Für Mensch & Umwelt

Umwelt Bundesamt

Fachtagung „Energieberatung Thüringen 2023“

Steigender Kühlbedarf und nachhaltige Kälteversorgung – Grundlagen und Lösungen

Dr. Daniel de Graaf
Fachgebiet III 1.4 – Stoffbezogene Produktfragen

Jena, 18. Oktober 2023

Inhalt

1 KÄLTEBEDARF IN DEUTSCHLAND

1.1 Funktionsprinzip einer Kältemaschinen

1.2 Kältesysteme insgesamt und deren Energiebedarf

1.3 Energiebedarf und Kohlendioxidemissionen der Klimatisierung

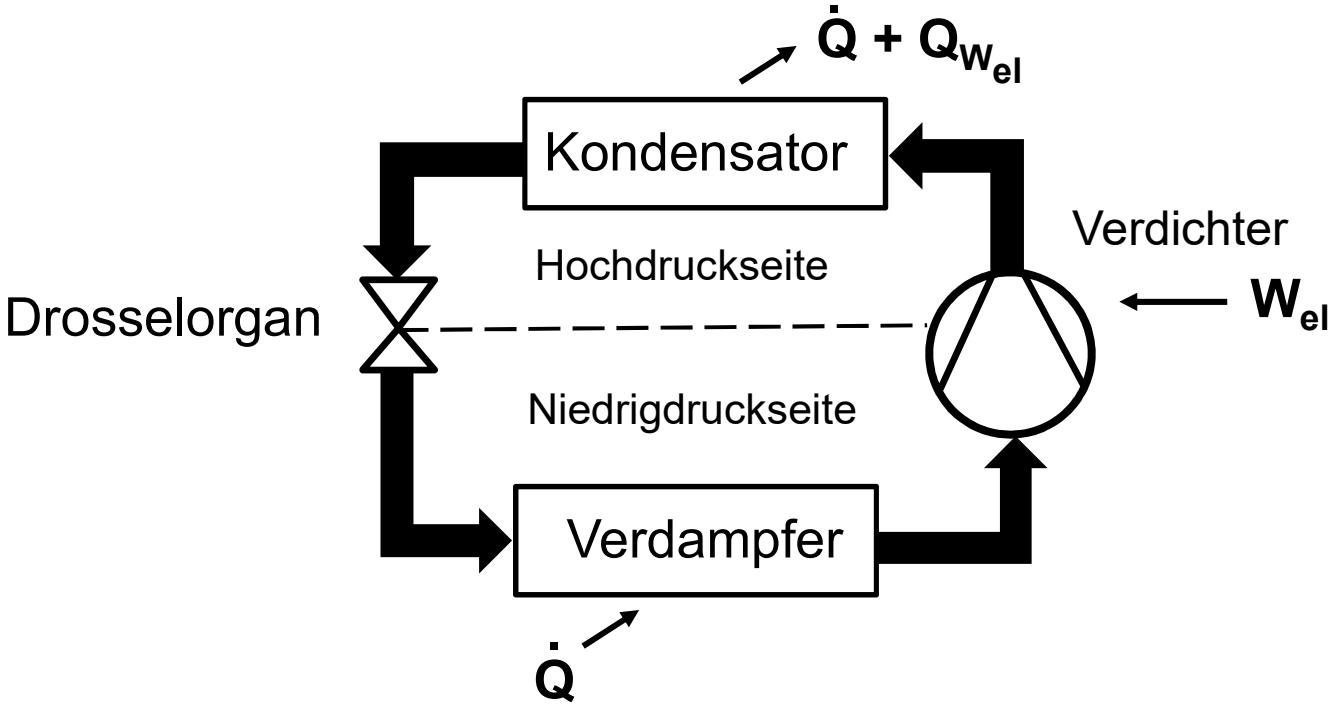
2 FLUORIERTE KÄLTEMITTEL: REGELUNG UND ALTERNATIVEN

2.1 HFKW: Eigenschaften und Anwendungen

2.2 F-Gas-Verordnung aktuell und Novelle

2.3 HFKW-Alternativen

Funktionsprinzip einer Kompressionskältemaschine

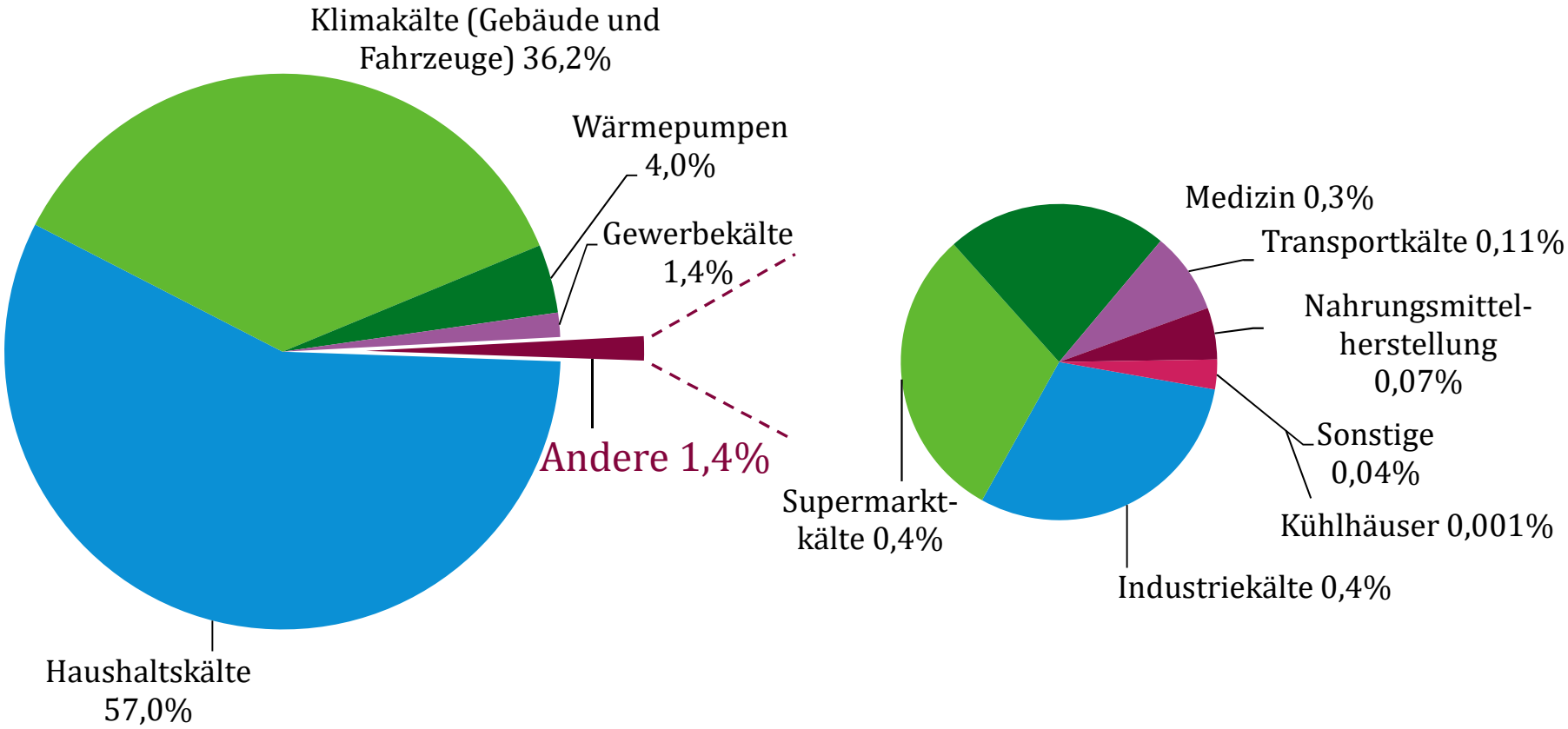


Kältemitteldefinition (DIN EN 378):

Fluid, das zur Wärmeübertragung in einer Kälteanlage eingesetzt wird, und das bei niedriger Temperatur und niedrigem Druck Wärme aufnimmt und bei höherer Temperatur und höherem Druck Wärme abgibt, wobei üblicherweise Zustandsänderungen des Fluids erfolgen.

Kältesysteme in Deutschland

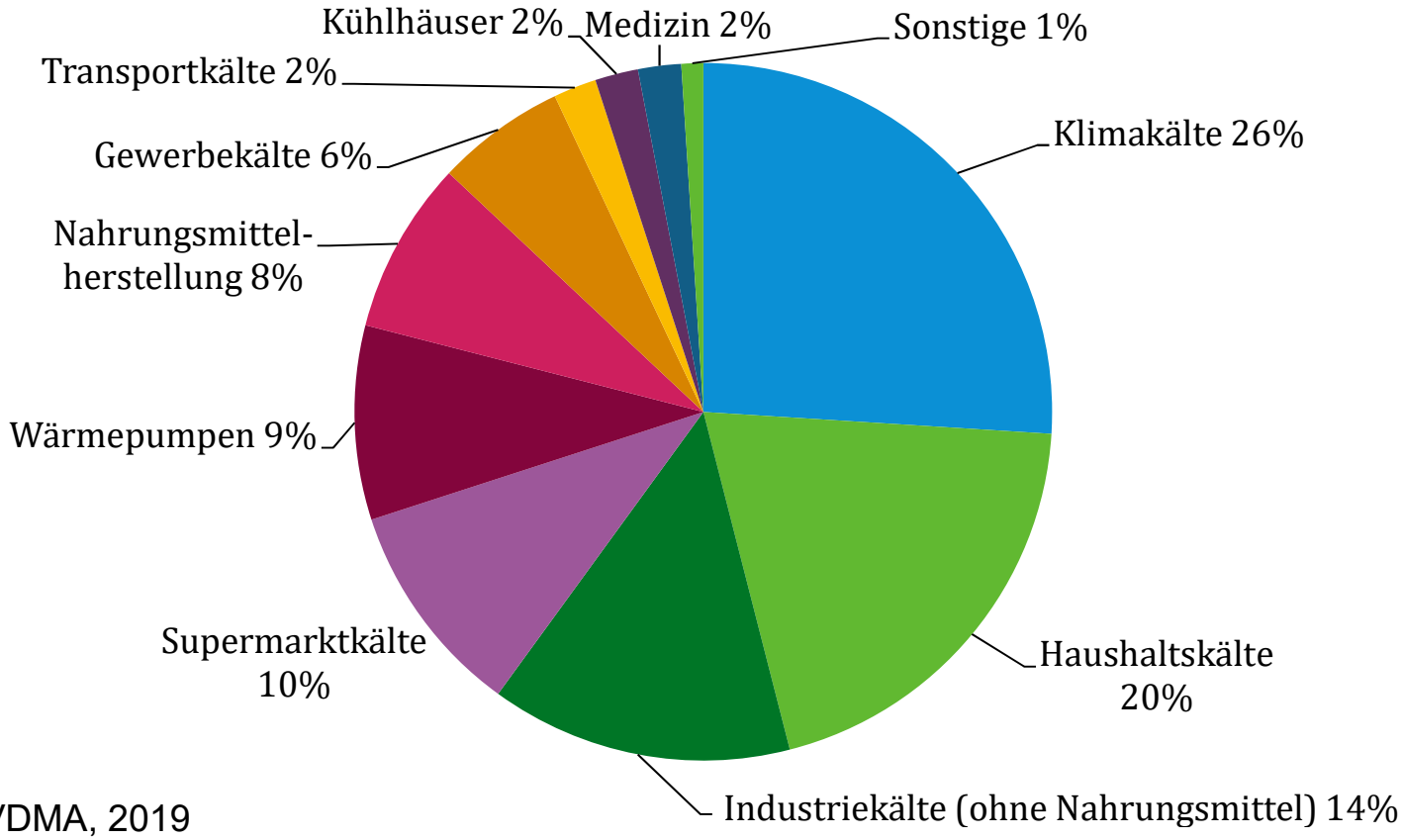
144 Mio. Kältesysteme insgesamt (2017), davon 82,2 Mio. Haushaltsgeräte sowie 52,2 Mio. in Gebäuden und Fahrzeugen (Rest: 9,6 Mio.)



Quelle: Guntram Preuß, Energiebedarf für Kältetechnik in Deutschland, VDMA (2019)

Kältebedarf in Deutschland

- Endenergiebedarf 2017: 87 TWh
  - Davon 73 TWh (84 %) elektrisch, 14 TWh (16 %) nicht-elektrisch (Kraftstoffe)
- Kältetechnik benötigt 14 % des deutschen Strombedarfs (12,5 % ohne Wärmepumpen)



Quelle: VDMA, 2019

Klimabelastung durch Kältebedarf in Deutschland 2017…

- durch el. Endenergiebedarf 2017: 39 Mio. t CO_2 (2008: 40,2 Mio. t (UBA, 2014))
  - davon durch Klimatisierung: **5,73 Mio. t CO_2**
- Gesamtendenergiebedarf für Kältetechnik gegenüber 2009 um 6 % gestiegen:
  - Industriekälte (ohne Nahrungsmittel): +23 %
  - Klimakälte: +17 % (22 % el., +13 % nicht-el.; Verhältnis 1:1)
  - Transportkälte: +13 % (-8 % el., +21 % nicht-el.; Verhältnis 1:3)
  - Haushaltskälte: -27 %
- Endenergiebedarf Klima- **und Lüftungsanlagen** in D: **47 TWh** (Ecofys, 2018)
  - daraus resultierten **25,1 Mio. t CO_2** (nur Klimakälte: 3,26 Mio t CO_2 (6,1 TWh)

Quelle: VDMA (2019)

…und in der Zukunft?

Beispiel Klimatisierung Privathaushalte in Deutschland

- Entwicklung 2007-2013: 1,27 % auf 1,79 %, 6 % Wachstum/Jahr (SOEP, inkl. Lüftung, keine mobilen Geräte)
- 2015: 3,14 % der Haushalte (40,3 Mio.) laut Umfrage klimatisiert (1,3 Mio. Geräte) (Öko-Institut, 2017)
  - Erhöhung des Anteils auf 4,7% (2020), 6,3 % (2025) und 7,9 % (2030)
    -> **2030: 3,18 Mio.** Haushalte klimatisiert

Neue Klimageräte

Jahr	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Monosplit-Raumklima	115.000	135.000	135.000	130.000	138.000	190.000	240.000	211.000
Bewegliche Raumklimageräte	77.000	77.000	77.000	78.000	93.600	88.920	86.840	86.840

Klimageräte-bestand

Jahr	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Monosplit-Raumklima	1.049.028	1.105.750	1.152.750	1.170.750	1.193.750	1.285.250	1.413.250	**1.504.750**
Bewegliche Raumklimageräte	903.000	880.000	837.000	795.000	773.600	794.520	806.360	**818.200**

Bestand haushaltsrelevante Raumklimageräte: 2,32 Mio.

Quelle: Nationale THG-Berichterstattung (UBA)

Geeignete Maßnahmen zur Vermeidung von Hitzeiseln und zur Senkung des Klimatisierungsbedarfs (Auswahl)

Quartier

- Sicherung und Erweiterung des Baumbestandes
- Verschattung von Freiflächen und Wegen (z.B. in Kombination mit PV)
- Verwendung heller Materialien für Dächer, Fassaden, Straßen
- Entsiegelung, Vermeidung von Versiegelung
- Erhalt der städtischen Luftzirkulation (Frischluftschneisen)
- Speziell für gemäßigte Klimaregion:
  - Erhöhung des Wasseranteils (Kühlung durch Verdunstung)
  - Dach- und Fassadenbegrünung

Gebäude

- Sonnenschutz/Verschattung von Fenstern und Türen
- Dämmung, Wärmeschutzverglasung
- Luftdichte Gebäudehülle
- Lüftung, Nachtlüftung
- Hohe thermische Speichermassen
- Gebäudenahe erneuerbare Energien (PV, Solarthermie, Wärmepumpe)

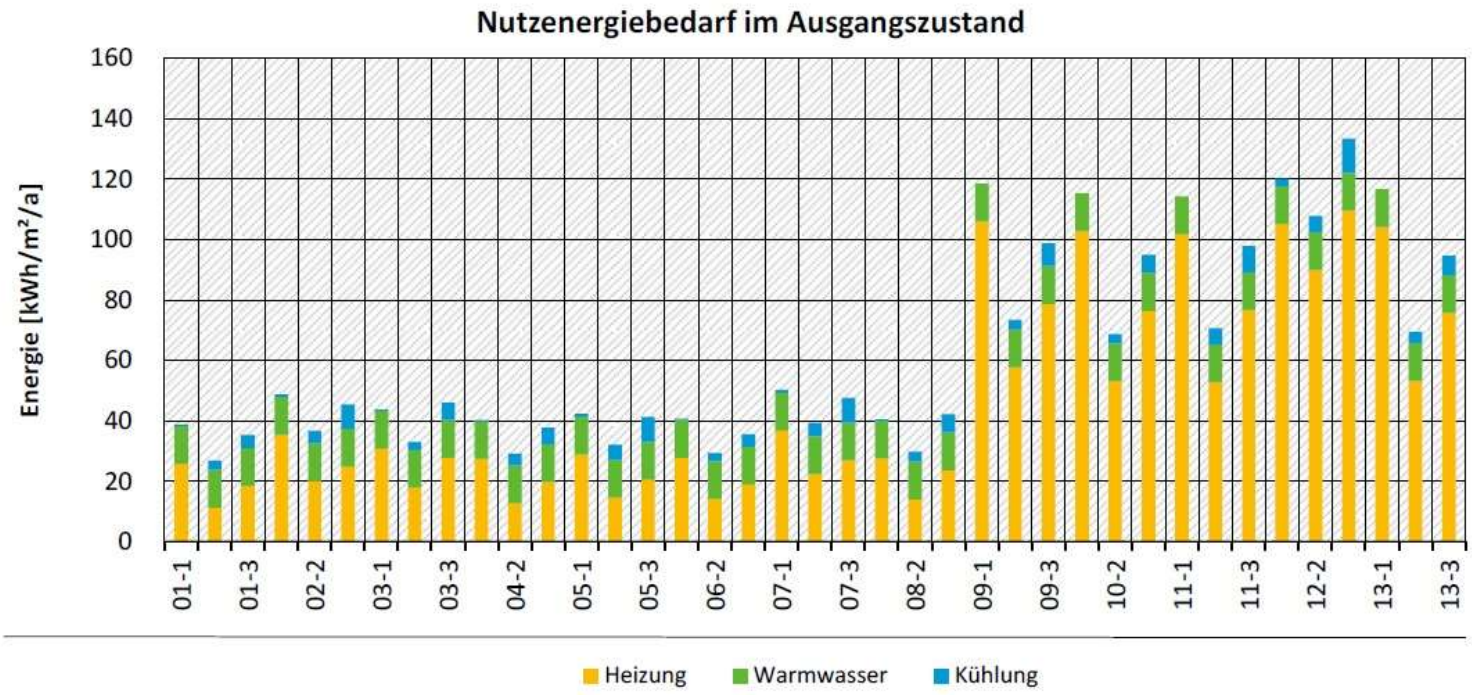
Quelle: Offermann et.al: Nachhaltige Gebäudeklimatisierung in Europa –Konzepte zur Vermeidung von Hitzeinseln und für ein behagliches Raumklima. Dessau-Roßlau, 2022.

Geeignete Maßnahmen zur Vermeidung von Hitzeiseln: Fassadenbegrünung und Bäume

Quelle: Daniel de Graaf

Energiebedarf für Raumkühlung im Vergleich

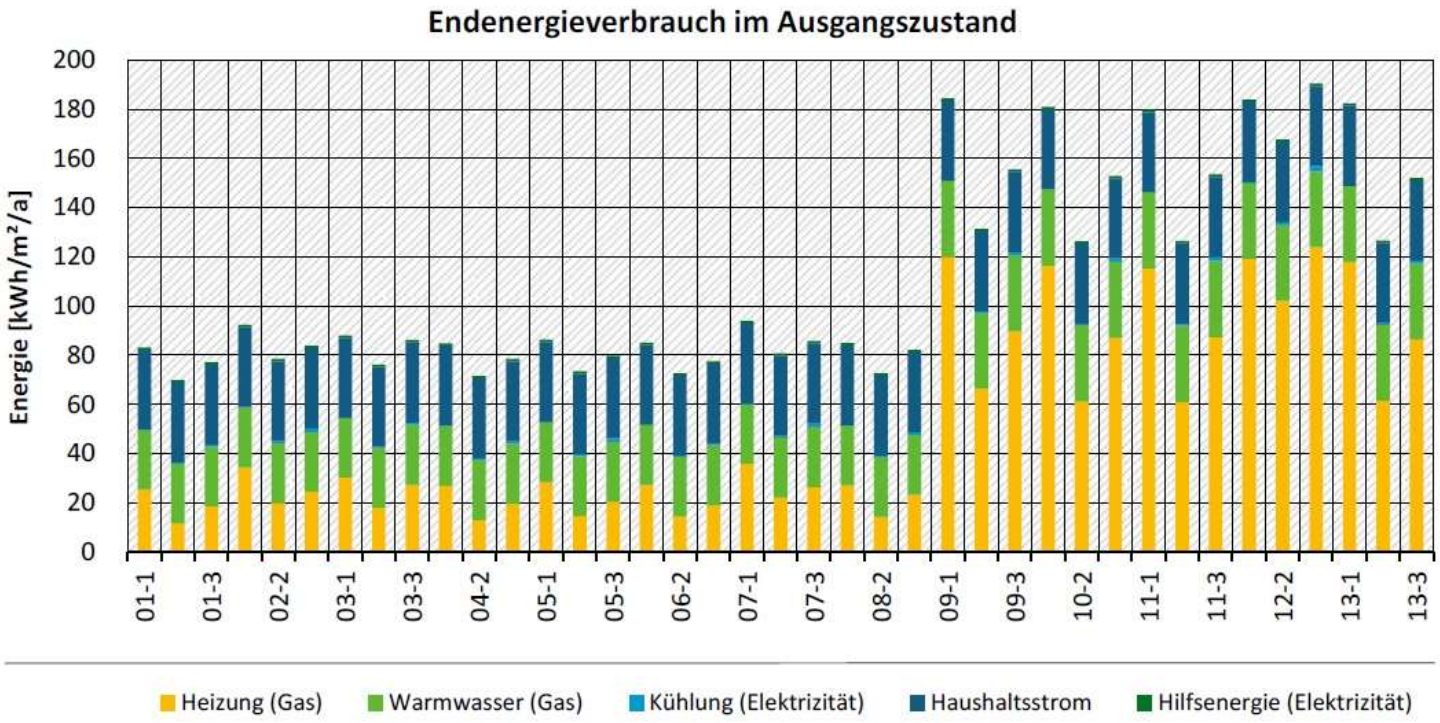
Gebäudesimulation von Neu- und Altbauwohnungen (Frankfurt am Main)



Quelle: Offermann et. al: Nachhaltige Gebäudeklimatisierung in Europa. Dessau-Roßlau, 2022.

Energiebedarf für Raumkühlung im Vergleich

Gebäudesimulation von Neu- und Altbauwohnungen (Frankfurt am Main)

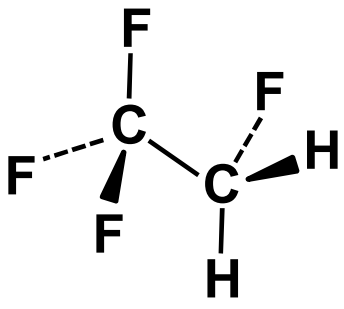


Quelle: Offermann et. al: Nachhaltige Gebäudeklimatisierung in Europa. Dessau-Roßlau, 2022.

Klimawirksame Kältemittel: Teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW)

- Teilweise mit Fluor substituierte (kurzkettige) Kohlenwasserstoffe
- gute thermodynamische Eigenschaften, (überwiegend) nicht brennbar, nicht giftig
- Eingesetzt als Kälte- und Schäumungsmittel, Treibgas
- Kein Ozonzerstörungspotential (*Ozone Depletion Potential*, ODP), jedoch auch erhebliche Klimawirkung

Industr. Bezeichnung	Chem. Bezeichnung	ODP	GWP_{100}[1]
FCKW-12/ R12	Dichlordifluormethan	0,73-0,81	10.900
HFKW-23/ R23	Trifluormethan	0	14.800
HFKW-32/ R32	Difluormethan	0	675
HFKW-134a/ R134a	Tetrafluorethan	0	1.430
HFKW-125/ R125	Pentafluorethan	0	3.500
R410A	Gemisch (R32/ R125)	0	2.088



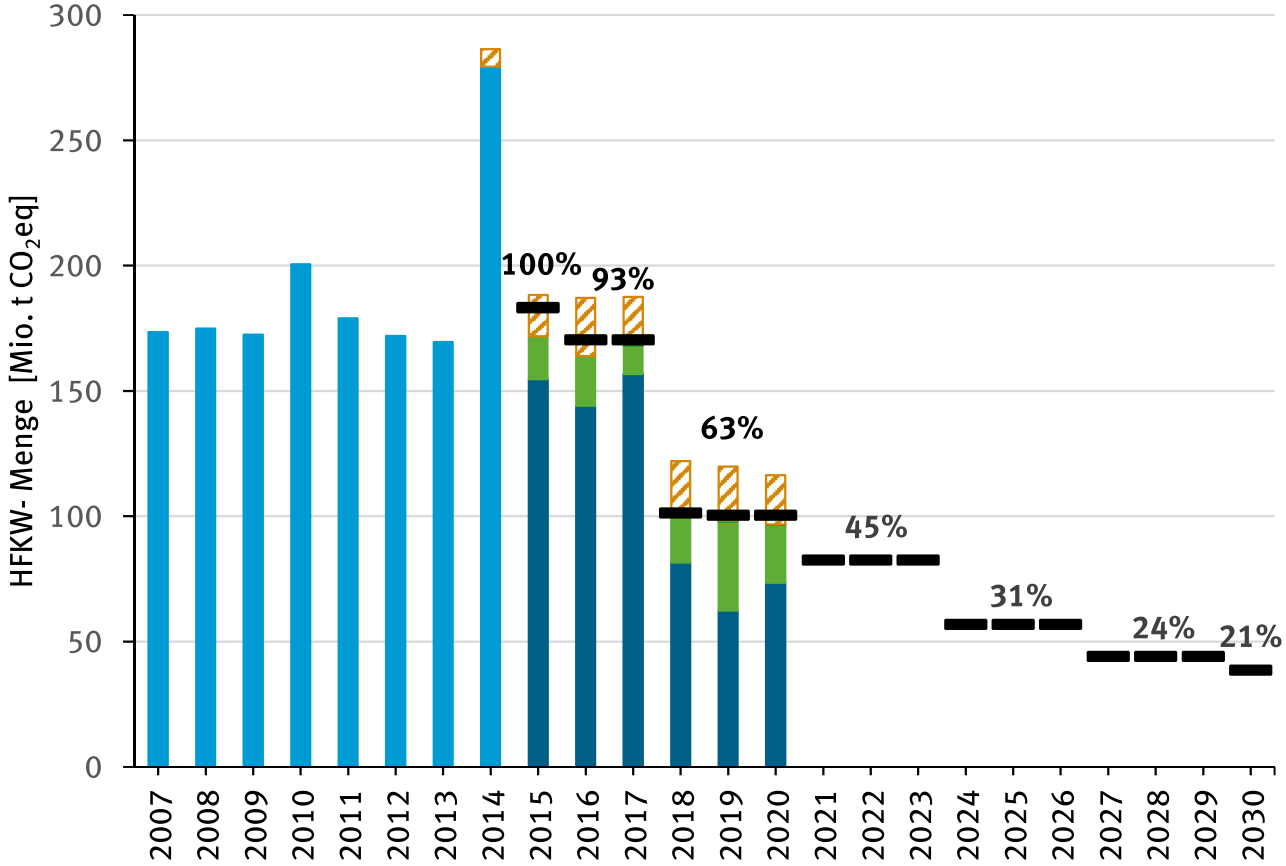
HFKW-134a

[1]IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

F-Gas-Regelung: Verordnung (EU) Nr. 517/2014 (F-Gas-Verordnung)

- Regelmäßige Dichtheitsprüfungen an Kälteanlagen (ab 5 t CO_2eq., Intervalle abhängig von der Füllmenge)
- Umgehende Reparatur entdeckter Lecks, danach Dichtheitsprüfung innerhalb eines Monats
- In D Emissionsobergrenzen (abhängig von Installationszeitpunkt und Füllmenge)
- Kältemittelbewegungen (z.B. Nachfüllen) müssen protokolliert werden
- Eingriffe in den Kältekreislauf nur durch zertifiziertes Personal (i.d.R. Kältetechniker)
- Betreiber ist für die Einhaltung der Verordnung verantwortlich
- Verbote (Anhang III):
  - Ortsfeste Kälteanlagen mit Kältemittel GWP ≥ 2.500 (ab 01.01.2020)
  - Bewegliche Raumklimageräte mit GWP ≥ 150 (ab 01.01.2020)
  - Monosplit-Geräte mit Kältemittel GWP ≥ 750 (ab 01.01.2025)

HFKW *phase-down* (gemäß Verordnung (EU) Nr. 517/2014)



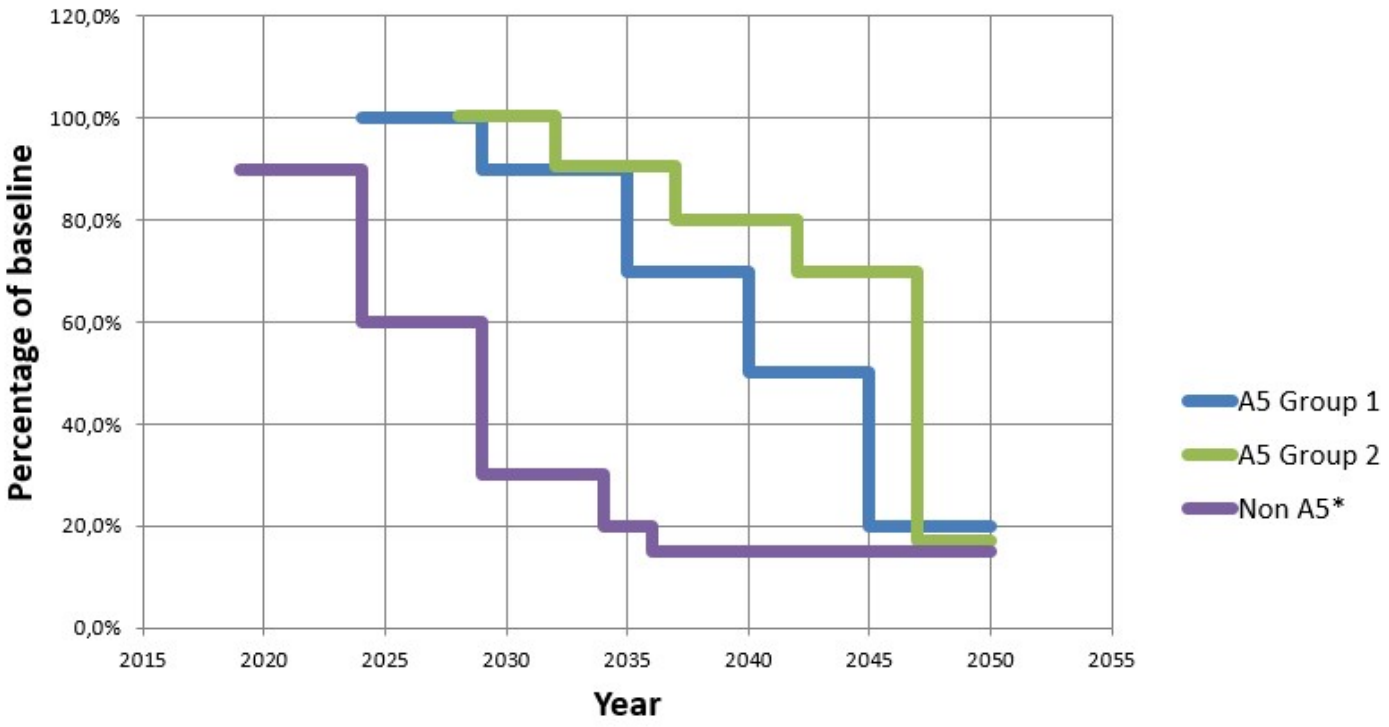
- HFKW für Ausnahmeanwendungen nach Art. 15(2) (nicht quotenrelevant)
- HFKW-Menge in importierten Erzeugnissen ohne zugewiesene Quote (ab 2017)
- Zugewiesene HFKW-Quote (ab 2015)
- Quotenrelevante HFKW-Menge (ab 2015)
- HFKW-Menge in Gebinden (2007-2014)

Konsequenzen:

- Geringere Verfügbarkeit der HFKW mit hohem GWP
- Steigende Preise
- Alternative Stoffe werden gesucht/ gewinnen an Attraktivität

Basiswert (100 %): 176,7 Mio. t CO_2-Äquivalent

Beschluss von Kigali (*Kigali Amendment*) zum Montreal Protokoll vom 15. Oktober 2016



- **Baseline for Non A5** = Average HFC consumption levels for 2011-2013 + 15% of HCFC baseline*

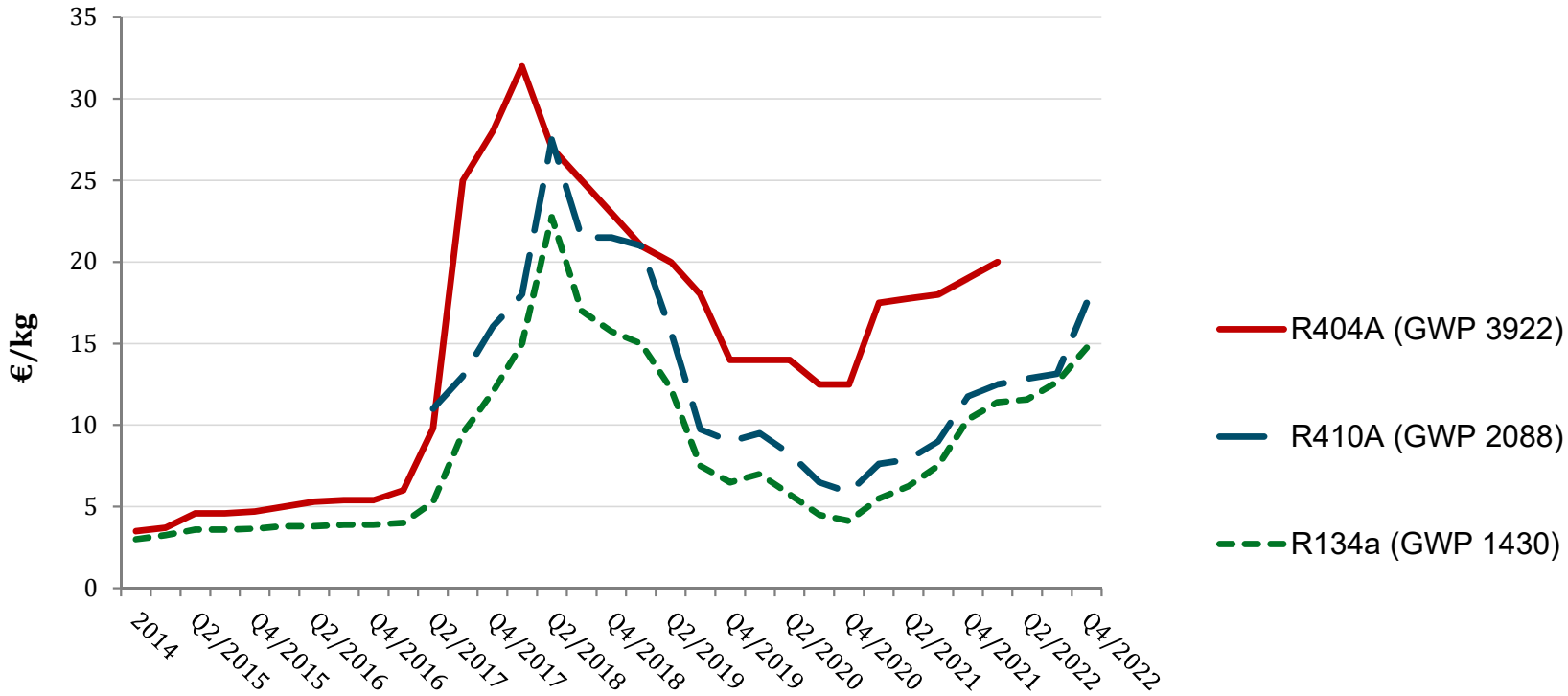
  *For Belarus, Kazakhstan, Russian Federation, Tajikistan, Uzbekistan, 25% HCFC component of baseline and different initial two steps (1) 5% reduction in 2020 and (2) 35% reduction in 2025

- **Baseline for A5 Group 1** = Average HFC consumption levels for 2020-2022 + 65% of hydrochlorofluorocarbon (HCFC) baseline
- **Baseline for A5 Group 2** = Average HFC consumption levels for 2024-2026 + 65% of HCFC baseline

NOTE: the same phasedown schedule and formula apply to production and consumption

Vermeidung von **65 Mrd. t CO_2-Äquivalent** (BMU; EU-Kom: ca. 80 Mrd. t) bis 2050

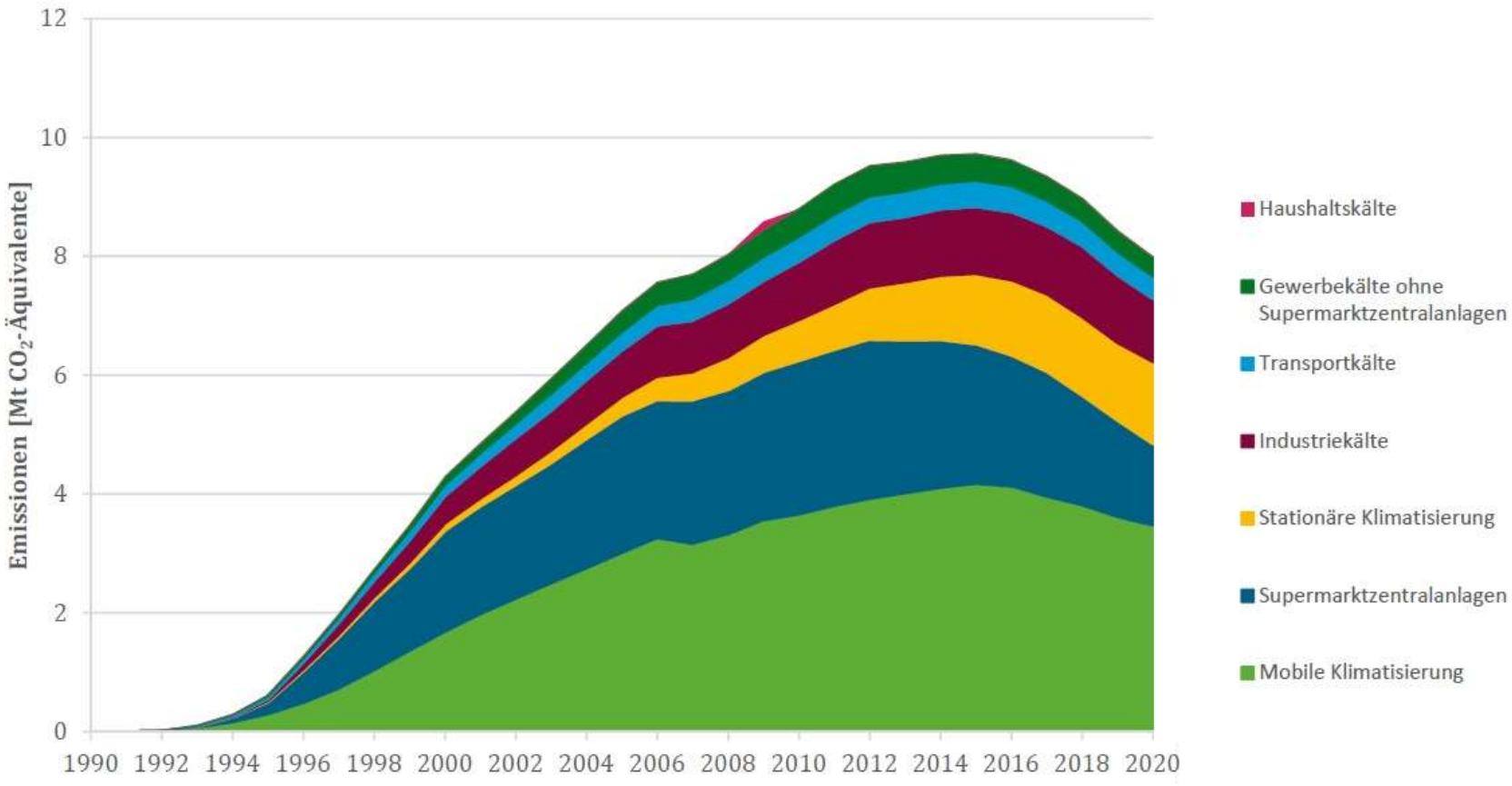
Preisentwickung für HFKW-Kältemittel



Kaufpreis gängiger HFKW-Kältemittel auf Händlerebene. Gezeigte Daten beruhen auf den Preisen dreier Gasehändler. Quelle: Öko-Recherche

Zwei von drei Händlern haben Verkauf von R404A (Q2/2022) eingestellt
-> Erhebung nicht mehr möglich

F-Gas-VO und Richtlinie 2006/40/EG zeigen (gewollte) Wirkung



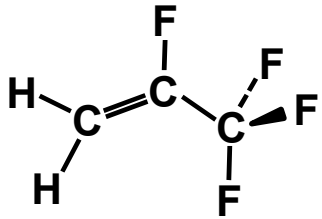
Quelle: Kerstin Martens (UBA FG III 1.4), basierend auf Daten der Datenbank ZSE des Umweltbundesamtes

Fluorierte Stoffe als HFKW-Alternativen?

- Ungesättigte HFKW (uHFKW) mit niedrigem GWP, seitens der Hersteller als HFO (Hydrofluorolefine)
- Gemische aus HFKW und uHFKW mit mittlerem bis hohem GWP
- R1234yf bereits in vielen Pkw-Klimaanlagen vor allem in der EU im Einsatz (aufgrund RiLi 2006/40/EC)
- Probleme:
  - Flut neuer Kältemittelgemische
  - Meist brennbare Stoffe mit Verbrennungsprodukten Fluorwasserstoff und Carbonylfluorid
  - uHFKW werden in der Natur zu persistenter Trifluoressigsäure (TFA) abgebaut (R1234yf zu 100 %), die sich in Oberflächengewässern und im Grundwasser anreichert

Industr. Bezeichnung	Chemische Bezeichnung	ODP[1]	GWP_{100}[2]
HFKW-1234yf	2,3,3,3-Tetrafluorpropen	0	4
HFKW-1234ze (E)	trans-1,3,3,3-Tetrafluorpropen	0	7
HFCKW-1233zd	trans-1-Chlor-3,3,3-Trifluorpropen	0,00034	4,5
R513A	Gemisch (R134a/ R1234yf)	0	631
R448A	Gemisch	0	1.387

[1] WMO (World Meteorological Organization): Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2018
[2] Verordnung (EU) Nr. 517/2014 über fluorierte Treibhausgase, Anhang II



HFKW-1234yf

uHFKW sind aus Umweltschutz- und Sicherheitsgründen (z.B. Pkw-Klimaanlagen) ungeeignet

Umsetzung des weltweiten *phase-down* mit natürlichen, halogenfreien Kältemitteln

- Kommen in großen Mengen in der Natur vor
- Sehr geringes bzw. kein Treibhauspotential
- Bessere Effizienzwerte als HFKW, z.B. R600a in Haushaltskühlschränken, R290 in Monosplit-Klimageräten
- Preiswert
- Vom HFKW *phase-down* und PFAS-Verbot nicht betroffen
- Nachteile:
  - Brennbarkeit (Kohlenwasserstoffe), Toxizität (Ammoniak), hohe Drucklagen (CO_2)

  -> Risiken sind mit entsprechenden technischen Maßnahmen minimal
- Hemmnis: Kein Geschäftsmodell für die Fluorchemie-Industrie
- Beispiel Ammoniak (R717): seit 130 Jahren in der Industriekälte (Anlagen > 100 kW) klimafreundlich, energieeffizient und wirtschaftlich im Einsatz

Kältemittel	GWP[1]
Propan (R290)	3
Isobutan (R600a)	3
CO_2 (R744)	1
Ammoniak (R717)	0
Wasser (R718)	0

[1]IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change): Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

Beispiel für Kälteanlage mit natürlichem Kältemittel

- 2 x 300 kW Ammoniak-Kaltwassersatz
- Wasserkühlung (Brunnenkühlung)
- Komfortklimatisierung und RZ-Kühlung
- Mechanische Lüftungsanlage, Gassensoren (detektieren eventuelle Kältemittelverluste)
- Freie Kühlung bei niedrigem Kältebedarf über das Brunnenwasser
- Installation: 2012 (R22-Anlagenersatz)

Quelle: BMUV

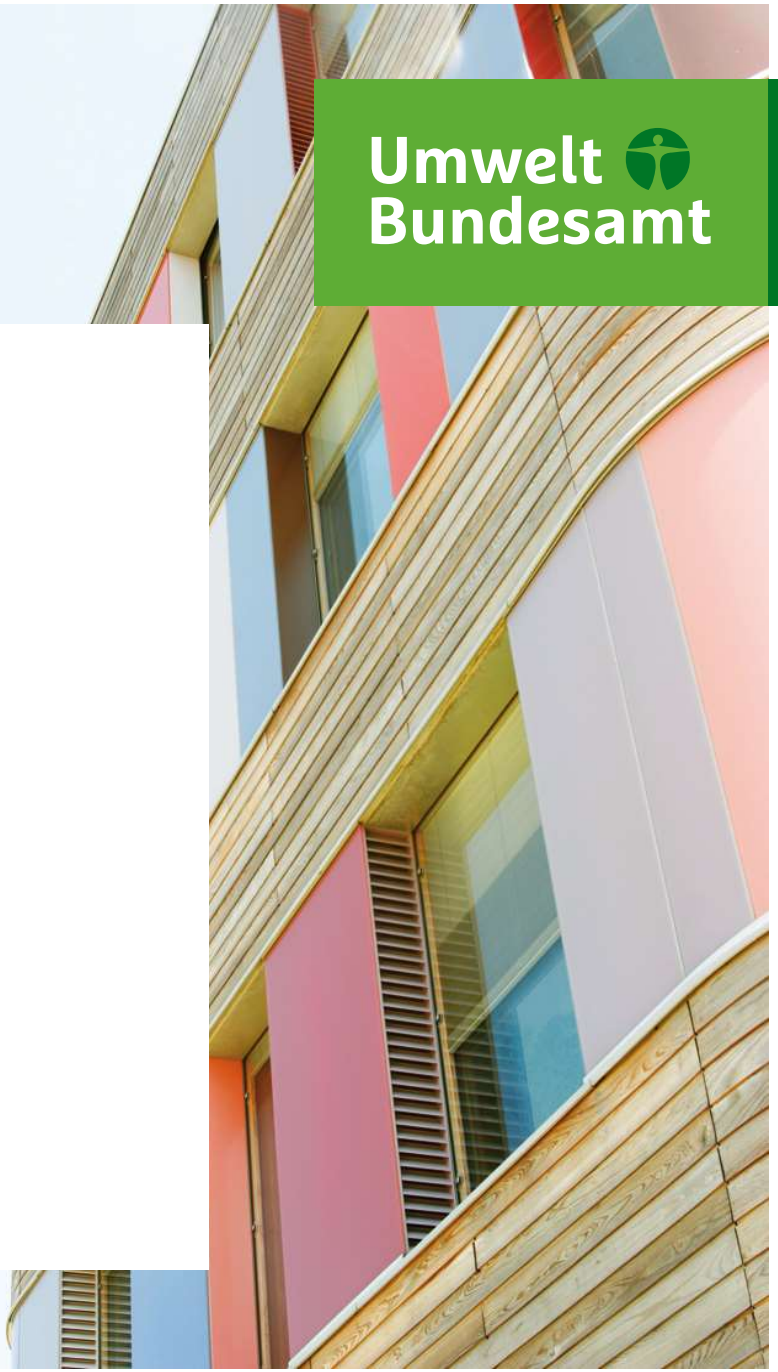
Fazit

- Kälte- und insbesondere Klimatisierungsbedarf steigen
  - Trend kann mit geeigneten Mitteln gestoppt werden
- Umweltprobleme fluorierter Kältemittel bleiben
- Verfügbarkeit nimmt ab, Preise steigen
- Natürliche Kältemittel dagegen sind
  - umweltfreundlich
  - preiswert
  - verfügbar

  …und bleiben es auch

Umwelt Bundesamt

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Fragen?

Dr. Daniel de Graaf
daniel.degraaf@uba.de
Tel.: 0340/2103-3407