWh}_{\text{th}}$

COP bei Befüllung: 4,5 Preiseinsparung Strom: 20c/kWh

Einsparung je Befüllung: 0,35 Euro

Zyklen im Jahr: 180 → 60 Euro/a

→ Return of Investment für Mehraufwand (300 Euro): 5 Jahre

Förderung

Es gibt umfangreiche Förderungen durch das BAFA (Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle)

Basis-Zuschuss: 25%

Heizungstausch: 10 % für Tausch von Ölheizungen

Heizungstausch: 10% für Tausch von alten Gasheizungen (älter als 20 Jahre)
(nicht Gas-Etagenheizungen)

Bonus: 5% für Erdkolektor-, Geothermie-, Abwasser- oder Grundwasser-WP
oder

5% für natürliches Kältemittel (z.B. Propan R290)

Insgesamt bis zu 40% Förderung möglich

Maximalbetrag: Förderung für Projekte mit Kosten < 60.000 Euro (je Wohneinheit)

Gute Erklärung bei der Verbraucherzentrale NRW:

<https://www.verbraucherzentrale.nrw/wissen/energie/foerderprogramme/zuschuesse-fuers-eigenheim-so-finden-sie-das-richtige-foerderprogramm-43745>

Zusammenfassung

- Wärmepumpen sind volkswirtschaftlich sinnvoll
- Wärmepumpen sind auch in Bestandshäusern sehr sinnvoll einsetzbar
- Wichtig ist eine möglichst geringe Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle (Luft, Grundwasser, Erdkollektor) und Vorlauftemperatur der Heizung
- Gute WP kaufen, es gibt große Unterschiede bei der Effizienz
- Im großen Teilen Deutschlands sind Lufttemperaturen im Winter eher hoch, z.B. im Rheinland, flaches Norddeutschland, ... , Luftwärmepumpen sind dann eine gute Option
- Auf Kältemittel achten, möglichst niedriges Treibhauspotential
Propan mit GWP 3 ist der Goldstandard

Diesen Winter:

Vorlauftemperatur so weit wie möglich senken, das spart auch bei Gas/Öl-Heizungen

zur Vorbereitung einer WP-Anschaffung:

- benötigte Vorlauftemperatur bestimmen
- benötigte Wärme-Nennleistung bestimmen

**Vielen Dank
für Ihre
Aufmerksamkeit**

Folien und Anmeldung zum Online-Austausch zu Wärmepumpen: **WPAK-S4F-AC@gmx.de**

Bitte melden: Wer will weitere Vorträge zu Wärmepumpen organisieren?

- 29.11. Wärmepumpe Langerwehe
- 01.12. Wärmepumpe Rodenkirchen
- 08.12. Wärmepumpe Gau Algesheim
- 11.01. Wärmepumpe Haus Düsse
- 17.01. Photovoltaik Aachen Eilendorf
- 26.01. Wärmepumpe Mainz

PV-Partys: www.packsdrauf.de

PV-Selbstbau: www.selbstbau.solar

Weitere Vorträge zu finden auf www.Bewegungsmelder-Aachen.de

Suchen nach „Klafka“

Links

Online Wärmepumpen-Berater mit super Erklärungen und weiterführenden Links

<https://energiewende.eu/online-waermepumpenberater/>
<https://energiewende.eu/online-waermepumpenberater-weg-von-gas-und-oel/>

Wärmepumpe in Bestandsgebäude: Ratgeber

<https://wuestenrot-stiftung.de/publikationen/waermepumpen-in-bestandsgebaeuden-download/>

Betriebsarten monovalent, bivalent, multivalent

www.haustechnikverstehen.de/betriebsweisen-von-waermepumpen/

Artikelserie Wärmepumpen im Bestand vom Fraunhofer-Wärmepumpenfachmann

blog.innovation4e.de/2021/02/10/waermepumpen-im-bestand-eine-serie-in-12-folgen/

Liste förderfähiger Wärmepumpen mit COPs und Leistungen

https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/ee_waermepumpen_anlagenliste_bis_2020.pdf?__blob=publicationFile&v=1

JAZ Vorschau

www.waermepumpe.de/jazrechner

Auslegungsplanung Wärmepumpe

<https://energiewende.eu/online-waermepumpenberater-weg-von-gas-und-oel/>

Auslegungsplanung (Viessmann)

http://www.viessmann.de/content/dam/vi-brands/DE/PDF/Planungshandbuch/ph-waermepumpen.pdf/_jcr_content/renditions/original.media_file.download_attachment.file/ph-waermepumpen.pdf

Den Wärmepumpen-Kreisprozess verstehen (für Physikinteressierte) (von Prof. Marc Hölling)

<https://www.youtube.com/watch?v=CA0ixYNB5VY>

Bundesverband Wärmepumpe: Heizkörper-Leistungsberechnung in Abhängigkeit der Vorlauftemperatur

www.waermepumpe.de/normen-technik/heizkoerperrechner/

Dazu Erklärvideo: Erklärung zur Ermittlung der Wärmeabgabe-Leistung von Heizkörpern

<https://www.youtube.com/watch?v=-vZihP-Ck9M>

<https://listmonk.aixnetwork.de/subscription/form>

 listmonk

Abonnieren

E-Mail

E-Mail

Name (optional)

Name (optional)

Listen

WP-Infos-S4F-AC

WP-AG-S4F-AC

Abonnieren

← Für die Folien

← Für Austausch zu
Wärmepumpen

Wenn das nicht
klappt, Mail an:
WPAK-s4f-ac@gmx.de

Glossar

Heizlast: Maximal benötigte Wärmeleistung

Vorlauftemperatur: Temperatur mit der das Heizungswasser zu den Heizkörpern fließt

Rücklauftemperatur: Temperatur mit der das Heizungswasser die Heizkörper verlässt

Normaußentemperatur: Die tiefste Temperatur, welche 10 Mal innerhalb von 20 Jahren über mindestens zwei aufeinanderfolgenden Tagen aufgetreten ist.

Transmissionswärmeverluste $H't$: in kWh/(m²K) Wärmeverlust durch die Gebäudehülle

Lüftungswärmeverluste: Wärmeverluste durch die Lüftung

Wärmeeinträge: durch Sonneneinstrahlung durch Fenster oder Personen und Geräte erzeugte Wärme im Haus

**Keine Weitergabe
ab hier**

Normen Berechnungen

Ort (Anzahl PLZ-Gebiete)	θ_e in °C Beiblatt 1 (2008)	Höchste θ_e des PLZ-Gebiets in °C DIN SPEC	Niedrigste θ_e des PLZ-Gebiets in °C DIN SPEC
Aachen (10)	-12	-7,1	-8,8
Berlin (191)	-14	-11,1	-13,9
Düsseldorf (37)	-10	-6,8	-8,4
Erfurt (14)	-14	-11,9	-13,9
Frankfurt am Main (36)	-12	-8,2	-10,1
Hamburg (63)	-12	-8,8	-10,3
Leipzig (34)	-16	-11,6	-13,6
Stuttgart (34)	-12	-9,3	-11,8
München (74)	-16	-11,1	-13,9

DIN EN 12831
Neue Temperaturen
auf Daten von
1995 bis 2012 ermittelt

Als Norm-
Außentemperatur wird
das in diesen 18 Jahren
neunmal erreichte
kälteste Zweitagesmittel
angegeben.

Vergleich der Norm-Außentemperaturen für ausgewählte Städte

Tabelle 1: Vergleich der Norm-Außentemperaturen für ausgewählte Städte nach dem alten Beiblatt 1 und der DIN SPEC 12831-1

Eigenen Standort nachschlagen unter:

<https://www.waermepumpe.de/normen-technik/klimakarte/>

$$SCOP_H = \frac{F_{\Delta\theta}}{\frac{F_{g1}}{COP_{N1}} + \frac{F_{g2}}{COP_{N2}^*} + \frac{F_{g3}}{COP_{N3}}}$$

- 1: -7°C Außenlufttemperatur
- 2: 2°C Außenlufttemperatur
- 3: 7°C Außenlufttemperatur

COP jeweils ermitteln für die Außenlufttemperatur und die maximale Vorlauftemperatur
Faktoren aus Tabelle

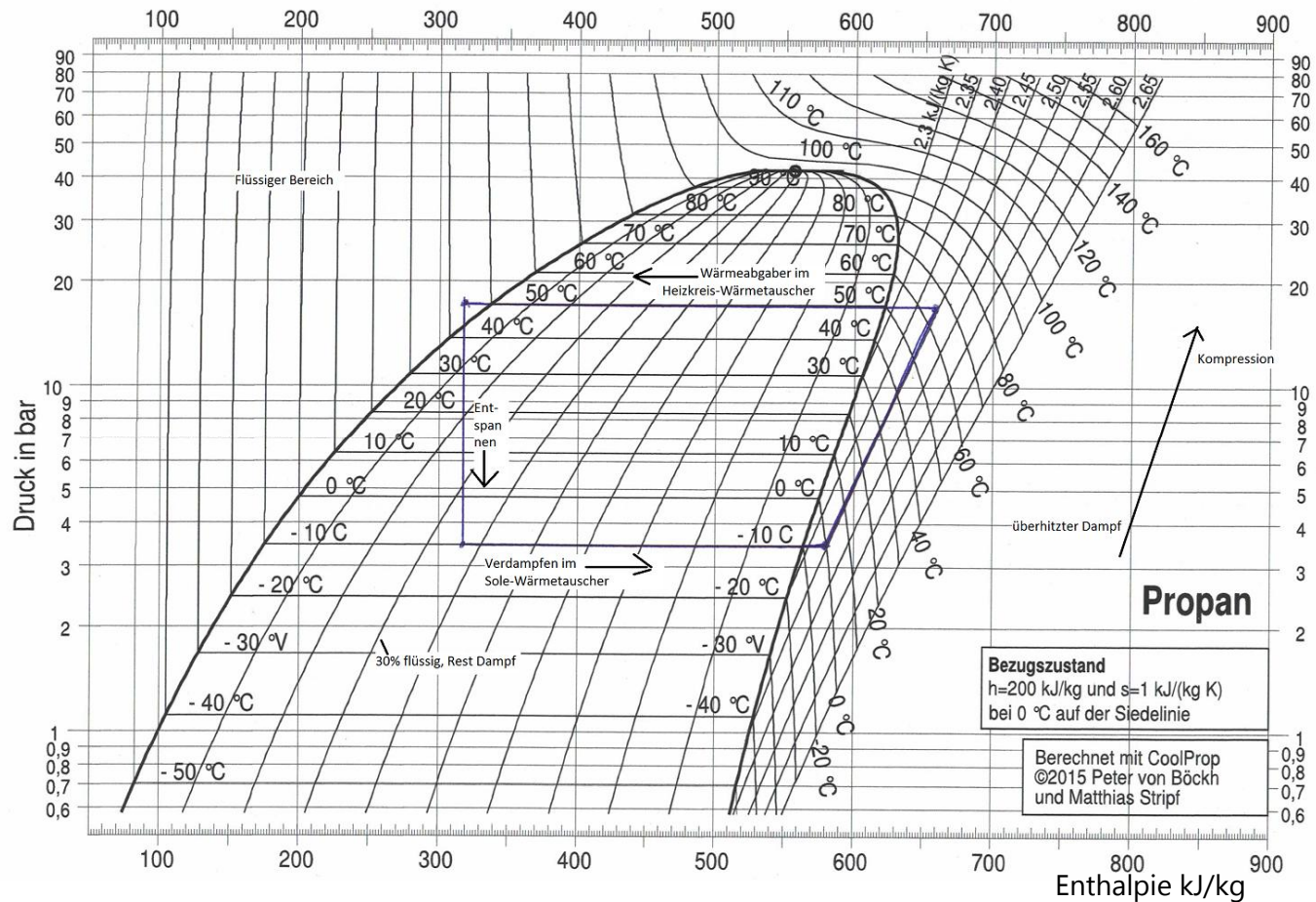
Wichtungsfaktoren für die Berechnung des SCOP

Peter Klafka

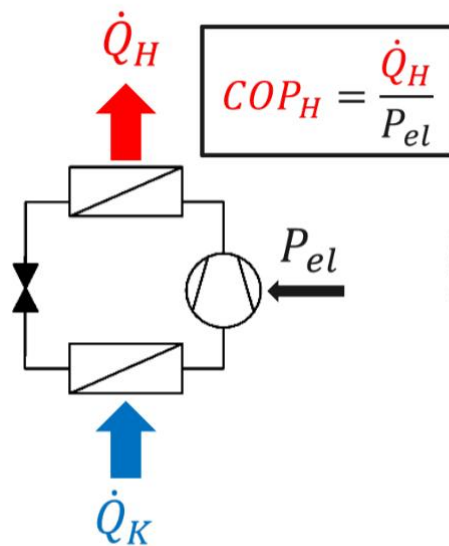
Normaußen- temperatur / Standard out- door-temperature in °C	Lufttemperatur/ Air temperature in °C	Korrekturfaktor / Correction factor	Maximale Vorlauftemperatur / Maximum supply tempera- ture $\vartheta_{\text{Vorl, max}}$ in °C					
			30	35	40	45	50	55
-10	-7	F_{g1}	0,026	0,028	0,031	0,034	0,037	0,041
	2	F_{g2}	0,523	0,551	0,582	0,617	0,657	0,702
	7	F_{g3}	0,329	0,342	0,356	0,371	0,388	0,406
-12	-7	F_{g1}	0,045	0,048	0,052	0,057	0,062	0,068
	2	F_{g2}	0,579	0,608	0,641	0,677	0,718	0,764
	7	F_{g3}	0,259	0,269	0,280	0,291	0,303	0,317
-14	-7	F_{g1}	0,107	0,115	0,123	0,133	0,144	0,158
	2	F_{g2}	0,583	0,612	0,643	0,678	0,717	0,761
	7	F_{g3}	0,200	0,207	0,215	0,223	0,232	0,242
-16	-7	F_{g1}	0,164	0,175	0,188	0,203	0,221	0,242
	2	F_{g2}	0,570	0,596	0,625	0,657	0,692	0,731
	7	F_{g3}	0,160	0,165	0,171	0,177	0,183	0,191

Logarithmisches Druck–Enthalpie-Diagramm von Propan

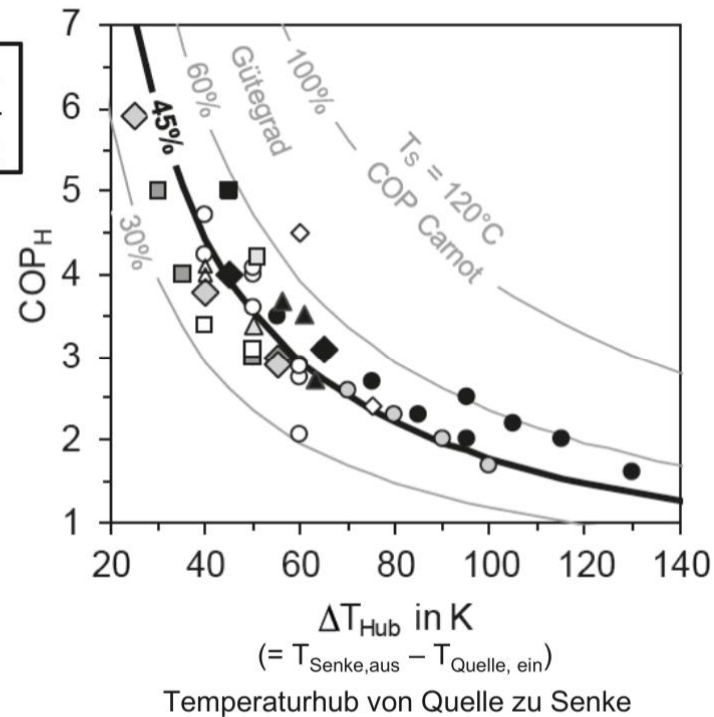
Peter Klafka



Marktübersicht über Hochtemperatur Wärmepumpen Effizienz (Leistungszahl COP) und Gütegrad



Temperaturspreizung beeinflusst Effizienz nichtlinear



- Kobelco SGH 120/165
- Kobelco HEM-HR90
- Viking HeatBooster S4 R1336mzz(Z)
- ◆ Ochsner IWWDS R2R3b
- ◆ Ochsner IWWDS ER3b
- ◆ Ochsner IWWDS ER3c4
- ◇ Hybrid Heat Pump
- ▲ Friotherm Unitop 22/22
- △ Combitherm
- GEA Grasso FX P
- Star Refrigeration Neatpump
- SABROE HeatPAC HPX
- Viessmann Vitocal 350-HT Pro
- △ Mitsubishi ETW-L

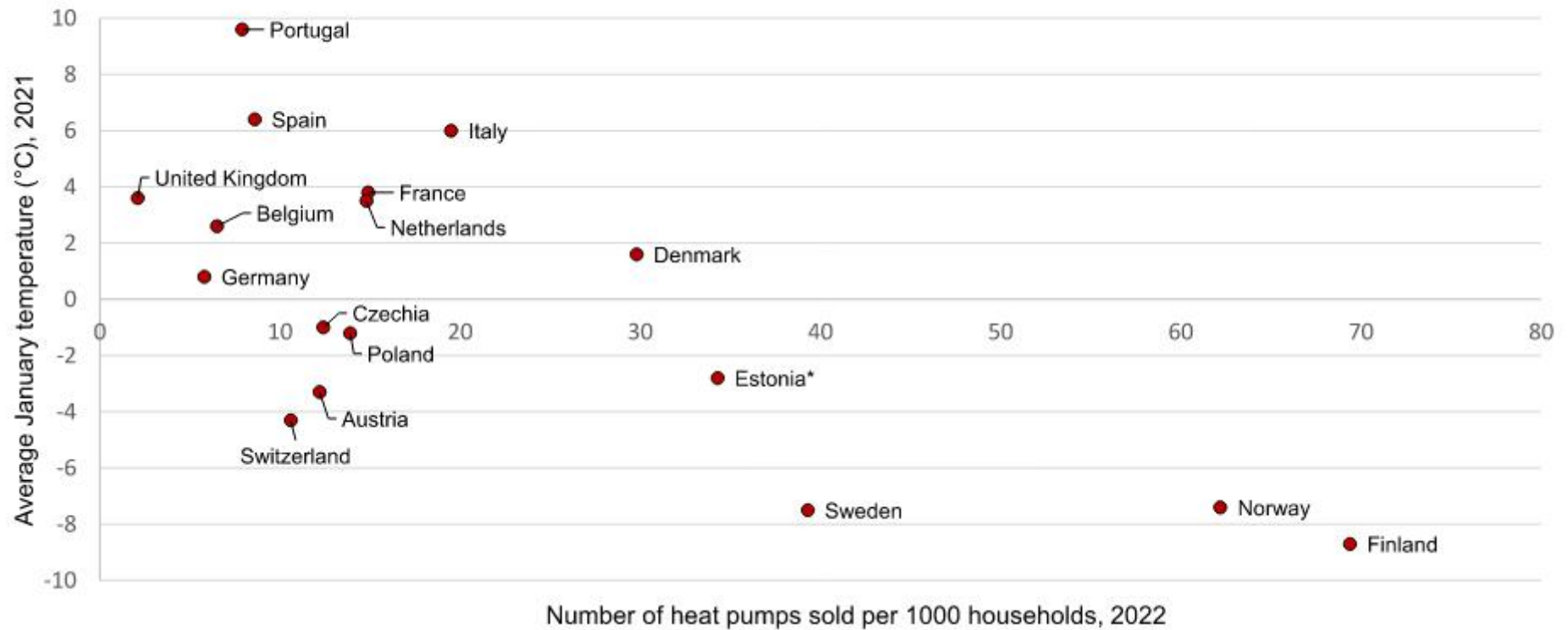
Fit-Kurve (45% Gütegrad):
 $COP_H = 68.455 \cdot \Delta T_{Hub}^{-0.76}$, $R^2=0.78$

Quellen

WP-Blog1

<https://blog.innovation4e.de/2021/02/17/waermepumpen-im-bestand-folge-2-koennen-sie-ueberhaupt-ausreichend-hohe-heizkreistemperaturen-liefern/>
Erdkollektor-WP-Effizienz wurde ergänzt

Änderungs- historie



Änderungs- historie

Änderungshistorie

Peter Klafka

Datum	Wer	Was
Aug 2022	P. Klafka	Grundsätzlicher Aufbau
17.09.22	P. Klafka	Folie zu Warmwasser-Wärmepumpe im ungedämmten Keller ergänzt
29.09.22	P. Klafka	Weitere Folien ergänzt u.a. zu Wärmespeicher, Warmwasser, Animation verbessert
30.09.22	P. Klafka	Zusammenfassung: Nennleistung bestimmen ergänzt und sprachliche Verbesserungen
05.12.22	P. Klafka	Folie 2 zu den Mythen rausgenommen
10.12.22	P. Klafka	Bild WP neu gezeichnet, diverse Anregungen aus S4F-WP-Projekt aufgenommen, Links erweitert
15.01.22	P. Klafka	Förderung: eine Folie ergänzt mit Hinweis auf BAFA und Verbraucherzentrale-NRW
26.01.22	P. Klafka	Zukünftige Wochenganglinien ergänzt, Forderungen an Politik ergänzt
02.02.23	P. Klafka	Links ergänzt
09.02.23	P. Klafka	Energielabel-Folie animiert, Effizienz und Gütegrad als Anhang ergänzt, Hinweis zu Elektro-Infrarot-Heizungen aufgenommen im Abschnitt "Deckenheizungen"
02.03.23	P. Klafka	Link ergänzt, Heizkörperfolie ergänzt (und ausgeblendet COP-Feld (Lambda))
06.04.23	P. Klafka	Bild von Anlegethermometer ergänzt
21.04.23	P. Klafka	Schemabild Heizungsspeicher auf Bypass geändert, Duschwasser-Rücklauf ergänzt, Warmwasser-WP im Rücklauf neue Folie, Groß-WP neue Folie mit Daten, neue Folie Strompreise im Spotmarkt
06.05.23	P. Klafka	Effizienz in Abhängigkeit der Außentemperatur, Verteilung des Heizungsbedarfs jetzt nach oben, Folie Splitgerät jetzt mit Bildern, Folie mit Effizienzen sehr großer WPs eingefügt, Wort Split-Gerät Rechtschreibung korrigiert.
08.08.23	P. Klafka	Bilder zur Wärmeverteilung bei Decken/Fußbodenheizungen ergänzt
19.09.23	P. Klafka	SCOP: Reihenfolge beim Beispiel geändert passend zu vorherigem Kasten
20.09.23	P. Klafka	Folie mit Heizbedarf je Monat und möglichem PV-Anteil ergänzt
13.10.23	P. Klafka	Folie mit Wochengangline Preise eingebaut von Mitte Oktober 2023 von Energy-Charts mit 0-Preisen und negativen Preisen.

Änderungshistorie

Peter Klafka

Datum	Wer	Was
11.11.23	P. Klafka	Kommentare ergänzt, Folien im Bereich Grundprinzip WP ergänzt für Klarstellung, dass man auf Quellen- und Senkenseite Verminderung des Temperaturniveaus erreichen kann. Viele Folien in Details verbessert.
24.11.23, V56	P. Klafka	Weitere Vorträge aktualisiert, St. Augustin Tibber-Folie hinzugefügt