

Kommunales Energiemanagement Sachsen

Wärmepumpen

Kontakt: Prof. Dr.-Ing. Heiko Werdin
Raum: Z302
Tel: 462 3585
Mail: heiko.werdin@htw-dresden.de

- 1 Vorstellung des Studienganges Gebäudesystemtechnik
- 2 Ablauf und Gruppeneinteilung
- 3 Theorie Gruppe 1 Einsteiger
- 4 Theorie Gruppe 2 Fortgeschrittene

Gebäudesystemtechniker / Gebäudesystemtechnikerinnen

- **planen gebäudetechnische Anlagen** aller Art für Wohngebäude, Schulen, Krankenhäuser, Theatern, Museen, Industriebetriebe aller Art,
- **automatisieren Gebäude** und Anlagen,
- wissen, wie Gebäude und Anlagen **nachhaltig konzipiert, errichtet und betrieben** werden,
- nutzen **regenerative Energien** und integrieren die gebäudetechnischen Anlagen netzdienlich in die Versorgungsinfrastruktur.

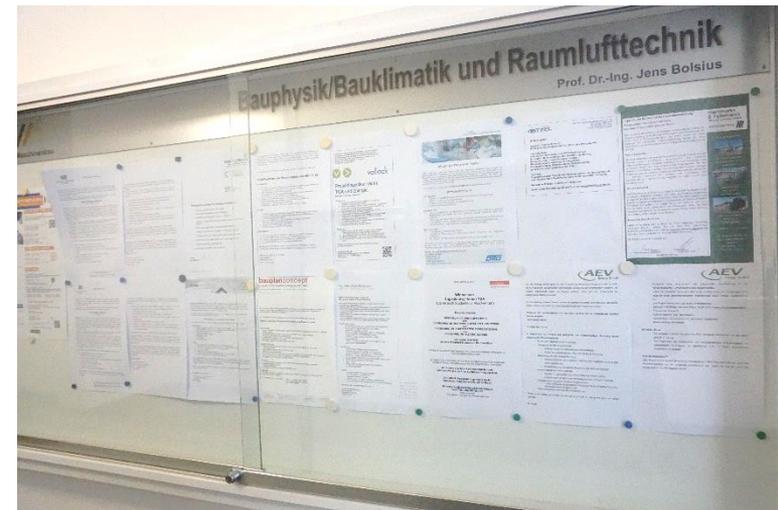
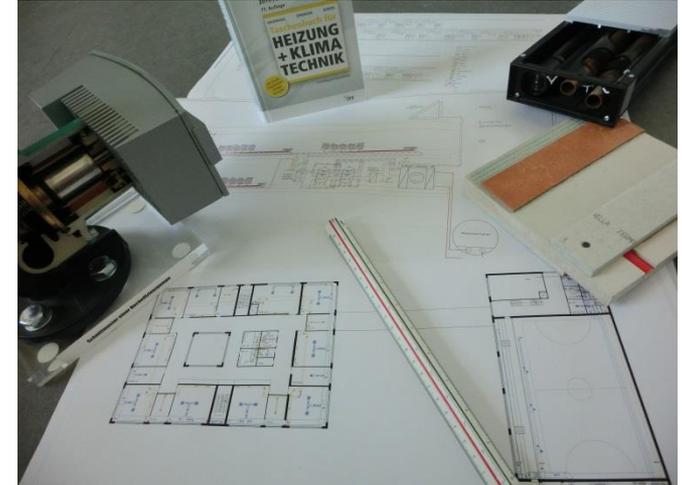


©Honeywell

Imagevideo Gebäudesystemtechnik

Einsatzgebiete nach dem Studium

- **Planungsbüros** und **Ausführungsbetriebe** der Technischen Gebäudeausrüstung,
- **Hersteller** von Anlagenkomponenten in den Bereichen FuE, Produktentwicklung, Marketing und Vertrieb
- **öffentliche** und **private Bau- und Liegenschaftsverwaltung**,
- Technisches Gebäudemanagement / Facility Management,
- Gutachter/Gutachterinnen
- Selbständigkeit



Bildquelle: Jens Bolsius

Gruppe 1 Einsteiger

- Theorie Wärmepumpe
 - Funktionsprinzip
 - Überblick (Quellen, Senken)
 - Zwischen Primärenergie und Nutzenergie
 - Einflüsse auf die Effizienz
 - Planung, Betrieb

Wechsel Hörsaal → Labor

- Labor Wärmepumpe
 - Komponenten

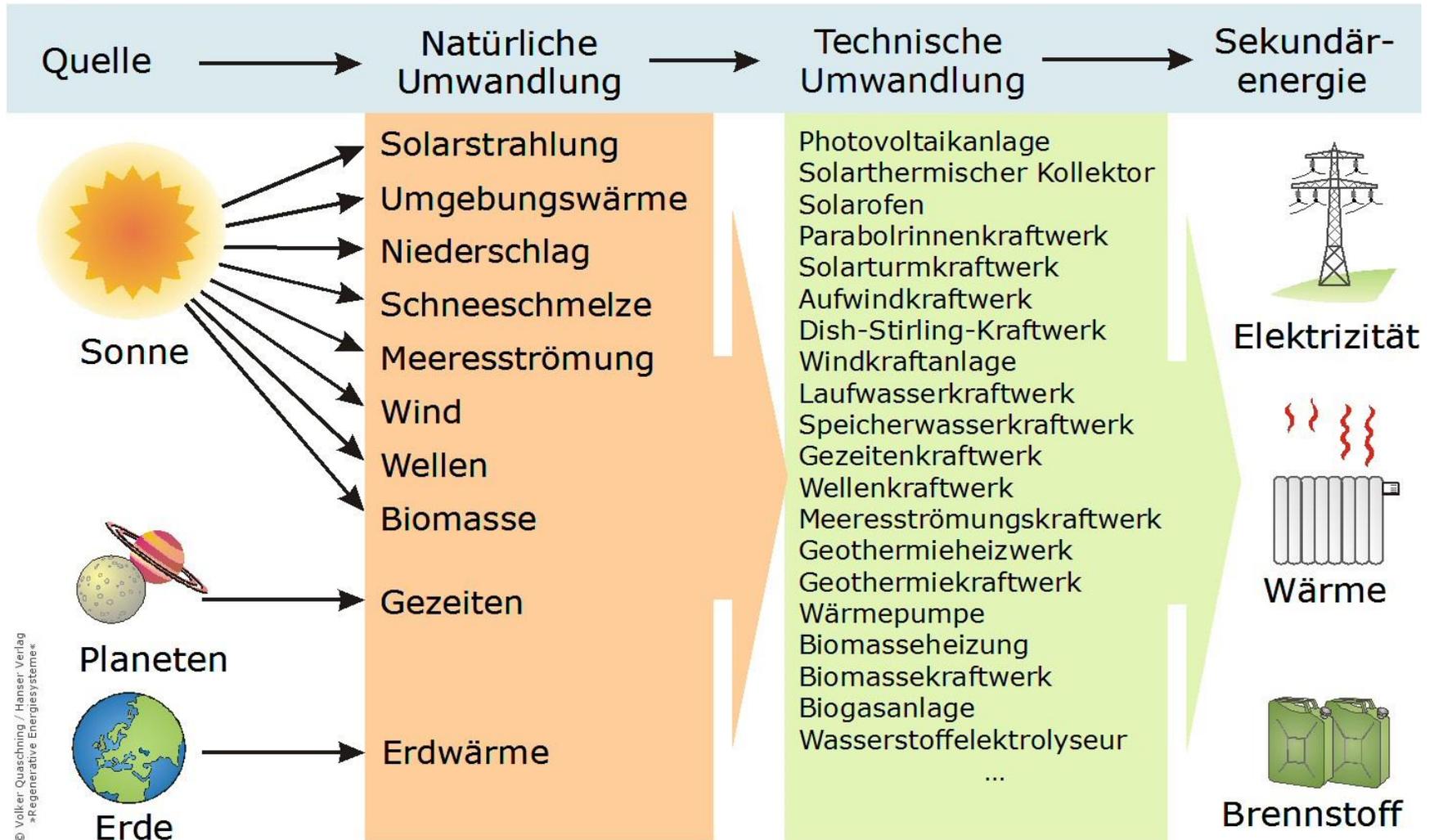
Gruppe 2 Fortgeschrittene

- Labor Wärmepumpe
 - Komponenten

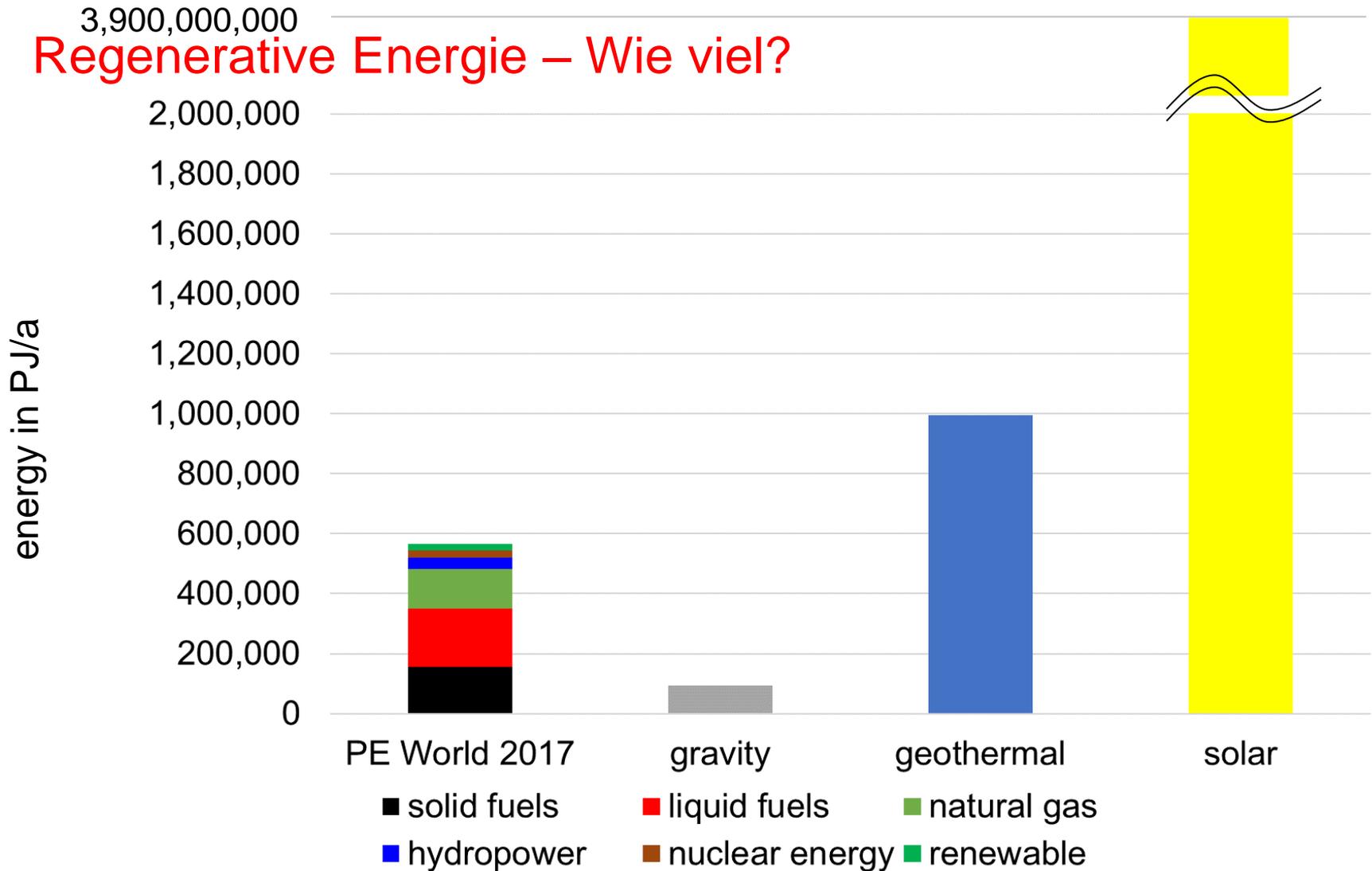
Wechsel Labor → Hörsaal

- Theorie Wärmepumpe
 - Zwischen Primärenergie und Nutzenergie
 - Einflüsse auf die Effizienz
 - Energetische Bewertung nach DIN V 18599

Regenerative Energie – Was ist das?



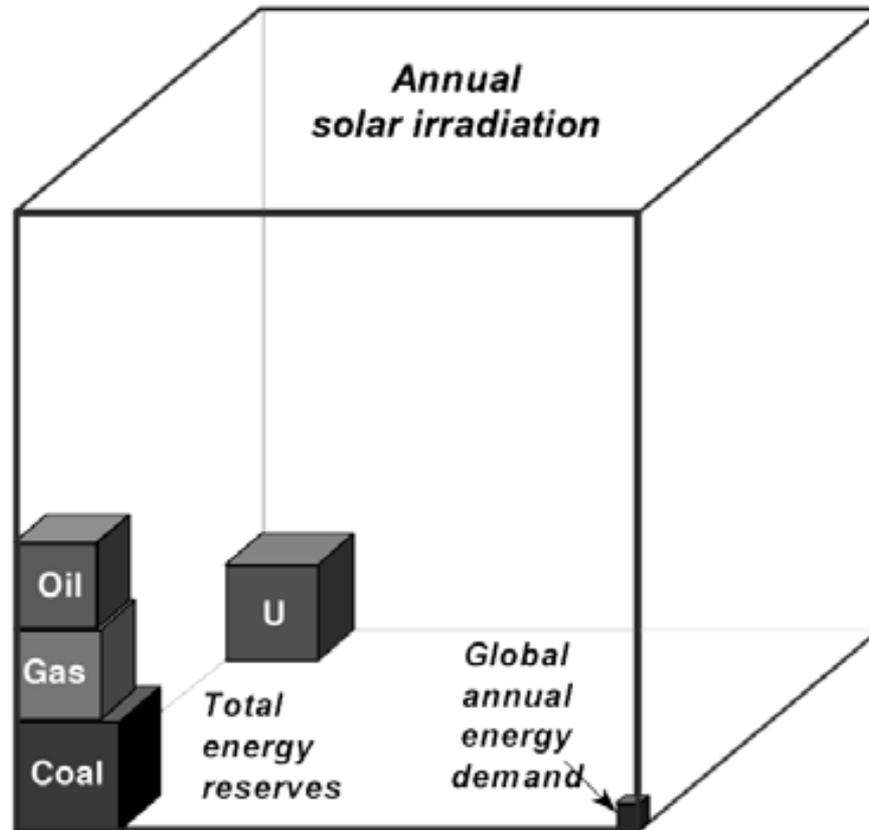
Quelle: Volker Quaschnig



Quelle: BP: BP Statistical Review of World Energy 2018

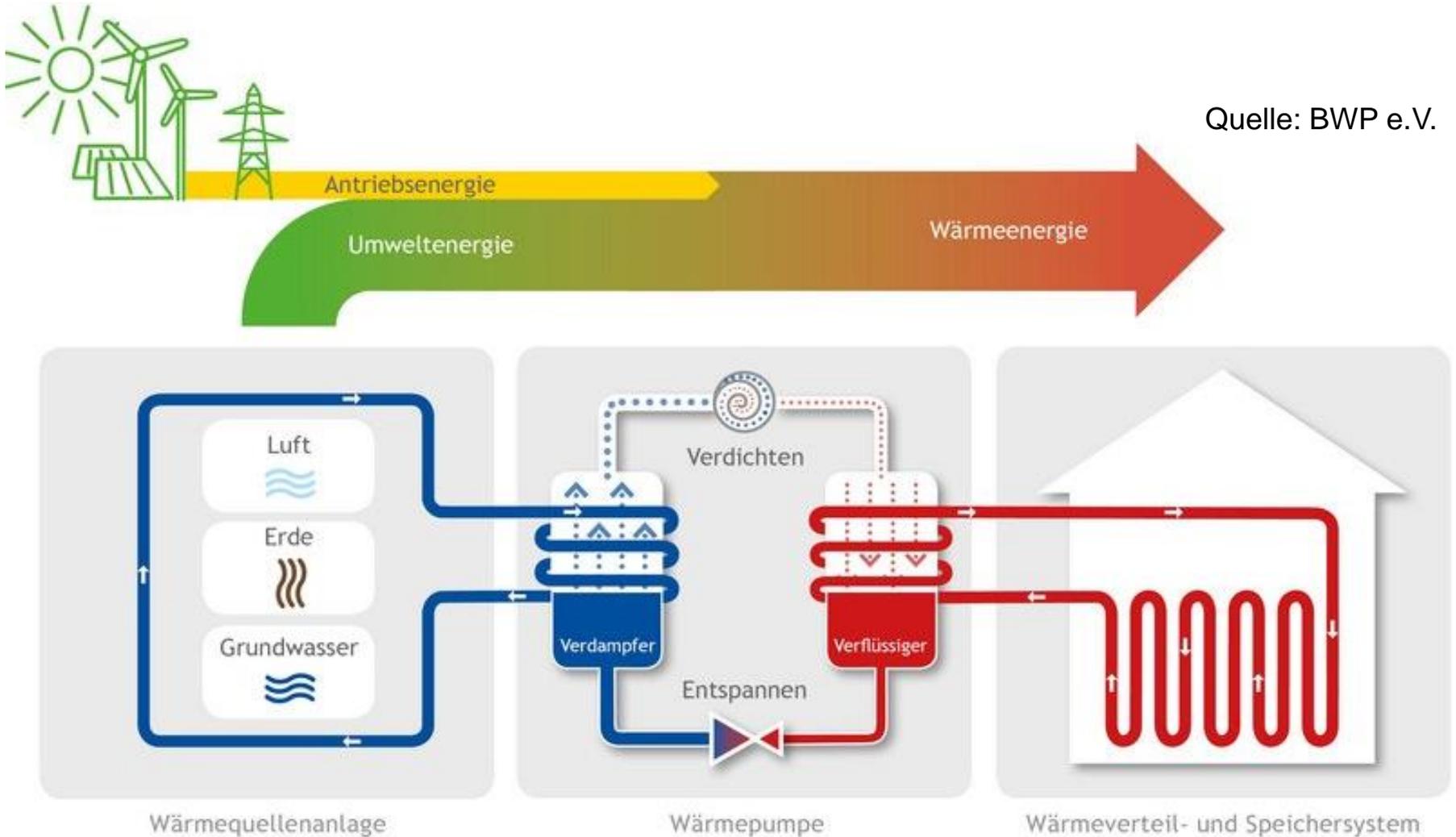
Quaschnig, V.: Regenerative Energiesysteme. Hanser-Verlag. 9. Auflage 2015

Regenerative Energie – Wie viel?

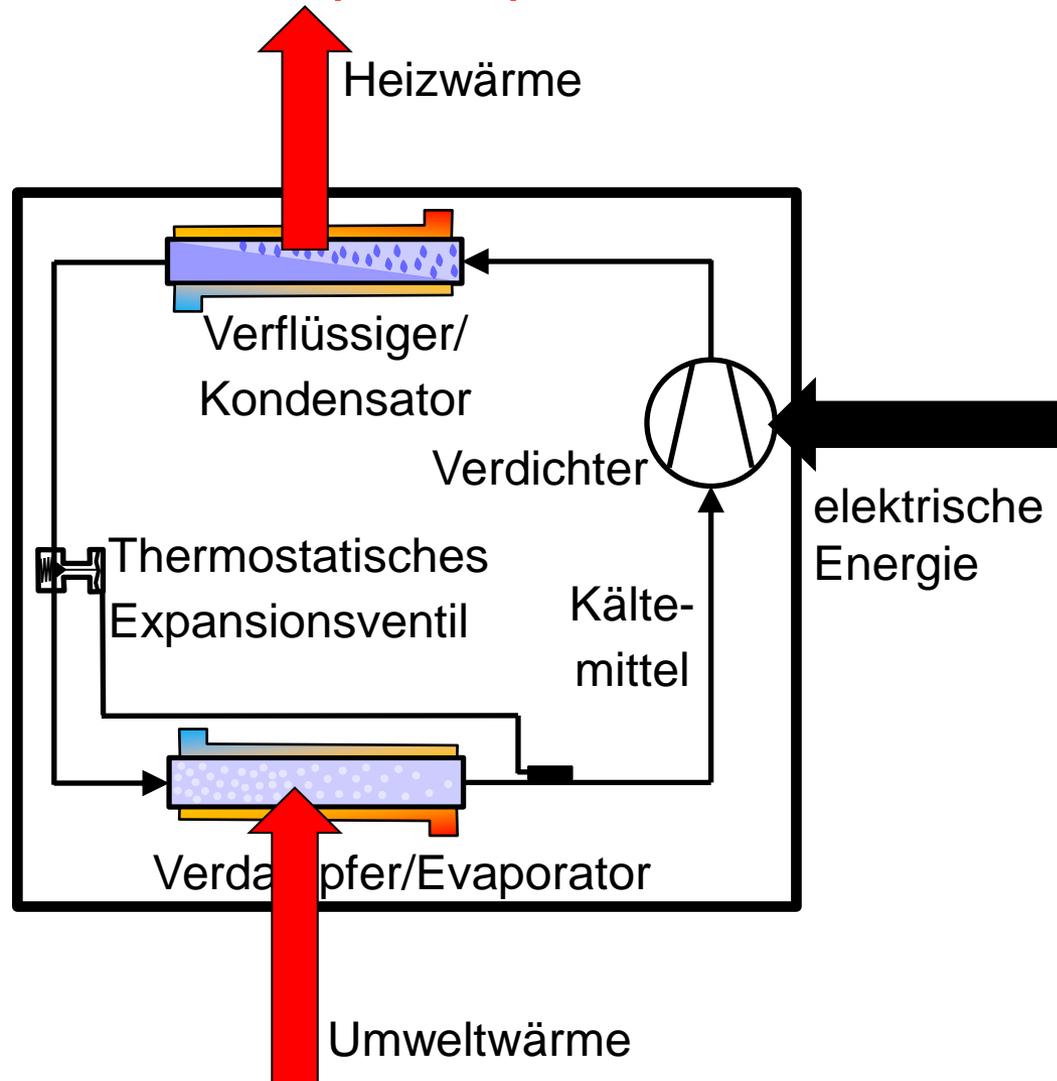


Quelle: Volker Quaschnig

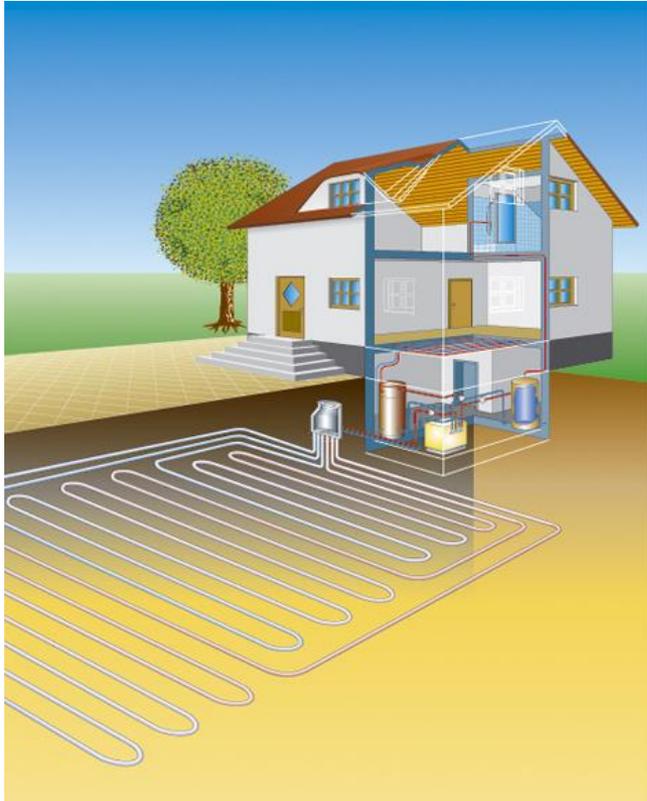
Funktionsprinzip von Wärmepumpen



Funktionsweise und Hauptkomponenten von Wärmepumpen



Wärmequellen der Wärmepumpen



Erdkollektoren



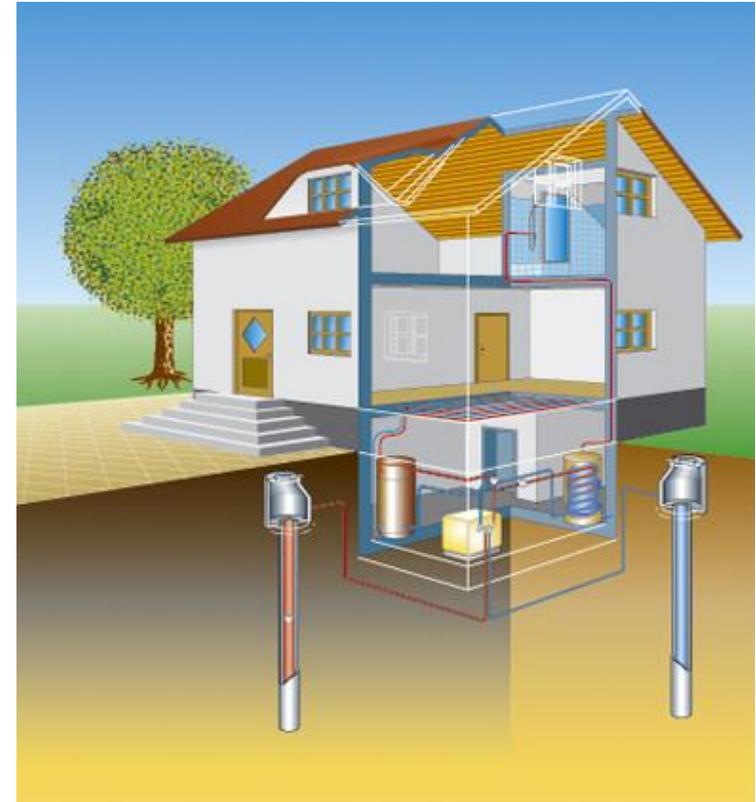
Erdsonden

Quelle: BWP e.V.

Wärmequellen der Wärmepumpen



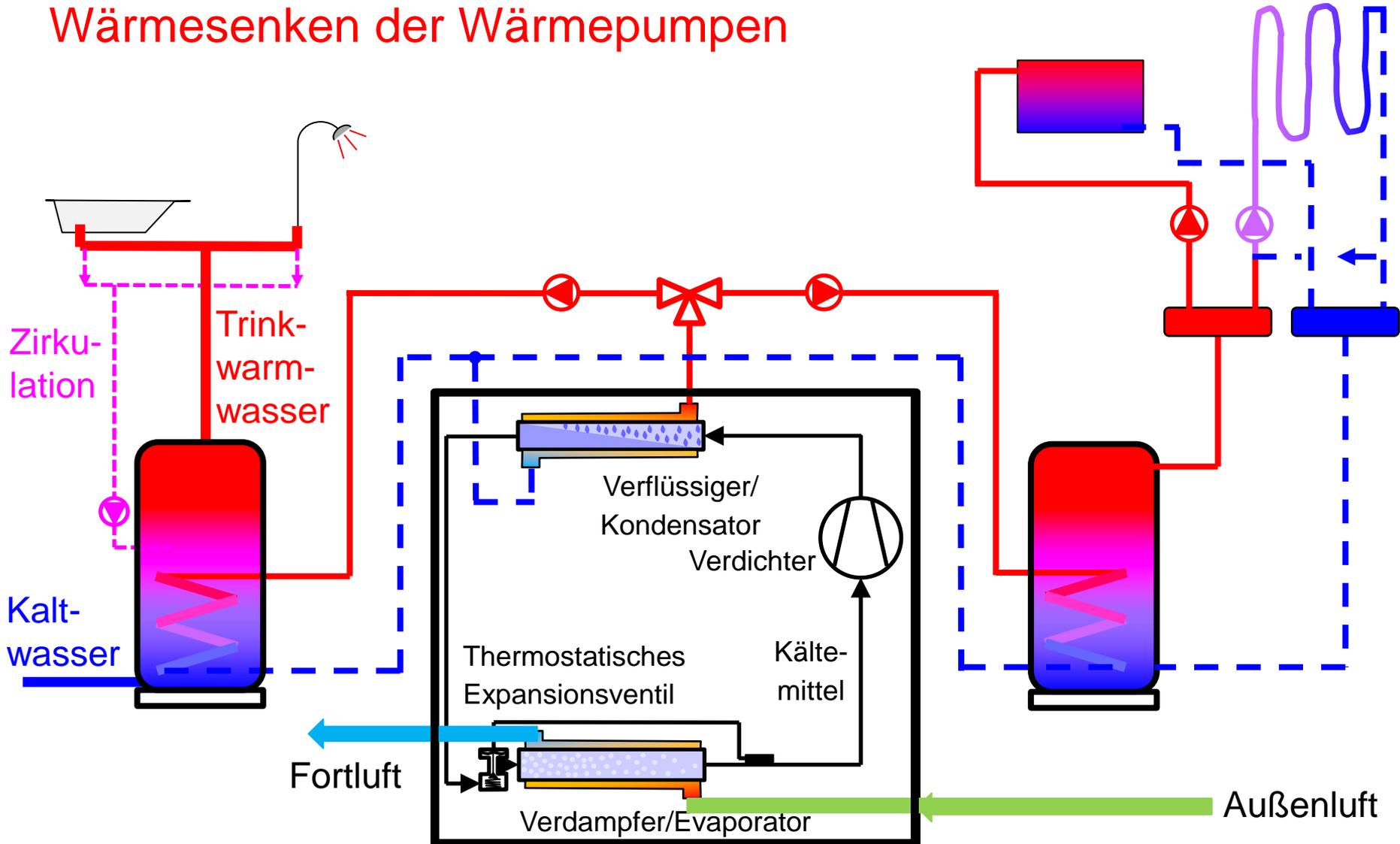
Außenluft



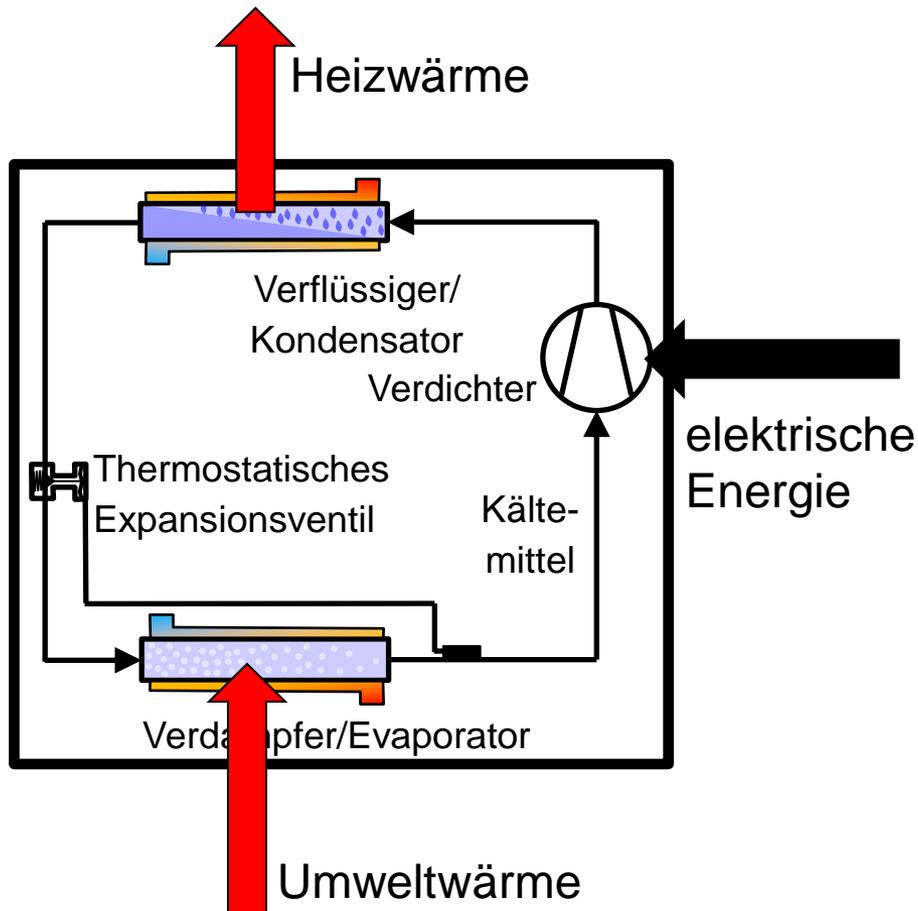
Grundwasser mit Saug- und Schluckbrunnen

Quelle: BWP e.V.

Wärmesenken der Wärmepumpen



Effizienz und Nutzung regenerativer Energien beim Einsatz von Wärmepumpen



FBH 35/28 RAD 50/40

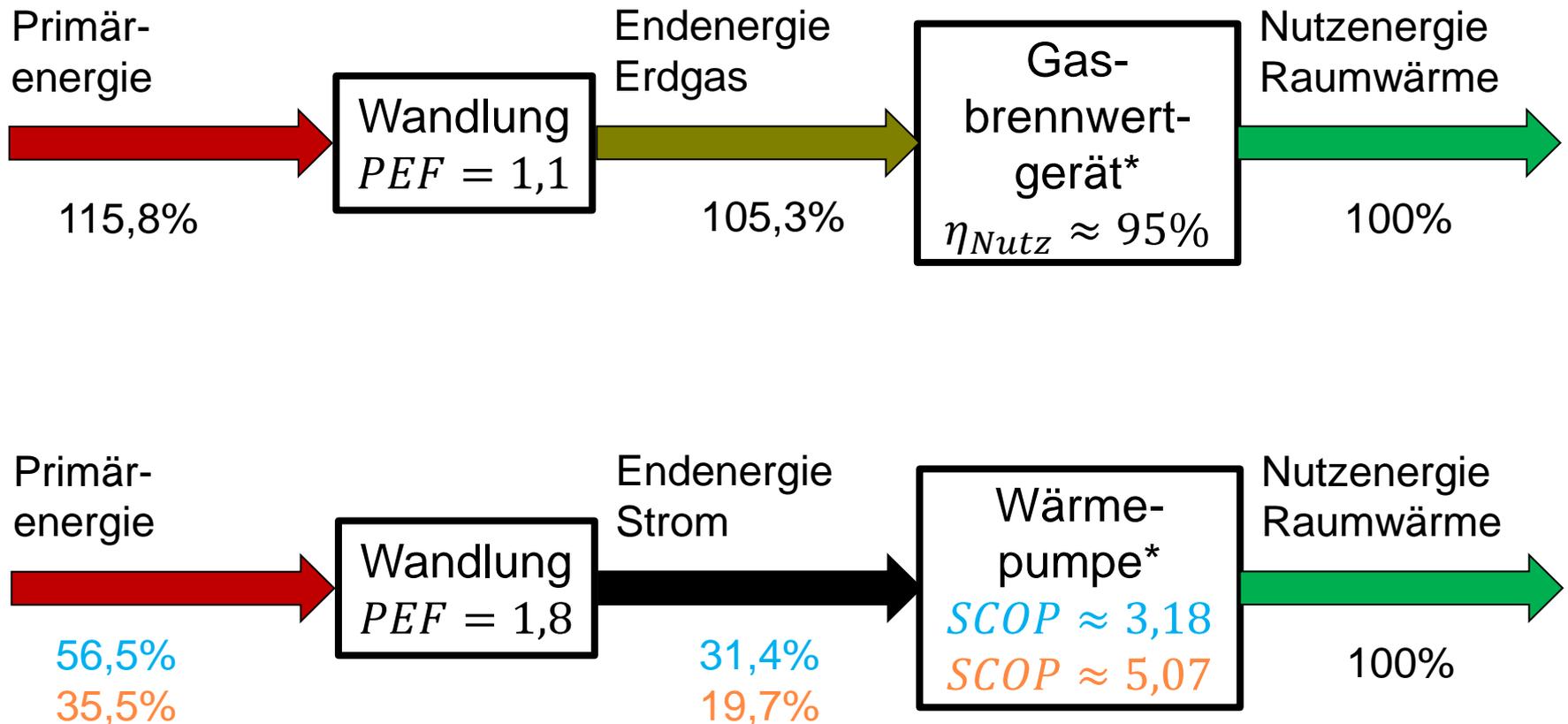
Stromanteil an Heizwärme

Außenluft	27,1%	31,4%
Erdreichkoll.	17,2%	20,0%
Erdwärmesonde	19,7%	22,6%
Grundwasser	18,8%	21,7%

Jahresarbeitszahl SCOP

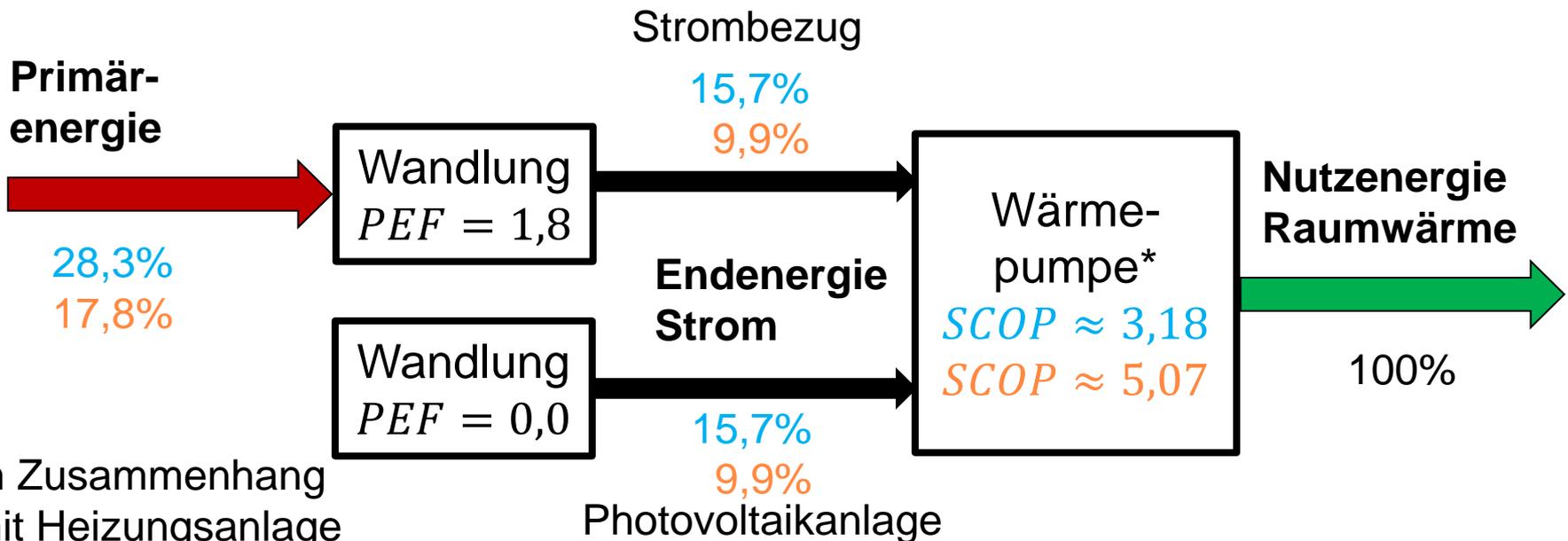
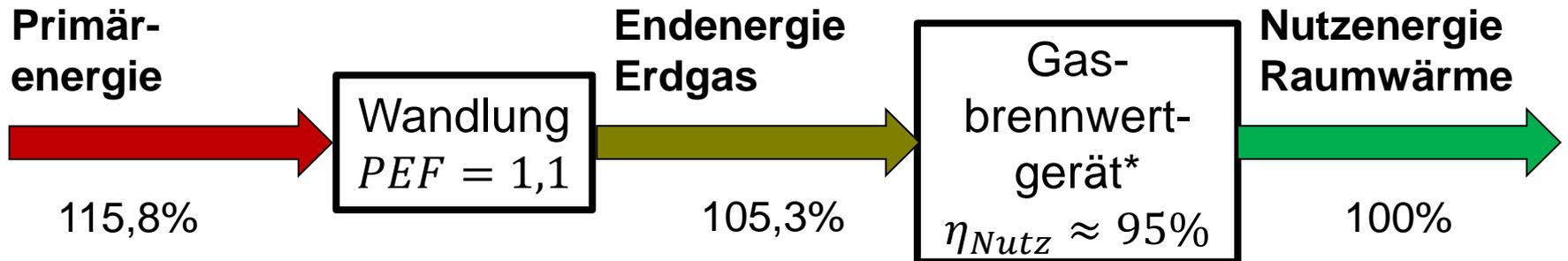
Außenluft	3,69	3,18
Erdreichkoll.	5,81	4,99
Erdwärmesonde	5,07	4,43
Grundwasser	5,33	4,61

Vergleich konventionelle Beheizung und Wärmepumpe



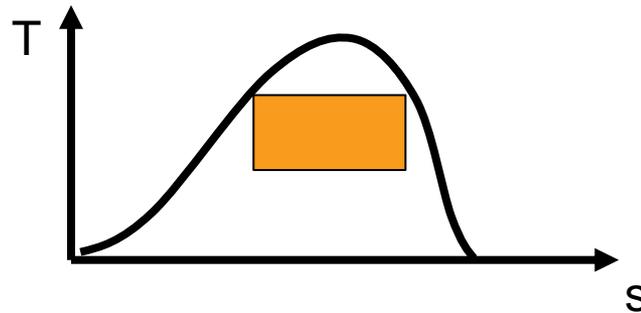
* im Zusammenhang mit Heizungsanlage

Vergleich konventionelle Beheizung und Wärmepumpe

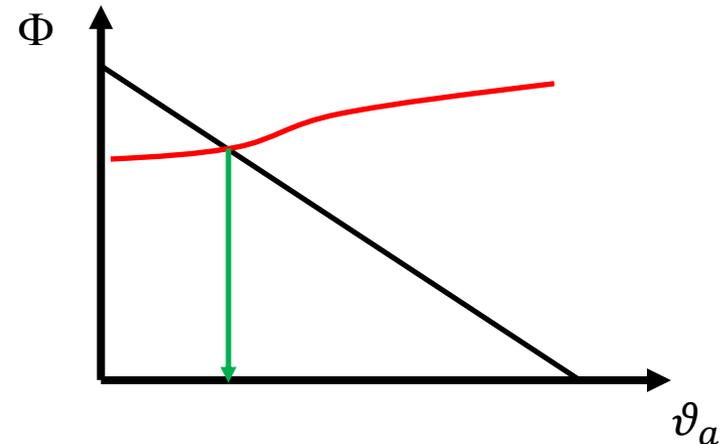
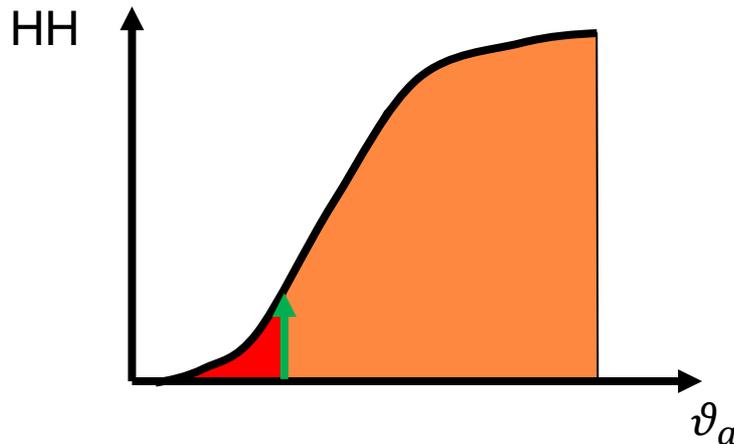


* im Zusammenhang mit Heizungsanlage

Einflüsse auf die Effizienz



- Carnot und das Temperaturniveau der Quelle und Senke



- monovalent, bivalent-parallel, bivalent-alternativ

Planung (VDI 4645)

Vorplanung

- genehmigungsrechtlich (GEG, Ökodesign, Wasserhaushaltsgesetz, Bergbaugesetz, TA Lärm, F-Gase-Verordnung)
- Anschlussbedingungen des EVU (Sondertarif: Abschaltzeiten, separate Messung, gleichzeitig PV-Anlagen?)
- Aufstellbedingungen in Abhängigkeit des Kältemittels (Toxizität: Klasse A/B, Brennbarkeit: Klasse 1/2L/2/3), GWP, ODP

Detailplanung

- Heizlastberechnung (H), Trinkwarmwasserbedarf (TWE), Kühlbetrieb
- Wärmeübergabesysteme (freie Heizflächen, Flächenheizungssysteme)
- Anzahl und Art der Wärmeerzeugung (H+TWE oder getrennt)
- Speicher (Arten, Puffer: Taktanzahl, Sperrzeit) oder Durchlaufsysteme
- Betriebsweise (Hydraulische Einbindung, Temperaturen, WE-Einkopplung)
- Netzdienlichkeit

Betrieb (VDI 4645)

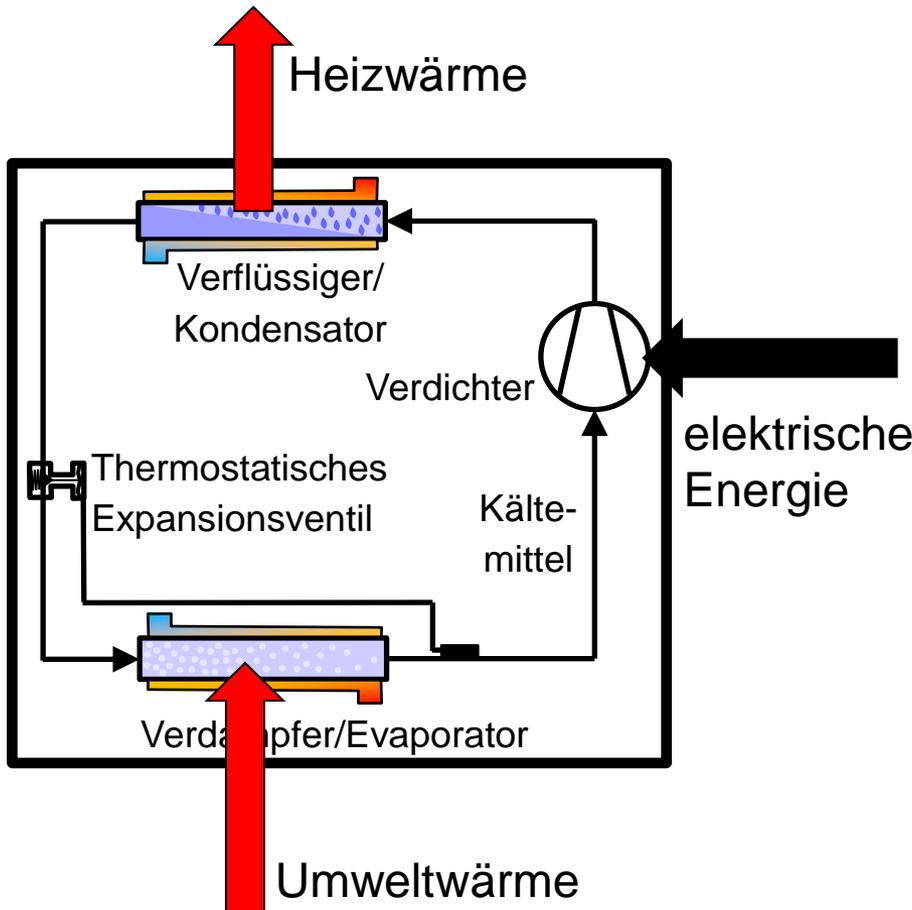
Inbetriebnahme

- Bestandsanlagen spülen!
- Erstprüfung der elektrischen Sicherheit
- Hydraulischer Abgleich
- Inbetriebnahme der Regelungen (Wärmequelle, Wärmepumpe, Raumheizung, TWE)
- empfohlen: Monitoring zur Optimierung
- Dokumentationen und Nutzerunterweisungen

Wartung und Instandhaltung

- Heizungsanlage und Wärmepumpe
- Reinigung Verdampfer und Kondensatablauf
- Auslesen der Fehlerspeicher und bewerten
- Leckageprüfung

Effizienz und Nutzung regenerativer Energien beim Einsatz von Wärmepumpen (z.B. VDI 4650)



FBH 35/28 RAD 50/40

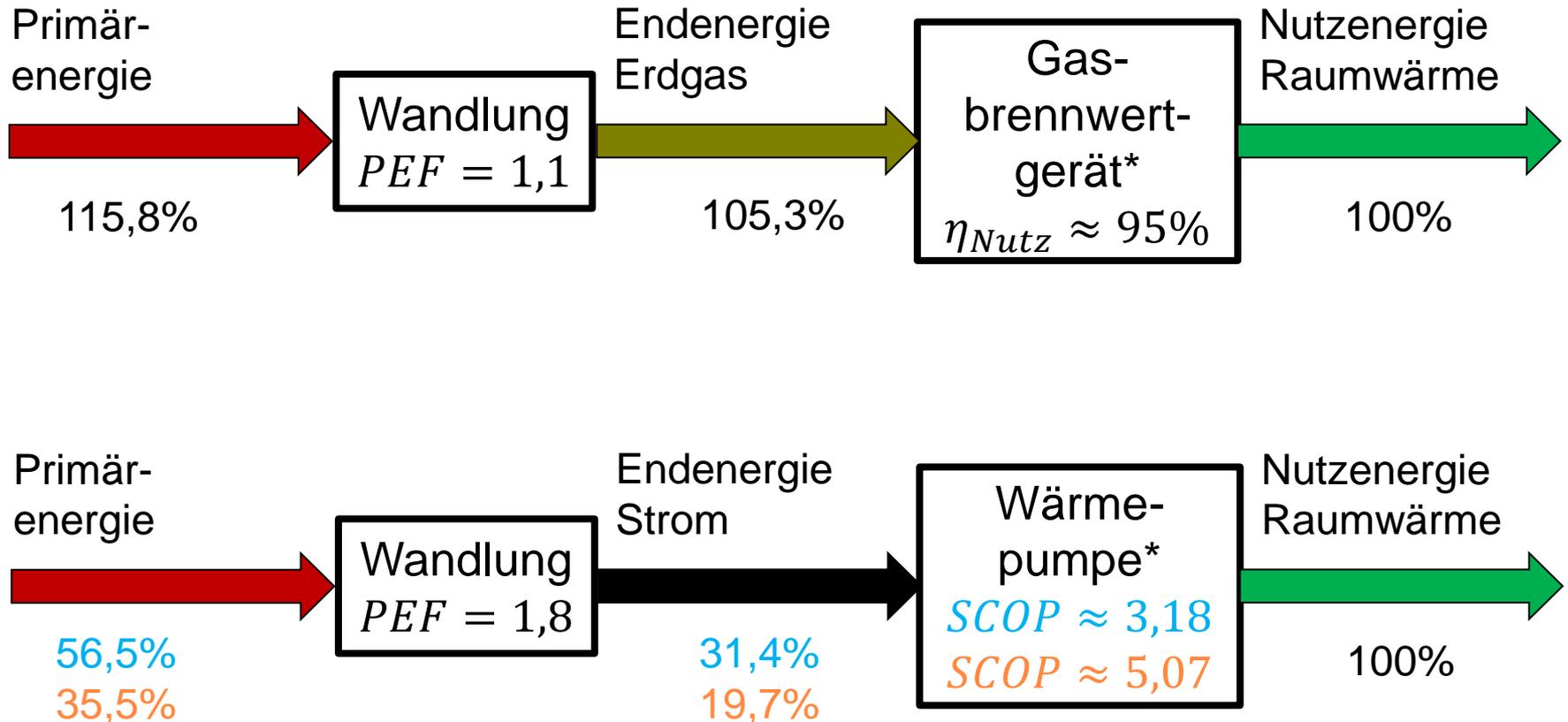
Stromanteil an Heizwärme

Außenluft	27,1%	31,4%
Erdreichkoll.	17,2%	20,0%
Erdwärmesonde	19,7%	22,6%
Grundwasser	18,8%	21,7%

Jahresarbeitszahl SCOP

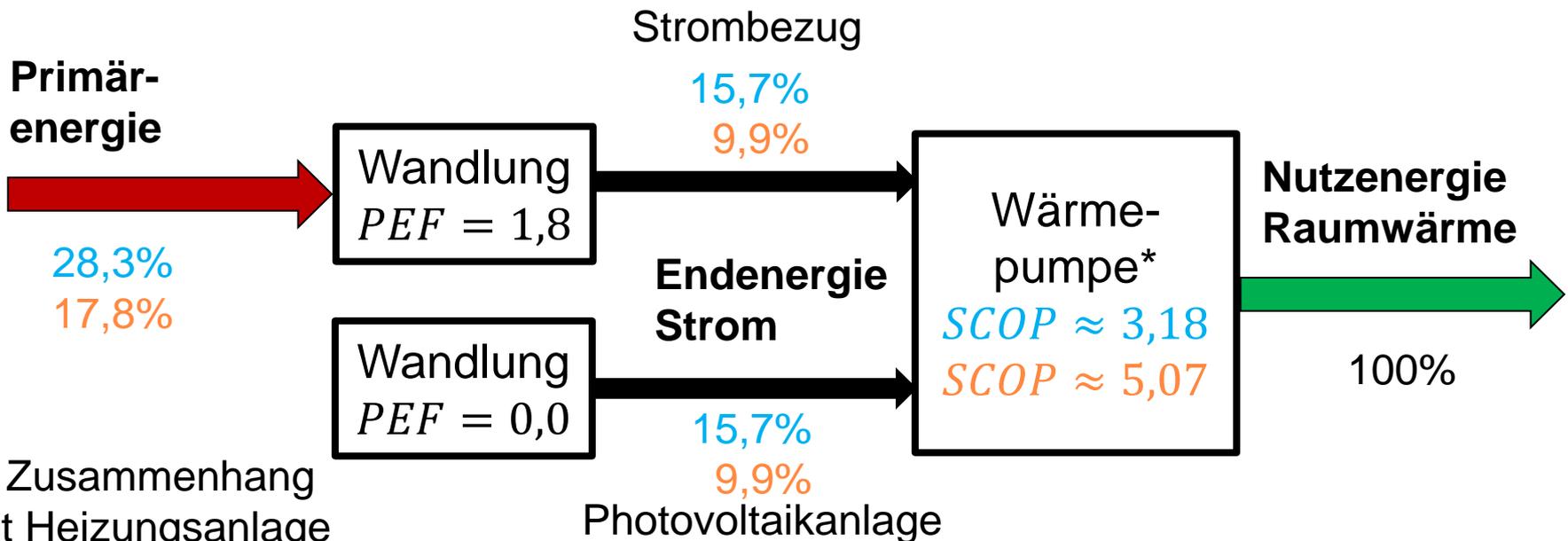
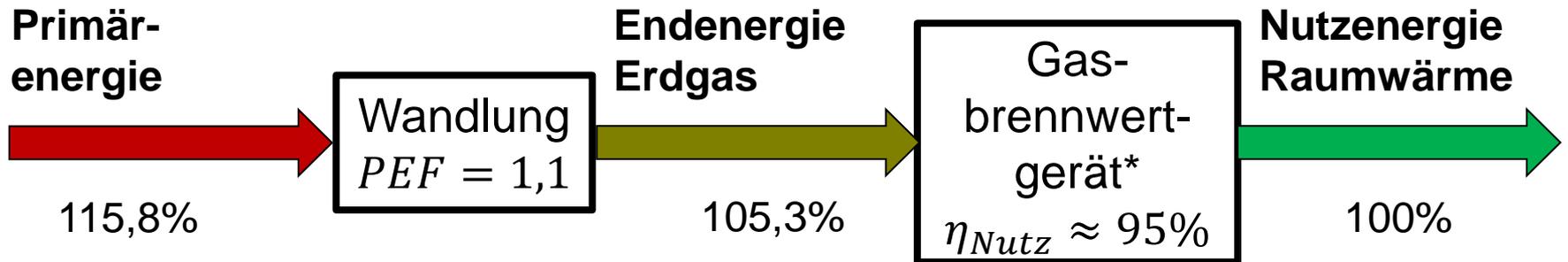
Außenluft	3,69	3,18
Erdreichkoll.	5,81	4,99
Erdwärmesonde	5,07	4,43
Grundwasser	5,33	4,61

Vergleich konventionelle Beheizung und Wärmepumpe



* im Zusammenhang mit Heizungsanlage

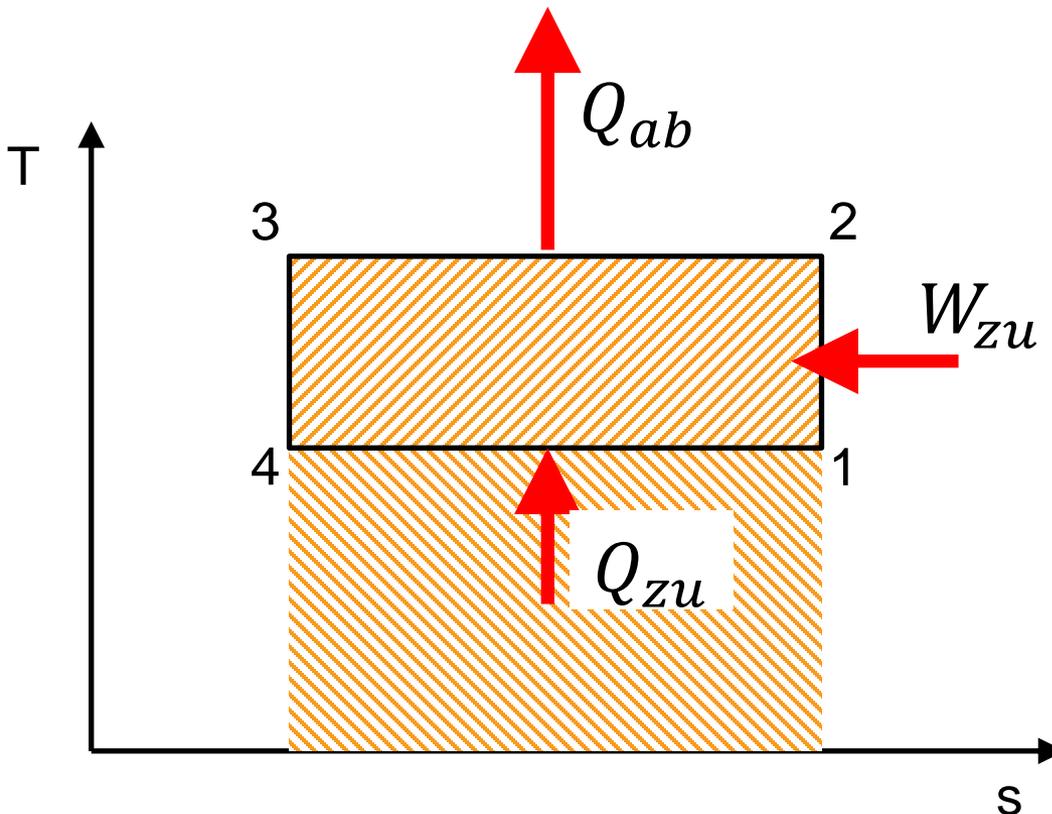
Vergleich konventionelle Beheizung und Wärmepumpe



* im Zusammenhang
mit Heizungsanlage

Einflüsse auf die Effizienz

Theoretischer Prozess (ideal, CARNOT) \leftrightarrow Vergleichsprozess \leftrightarrow T,s-Diagramm



- 1 – 2: isentrope Verdichtung
- 2 – 3: isotherme Wärmeabgabe
- 3 – 4: isentrope Entspannung
- 4 – 1: isotherme Wärmeaufnahme

Einflüsse auf die Effizienz

Theoretischer Prozess (ideal, CARNOT) \leftrightarrow Vergleichsprozess \leftrightarrow T,s-Diagramm

Energiebilanz

$$Q_{ab} = Q_{zu} + W_{zu}$$

Leistungsbilanz (stationärer Zustand)

$$\dot{Q}_{ab} = \dot{Q}_{zu} + P_{zu}$$

Carnot-Kälteleistungszahl (EER)

$$EER_{K,Carnot} = \frac{\dot{Q}_{zu}}{P_{zu}} = \frac{\dot{Q}_{zu}}{\dot{Q}_{ab} - \dot{Q}_{zu}} = \frac{\dot{m} \cdot \Delta s \cdot T_1}{\dot{m} \cdot \Delta s \cdot (T_2 - T_1)} = \frac{T_1}{T_2 - T_1}$$

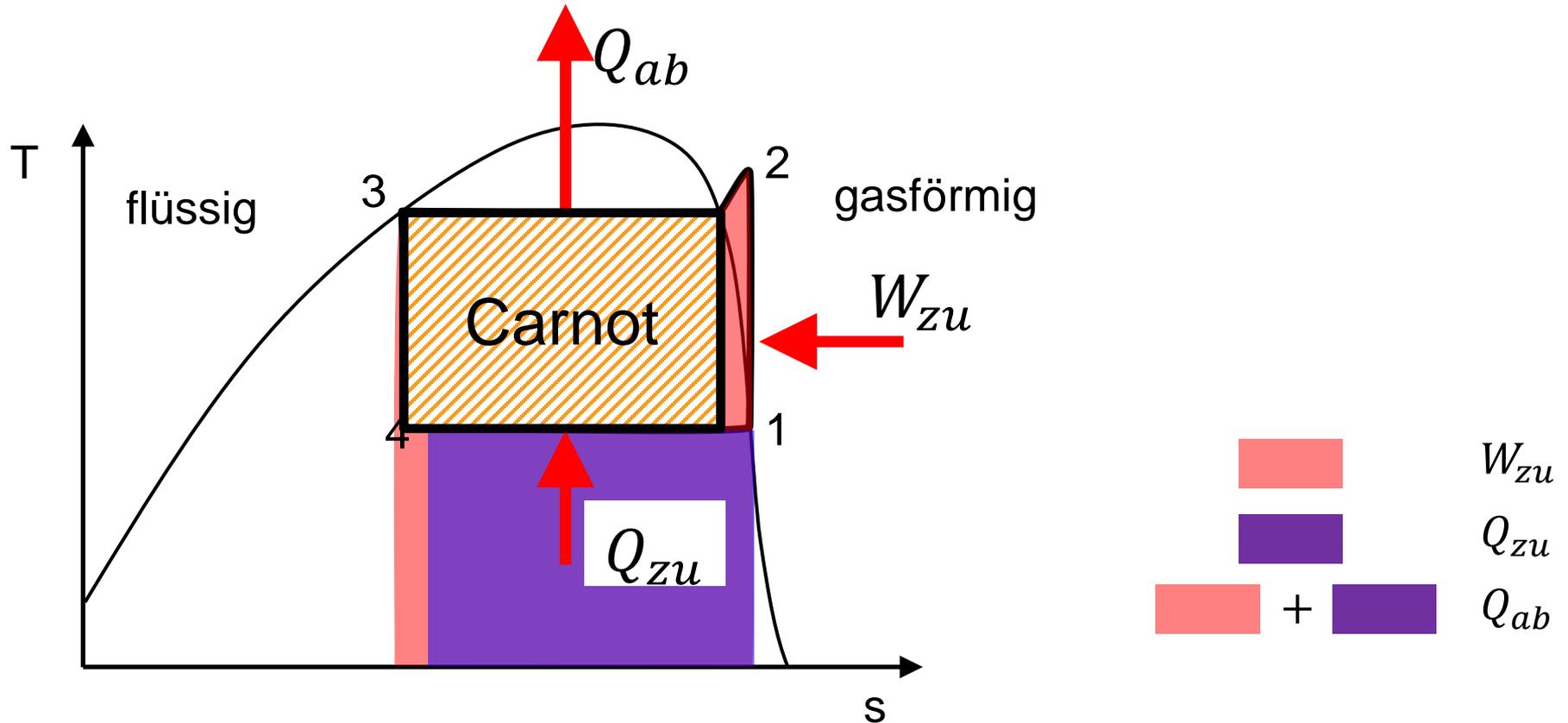
Carnot-Leistungszahl als Wärmepumpe (COP)

$$COP_{WP,Carnot} = \frac{\dot{Q}_{ab}}{P_{zu}} = \frac{\dot{Q}_{ab}}{\dot{Q}_{ab} - \dot{Q}_{zu}} = \frac{\dot{m} \cdot \Delta s \cdot T_2}{\dot{m} \cdot \Delta s \cdot (T_2 - T_1)} = \frac{T_2}{T_2 - T_1} = 1 + EER_{K,Carnot}$$

Einflüsse auf die Effizienz

Theoretischer Prozess (ideal, CARNOT) \leftrightarrow Vergleichsprozess \leftrightarrow T,s-Diagramm

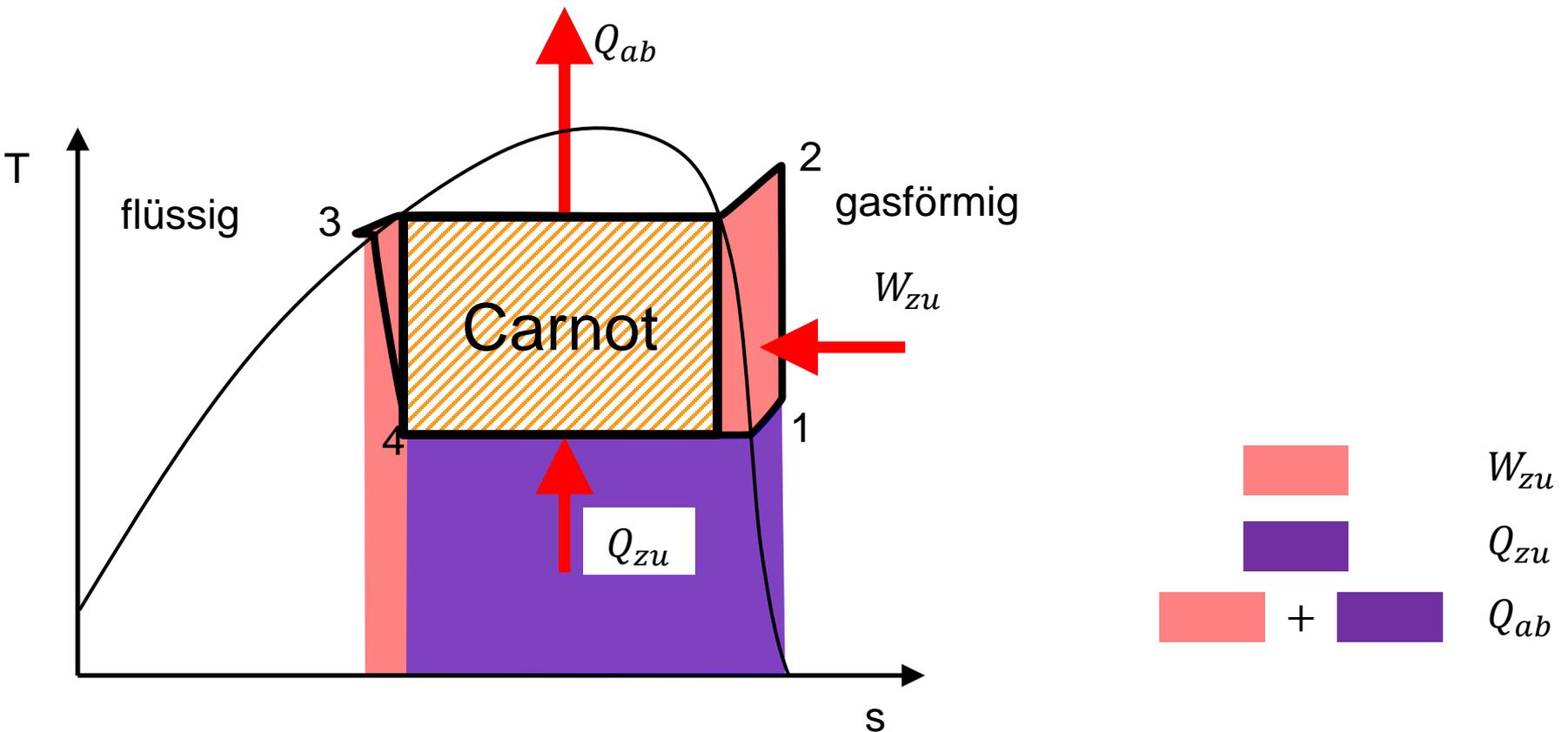
Theoretischer trockener Vergleichsprozess im T-s-Diagramm



Einflüsse auf die Effizienz

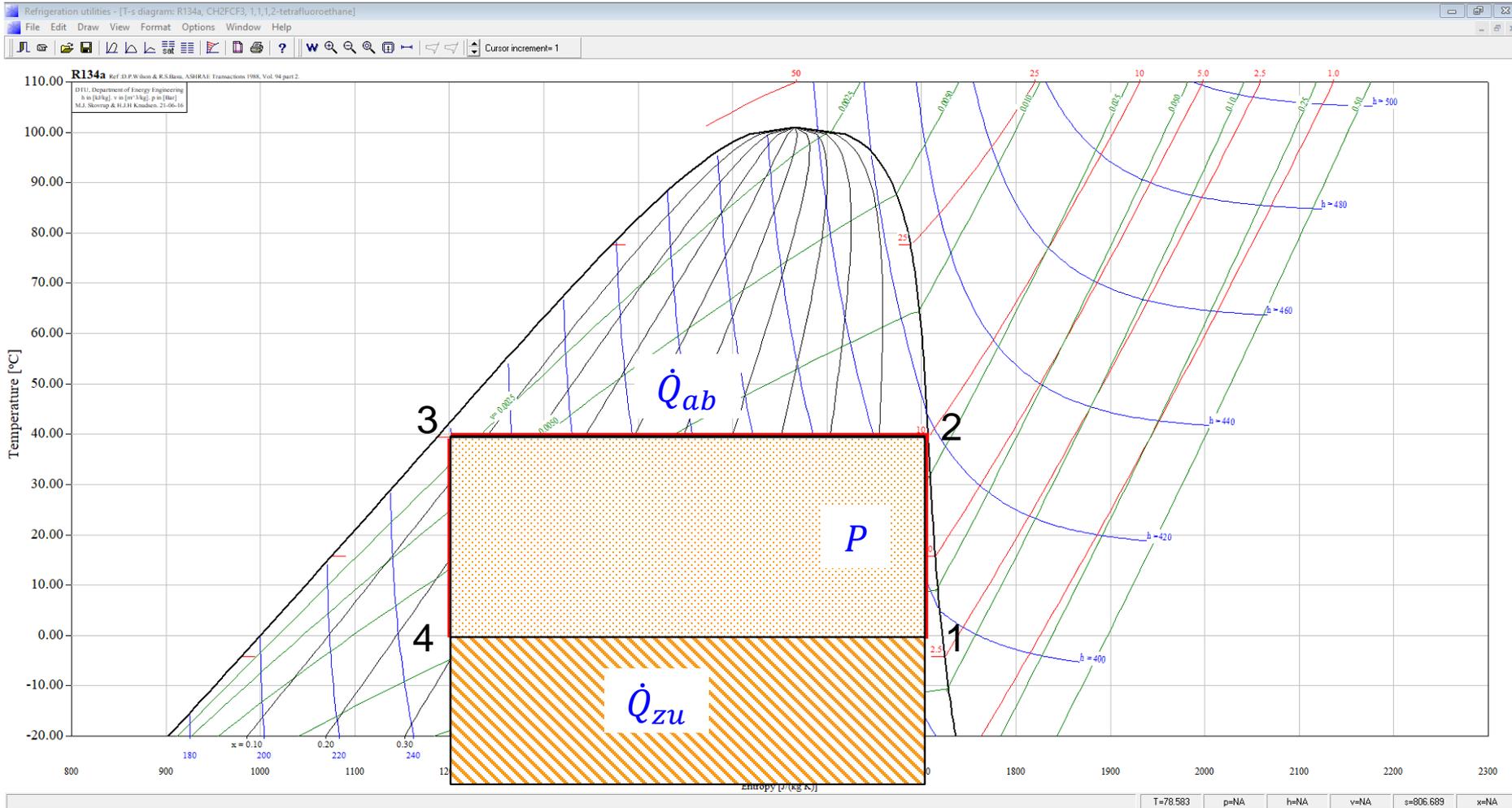
Theoretischer Prozess (ideal, CARNOT) \leftrightarrow Vergleichsprozess \leftrightarrow T,s-Diagramm

Vergleichsprozess mit Überhitzung und Unterkühlung im T-s-Diagramm



Einflüsse auf die Effizienz

Theoretischer Prozess (ideal, CARNOT) \leftrightarrow Vergleichsprozess \leftrightarrow T,s-Diagramm



Einflüsse auf die Effizienz

Theoretischer Prozess (ideal, CARNOT) \leftrightarrow Vergleichsprozess \leftrightarrow log p,h-Diagramm

$$\dot{Q}_{ab} = (s_2 - s_3) \cdot T_{2,3} \cdot \dot{m}$$

$$\dot{Q}_{zu} = (s_1 - s_4) \cdot T_{1,4} \cdot \dot{m}$$

$$P = \dot{Q}_{ab} - \dot{Q}_{zu}$$

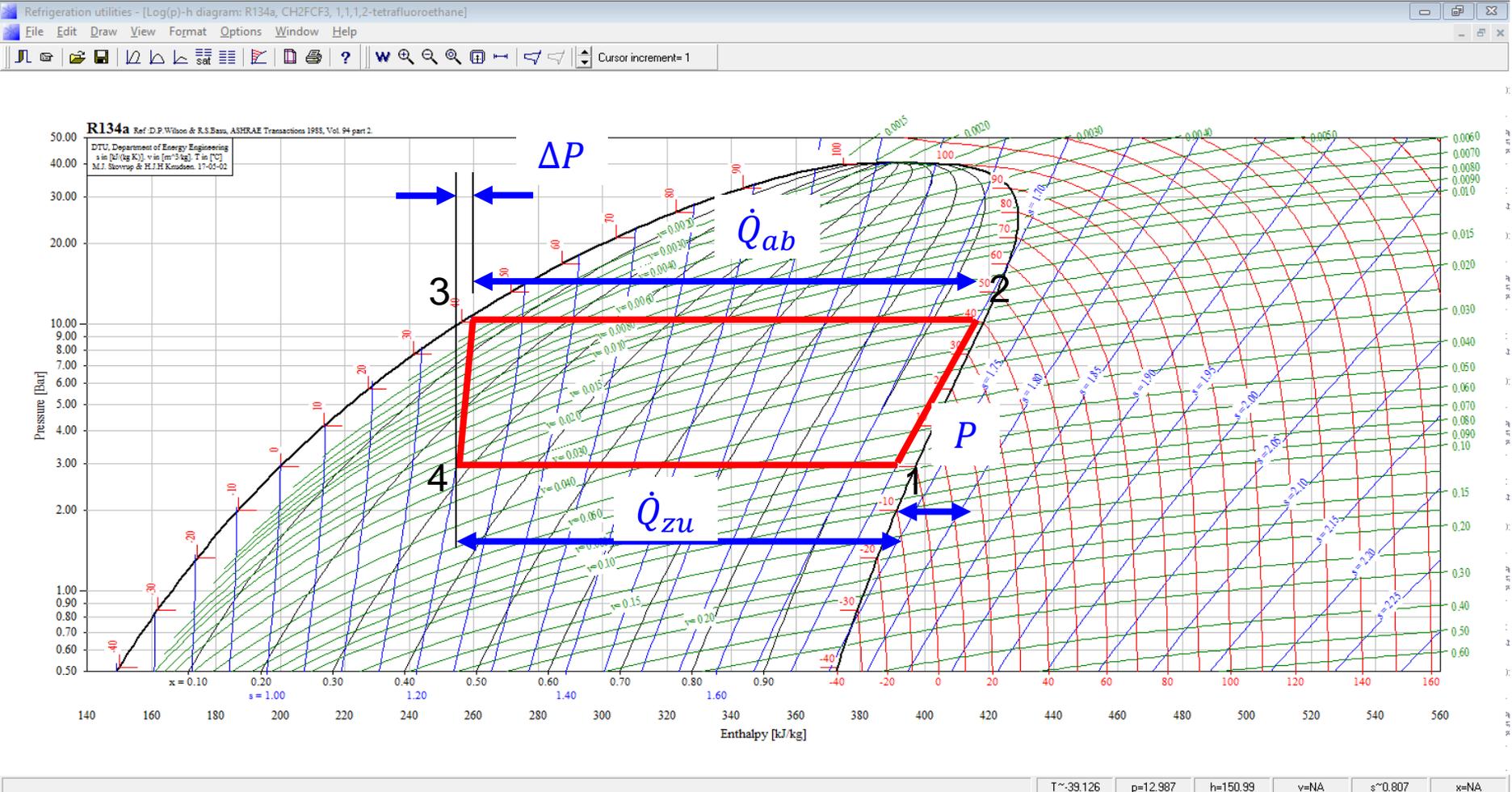
$$COP_{Carnot,Vgl} = \frac{\dot{Q}_{ab}}{P} = \frac{\dot{Q}_{ab}}{\dot{Q}_{ab} - \dot{Q}_{zu}} = \frac{(s_2 - s_3) \cdot T_{2,3}}{(s_2 - s_3) \cdot T_{2,3} - (s_1 - s_4) \cdot T_{1,4}} = \frac{T_{2,3}}{T_{2,3} - T_{1,4}}$$

$$T_{2,3} = 40^\circ\text{C} + 273,15\text{K} = 313,15\text{K} \quad T_{1,4} = 0^\circ\text{C} + 273,15\text{K} = 273,15\text{K}$$

$$COP_{Carnot,Vgl} = \frac{313,15\text{K}}{313,15\text{K} - 273,15\text{K}} = 7,83$$

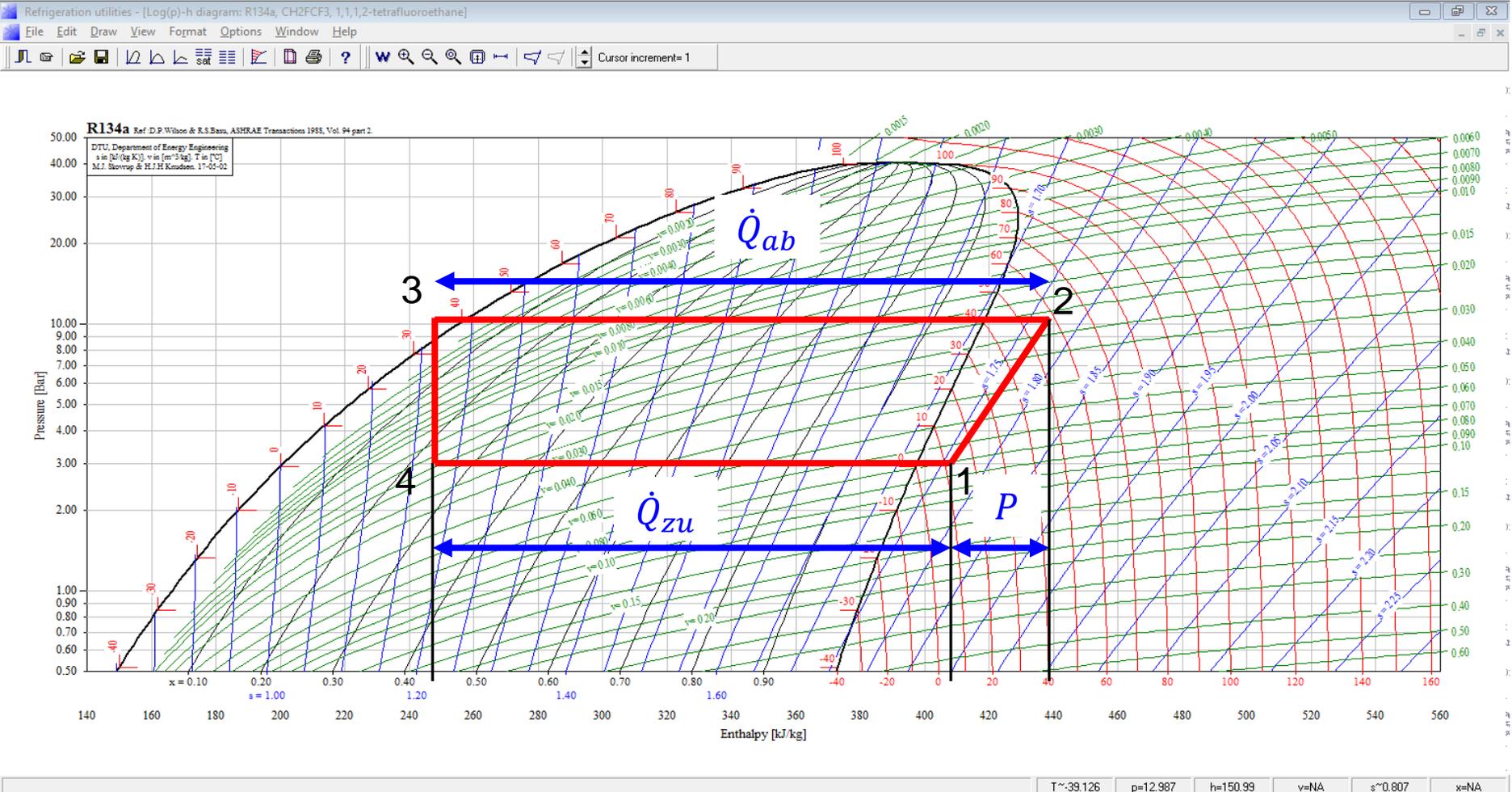
Einflüsse auf die Effizienz

Theoretischer Prozess (ideal, CARNOT) \leftrightarrow Vergleichsprozess \leftrightarrow log p,h-Diagramm



Einflüsse auf die Effizienz

Theoretischer Prozess (ideal, CARNOT) \leftrightarrow Vergleichsprozess \leftrightarrow log p,h-Diagramm



Einflüsse auf die Effizienz

Theoretischer Prozess (ideal, CARNOT) \leftrightarrow Vergleichsprozess \leftrightarrow **log p,h-Diagramm**

$$\dot{Q}_{ab} = (h_2 - h_3) \cdot \dot{m}$$

$$\dot{Q}_{zu} = (h_1 - h_4) \cdot \dot{m}$$

$$P = (h_2 - h_1) \cdot \dot{m}$$

$$COP_{WP,Vgl} = \frac{\dot{Q}_{ab}}{P} = \frac{(h_2 - h_3) \cdot \dot{m}}{(h_2 - h_1) \cdot \dot{m}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

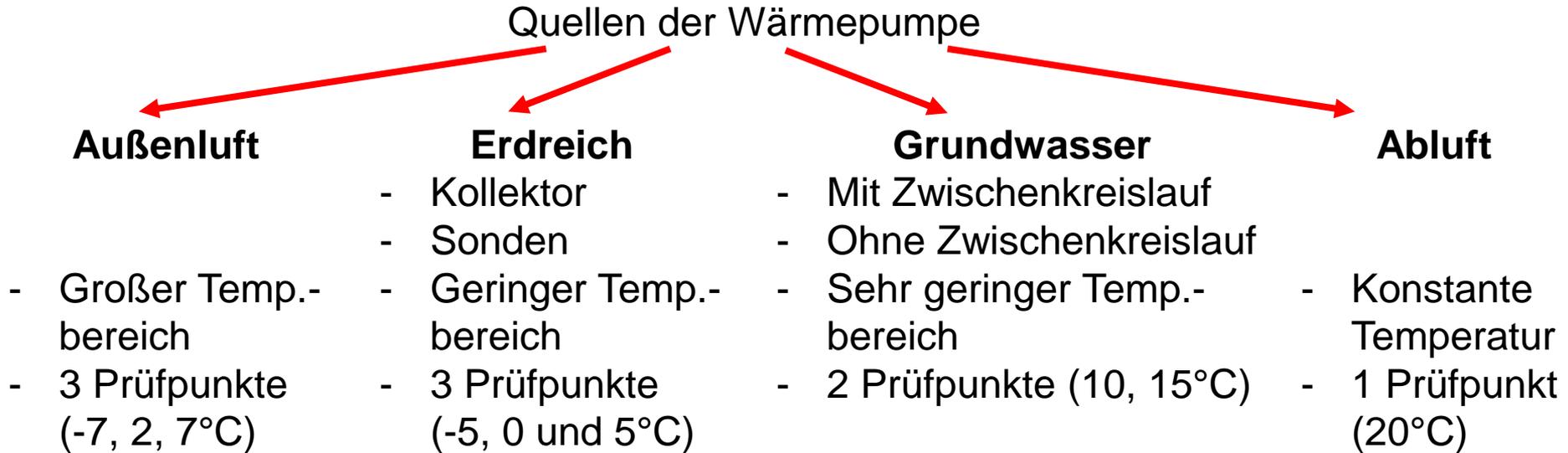
$$h_1 = 408 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad h_2 = 439 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad h_3 = 247 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$COP_{WP,Vgl} = \frac{439 - 247}{439 - 408} = 6,19$$

Einflüsse auf die Effizienz

- Temperaturniveau der Wärmesenke (freie Heizflächen, Flächenheizungen, TWE)
- Art der Wärmequelle (AL, GW, EK, ES, WKL)
- Speicher (Taktreduzierungen, Sperrzeitenüberbrückung)
- Betriebsweise (monovalent, monoenergetisch, bivalent)
- Heizgrenze
- Einkopplung solarthermischer Anlagen
- Einkopplung photovoltaischer Anlagen
- Kältemittel (Beispiel: R134A, R290, R407C)
- Dimensionierung der Wärmepumpe

Energetische Bewertung nach DIN V 18599



Aktuell: Überarbeitung zur Implementierung der Prüfpunkte nach DIN EN 14825

Energetische Bewertung nach DIN V 18599

Schritt 1: Bewertung der Quellentemperaturen in Temperaturklassen

- Einteilung des Testreferenzjahres in Monate
- Ermittlung der Stunden und Gradtagstunden in Temperatur-Bin's (1K-Schritte) je Monat (Tab. 34, 35)

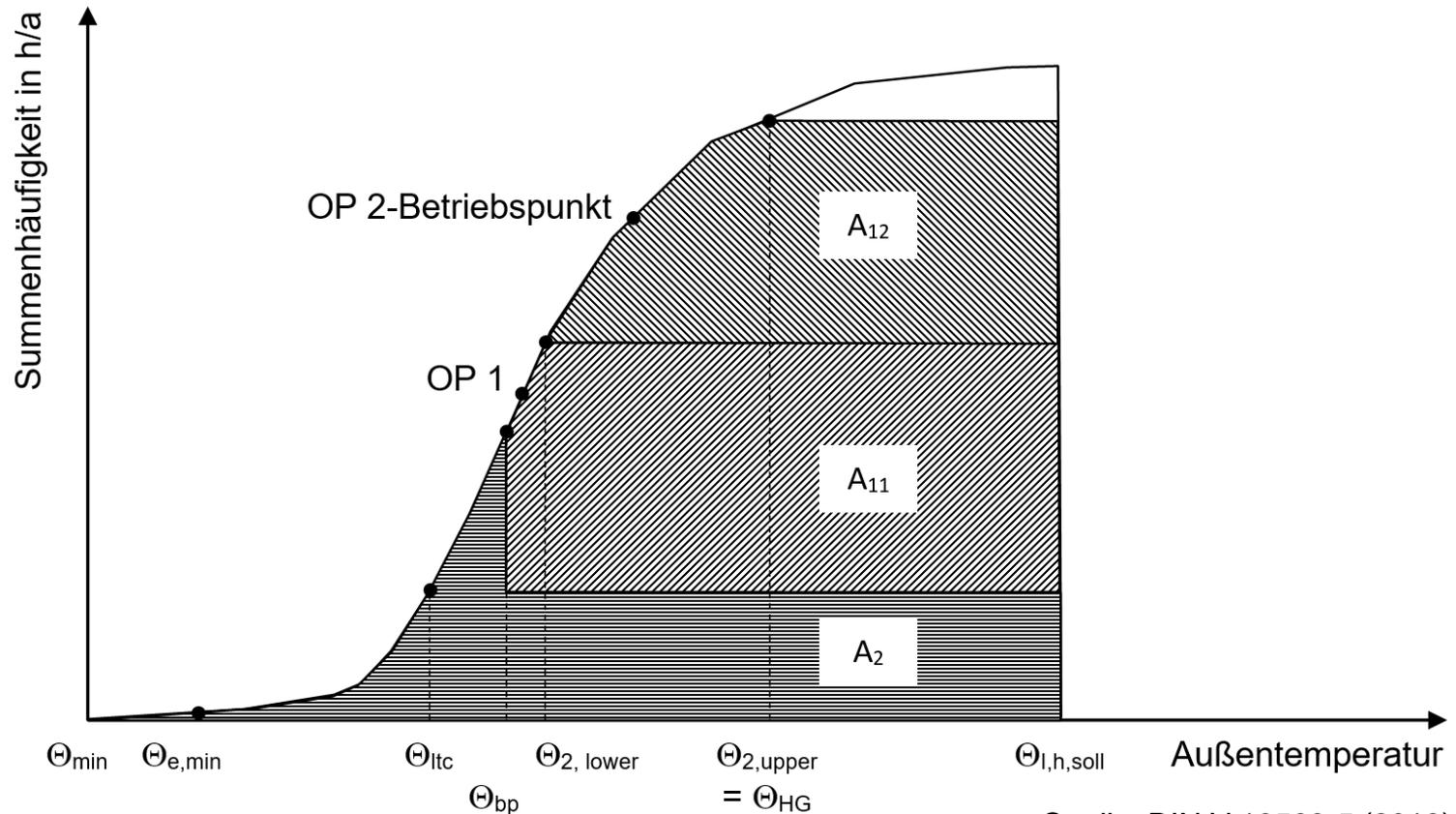
$$DH_{\vartheta_{BIN,j,mth}} = H_{\vartheta_{BIN,j,mth}} \cdot (20^{\circ}C - \vartheta_{BIN,j})$$

- Ermittlung der Stunden und Gradtagstunden für die Temperaturklassen je Monat
 - A-7 ($\vartheta_e < -2.5^{\circ}C$),
 - A2 ($-2.5^{\circ}C \leq \vartheta_e < 4.5^{\circ}C$) und
 - A7 ($\vartheta_e \geq 4.5^{\circ}C$)

Energetische Bewertung nach DIN V 18599

Schritt 2: Bewertung der Betriebsweise (Abzug Energie eines 2. WE von $Q_{h,outg}$)

- teilparallel



Quelle: DIN V 18599-5 (2018)

Energetische Bewertung nach DIN V 18599

Schritt 3: Zuordnung der Erzeugernutzwärmeabgabe zu Temperaturklassen

Erzeugernutzwärmeabgabe wird monatlich berechnet und muss durch energetische Gewichtung auf die Temperaturklassen aufgeteilt werden.

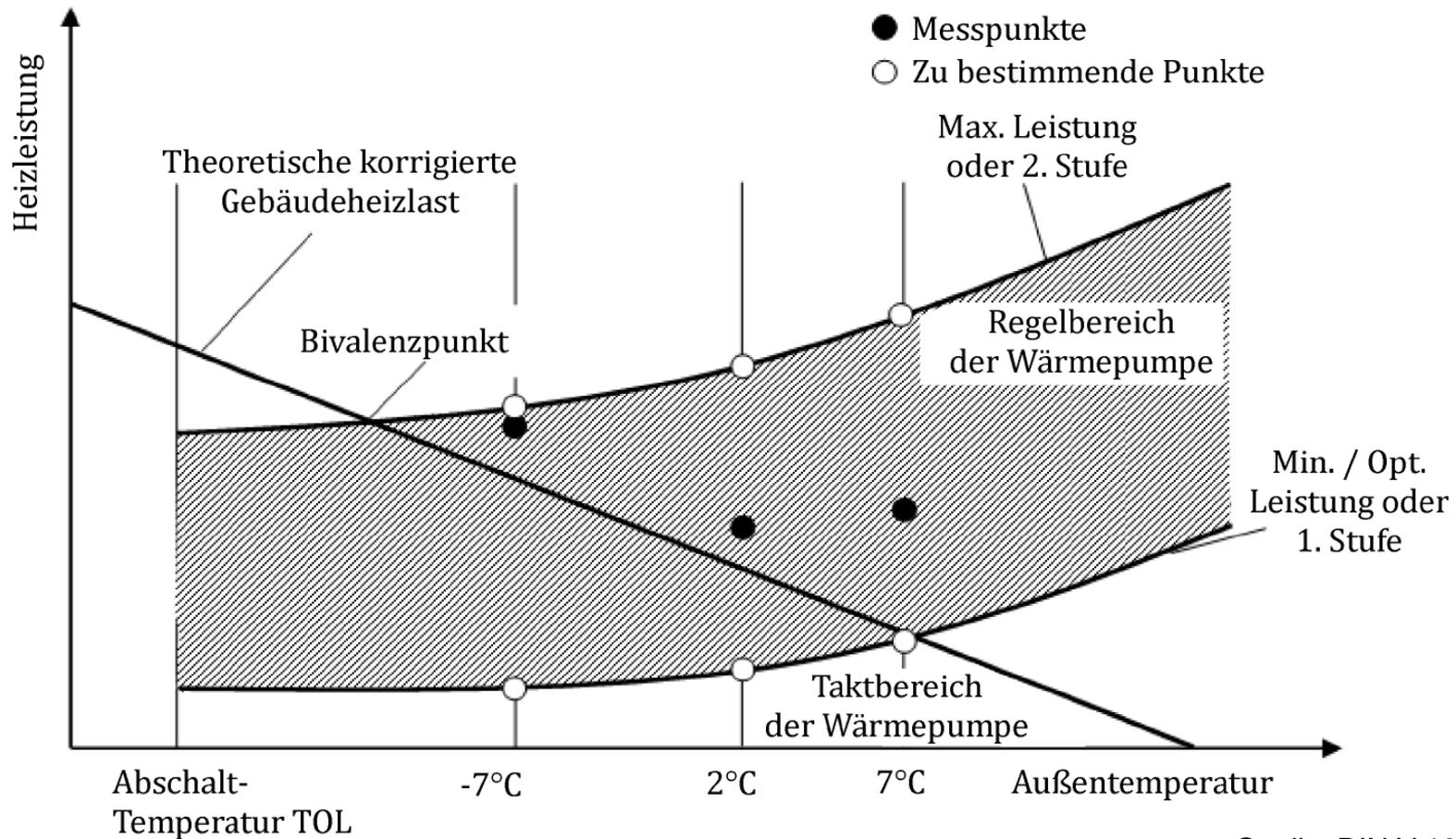
Schritt 4: Korrektur der Prüfpunkte je Temperaturklasse auf die Quellen-, Senktemperatur und Spreizung

Senktemperatur: In der Verteilung wird eine monatsmittlere Vorlauftemperatur berechnet. Die Prüfpunkte gelten für 55°C, 45°C, 35°C. Eine lineare Inter- und Extrapolation der Heizleistung und Leistungsaufnahme ist bis minimal 30°C erlaubt.

Spreizung: In der Verteilung wird eine monatsmittlere Spreizung berechnet. Diese dient als Basis für eine Korrektur der Leistungszahl und der Heizleistung (Tab. 37).

Energetische Bewertung nach DIN V 18599

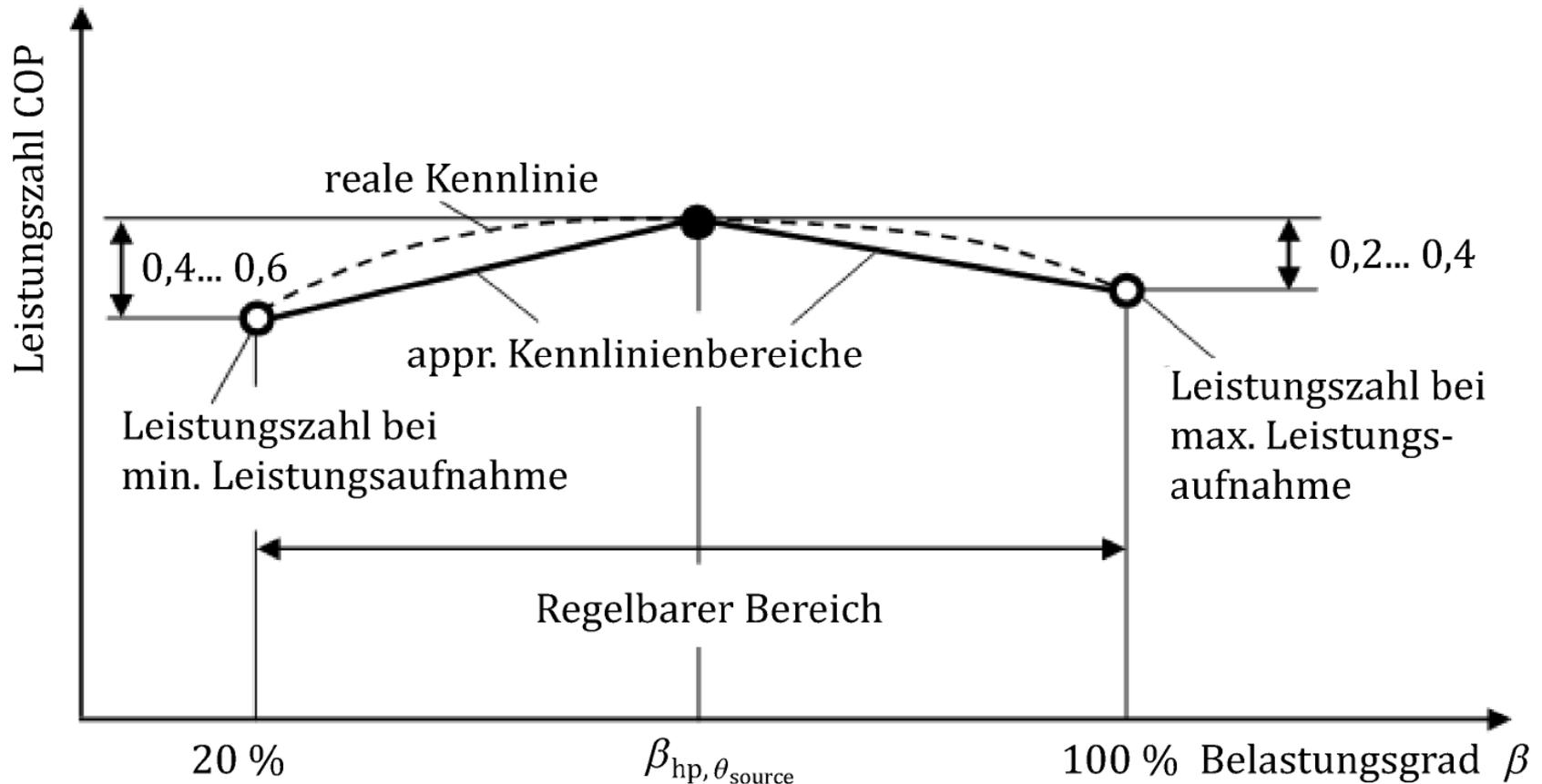
Schritt 5: Berücksichtigung des Teillastbetriebes (Vorteil geregelter WP)



Quelle: DIN V 18599-5 (2018)

Energetische Bewertung nach DIN V 18599

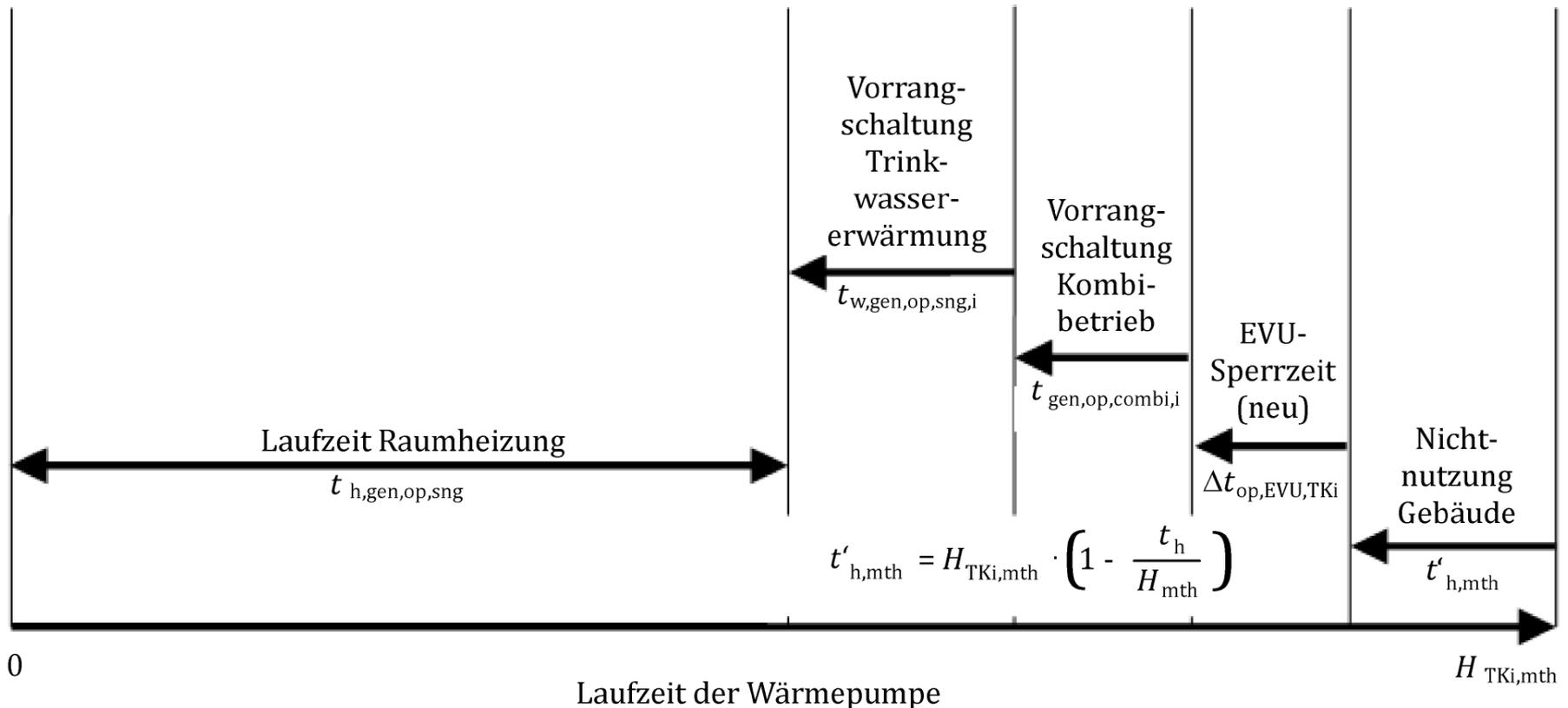
Schritt 5: Berücksichtigung des Teillastbetriebes



Quelle: DIN V 18599-5 (2018)

Energetische Bewertung nach DIN V 18599

Schritt 6: Laufzeiten der Wärmepumpe



Quelle: DIN V 18599-5 (2018)

Energetische Bewertung nach DIN V 18599

Schritt 7: Ermittlung Lastfaktor, Teillastfaktor und Leistungsabgabe

- Basierend auf der Erzeugernutzwärmeabgabe und der verfügbaren Laufzeit kann ein Last- und ein Teillastfaktor und die Leistungsabgabe bestimmt werden.
- Lastfaktor $FC = 1$ bei geregelter oder maximalem Betrieb
- Lastfaktor $FC < 1$ bedeutet taktenden Betrieb
- Lastfaktor beschreibt die Laufzeit zur möglichen Betriebszeit der Wärmepumpe.
- Der Teillastfaktor f_{Pint} hängt vom Lastfaktor und dem Wärmeübergabesystem ab.
- Im taktenden Teillastbetrieb muss die untere Leistungszahl mit dem Teillastfaktor korrigiert werden.

$$COP_{Pint,i} = f_{Pint} \cdot COP_{cor,min,TKi}$$

Energetische Bewertung nach DIN V 18599

Schritt 8: Ermittlung der Energieaufnahme der Wärmepumpe

- Energieaufnahme entsteht durch Summation aller Energieaufnahmen der Raumheizung aller Temperaturklassen

Schritt 9: Ermittlung der Energieaufnahme des 2. WE

- Energieaufnahme entsteht durch Betriebsweise (parallel, alternativ, teilparallel) und durch eine evtl. zu hohe Vorlauftemperatur
- Wird temperaturklassenweise berechnet.

Schritt 10: Hilfsenergiebedarf

- Energieaufnahme entsteht durch Summation aller Energieaufnahmen der Raumheizung aller Temperaturklassen

Schritt 11: Regenerativer Energieertrag