Willkommen zum Vortrag

Wärmepumpen in Bestandsgebäuden

Foliensatz: Dr.-Ing. Peter Klafka
Änderungen: Dipl.-Ing. Helge Ehrhardt

19.09.2024
Naturfreunde Bochum

Mythen
und Fakten
zur Wärmepumpe

Mythen und Fakten: Wärmepumpe

Falsch	Richtig
Die Behauptung *„Wärmepumpe geht nur im Neubau“* ist falsch.	Wärmepumpen sind in Bestandsgebäuden sinnvoll einsetzbar.
Die Behauptung *„WP sind nur sinnvoll mit Fußbodenheizung“* ist falsch.	Für Wärmepumpeneinsatz ist eine Fußbodenheizung nicht notwendig.
Behauptung *„Geothermie-WP sind immer besser als Luft-WP“* ist falsch.	Luft-Wärmepumpen können genauso oder sogar effizienter sein als Geothermie-Wärmepumpen.
Behauptung *„Luftwärmepumpen sind zu laut für Wohngebiet“* ist falsch.	Es gibt sehr leise Luft-Wärmepumpen, die in Wohngebieten nicht stören.

Mythen und Fakten: Energiesystem

Falsch

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

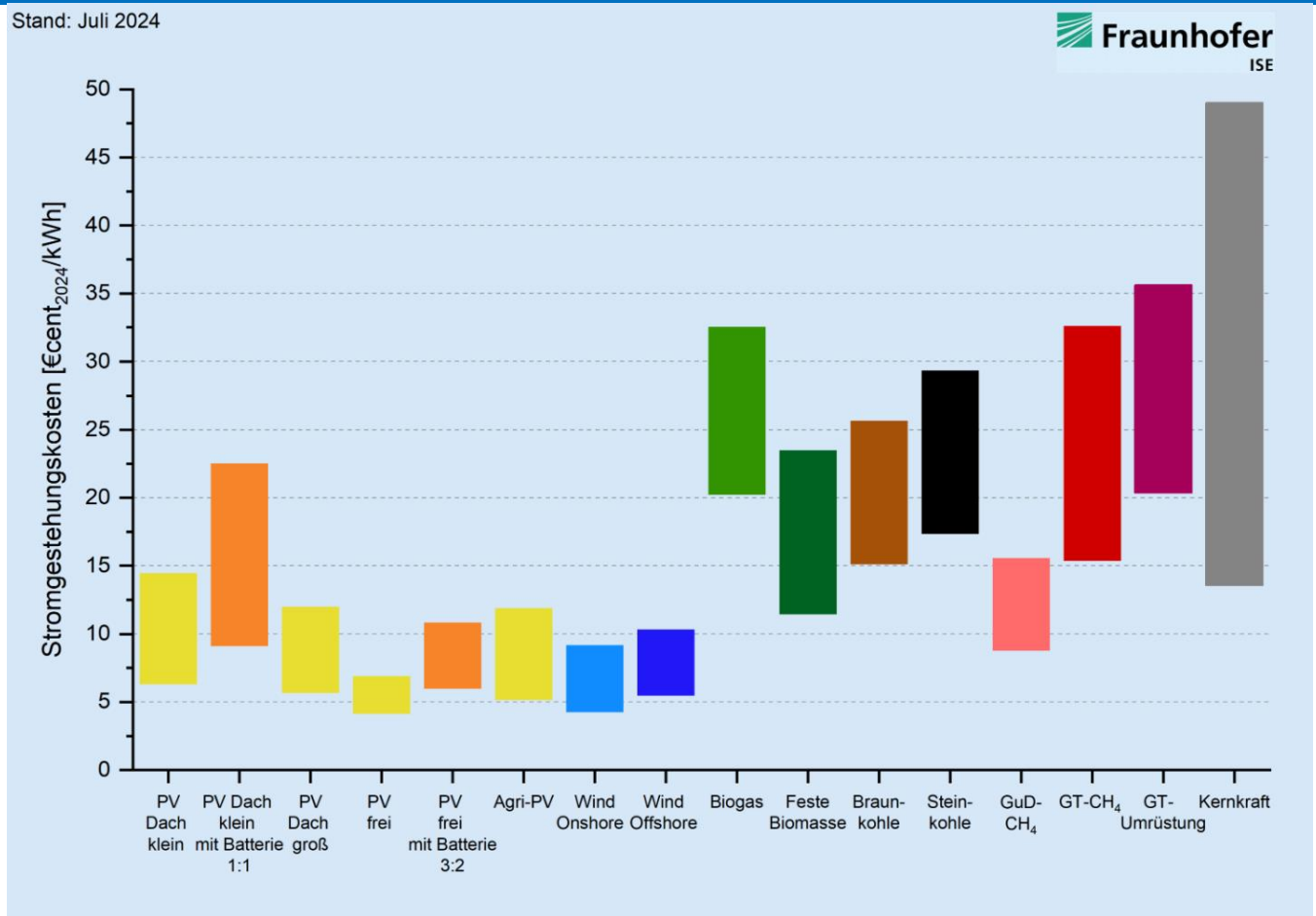
Richtig

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

KeyPoints kommunale Wärmewende
https://de.scientists4future.org/keypoints-kommunale-waermewende/

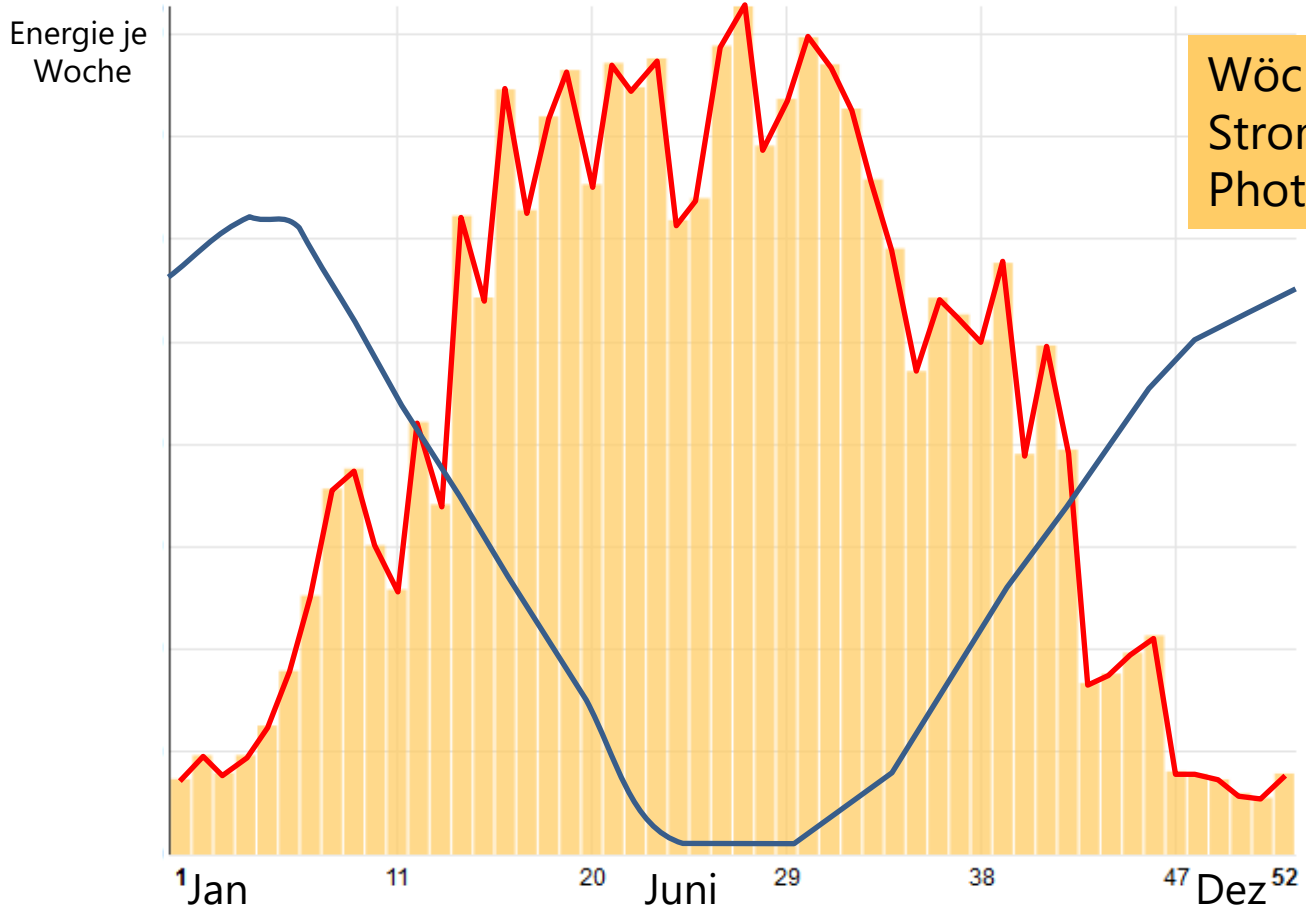
Energiewirtschaft

Stromgestehungskosten in Deutschland



Quelle: https://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/studien/studie-stromgestehungskosten-erneuerbare-energien.html

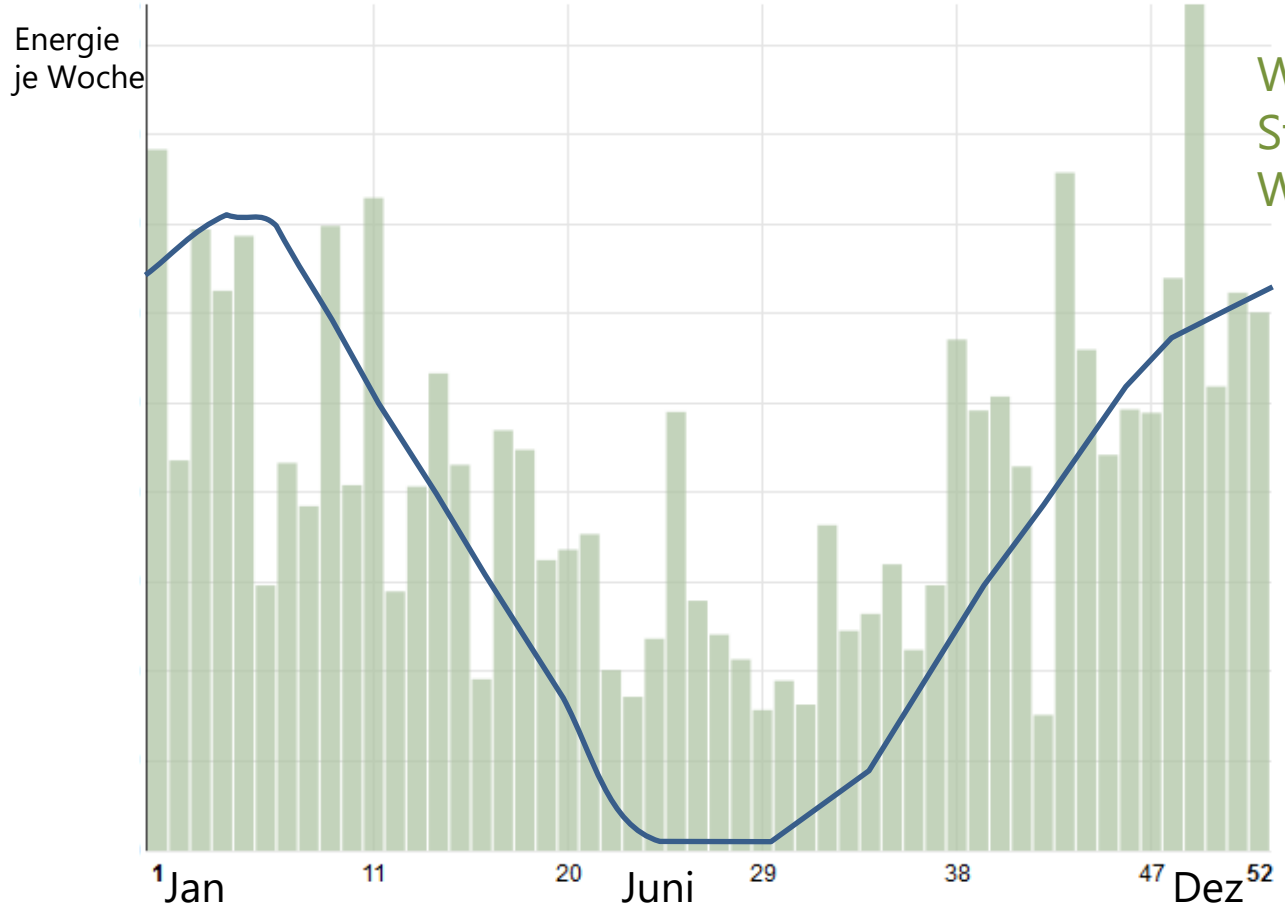
Wochenenergie: Sonne, Last 2018



Wöchentliche Stromerzeugung aus Photovoltaik (2018 in D)

Prinzipieller Jahresverlauf des Heizwärmebedarfs

Wind und Heizwärmebedarf



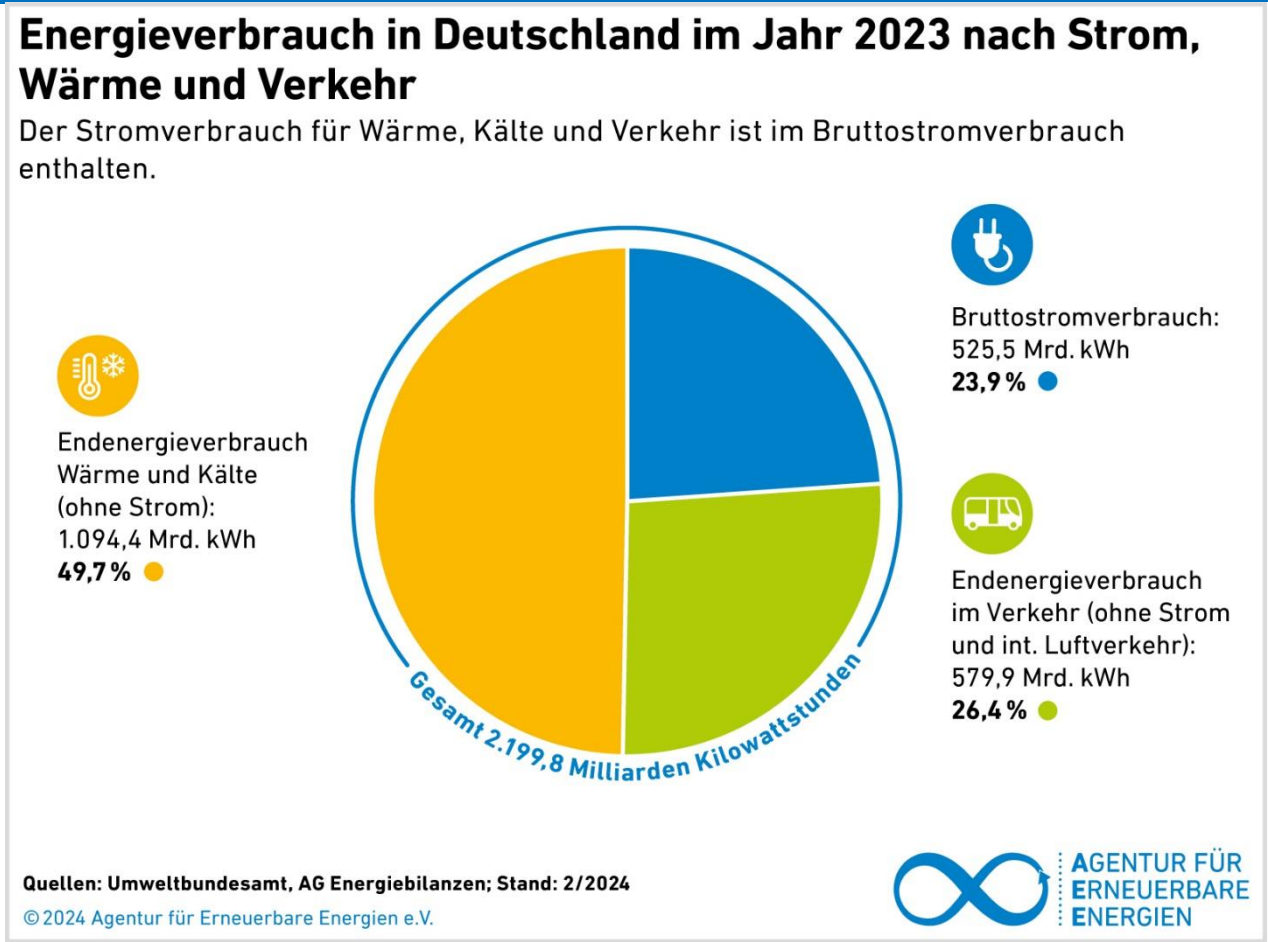
Wöchentliche Stromerzeugung aus Windkraft (2018 in D)

Prinzipieller Jahresverlauf des Heizwärmebedarfs

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

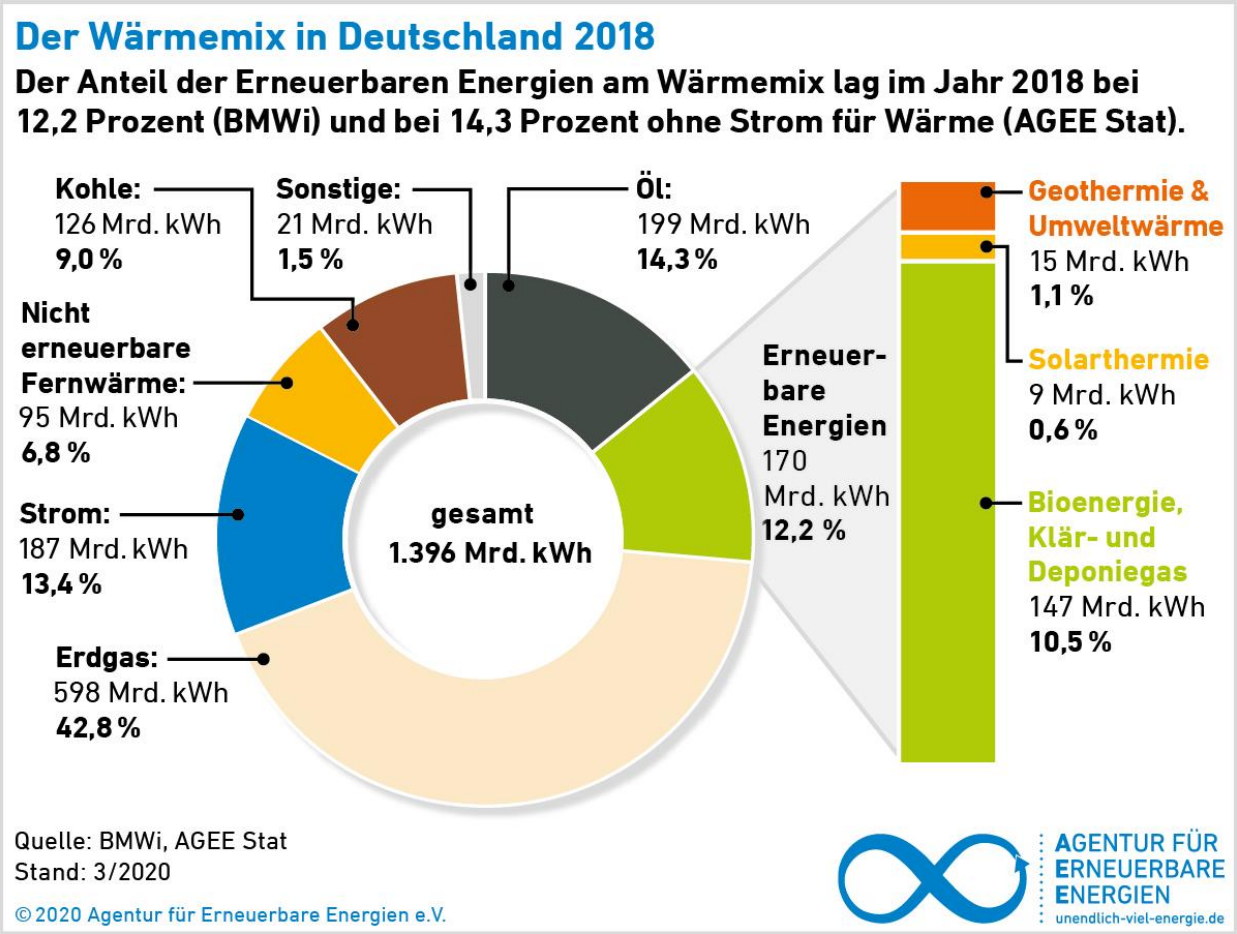
Ein modernes Windrad erzeugt genug Strom zur Wärmeerzeugung mit Wärmepumpen für ca. 10.000 Menschen

Endenergiebedarf in Deutschland



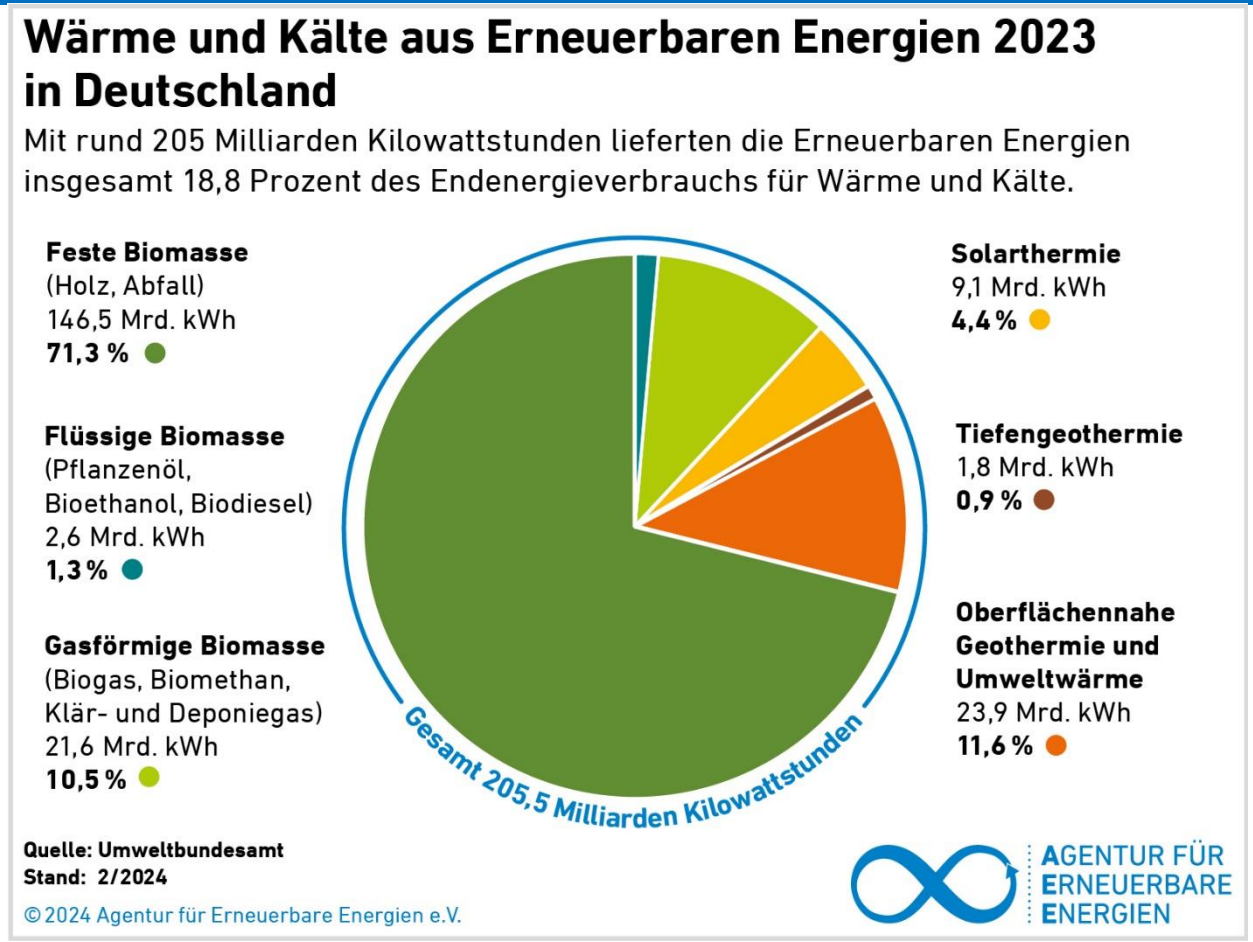
Quelle: https://unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken

Wärmemix Deutschland 2018



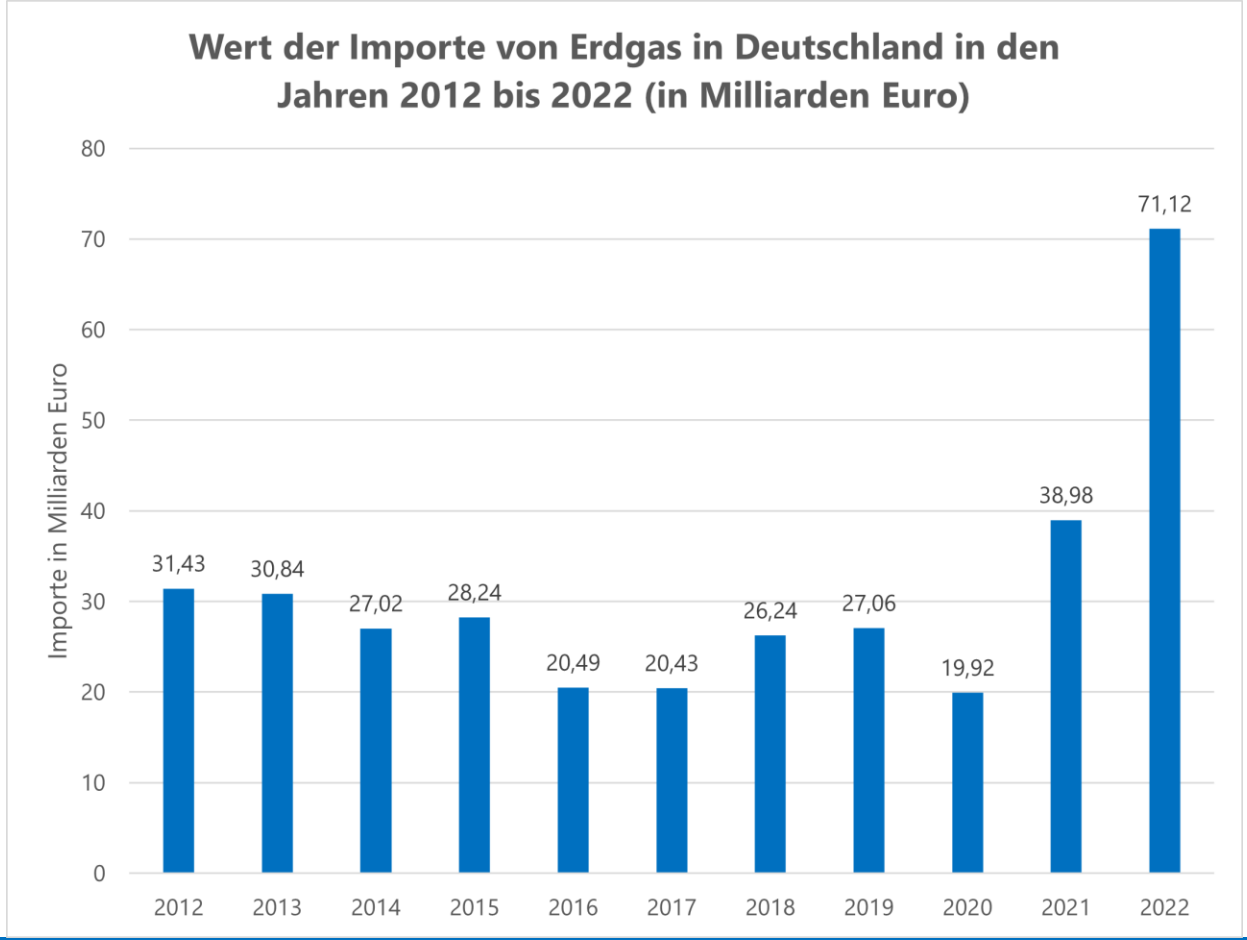
Quelle: https://unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken

Erneuerbare Wärme in Deutschland 2023



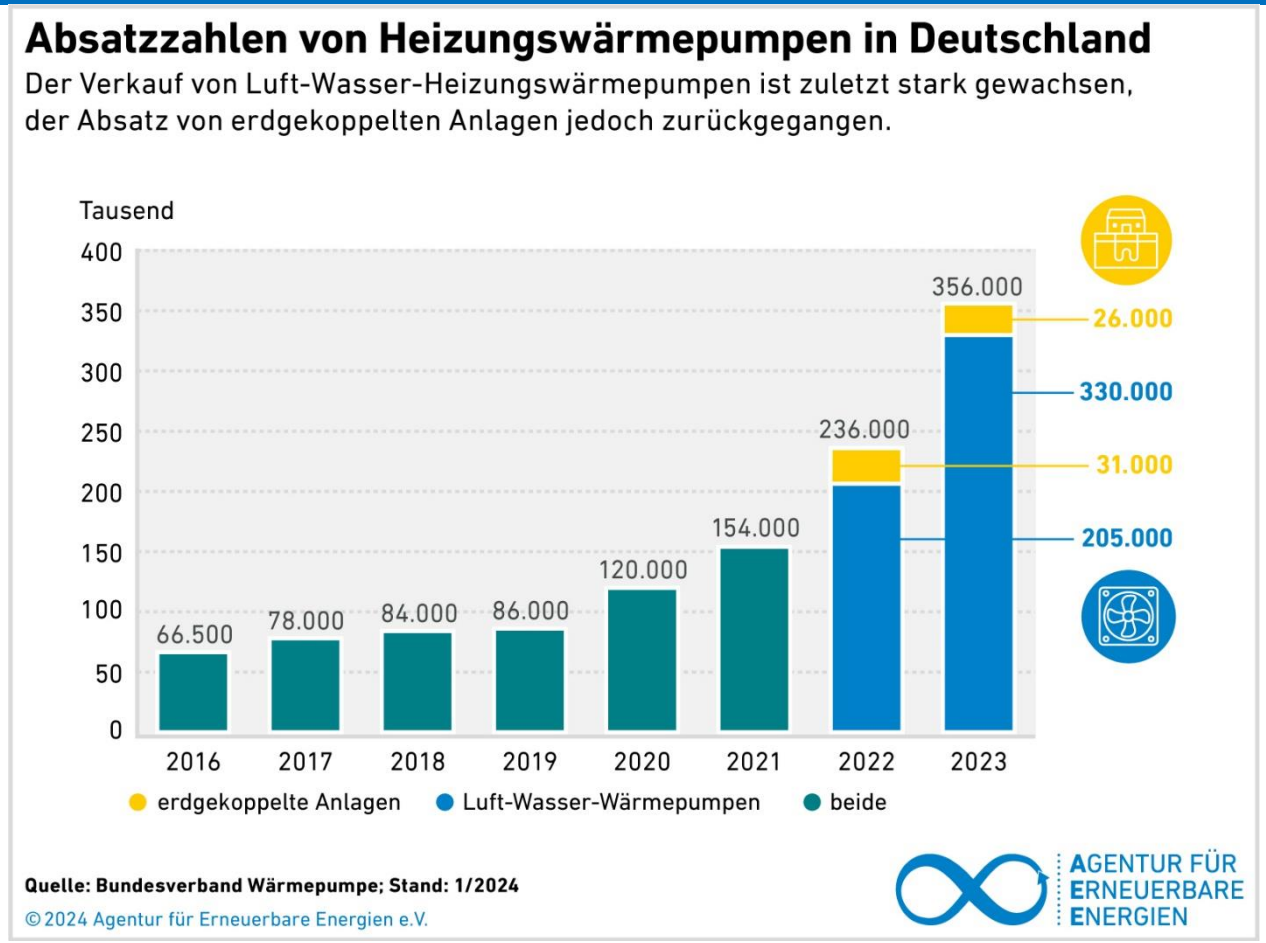
Quelle: https://unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken

Importkosten von Erdgas für Deutschland



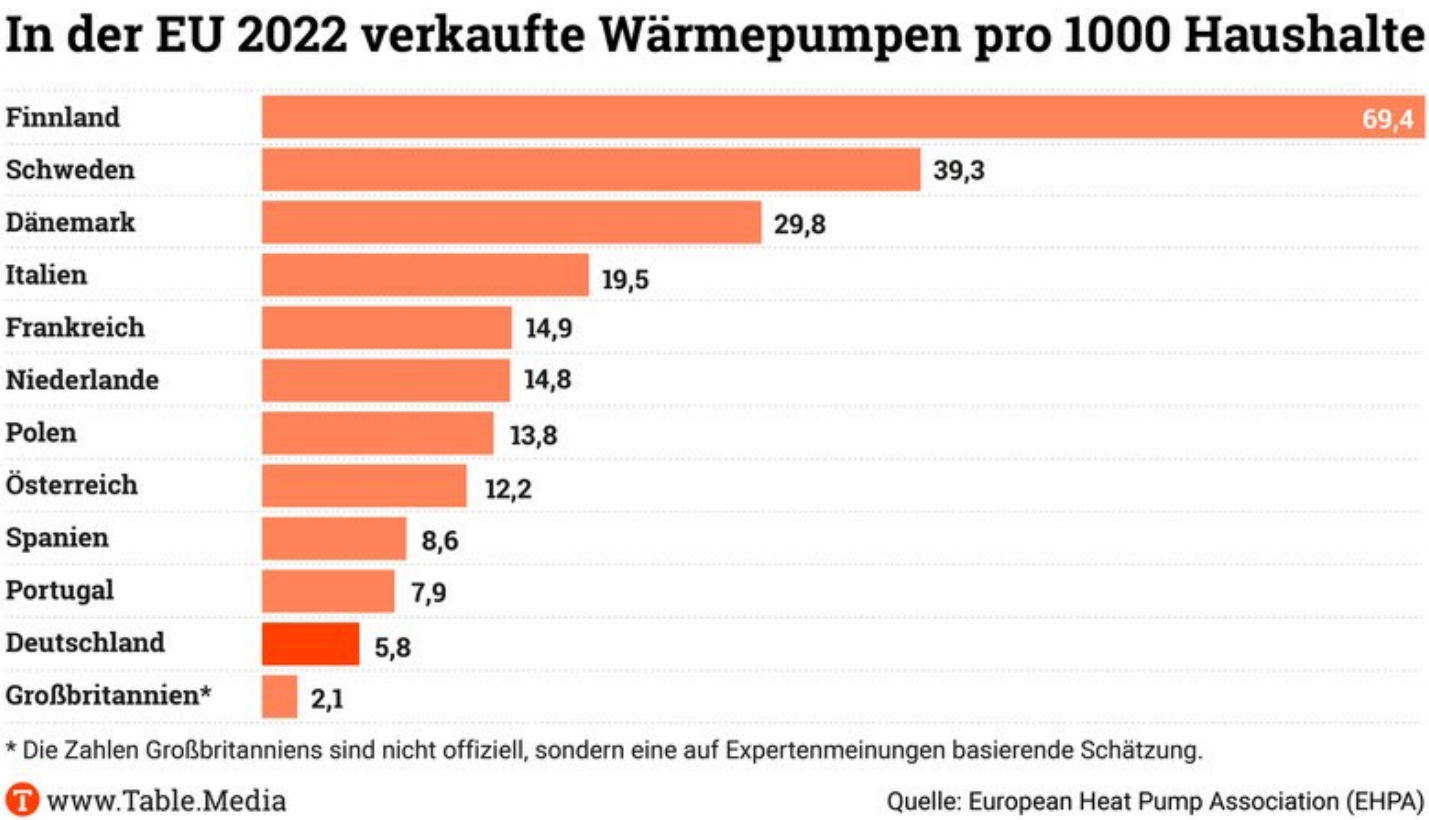
Quelle: https://de.statista.com/statistik/daten/studie/151081/umfrage/importe-von-erdgas-und-rohoel-nach-deutschland/

Absatzzahlen von Wärmepumpen 2016 bis 2023



Quelle: https://unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken

Europäischer Vergleich



Warmwasser-Wärmepumpe

Einfachste Art der Warmwasser-Wärmepumpe

Gute Möglichkeit im **ungedämmten** Keller.

Wärmequelle ist die Kellerluft
Wärme strömt nach durch Kellerwände und Kellerboden

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

Vorteil: Keller wird entfeuchtet

Niedrige elektrische Anschlussleistung

Ca. 2.500 € (nur Gerät)

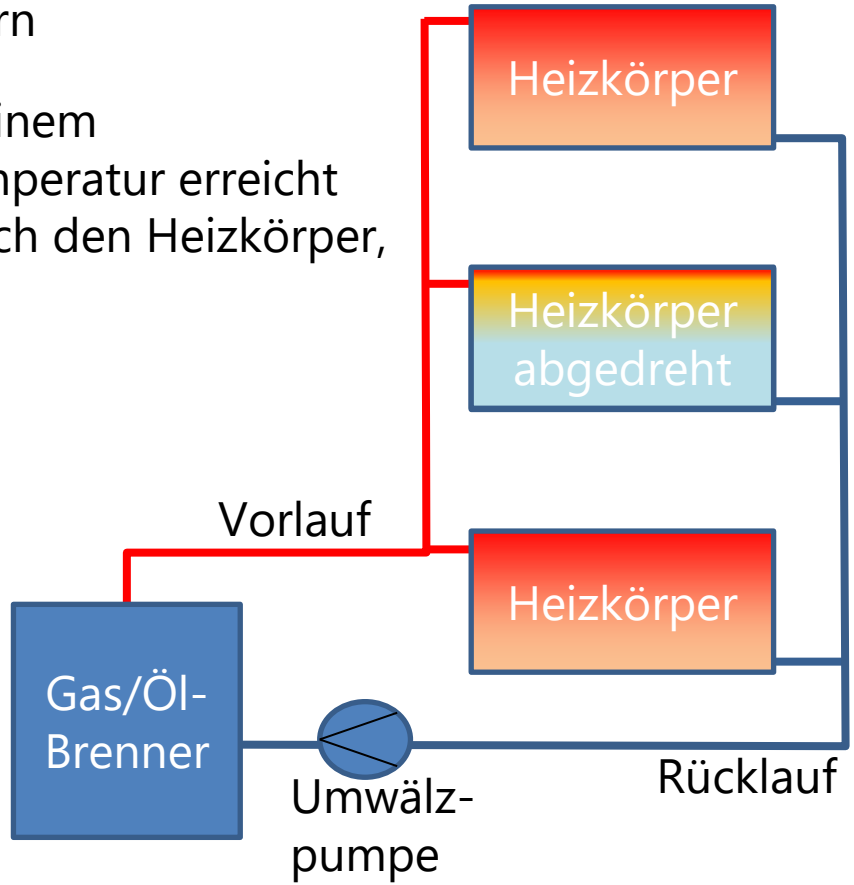
Grundlagen Heizung

(Egal ob fossil oder Wärmepumpe)

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

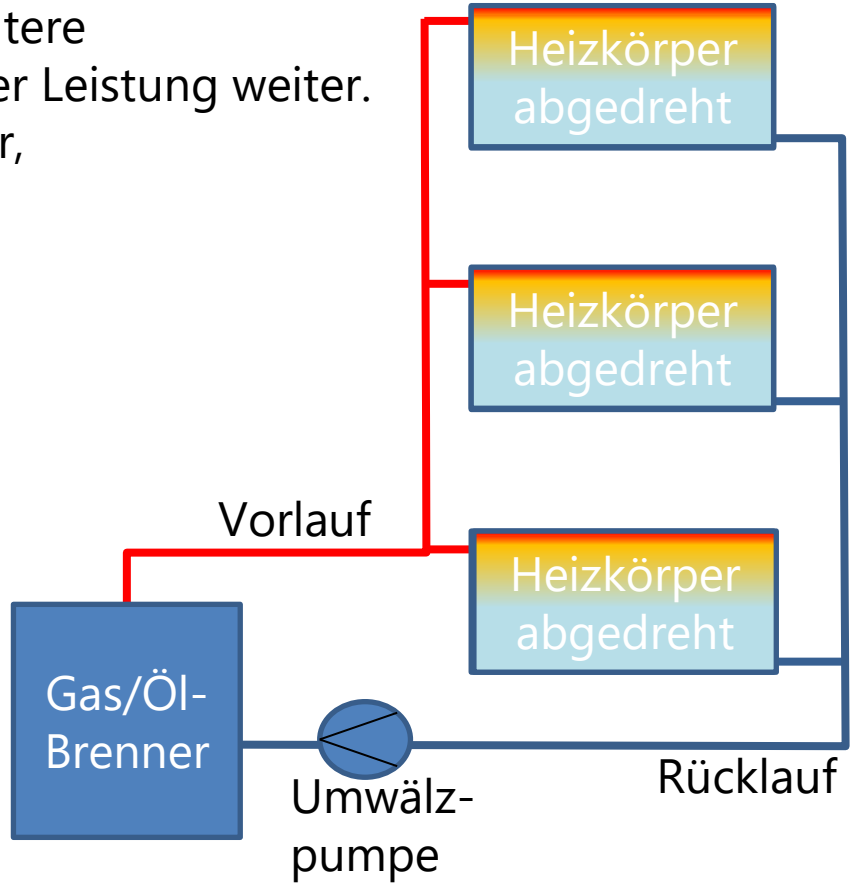


Haben alle Ventile abgeregelt, dann laufen ältere Standard-Umwälzpumpen trotzdem mit voller Leistung weiter. Solche Pumpen sind große Stromverbraucher, oft mehrere hundert kWh pro Jahr.

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

neue Wärmepumpen werden installiert mit Hocheffizienzpumpen

neue Gaskessel auch



Basiswissen Heizung: Heizkörper-Durchströmung

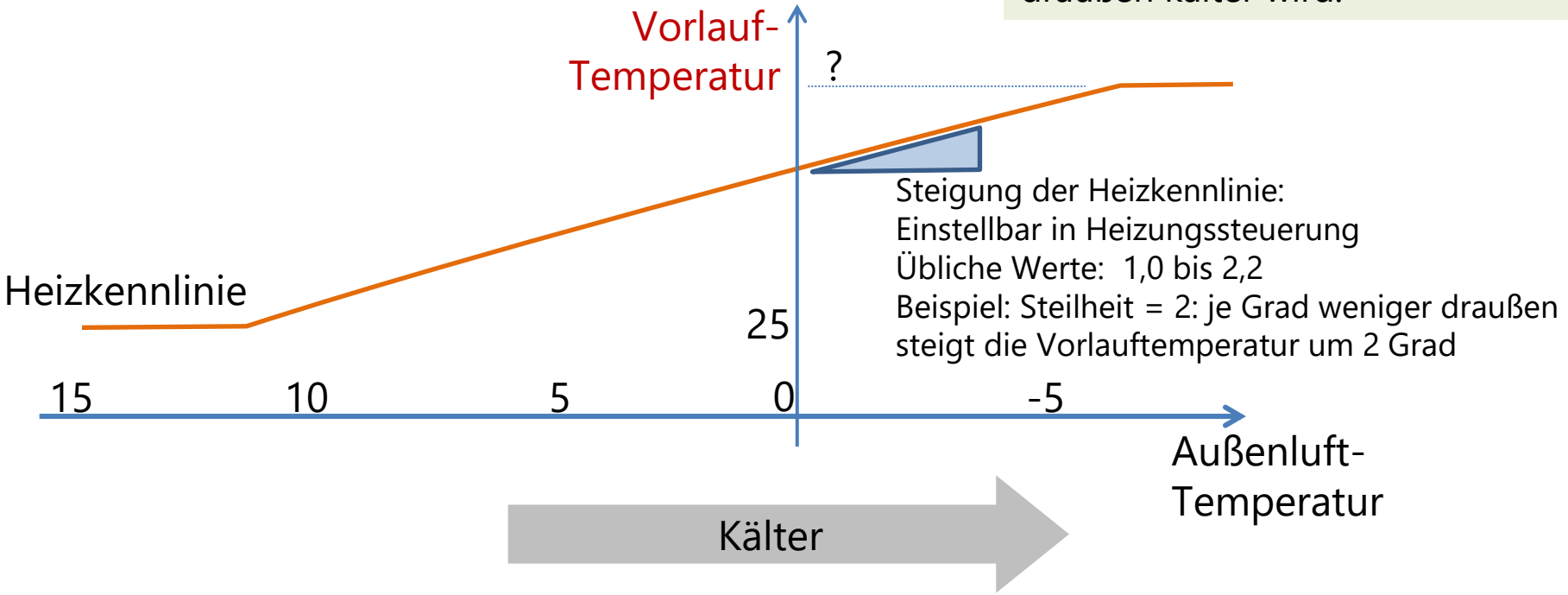
niedrige
Durchströmung

hohe
Durchströmung

höhere
Wärme-Abgabe-Leistung

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

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



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

Die Vorlauftemperatur ist häufig viel zu hoch eingestellt.

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

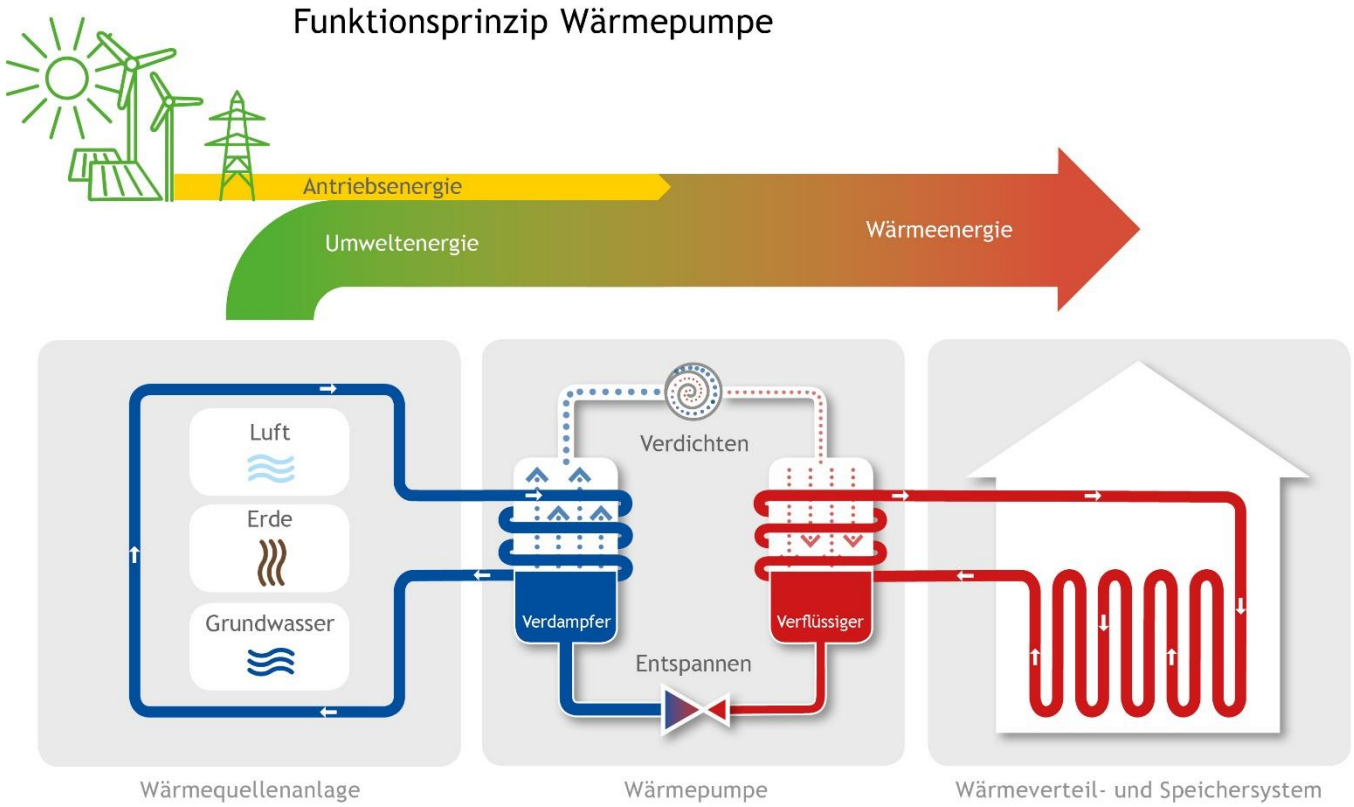
Das verschwendet Energie, erhöht die Treibhausgas-Emissionen und kostet auch bei Gas- und Ölheizungen viel Geld, da:

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

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

Grundprinzip und Ausführungen von Wärmepumpen

Grundprinzip Wärmepumpe



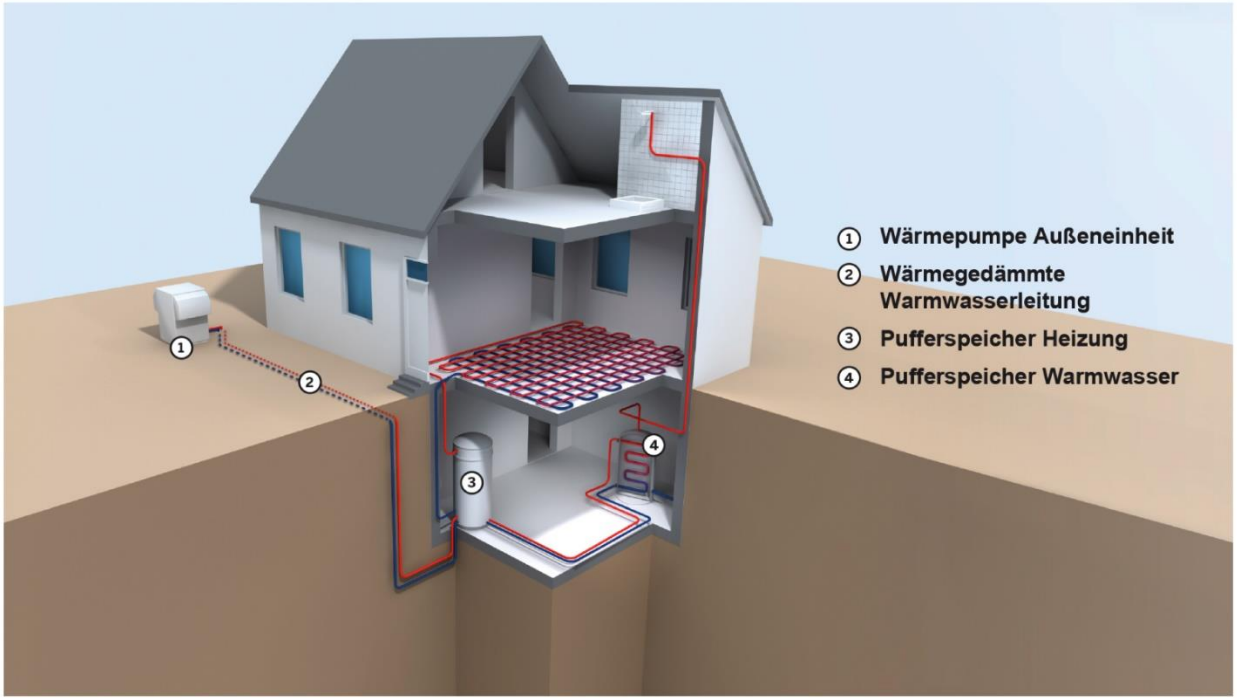
bwp Bundesverband Wärmepumpe e.V.

Quelle: Bundesverband Wärmepumpen e.V.

Ausführungen von Wärmepumpe

Verschiedene Wärmequellen

Luft-Wasser-Wärmepumpe (Kompaktgerät)



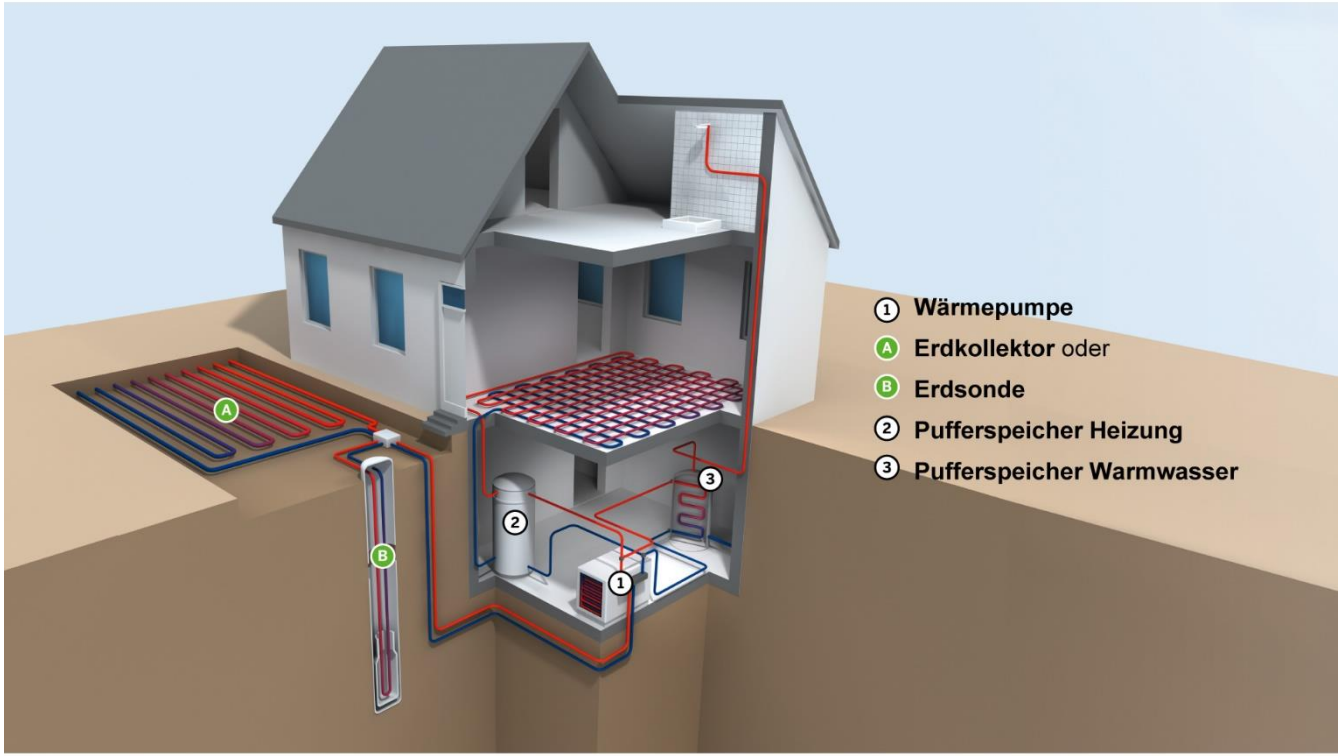
© EnergieAgentur.NRW 06/2017

EnergieAgentur.NRW

Quelle: EnergieAgentur.NRW

Ausführungen von Wärmepumpe

Sole-Wasser-Wärmepumpe mit zwei Varianten der Wärmequellenerschließung



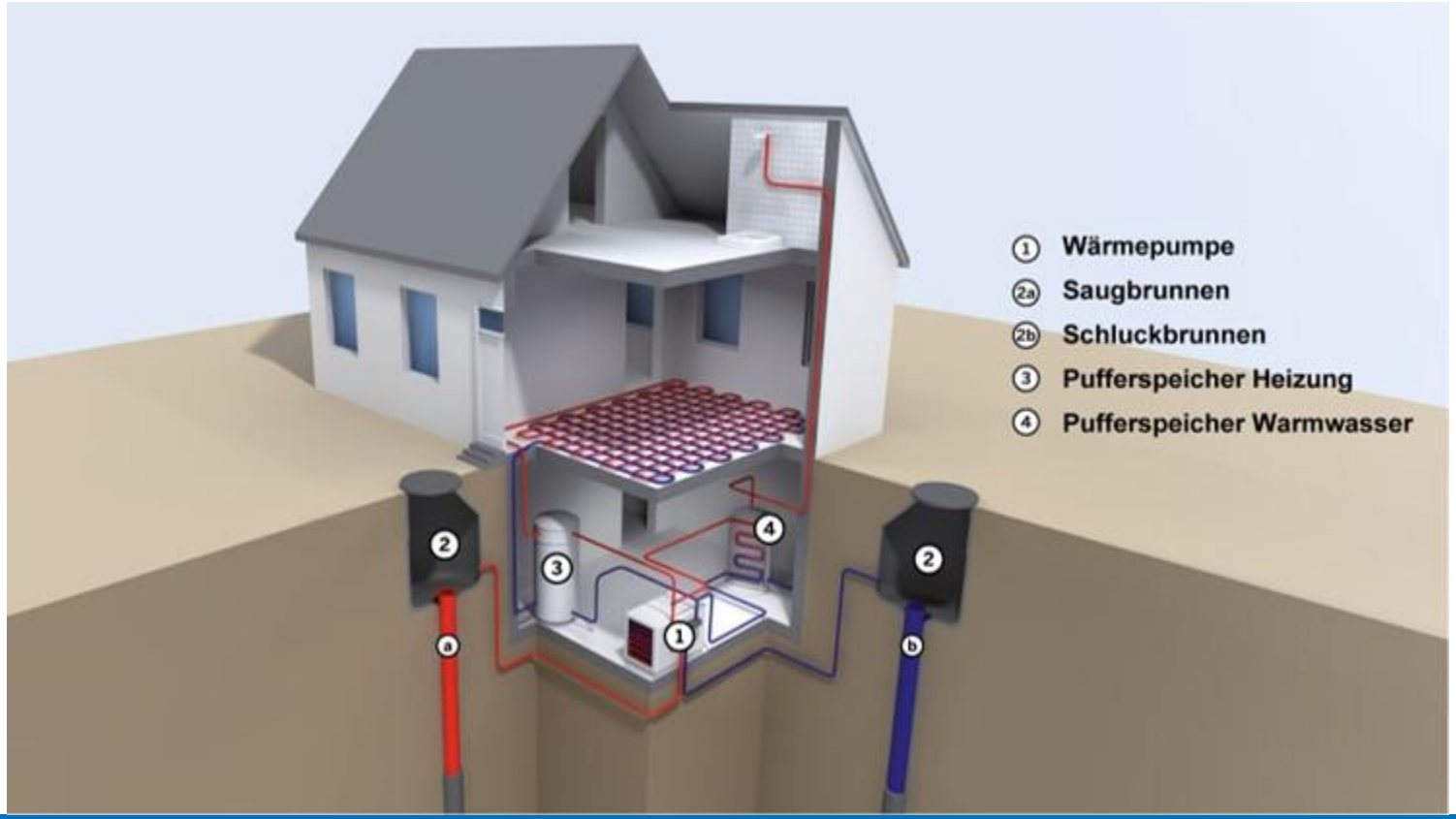
© EnergieAgentur.NRW

EnergieAgentur.NRW

Quelle: EnergieAgentur.NRW

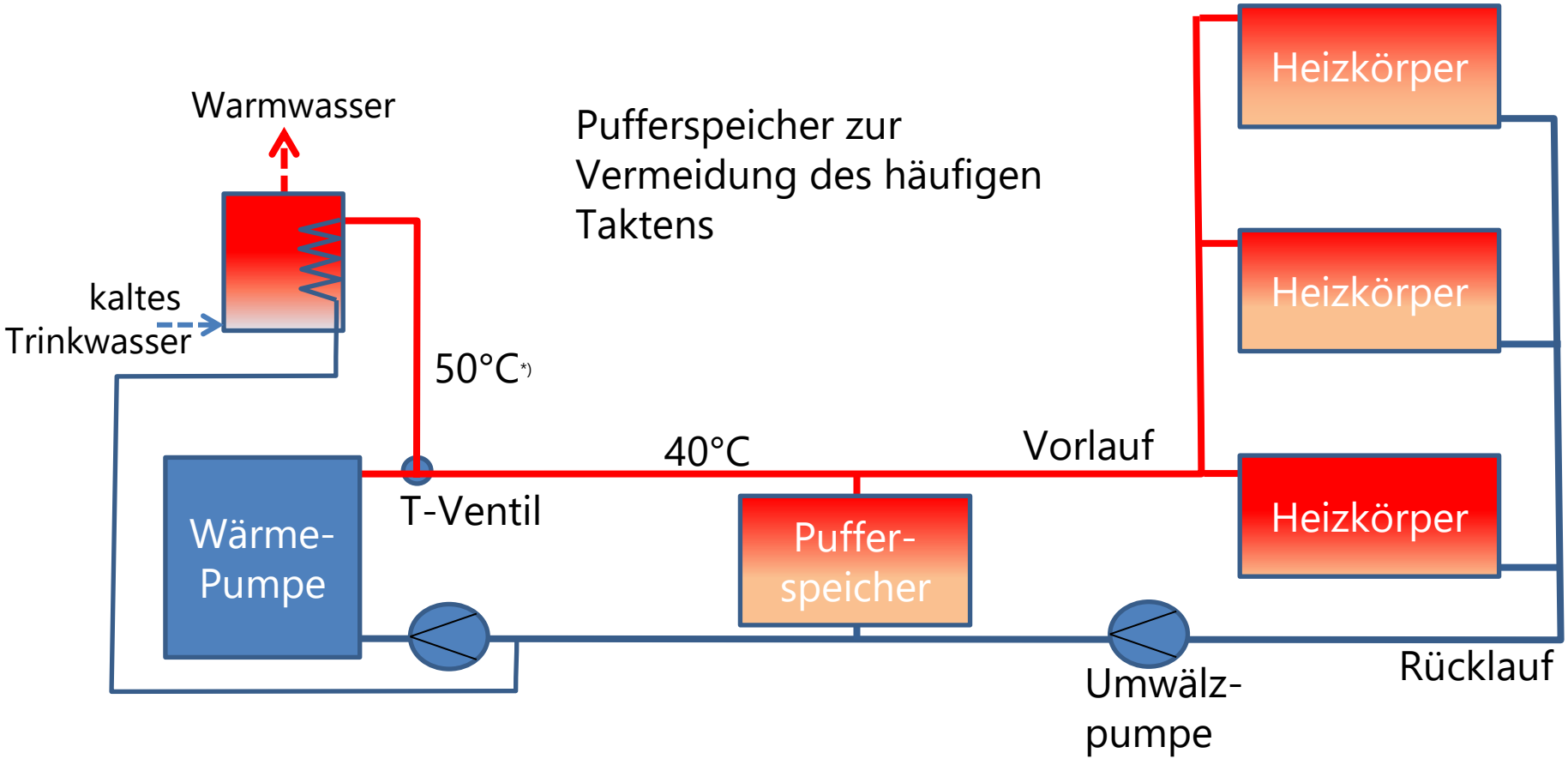
Ausführungen von Wärmepumpe

Wasser-Wasser-Wärmepumpe



Quelle: EnergieAgentur.NRW

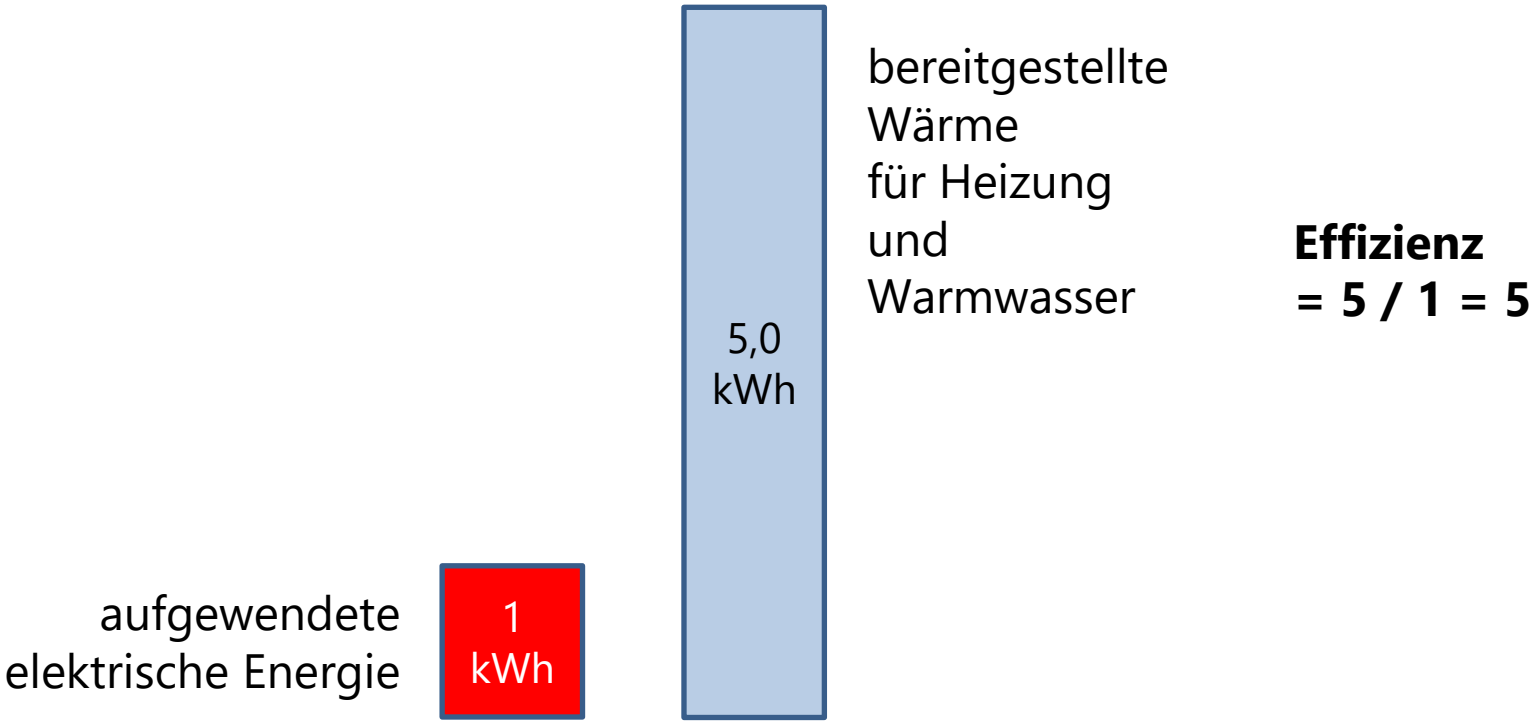
Beispiel für Warmwasserbereitung und Heizung mit Wärmepumpe



*) Legionellenschutzprogramm: 1x Woche 60°C

Effizienz

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



COP coefficient of performance (Leistungszahl)
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*)

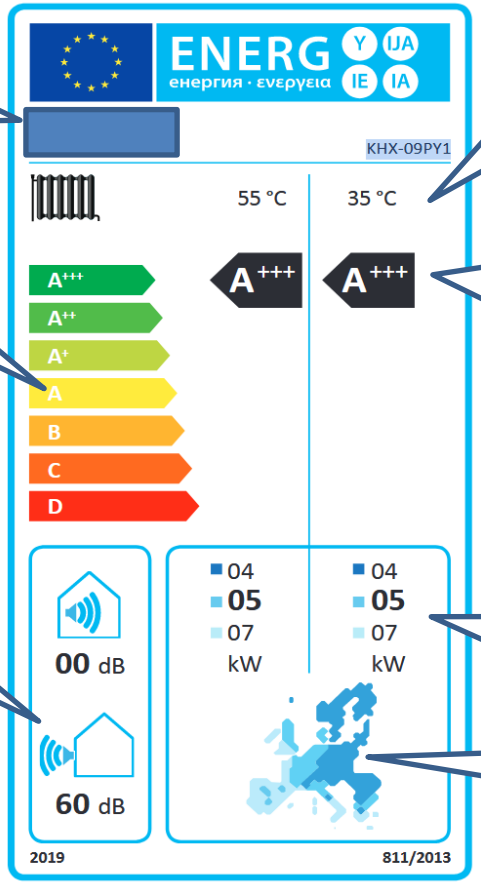
Der SCOP wird separat berechnet und ausgewiesen für:
- Niedertemperatur-Verwendung (Vorlauf <35°)
- Mitteltemperatur-Verwendung (Vorlauf <55°)

Beispiel:
die WP hat für Mitteltemperaturen einen SCOP von 4,5
für Niedertemperaturen einen SCOP von 5,7

Umrechnungs-Beispiel, falls Effizienz in % anegeben:
SCOP = 180% / 100 * 2,5 =4,5

*) Standby nicht im ESCOP

Kennzahlen der Wärmepumpe: EU-Label



WP-Modell-Kennung

Effizienz-klassen

Schall-Pegel

Mittel- und Niedertemperatur-Anwendung

Erreichte Effizienzklasse für Mittel- und Nieder-Temperatur-Anwendung

Wärmeleistungen für die 3 regionalen Temperaturzonen

Temperaturzonen in Europakarte

Stand Anfang 2023
Nur Effizienzklasse A+++ kaufen

Innerhalb von A+++ Verbrauchs-unterschiede von über 20%

Effizienzkennzahl der Wärmepumpe: JAZ

JAZ Jahresarbeitszahl

Verhältnis aus tatsächlicher Wärmebereitstellung zu Energiebedarf
Angabe für ein konkretes Jahr für eine konkrete Anlage
JAZ = kWh_{th} / kWh_{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

Eine Marktübersicht:
Liste der förderfähigen Wärmepunkte der BAFA:

https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/beg_waermepumpen_anlagenliste.html

Enthält ETAs 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

Heizstab und Effizienz

- 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 WP-Betrieb ist unwirtschaftlich

- Prüfen, ob ein Heizstab überhaupt eingebaut werden soll.
- Wenn ja, Empfehlung: nur manuelle Aktivierung
- Einbau auch im Speicher möglich

Wenn automatisch: Heizstabeinsatz kontrollieren

Kältemittel

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

Kältemittel	GWP
R410a	2088
R134a (Tetrafluorethan)	1430
R32 (CH2F2)	635
R290 (Propan)	**3**

Beispiel: 1 kg Kältemittel R134a
hat Klimawirkung von 1,43 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

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

Ausreichende Leistung ermitteln

In Abhängigkeit von Normaußentemperatur: z.B. für -7,5°C

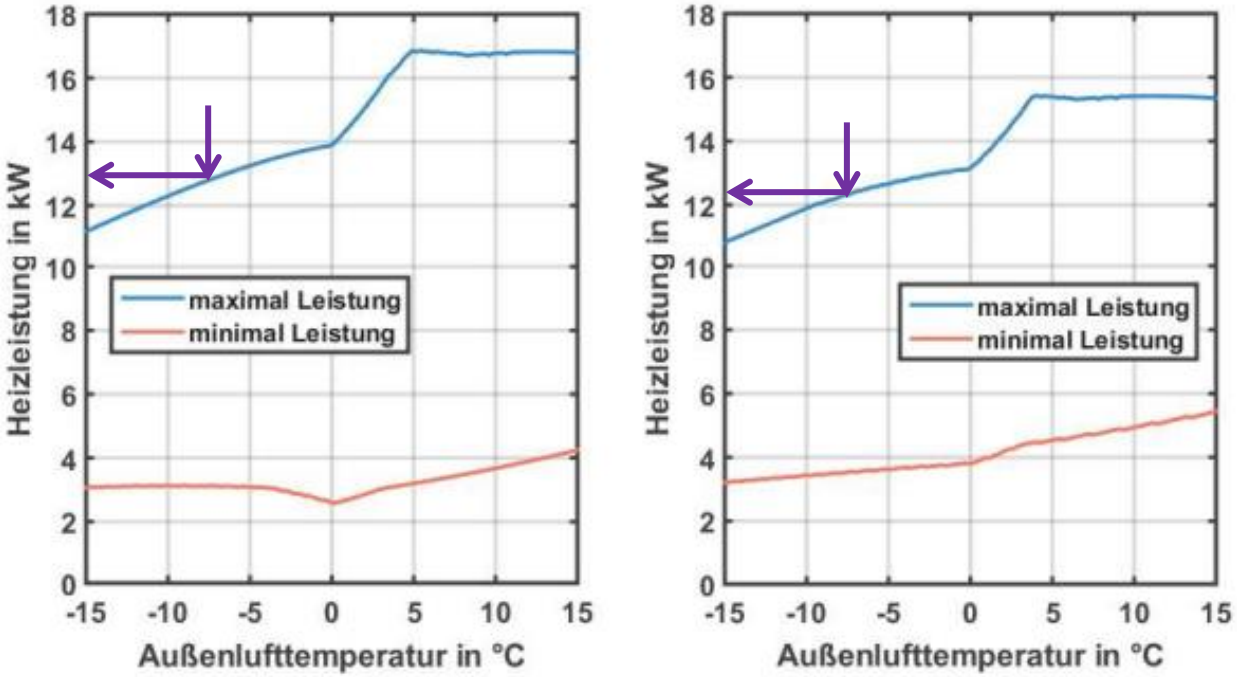


Abbildung 29: EU13L bei 5K Spreizung (links: 35°C Vorlauftemperatur / rechts: 55°C Vorlauftemperatur)

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°C

neue Norm: auf Basis 1995 – 2012: - 7,1°C

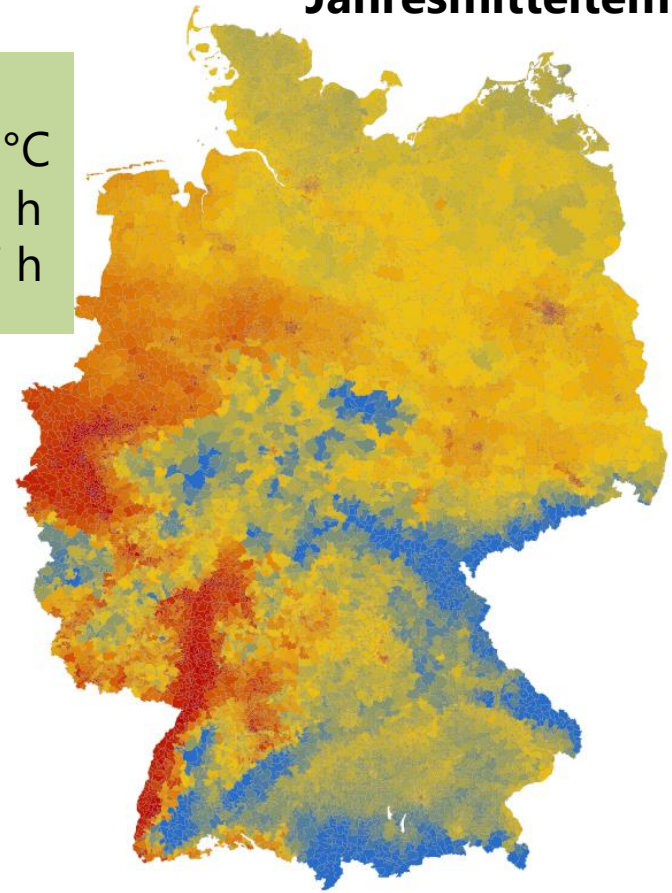
Luft-Wärmepumpe ist eine gute Option in vielen Regionen

Lufttemperatur

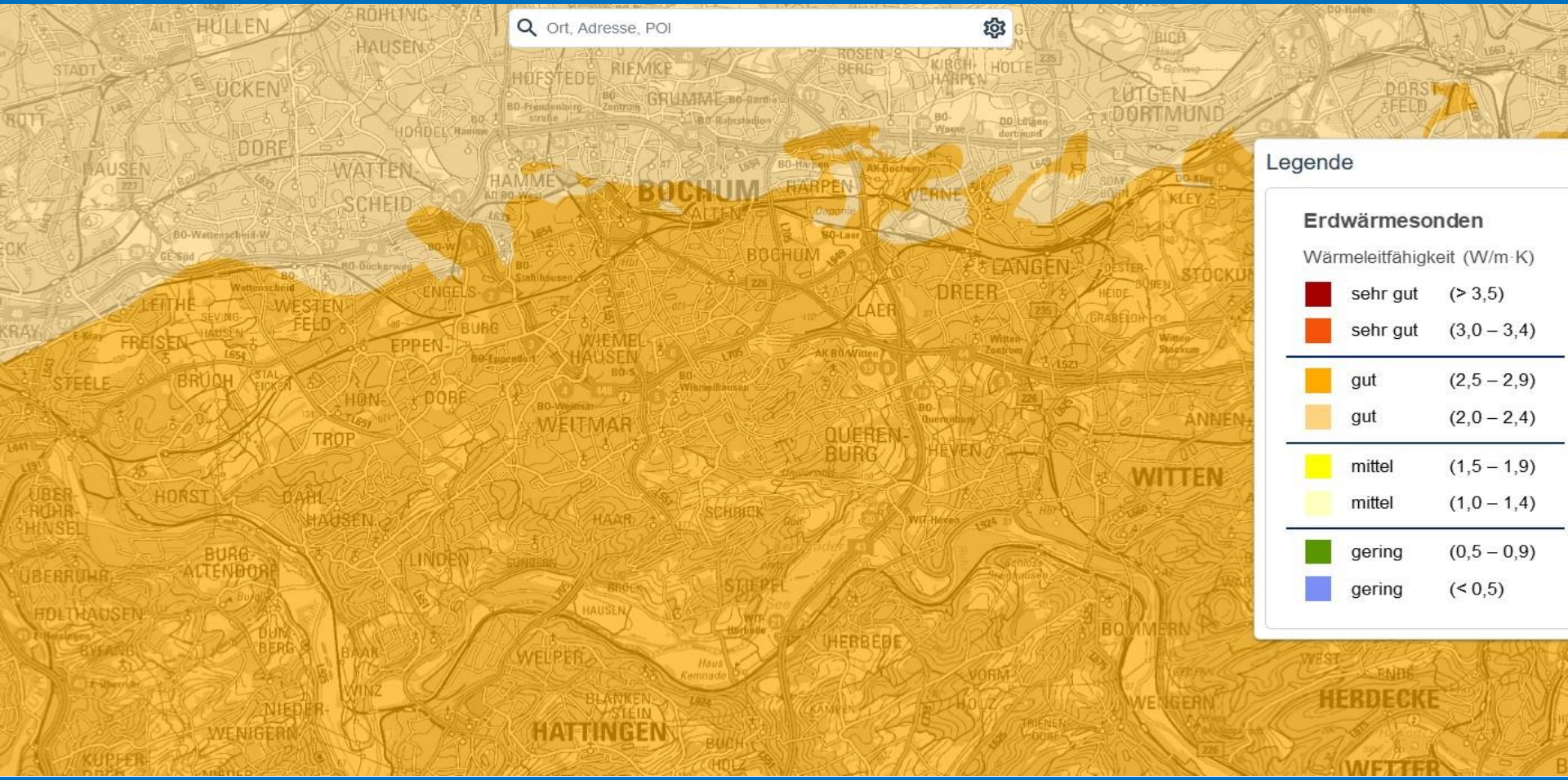
Normaußentemperatur

In Bochum:
Norm-T: -8,3°C
< 0°C : 699 h
<-7°C : 57 h
Datenbasis: 2008 - 2022

Jahresmitteltemperatur



Geothermie: 100m Sondenlänge



Handlungsanleitung benötigte Wärmepumpen-Leistung ermitteln

Heizleistung bestimmen aus Jahresmenge

- 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. 0,8 bis 1 (Brennwertheizung mit niedrigen Vorlauftemperaturen)
- Volllaststunden:
  - Für Wohngebäude ohne Warmwasserbereitung: 2000 h/a
  - Für Wohngebäude mit Warmwasserbereiter: 2300 h/a
- Beispiel: 20.000 kWh Jahresenergieverbrauch * 0,9 / 2300
  Heizleistung = 7,8 kW

www.heizreport.de

https://www.youtube.com/watch?v=VVX5D867gx0&t=19s

Heizreport: Wärmepumpencheck

Übersicht	
Anzahl erfasste Räume:	6
Anzahl Heizkörper:	6
Anzahl Fußbodenheizung:	0 Kreise

Systemtemperaturen 55/45	
Geeignete Heizkörper:	6 von 6
Zu tauschende Heizkörper:	**0**

Systemtemperaturen 45/30	
Geeignete Heizkörper:	3 von 6
Zu tauschende Heizkörper:	**3**

Maßnahmen um die benötigte Vorlauftemperatur zu senken

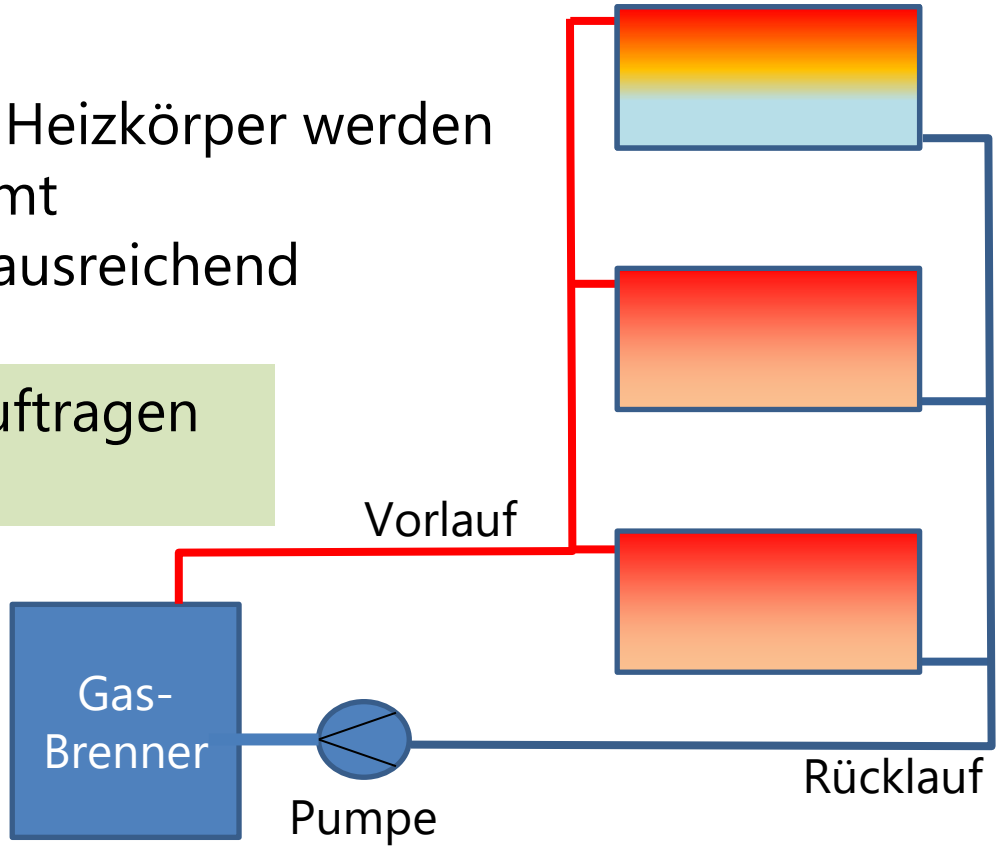
Hydraulischer Abgleich

Benötigte Vorlauftemperatur 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.



Hydraulischer Abgleich durchführen

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

Fachfirma beauftragen

Weitere Maßnahmen zur Senkung der Vorlauftemperatur

Benötigte Vorlauftemperatur senken: weitere Möglichkeiten

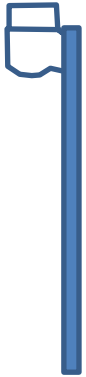
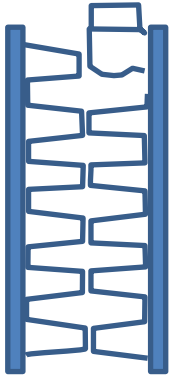
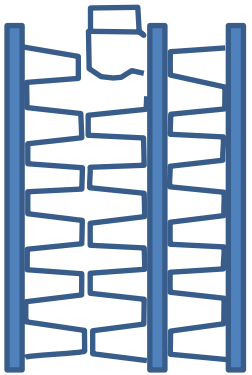
Vorlauftemperatur senken bis ein oder mehrere Räume nicht ausreichend warm werden, dann in diesen Räumen

- Handtücher runternehmen (Badezimmerheizkörper)
- Heizkörper-Abdeckungen entfernen, Möbel abrücken
- Ventilator nachrüsten
- zusätzliche Heizkörper aufhängen
- Heizkörper tauschen gegen einen mit mehr Wärmeabgabe
  Fläche größer oder dicker durch mehr Bleche / Rohre
- Heizkörper mit Ventilator installieren (ermöglicht Kühlung im Sommer)
- Dämmen (Fenster, Wände, Dach, Kellerdecke)
- Wandheizung installieren
- Deckenheizung installieren
- Fußbodenheizung installieren

Wichtig:
hier sind wasserführende Heizungen gemeint,
nicht verwechseln mit Elektro-Infrarot-Heizungen

Heizkörper: Einfluss der Typen auf benötigte Vorlauftemperatur

Heizkörpergröße
Breite: 140 cm
Höhe: 50 cm
T_{Raum}: 21°C
Leistung: 950 W

	Typ 10	Typ 11	Typ 21	Typ 22	Guß-Radiator	Typ 33
						
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**
Für WP Lambda-EU15L						
Mehrverbrauch Strom ggü. Typ 33:	250%	52%	25%	17%	8%	0%

3-säuliger Stahlrohrradiator hat ähnliche Werte

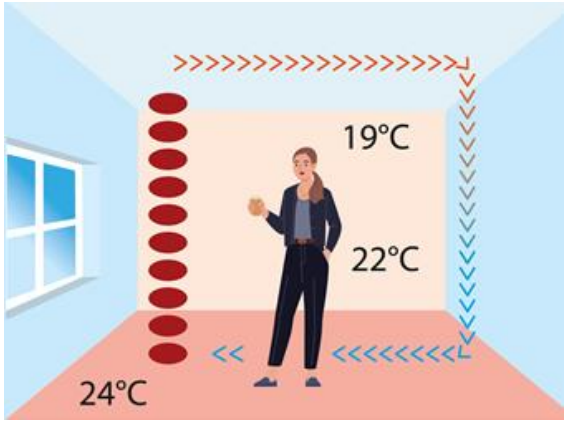
Flächenheizungen:
Wand, Decken- und Fußbodenheizungen

Beispiele für Ausführung von Wand- und Deckenheizungen

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

Förderung

Heizungsförderung für Privatpersonen – Wohngebäude (458)

Privatpersonen, die Eigentümer eines Einfamilienhauses sind und dieses selbst bewohnen, können sich ab sofort im Kundenportal „Meine KfW" registrieren und einen Antrag auf die neue Heizungsförderung stellen.

Erfahren Sie auf einen Blick, wie viel Förderung Sie für den Heizungstausch in Ihrem selbstgenutzten Einfamilienhaus erhalten können:

> Zur Übersicht der Konditionen

Voraussichtlich ab Mai 2024 sind antragsberechtigt:

- Eigentümerinnen oder Eigentümer von bestehenden Mehrfamilienhäusern (mit mehr als einer Wohneinheit)
- Wohnungseigentümergemeinschaften (WEG) in Deutschland, sofern Maßnahmen am Gemeinschaftseigentum umgesetzt werden

Voraussichtlich ab August 2024 sind antragsberechtigt:

- Eigentümerinnen oder Eigentümer von vermieteten Einfamilienhäusern
- Eigentümerinnen oder Eigentümer von selbstbewohnten oder vermieteten Eigentumswohnungen in Wohnungseigentümergemeinschaften in Deutschland, sofern Maßnahmen am Sondereigentum umgesetzt werden

Quelle: https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Heizungsförderung/

KfW Heizungsförderung für Privatpersonen – Wohngebäude (458)

Ab dem 27.08.2024 sind antragsberechtigt:

- Eigentümerinnen oder Eigentümer von vermieteten Einfamilienhäusern
- Eigentümerinnen oder Eigentümer von selbstbewohnten oder vermieteten Eigentumswohnungen in Wohnungseigentümergemeinschaften in Deutschland, sofern Maßnahmen am Sondereigentum umgesetzt werden

Zuschuss Nr. **458**

Heizungsförderung für Privatpersonen – Wohngebäude

Für den Kauf und Einbau einer neuen, klimafreundlichen Heizung

- Zuschuss bis zu 70 % der förderfähigen Kosten
- für Eigentümerinnen und Eigentümer von bestehenden Wohngebäuden in Deutschland
- für den Kauf und Einbau einer neuen, klimafreundlichen Heizung

> Zu den Details

KfW Heizungsförderung für Privatpersonen – Wohngebäude (458)

Basisförderung	**30 %**
Klimageschwindigkeits-Bonus	**20 %***
Für den Austausch alter Öl-, Kohle-, Nachtspeicher- oder mindestens 20 Jahre alter Gas-Heizungen	
Einkommensabhängiger Bonus	**30 %**
Für Haushalte mit einem zu versteuernden Jahreseinkommen von weniger als 40.000 €	
Effizienz-Bonus	**5 %**
Für den Einsatz von Wärmepumpen mit natürlichen Kältemitteln oder Erdwärme als Wärmequelle	

Höchstfördersatz	**70 %**

Förderfähige Kosten

Die **Förderung** wird auf **maximal 30.000 Euro Investitionskosten für die erste Wohneinheit** gewährt.

Das bedeutet beispielsweise in der **Basisförderung** einen **maximalen Zuschuss** von **9.000 Euro**, beim **Höchstfördersatz** einen **maximalen Zuschuss** von **21.000 Euro**.

* Der Klima-Geschwindigkeitsbonus sinkt ab 2029 alle zwei Jahre um 3 Prozentpunkte. Ab 1. Januar 2037 entfällt der Bonus.

Quelle: Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V.

Optimierung und Zukunftsperspektive

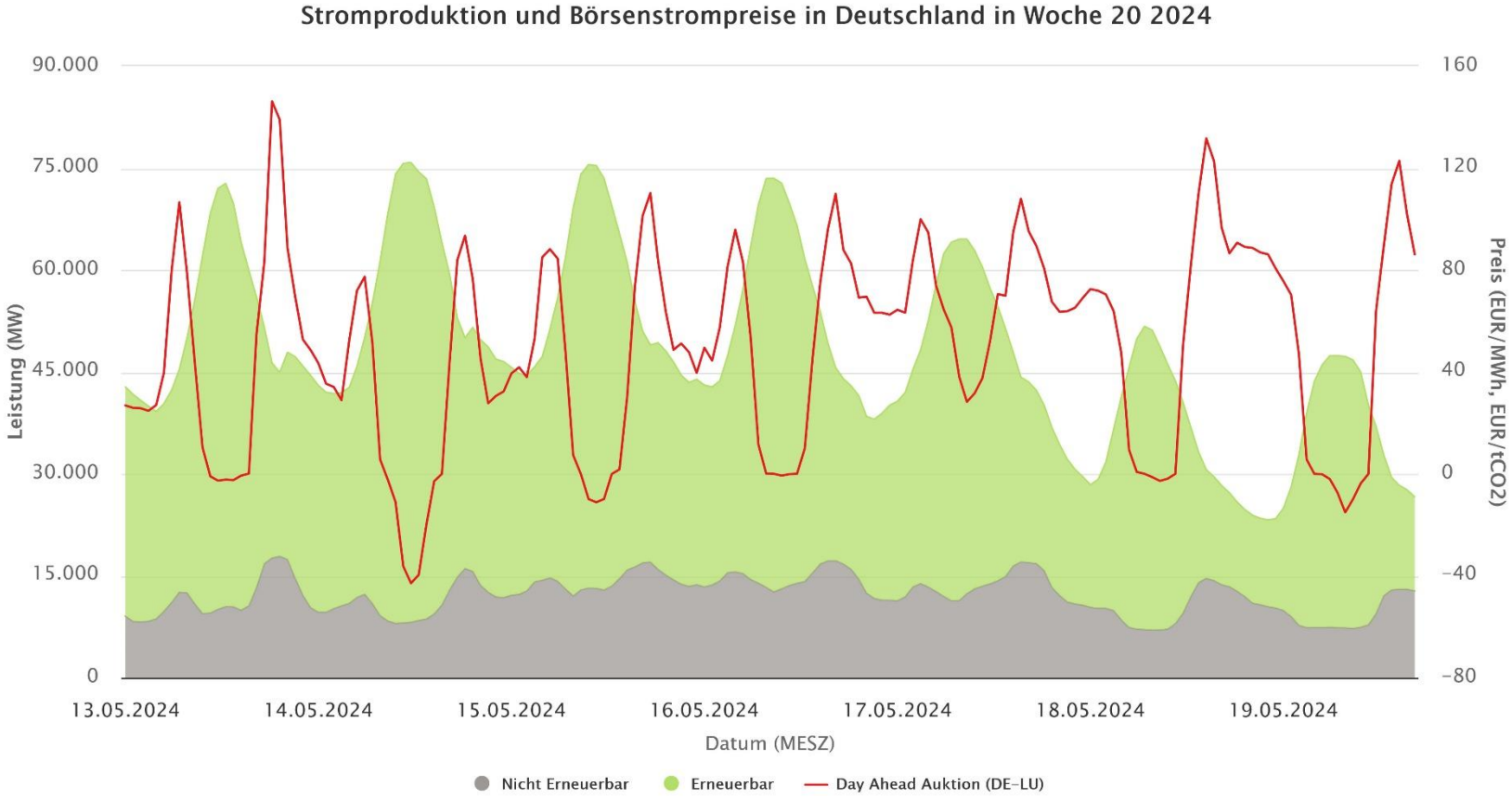
Man braucht einen Wärmespeicher

- 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

Für Bestandsgebäude:
Dringend empfohlen: Pufferspeicher einbauen,
je kW_{th} : > 50 Liter

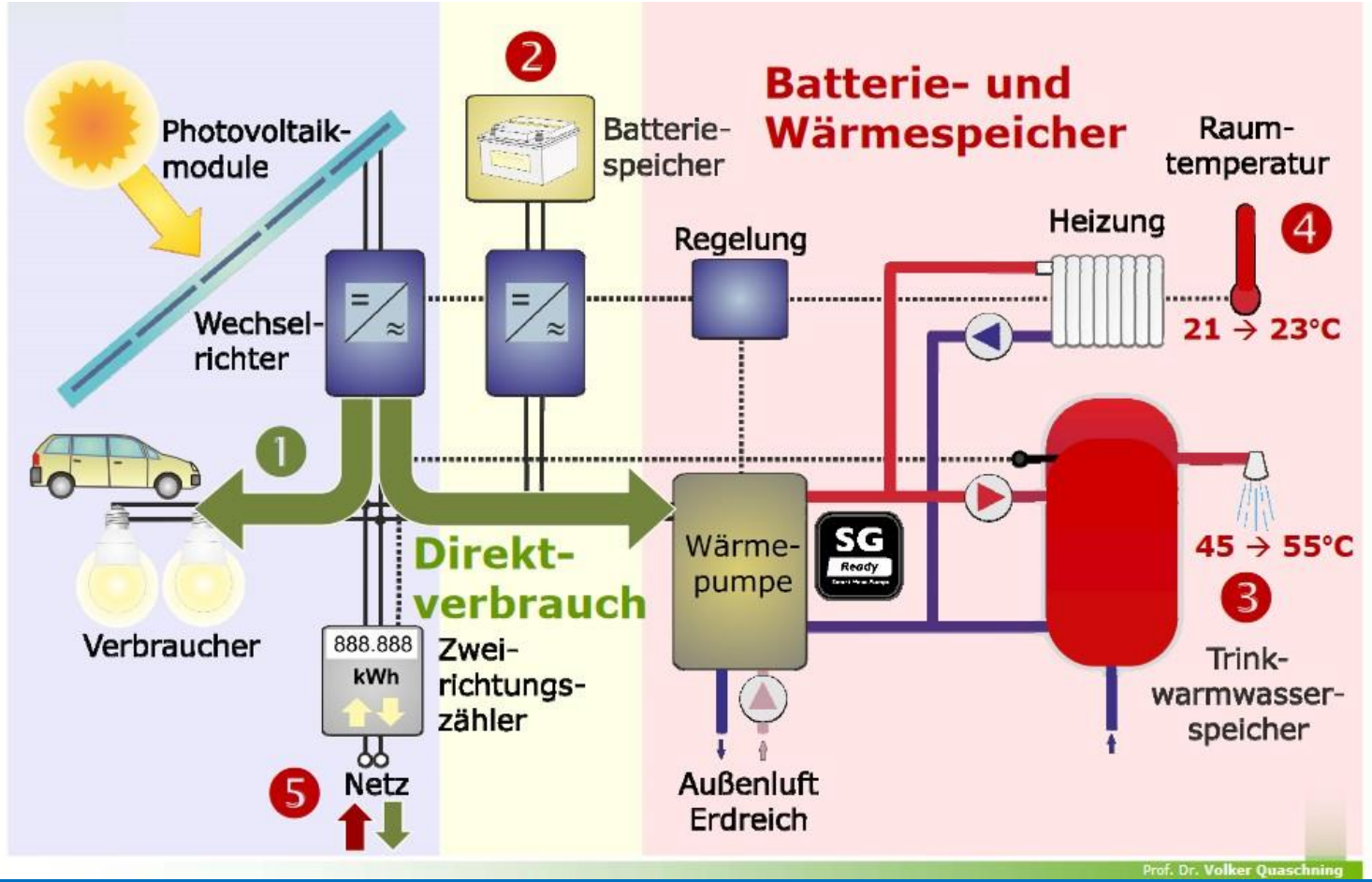
Speicher sehr gut isolieren, insbesondere auch Anschlussstutzen

Börsenstrompreis 2024 - KW 20



Quelle: Fraunhofer ISE

Fossilfreie Gebäudeversorgung



Zusammenfassung

Zusammenfassung

- Wärmepumpen sind volkswirtschaftlich sinnvoll
- Wärmepumpen sind auch in Bestandshäusern gut einsetzbar
- Wichtig ist eine möglichst geringe Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle (Luft, Wasser, Erde) 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, Ruhrgebiet, flaches Norddeutschland, … , Luftwärmepumpen sind dann eine gute Option
- Auf Kältemittel achten, möglichst niedriges Treibhauspotential
  Propan (R290) mit GWP 3 ist der Goldstandard

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

zur Vorbereitung einer WP-Anschaffung:
- benötigte Vorlauftemperatur bestimmen
- benötigte Heizleistung bestimmen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Links

Weiterführende Links

Originalvortrag (2:15 h) Dr. Peter Klafka: Wärmepumpen - Bewehrt und preiswert
https://www.youtube.com/watch?v=fcFgERf96SU&t=1615s

Kurzvortrag (0:40 h) Dipl.-Ing. Helge Ehrhardt: Wärmepumpen in Bestandsgebäuden
https://www.youtube.com/watch?v=qATsEvwKPsM&t=10s

Dr.-Ing. Marek Miara: Wärmepumpen im Gebäudebestand
Kurz (0:32 h): https://www.youtube.com/watch?v=7Fb4xeCRIZI&t=20s
Lang (1:42 h): https://www.youtube.com/watch?v=YXT1aYuFOHE&t=8s

Wärmepumpen-Check (kostenlos) mit Option zur Heizlastberechnung (kostenpflichtig):
https://heiz.report/de

Bafa-Liste der Förderfähigen Wärmepumpen:
https://www.bafa.de/SharedDocs/Downloads/DE/Energie/beg_waermepumpen_anlagenliste.html

Bundeverband Wärmepumpe: JAZ-Rechner
https://www.waermepumpe.de/jazrechner/

Gewaltig nachhaltig: Heizkostenrechner
https://www.youtube.com/watch?v=z33qc-DuX0k

BMWK: Hintergrundpapier zur Gebäudestrategie Klimaneutralität 2045
https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Klimaschutz/gebaeudestrategie-klimaneutralitaet-2045.pdf?__blob=publicationFile&v=8

Langfristszenarien für die Energietransformation von Deutschland:
https://langfristszenarien.de/enertile-explorer-de/