

Miteinander forschen
Wirtschaft stärken
Perspektiven schaffen



Entwicklungsstand und technische Perspektiven von Wärmepumpen

Wärmewende - Traum und Wirklichkeit

Fachsymposium 2024 | 02. Mai 2024

Dipl.– Ing. Ralf Noack

Institut für Luft und Kältetechnik gGmbH

Gliederung



Motivation/Einordnung

- Bedeutung / Einordnung Wärmebedarf in Bezug zu Klimaschutzzielen
- Wer bin ich und was ist das ILK

Wärmepumpen

- Grundlagen
- Marktdaten
- Hemmnisse

Technische Perspektiven

- Kältemittel
- F-Gase und REACH VO
- Industrierärmepumpen
- Forschungsprojekte



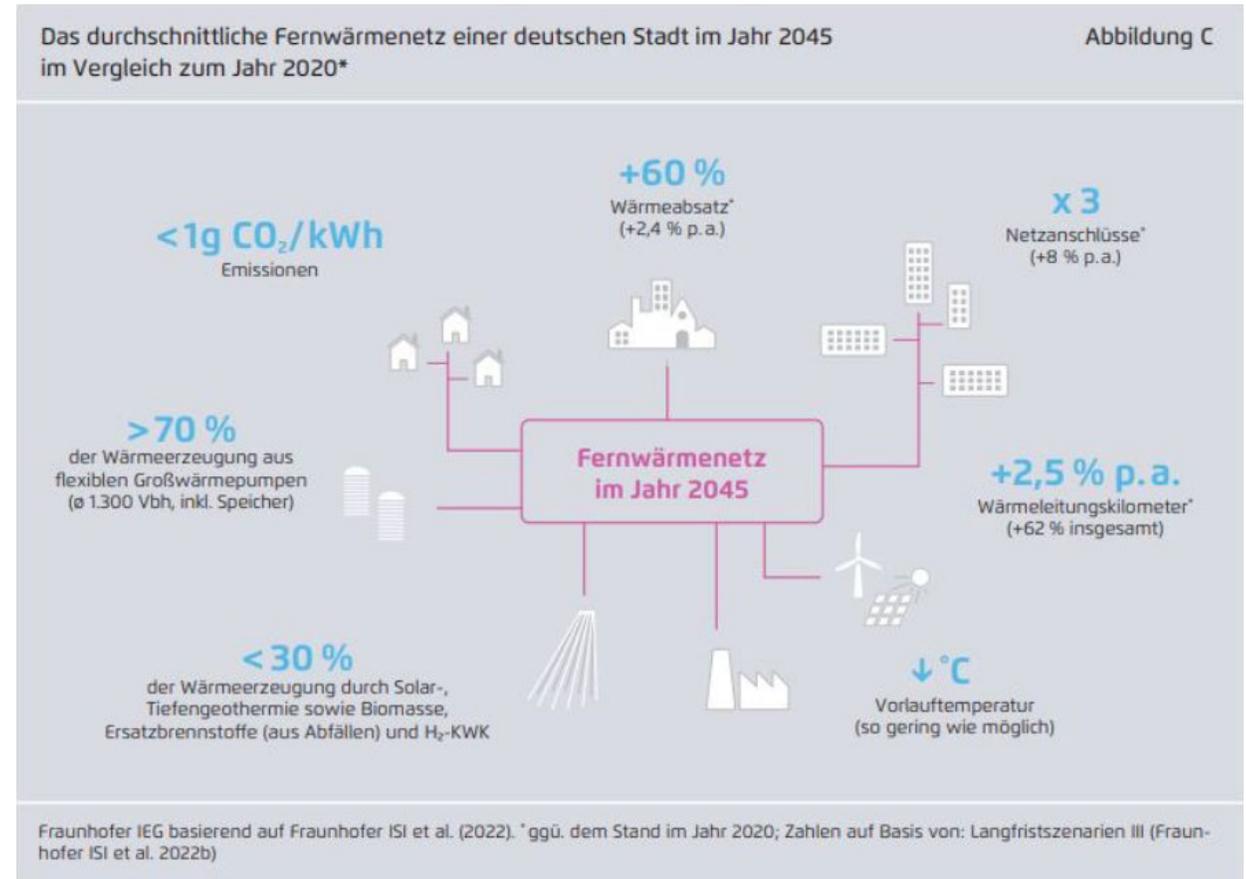
Potentiale für Wärmepumpeneinsatz in Wärmenetzen



Fernwärme ► Klimaneutralität (defossilisiertes Energiesystem)

- Gas- und Ölkessel werden nahezu vollständig durch Wärmepumpen und Wärmenetze ersetzt
- Fernwärme wird zukünftig über zentrale Wärmepumpen zur Verfügung gestellt
(Szenarien 30-40 GW + Solarthermie 13-27 GW)
- Spitzenlastdeckung durch Gaskessel und KWK-Anlagen
(5-27 GW)
- Daten 2022
57% des Endenergieverbrauch (2.368 kWh) von 2022 für Wärme/Kälte (1.344 Mrd. kWh)
(Raumwärme, Warmwasser, Prozesswärme, -kälte)

Quelle: BDEW 11/2023 „Statusreport Wärme - 04.03.2024“

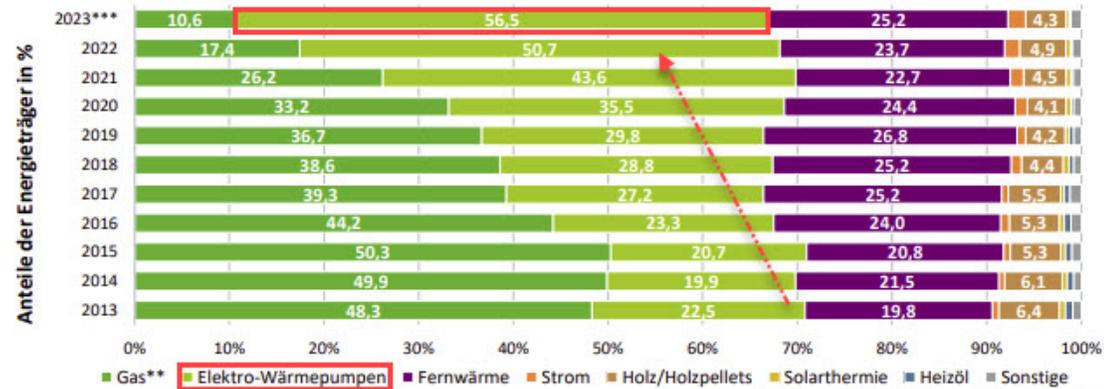


Quelle: Dr. S. Henninger, Workshop: FuE Industrie- und Großwärmepumpe 18.10.2023

Wärmetransformation → Potential Wärmepumpe



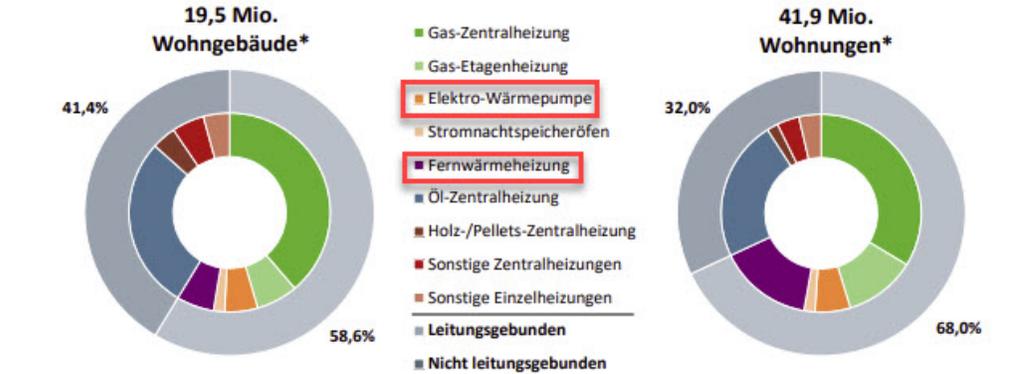
Entwicklung der Beheizungsstruktur im Wohnungsneubau* in Deutschland



Quellen: Statistische Landesämter, BDEW; Stand 12/2023

* zum Bau genehmigte neue Wohneinheiten; primäre Heizenergie;
** einschließlich Biomethan; *** vorläufig, teilweise geschätzt

Beheizungsstruktur des Wohnungsbestandes in Deutschland Anteile der Heizungssysteme 2023

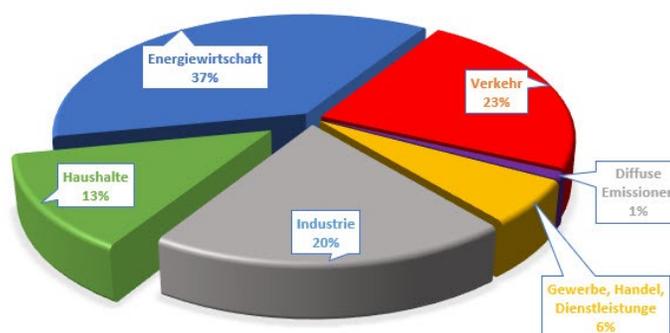


Quelle: BDEW-Studie „Wie heizt Deutschland? 2023“; Stand 11/2023 * Anzahl der Wohngebäude bzw. Wohnungen in Wohngebäuden: Heizung vorhanden

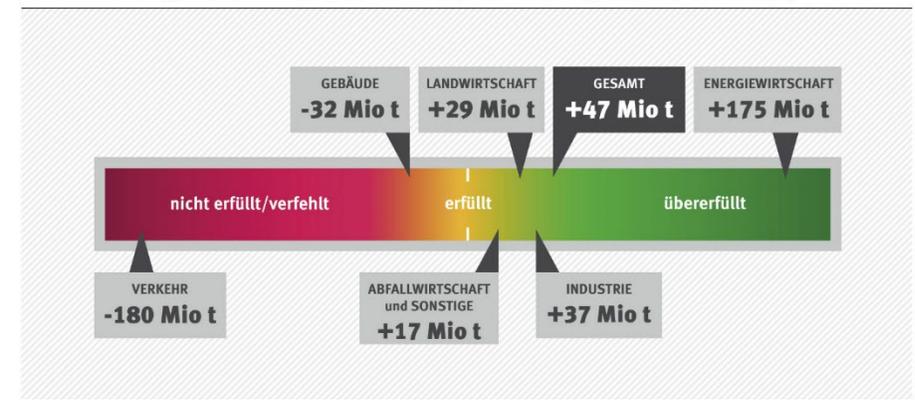
ENERGIEBEDINGTE EMISSIONEN IM JAHR 2020 GESAMT: 608 MIO. TONNEN CO₂-ÄQUIVALENTE (QUELLE: UBA)



ENERGIEBEDINGTE EMISSIONEN IM JAHR 2021 GESAMT: 642 MIO. TONNEN CO₂-ÄQUIVALENTE (QUELLE: UBA)



Kumulierte sektorale Jahresemissionsgesamtmen und kumulierte Zielerreichung/Zielverfehlung der KSG-Sektoren und gesamt (2021-2030)



Quelle: Umweltbundesamt

Das Institut



1964 Gründung als unabhängiges Forschungsinstitut

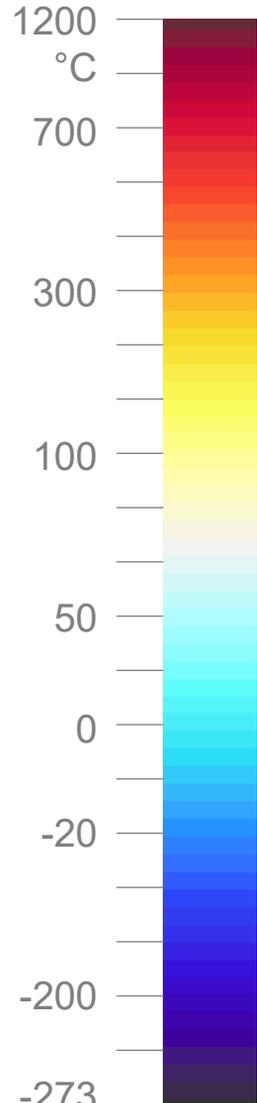
1980 Eingliederung in das Kombinat ILKA

1990 Neugründung als gemeinnütziges Forschungsinstitut

- 15 Mio. € Jahresumsatz
- ca. 150 Beschäftigte
- davon 72% mit Hochschulabschluss
- ca. 50 Studierende pro Jahr
- 3.000 qm Versuchsfläche
- 4 Werkstätten für Versuchsanlagen
- 25 physikalisch-chemische Labore

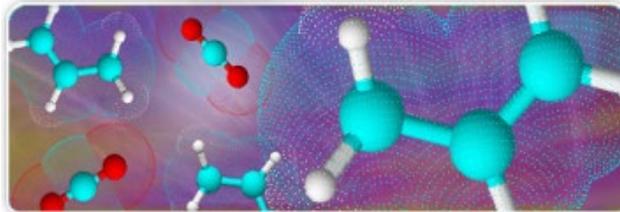


© Foto ILK Dresden



Luft- und Klimatechnik

Lüftung, Klimatisierung, Luftfilterung, Verbrennung



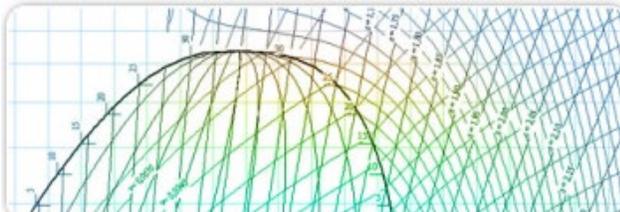
Angewandte Neue Technologien

Arbeitsstoffe, Werkstoffe, Thermische Speicher, solare Kühlung, Sensorik, Leckagesuche



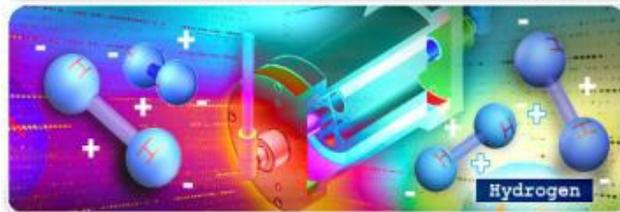
Angewandte Energietechnik

Kaltwassersätze, Eiserzeugung, Meerwasserentsalzung, Absorptionskälte



Kälte- und Wärmepumpentechnik

Kompressions-, Haushalts-, Gewerbekälte, Wärmepumpen



Kryotechnik & Tieftemperaturphysik

Kryostate Kryokühler, He-Refrigeratoren, transkritischer H₂, Life Science



1



Wärmepumpen

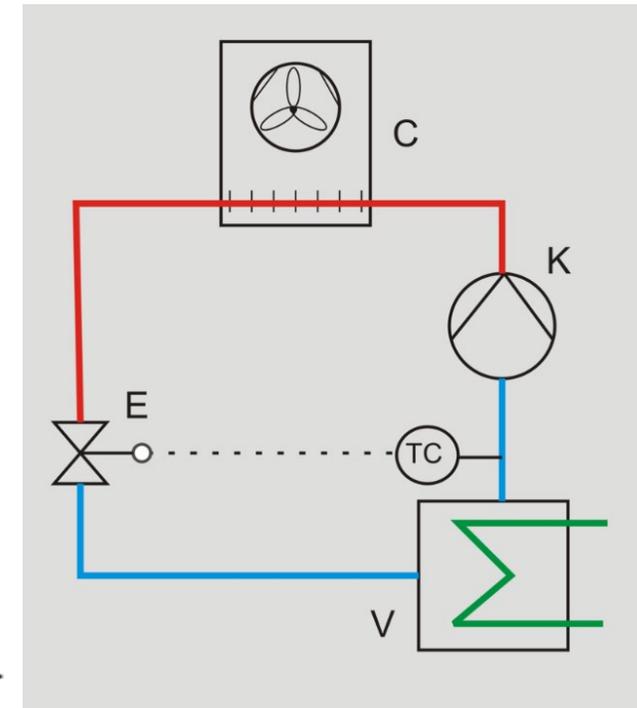
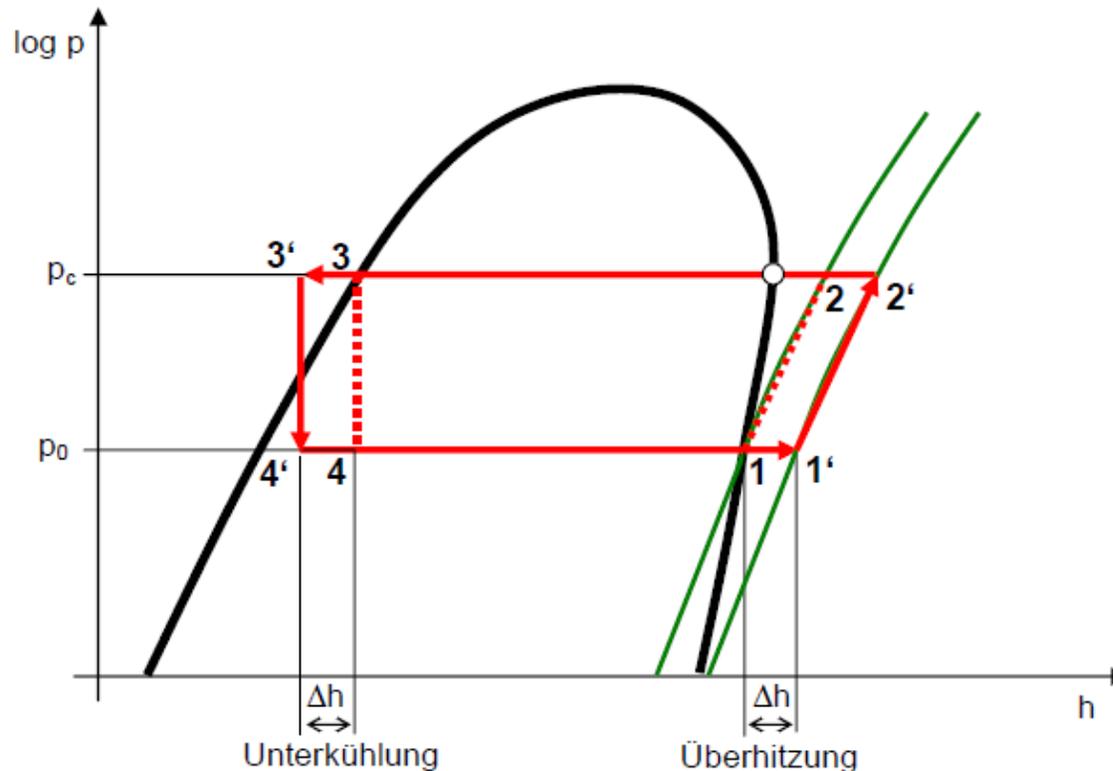
Grundlagen

physikalische Rahmenbedingungen / Grenzen

Wärmepumpe – Grundlagen Kreisprozess



- Einfacher Kälte-/Wärmepumpenkreislauf im Druck-Enthalpie Diagramm (log-p-h)
 - 1-2 Druckerhöhung mittels Verdichter
 - 2-3 Energieabfuhr (Enthitzen, Kondensieren, Unterkühlen) mittels Kondensator
 - 3-4 Druckreduzierung mittels Expansionseinrichtung
 - 4-1 Energiezufuhr (Verdampfen, Überhitzen) mittels Verdampfer



Theoretischer CARNOT-Prozess - im Zweiphasengebiet (T,s – Diagramm)



Carnot'scher Vergleichsprozess

Carnot (1796-1832)

Idealer thermodynamischer Kreisprozess
aller Wärmekraftmaschinen u. Kälteprozesse

Zwei **Isothermen** und zwei **Iisentropen**

Energiebilanz im Thermodynamischen
Kreisprozess ist immer:

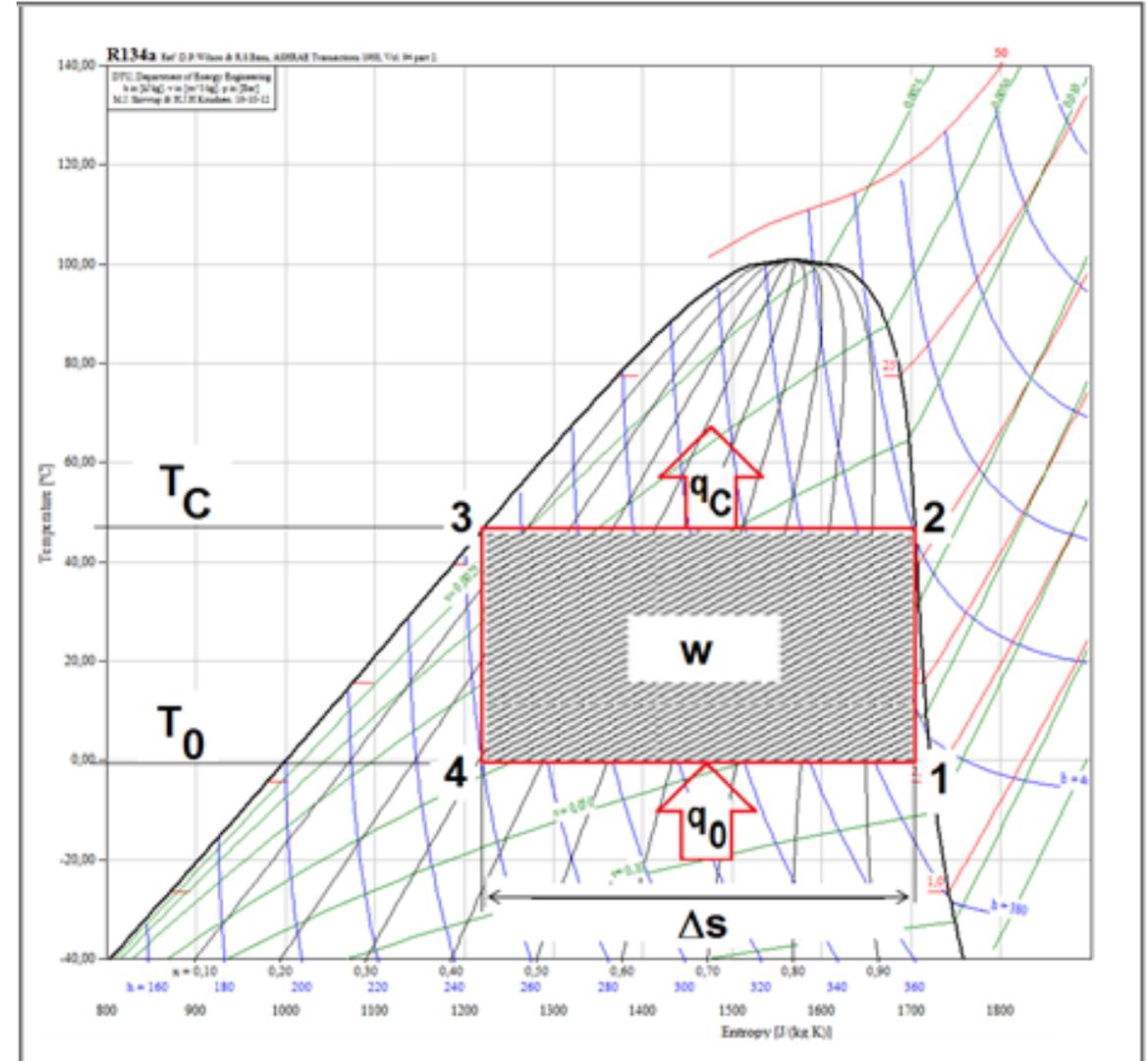
zugeführte E. = abgeführte E.

$$q_0 + w = q_c$$

q_c = Verflüssigungswärme

q_0 = Verdampfungswärme

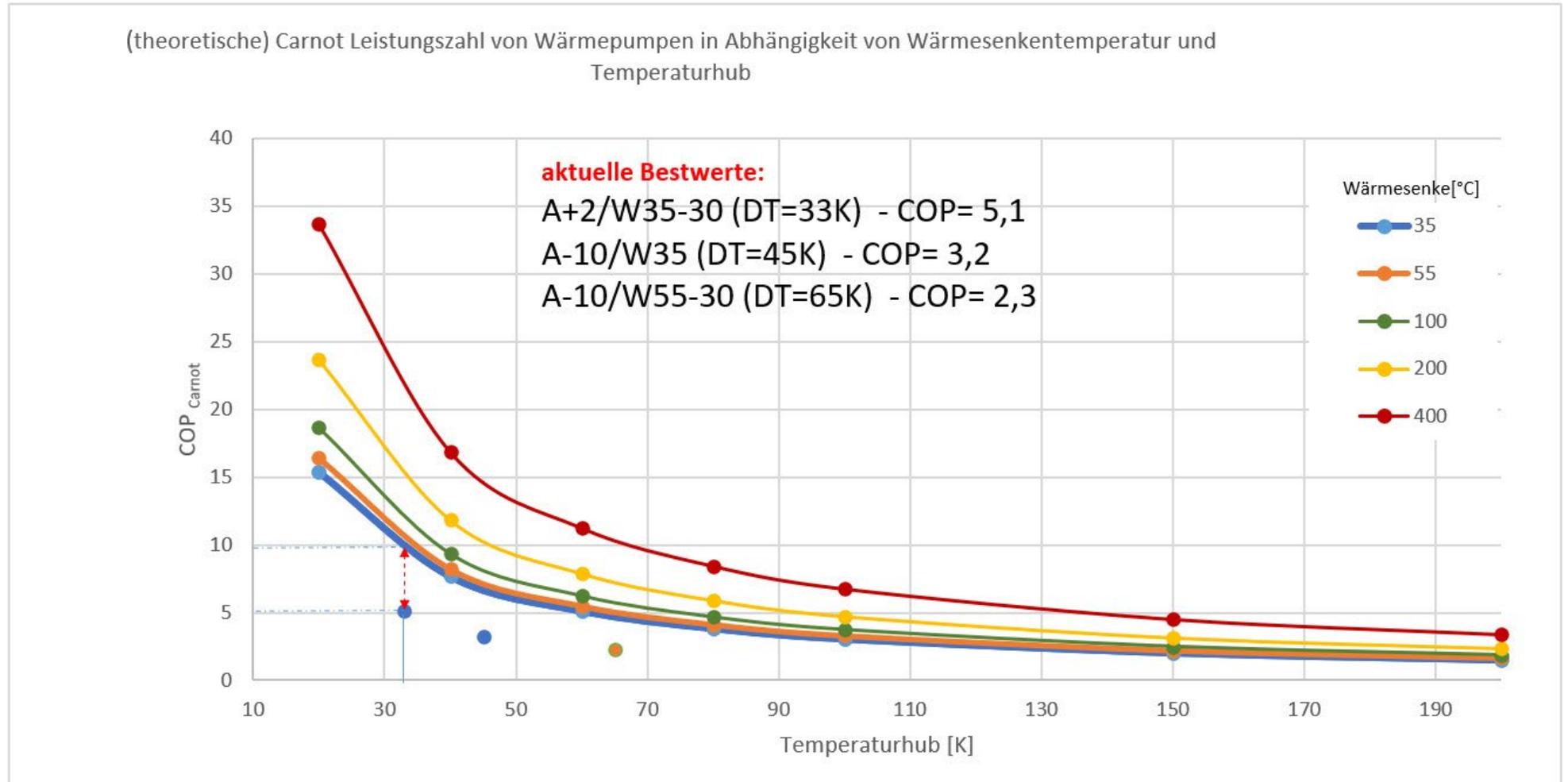
w = Verdichtungsarbeit



Wärmepumpe – COP vs. Temperatur-Hub



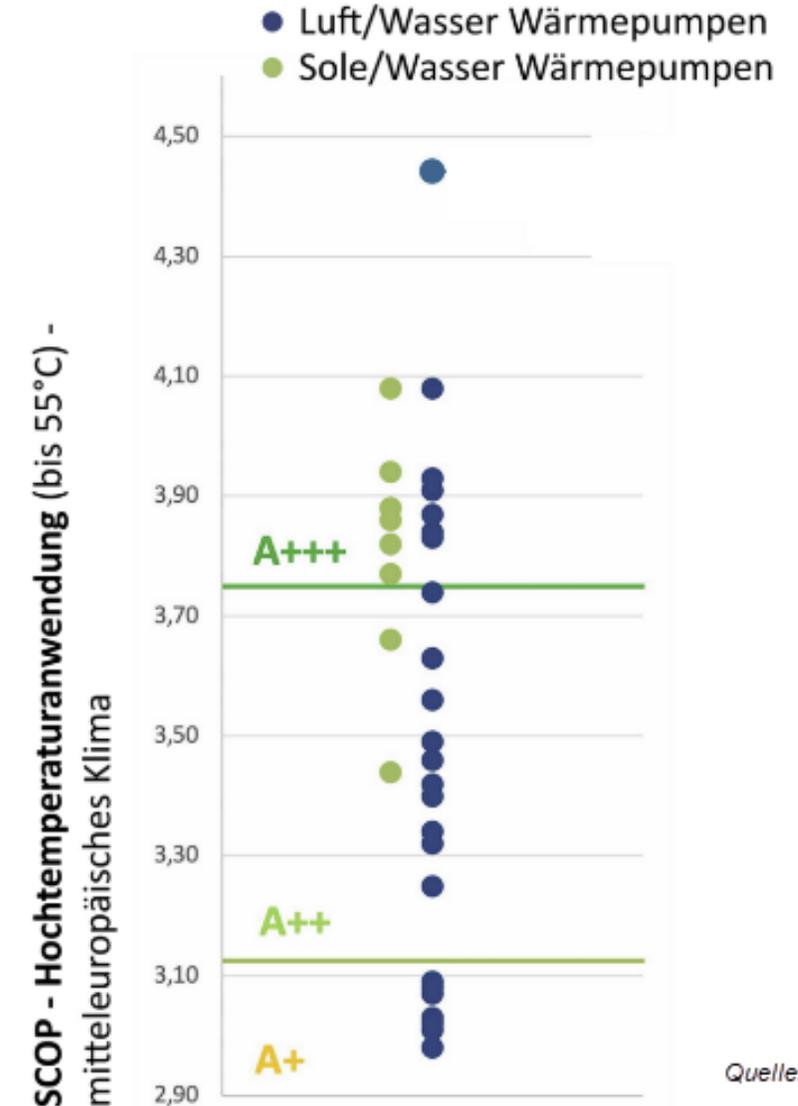
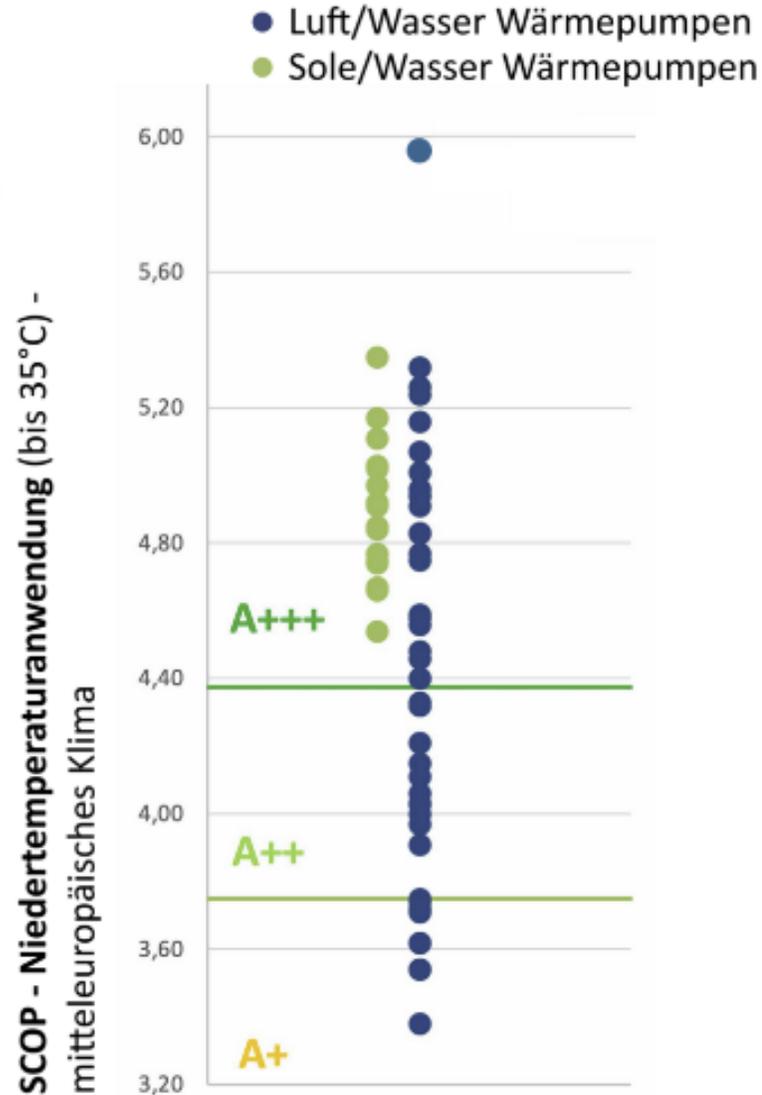
- Abhängigkeit theoretischer Carnot-COP von Quelle und Senke
(basierend auf Leistungswerten – keine saisonale Betrachtung)



Heizungswärmepumpen – Prüfstandswerte (SCOP)



Entwicklung saisonaler COP - SCOP (Prüfstandswerte)

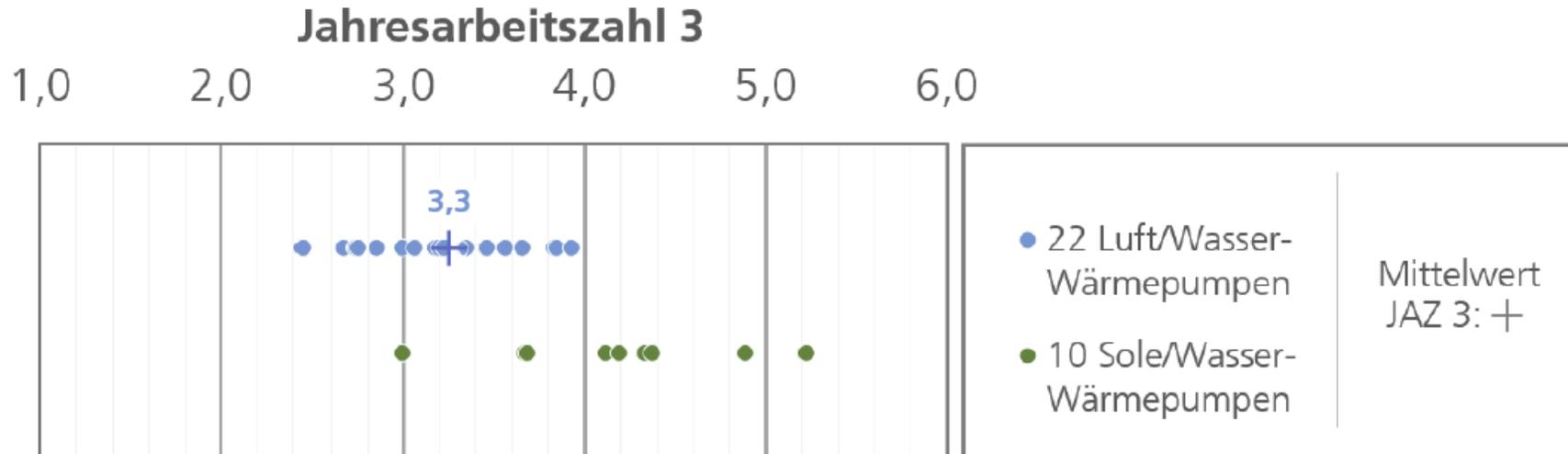


Quelle: WPZ

Heizungswärmepumpen Feldtest ISE



Übersicht gemessene JAZ der überwachten WP



Luft/Wasser-WP

alle Wärmepumpen:

$\bar{\varnothing} = 3,3$ (2,4 ... 4,0)

80% Mittelwert:

$\bar{\varnothing} = 3,2$ (2,8 ... 3,7)

Sole/Wasser-WP

alle Wärmepumpen:

3,0 ... 5,2



2



Arbeitsstoffe Wärmepumpen

aktuelle Situation

Kältemittelumstellung (Klimaschutz)

Arbeitsstoffe (Kältemittel) für Wärmepumpen



„natürliche“ Kältemittel

- Kohlenwasserstoffe (Propan, Butan, Pentan) → **brennbar!**
- Ammoniak (NH₃) → **giftig**
- Kohlendioxid (CO₂) → **hohe Drucklage, überkritischer Prozess**
- Wasser(-dampf) → **Werkstoffe, Schmierung**
- Luft → **Kaltluftprozess nicht effizient**

Chemische Kältemittel

- R32;R134a, R410A; R1234yf (ze), etc.
- **in der Regel teurer**
- **schlecht für die Umwelt** (insbesondere bei Leckage/Haverien)
- **Stark reguliert/ anwendungsbezogen teilweise verboten** (F-Gase-Verordnung, REACH-Verordnung/PFAS-Verbot)

Arbeitsstoffe werden zunehmend reguliert, da umweltschädigende Einflüsse in Lebenszyklus !

TREND → natürliche Kältemittel

F-Gase

Langlebige Treibhausgase – anthropogen verursacht)



F-Gase-Verordnung EU 517/2014 regelt:

weltweit
Deutschland

ca. 2% der Treibhausgasemissionen
ca. 1,6% der Treibhausgasemissionen

FKW, H-FKW

- Kältemittel (siehe nächste Folie)
- Verwendung von F-Gasen z.B. aber auch
 - als Treibgas im Asthma-Spray,
z.B.: R134a (GWP 1.430), R227ea (GWP 3.220)
 - als Fluor-Spender in Halbleiterindustrie,
z.B.: RC318 (GWP 10.300)

SF_6 (GWP 22.800)

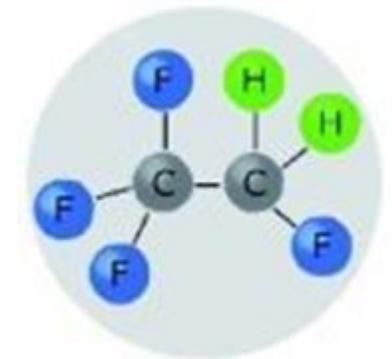
NF_3 (GWP 17.200)

(CO_2 GWP=1)

Isolierung von Fenstern (Verbot in EU seit 2007)

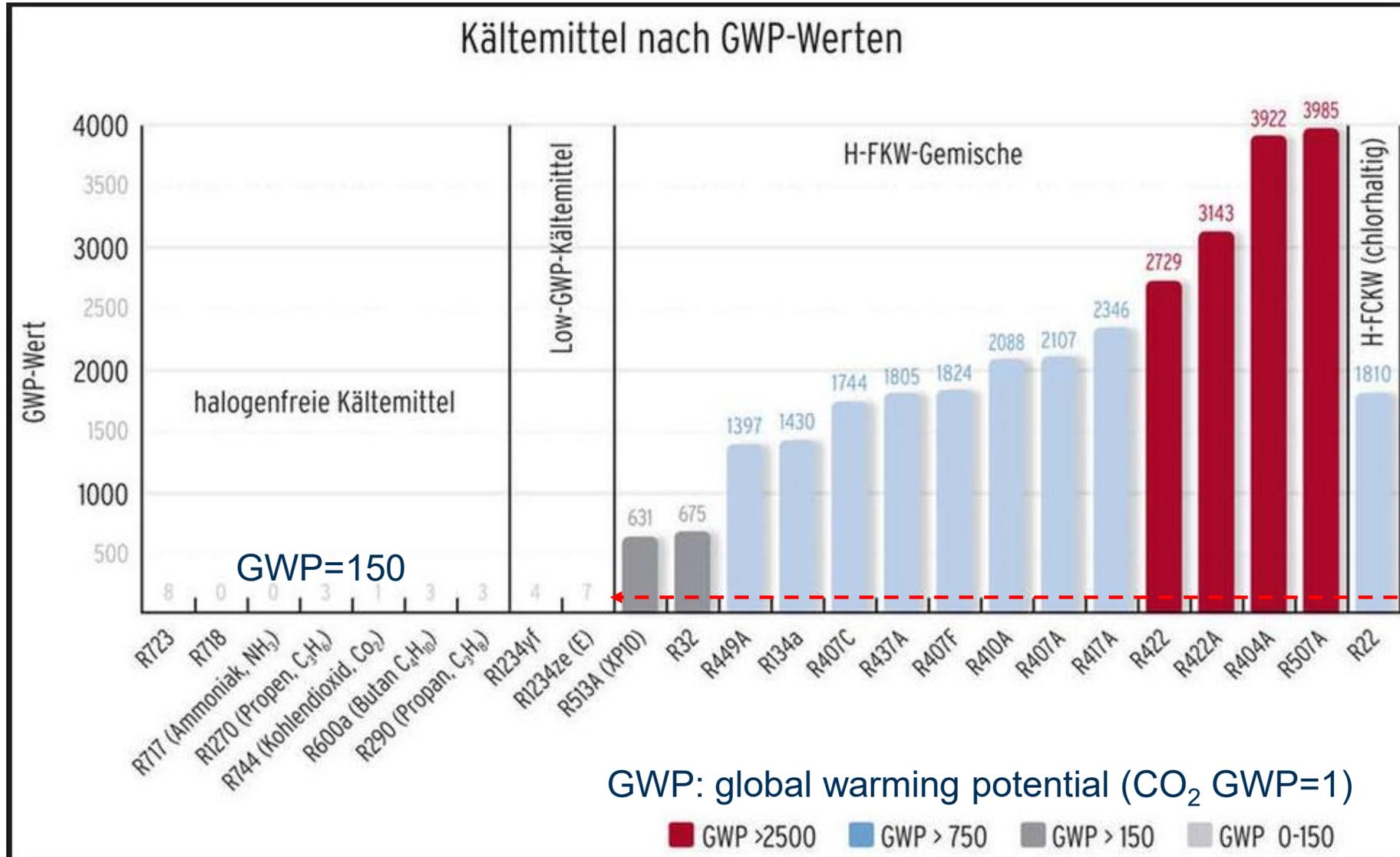
Emissionen durch Herstellung von Flachbildschirmen, Solarzellen

* GWP: global warming potential



z.B.: H-FKW R134a

Auswahl gebräuchlicher Kältemittel



F-Gas Verordnung EU 2024/573



Höchstmengen für das Inverkehrbringen von teilfluorierten Kohlenwasserstoffen

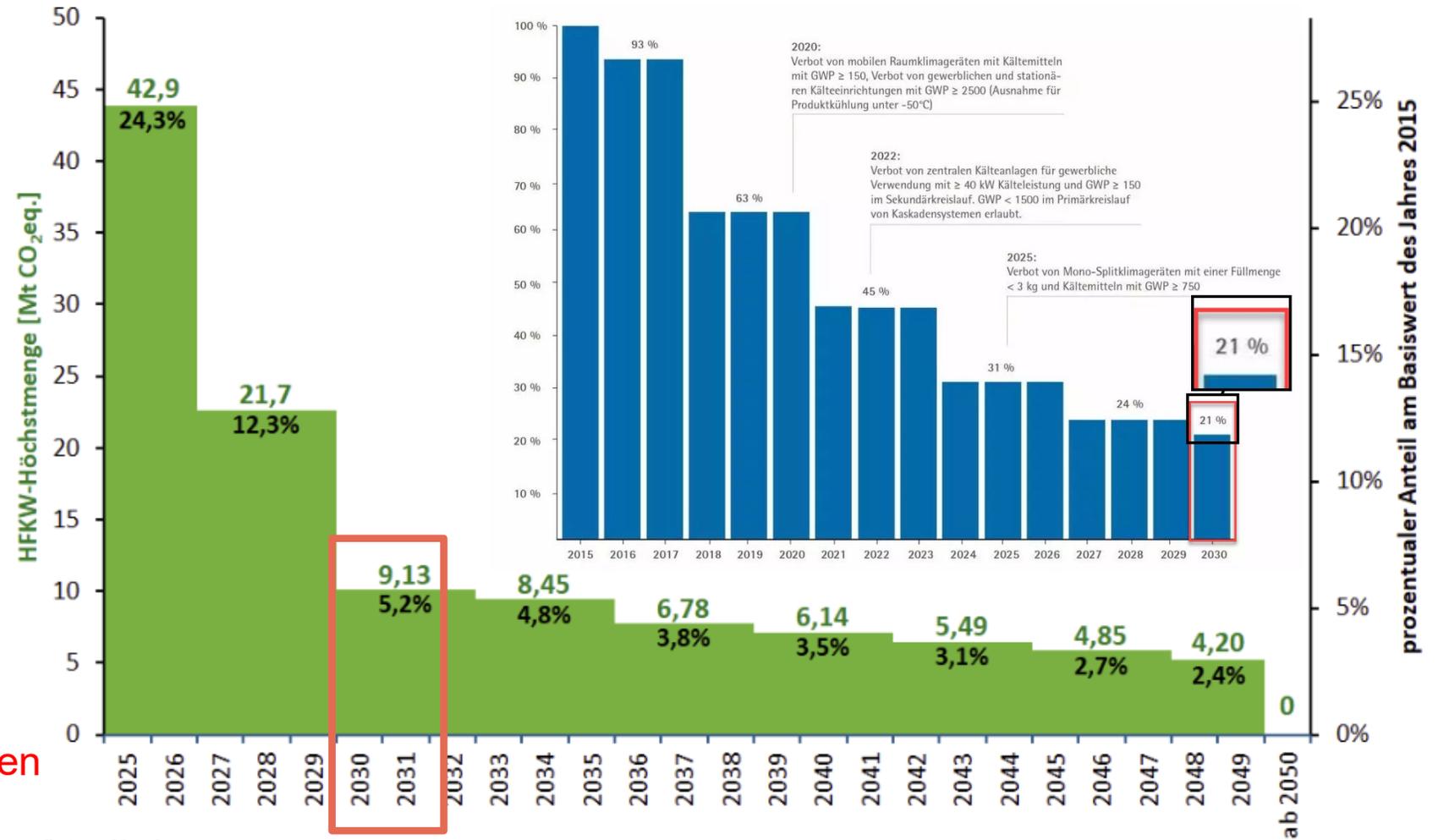
gemäß Verordnung (EU) 2024/573 (Basiswert = 176,7 Mt CO₂eq.)

Atmosphärenschutz:

- Ozonabbau
→ ODP = 0
- Treibhauspotential
→ GWP verschiedene GW < 150

- Verschärfung phase-down
- Einschränkungen in der Produktion, kaum Verbote
- Emissionsbegrenzung
- Regulation über Preis und Verfügbarkeit

synthetische Kältemittel werden vom Markt verschwinden!



Quelle: Umweltbundesamt

PFAS/REACH-Beschränkungsverfahren

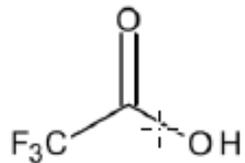
„Ewigkeits-Chemikalien“

PFAS = **P**er- und **P**oly**f**luoro**a**lky**l** **S**ubstanzen

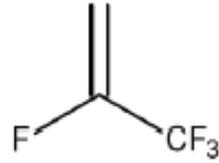
PFAS = **alle Stoffe mit mindestens einer vollständigen -CF₂ oder CF₃ Gruppe enthalten**
(ohne Anbindung von gebundenen H/Cl/Br/I-Atomen)

u.a. HFCs und HFOs => **Kältemittel**

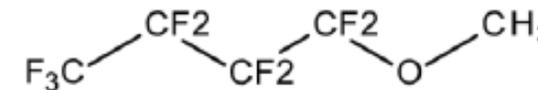
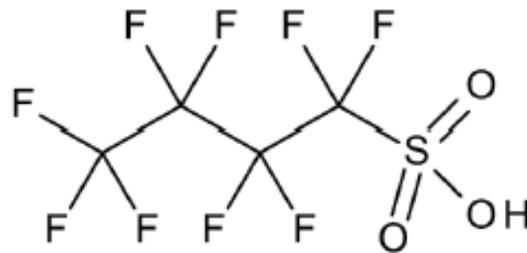
aber auch fluorierte Polymere => Dichtungen / Coatings /
Schmierstoffe



TFA



HFO-1234yf



HFE-7100

Ziel von REACH

Schutz der menschlichen Gesundheit
Grundwasser-, Bodengefährdung

REACH (EG Nr. 1907/2006)

REACH steht für
→ Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung



3



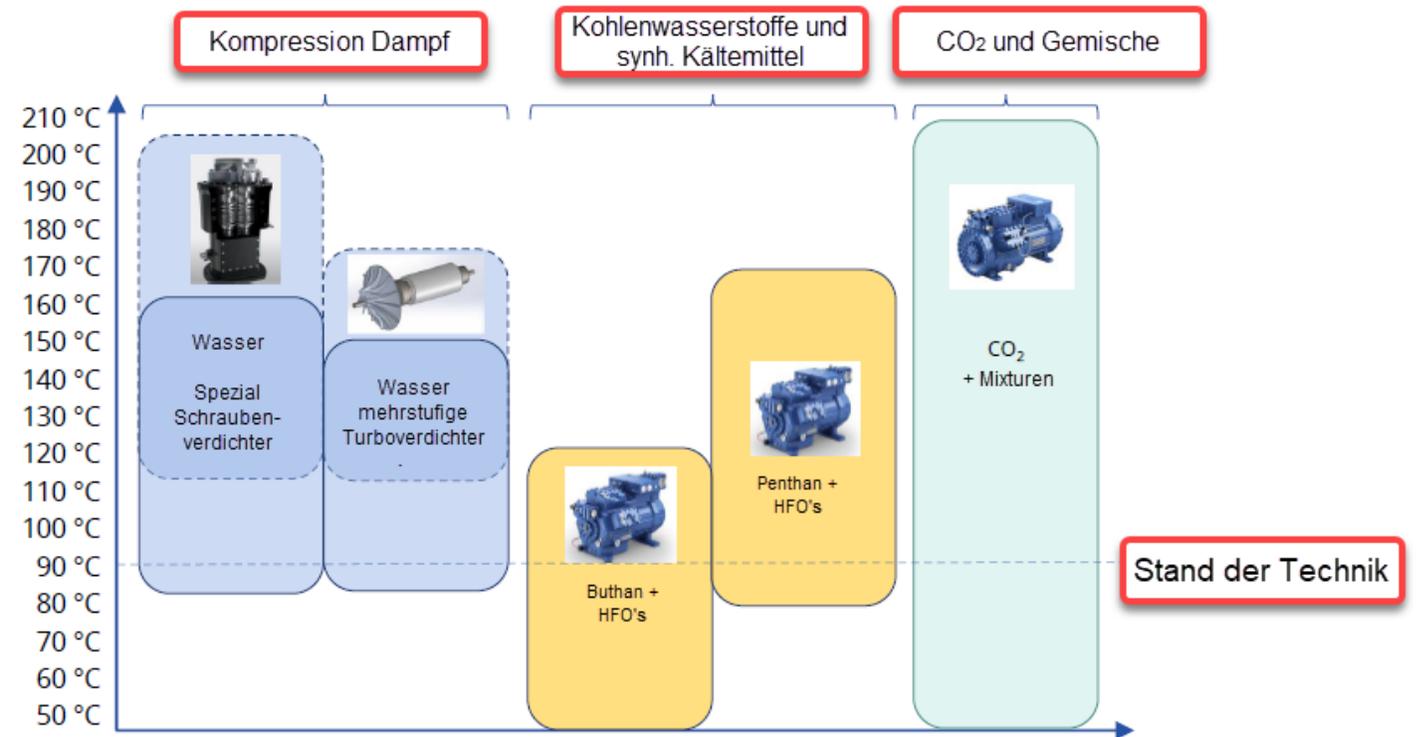
Wärmepumpenanwendungen

Perspektivische Anwendungsfelder,
Hemmnisse

Kältemittel / Technologien für HT-WP



Bezeichnung nach ASHRAE	Kritische Temperatur in °C	GWP	Sicherheitsklasse
R1234yf	94,7	4	A2L
R1234ze(E)	109,4	7	A2L
R134a	101,1	1430	A1
R245fa	154,0	1030	B1
R1233zd(E)	166,5	4,5	A1
R1336mzz(Z)	171,3	9	A1
R365mfc	186,9	794	A2
R236fa	124,9	9810	A1
R600	152,0	4	A3
R600a	134,7	3	A3
R601	196,6	5	A3
R717	132,3	0	B2L
R744	31,0	1	A1
R718	373,9	0	A1



- kritische Temperaturen begrenzen meist den Anwendungsbereich für normalen KP
- Sicherheitsklassen und GWP/ODP = Auswahlkriterium
 - Trend zu natürlichen Kältemitteln



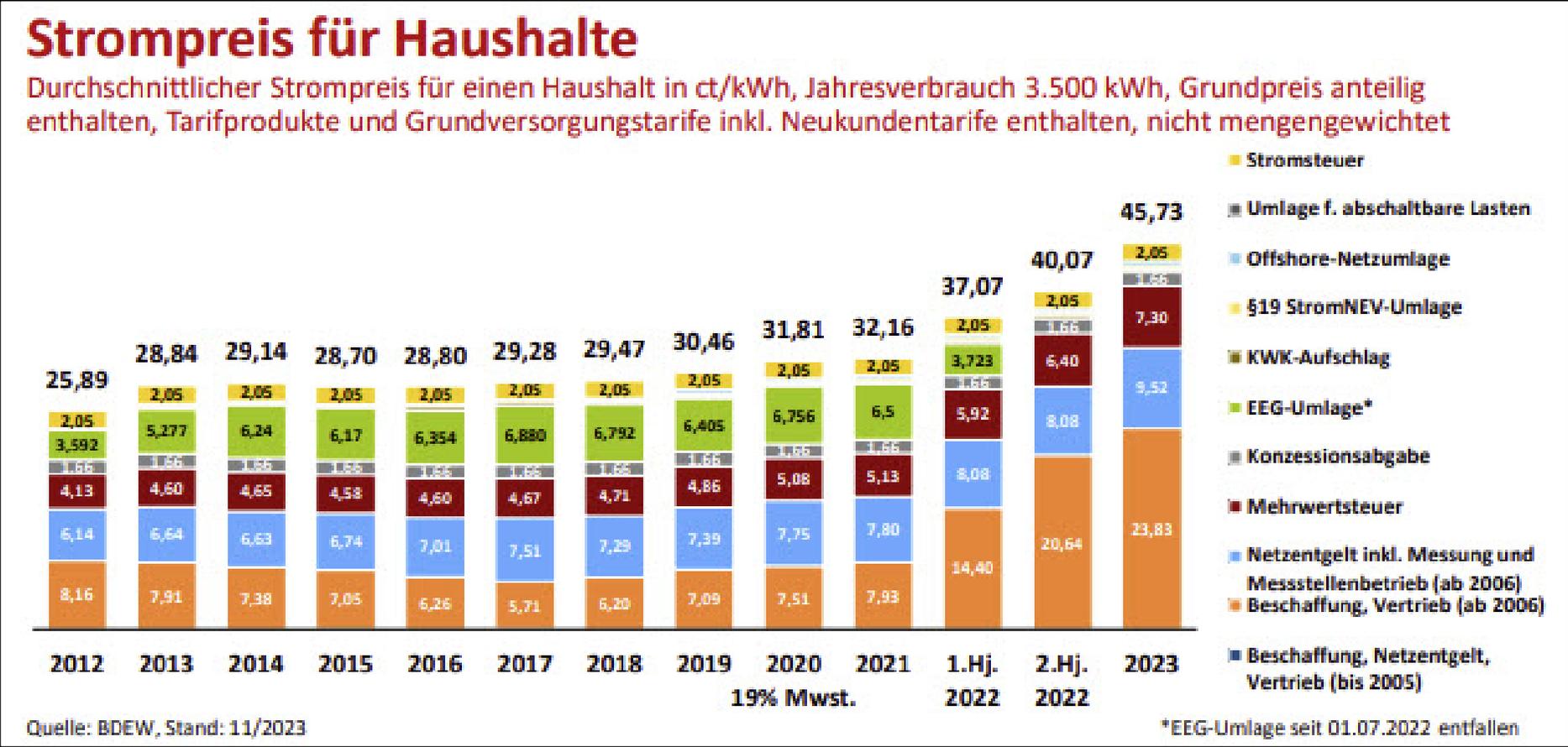
Warum hat sich die Wärmepumpe bisher nicht und viel zu langsam durchgesetzt?

- **fehlende Erfahrung** – konventionelle Technologien, einfacher, preiswerter und kaum Beschränkungen
- **negatives Image** im Privatsektor
(WP Heizungen nur für FB-gesegnet, politisches Hickhack GEG, Förderstrategie, hohe Kosten Umrüstung)
- vielfach **Anwendungs -Temperaturniveau** und erforderliche Leistung für konventionelle WP zu hoch
- wenig Erfahrung bei Einsatz von **Kältemittel** im Temperaturbereich $> 80^{\circ}\text{C}$
(kein ideales KM – Ausnahme Wasser)
- Erfordernis von **Einzellösungen** mit hohen Herstellungskosten und langen Amortisationszeiten
- **Unsicherheit** bei Planern und Investoren bzgl. der wirtschaftlichen und technischen Potenziale der Technologie
- wenig **Erfahrungen** (Betriebsverhalten, Zuverlässigkeit bei Verfügbarkeit und Bedarfsanforderungen
Beachtung von Gleichzeitigkeit und Schwankungen)
- **Strompreis** → Wirtschaftlichkeit

Strompreisentwicklung



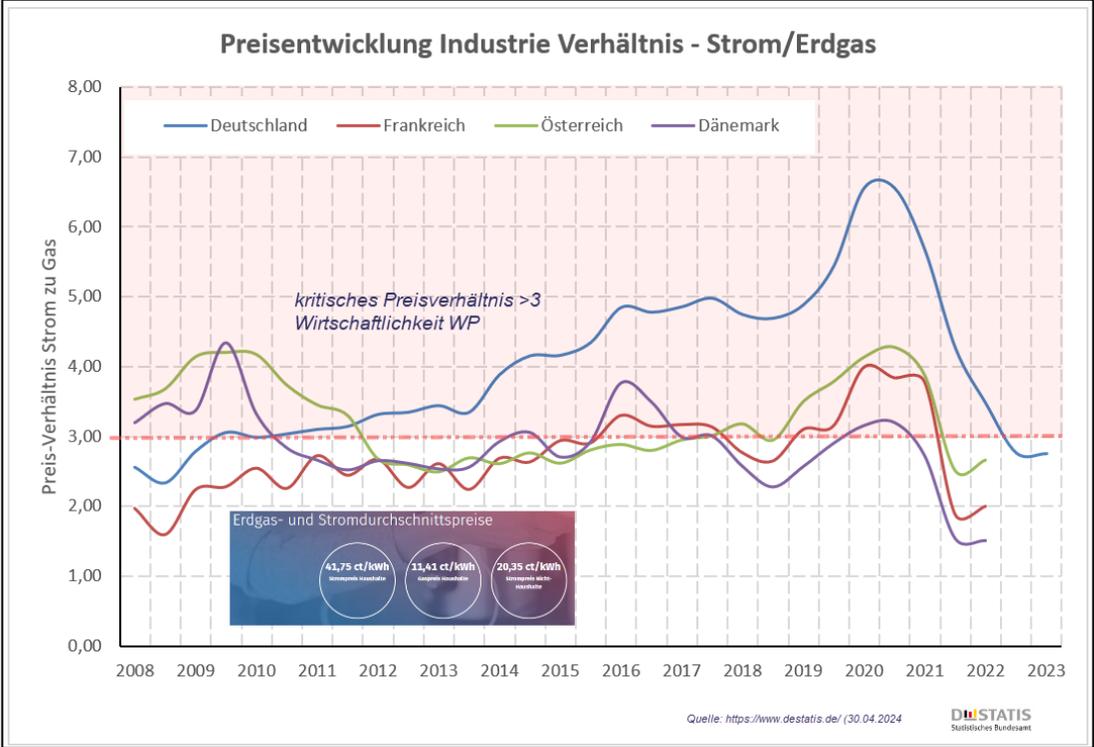
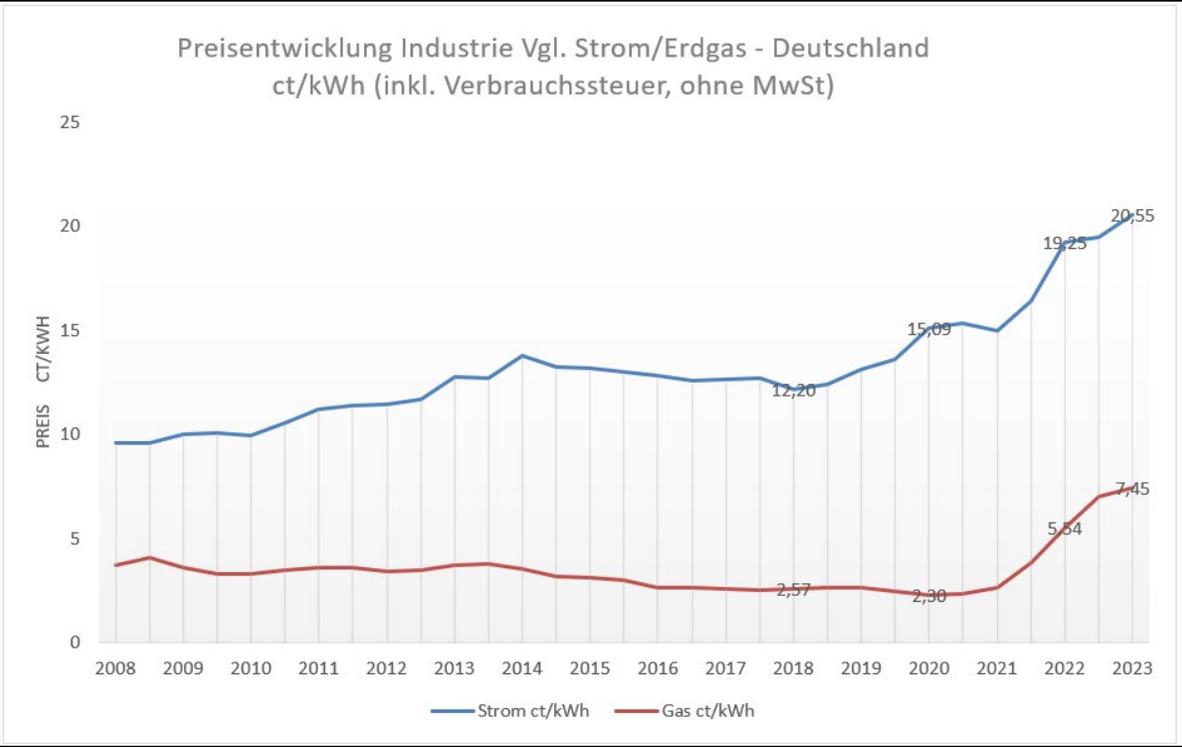
– Größtes Hemmnis in Deutschland = Stromkosten im Vergleich zu Gas (Wirtschaftlichkeit)



Strompreisvergleich



– Größtes Hemmnis in Deutschland = Stromkosten im Vergleich zu Gas (Wirtschaftlichkeit)



Kostenvergleich Energieträger Deutschland

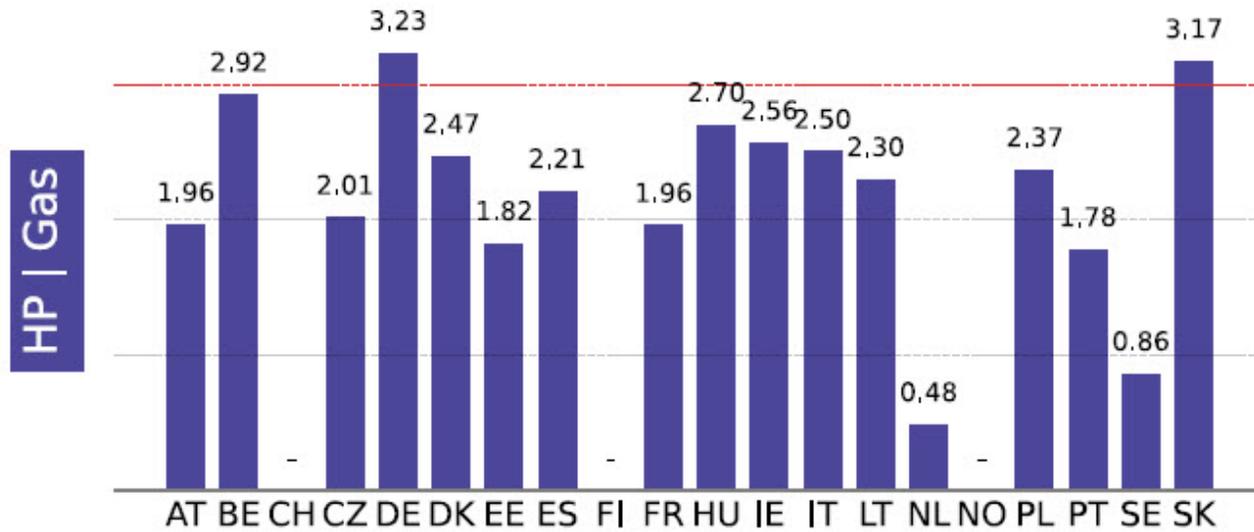


Chart 3.4-1: Energy price ratios for heat pumps vs. gas and oil

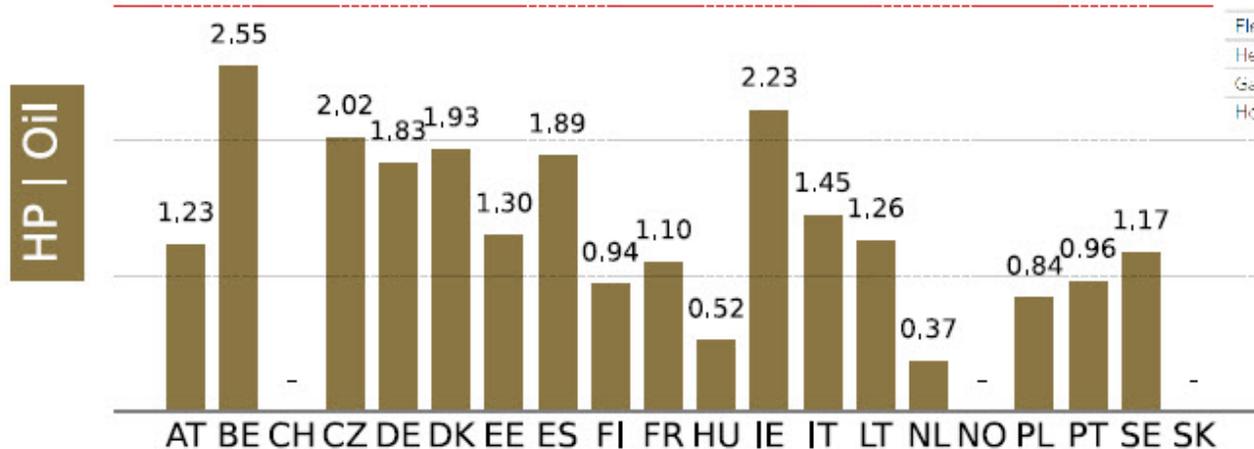


Table 4.8-4: Energy prices - Germany

Electricity	0.33 €/kWh
Heat pumps (avg SPH)	0.11 €/kWh
Gas	0.09 €/kWh
Heating oil	0.14 €/kWh

Quelle: EHPA Statistic Report 2023



4



Zusammenfassung



Zusammenfassung



Wärmepumpen für Gebäudeheizung sind etabliert	<ul style="list-style-type: none">→ Entwicklungsbedarf für Quartierslösungen, MFH, Wärmenetze
Wärmepumpenlösungen für HT-Anwendungen in Gebäuden (VL-Temperaturen >65°C) nur zweckmäßig bei Wärmequellen >5°C	<ul style="list-style-type: none">→ Senkung von VL Temperaturen primär (Gebäudehülle sanieren)
Umstellung auf natürlicher Kältemittel (F-Gase und REACH VO)	<ul style="list-style-type: none">→ Herausforderungen Akzeptanz von brennbaren Arbeitsstoffen→ erhöhte Aufmerksamkeit bei Anwendung (ggf. regelmäßige Überprüfungen, Wartungen)
Großes Potential in Industrie bis zu Nutzttemperaturen von 200°C	<ul style="list-style-type: none">→ Anwendungen im großen Leistungs- und Temperaturbereich erste aktuelle Umsetzungen
Forschung in Richtung noch höhere Nutzttemperaturen	<ul style="list-style-type: none">→ Zielrichtung 500°C



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Dipl.–Ing. Ralf Noack

Hauptbereich Kälte- und Wärmepumpentechnik

Wärmepumpentechnik / Technische Leitung Testzentrum PLWP

TESTZENTRUM **PLWP**

Tel.: +49 351 4081 5219

Fax: +49 351 4081 5299

Email: ralf.Noack@ilkdresden.de

Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH

Bertolt-Brecht-Allee 20 | 01309 Dresden | www.ilkdresden.de

