

Umweltrelevanz historischer (und heutiger) Kältemittel



Jörn Schwarz – 18.11.2022, Magdeburg
icetex@web.de

Aspekte der Umweltrelevanz von Kältemitteln

Ozon-Abbau

Treibhauswirksamkeit

TFA-Bildung

Das FCKW-Ozon-Problem

- 1974: Hypothese von Molina und Rowland:
„FCKW zerstören die Ozonschicht“
-
- 1985: Konvention zum Schutz der Ozonschicht
- 1987: Montreal Protokoll
 - Verbot der FCKW-Herstellung
 - Verbot der FCKW-Nutzung in Neuanlagen
- 1991: Halonverbotsverordnung

Der Treibhauseffekt

- FCKW, HFCKW, HFKW sind **auch** treibhauswirksam

Treibhauswirksamkeit einiger Kältemittel

(GWP = Global Warming Potential vs CO₂)

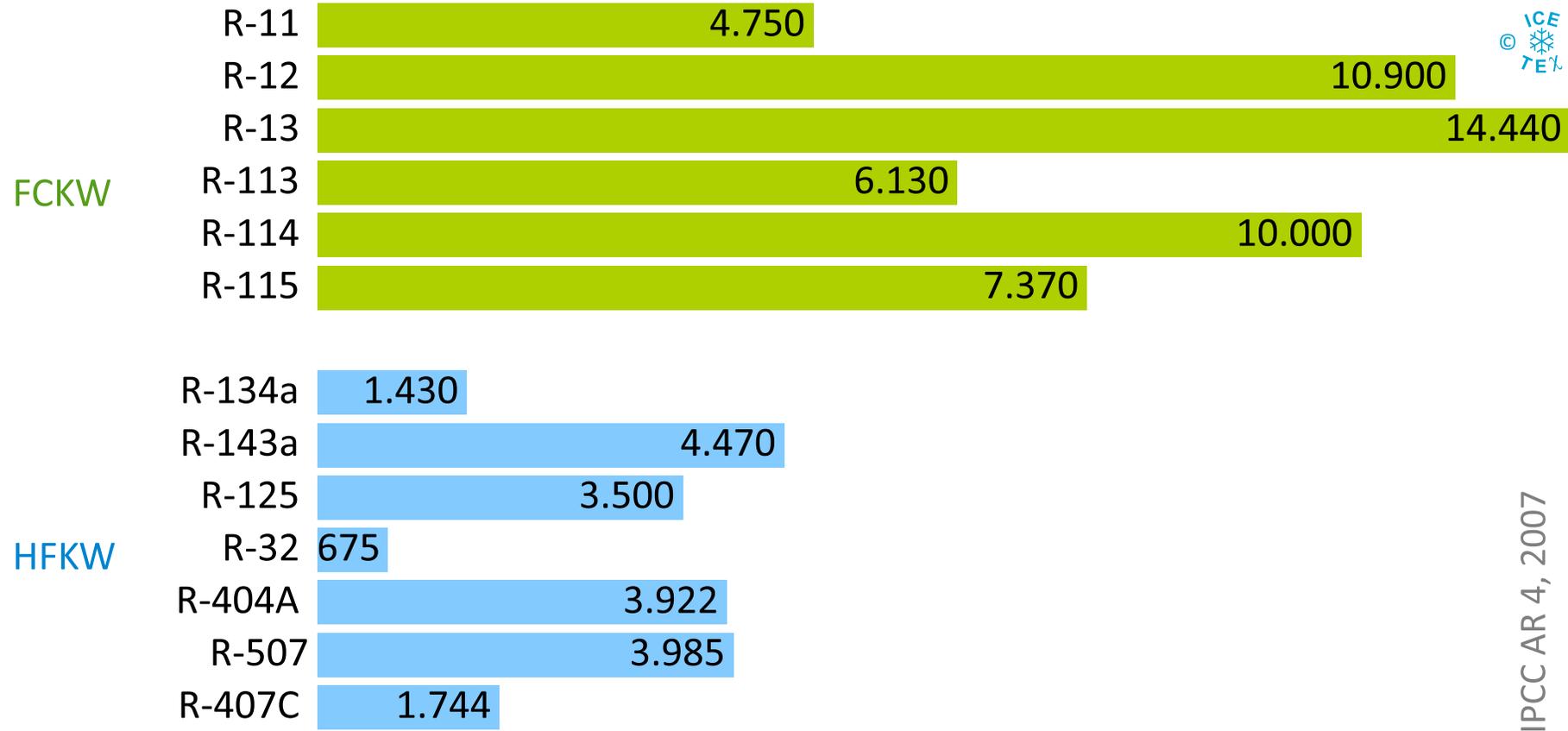


IPCC AR 4, 2007

- GWP-Bandbreite FCKW = 4750 – 14400

Treibhauswirksamkeit einiger Kältemittel

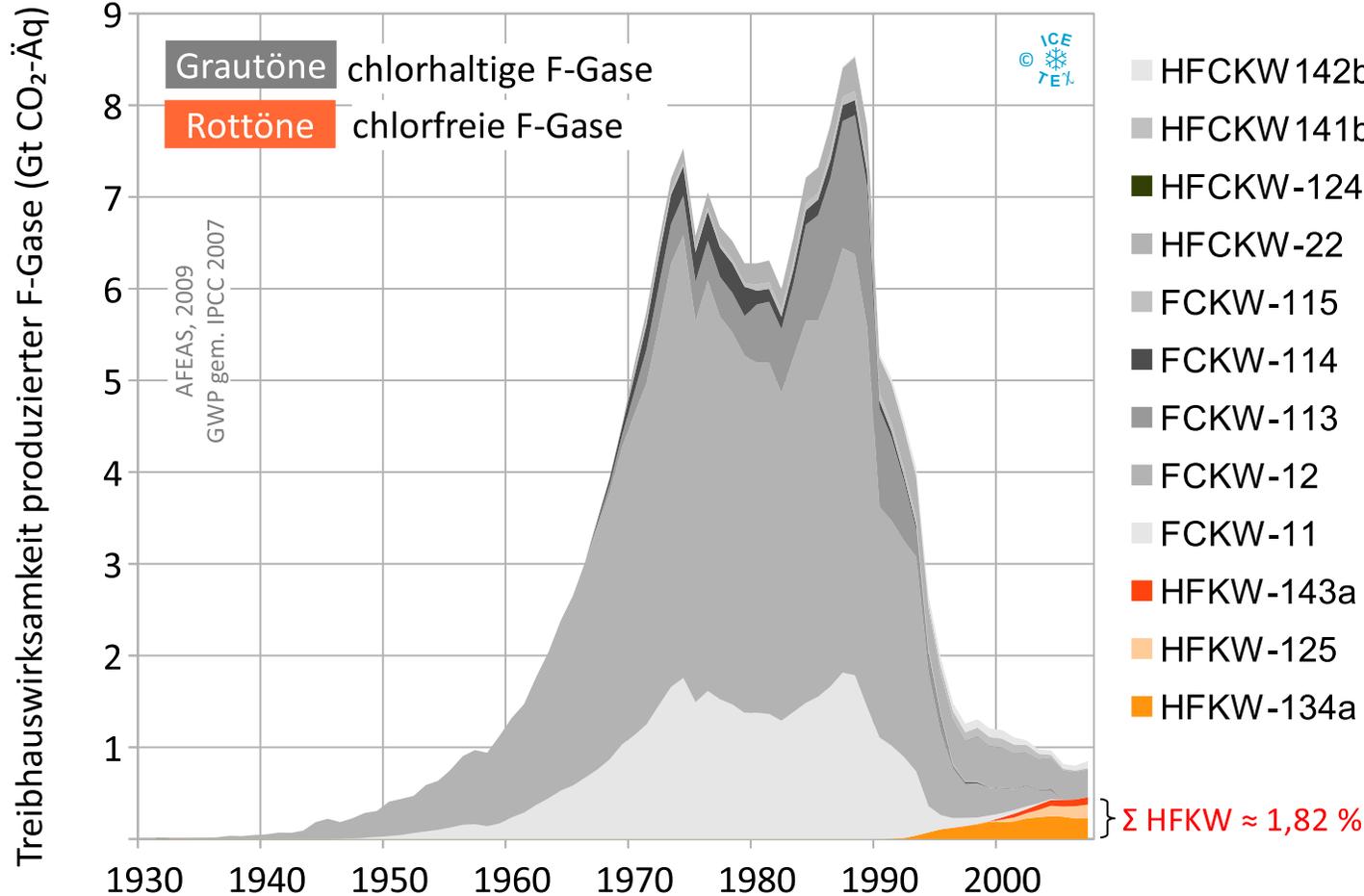
(GWP = Global Warming Potential vs CO₂)



- GWP-Bandbreite FCKW = 4750 – 14400
- GWP-Bandbreite HFKW = 675 – 3922

Beitrag der F-Gase zum Treibhauseffekt 1930 – 2004

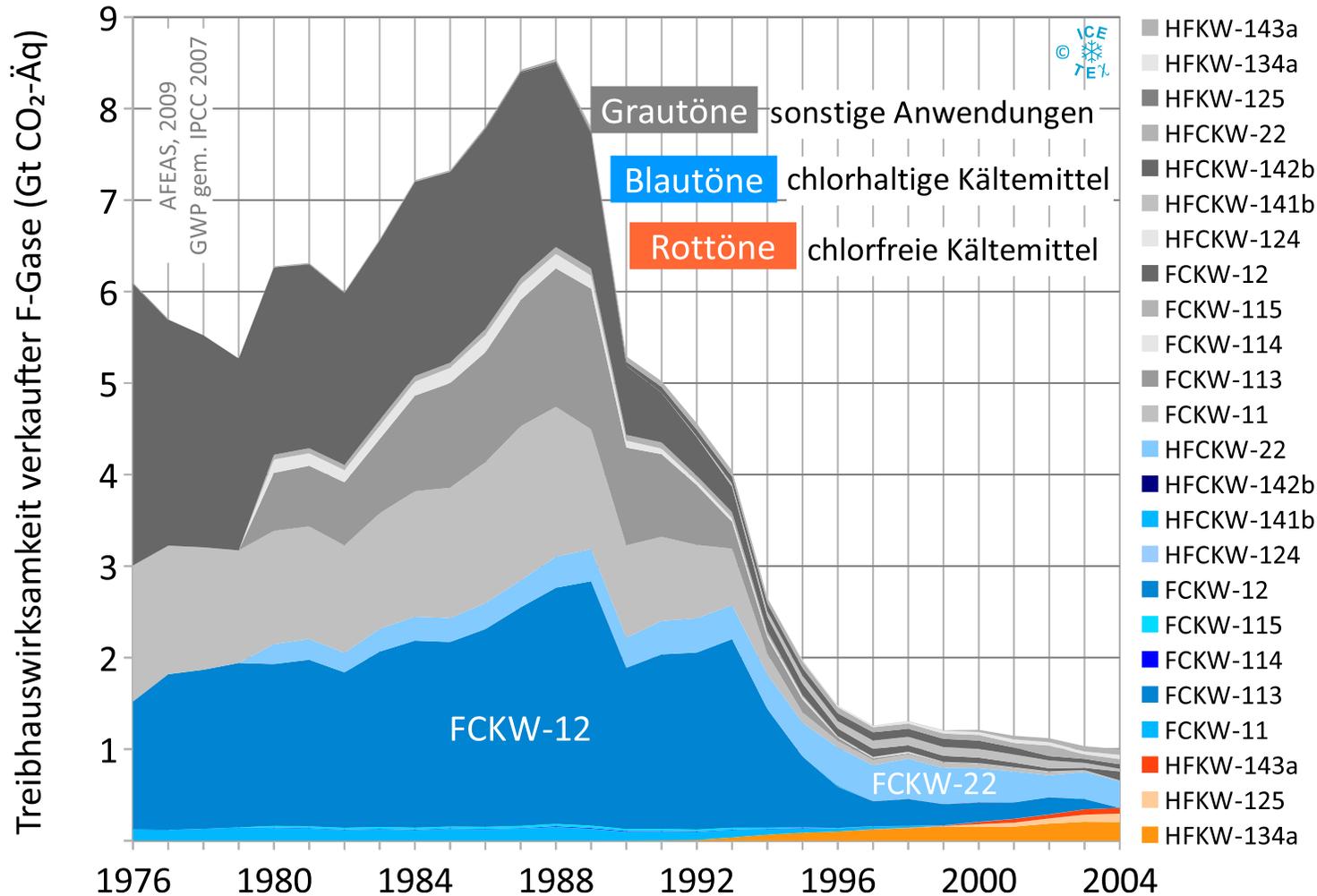
Alternative Fluorocarbons Environmental Acceptability Study (AFEAS)



Emissionen 1988

- alle THG ≈ 44 Gt CO₂-Äq
- F-Gase-Prod. ≈ 8,5 Gt CO₂ (ca. 20 %)
- → auch wegen der enormen Treibhauswirksamkeit war das FCKW-Verbot sinnvoll
- hier:
keine Unterscheidung zwischen kälte-/nicht-kältetechnischer Anwendung

Beitrag der F-Gase zum Treibhauseffekt 1930 – 2004



Nichtkältetechnische Anwendungen (Σ 1988 \approx 2/3 der ges. Menge)

- Halbleiter-, Leiterplatten-, Primäraluminiumherstellung
- Plasmaätzverfahren
- Treibmittel für Schaumstoffe
- Feuerlöschmittel
- (Dosier-)Aerosole
- Lösemittel

- Schwefelhexafluorid (SF₆)
 - Isoliergas in elektr. Schaltsystemen
 - Schallschutzscheiben, Autoreifen, Sportschuhe, Magnesium-Guss
 - Starkstromkondensatoren
 - Halbleiter-, Aluminiumfertigung
 -

Thema 1: Ozonabbau

- Regelung im Montreal Protokoll 1987
 - Verbot der FCKW-Herstellung
 - Verbot der FCKW-Nutzung in Neuanlagen

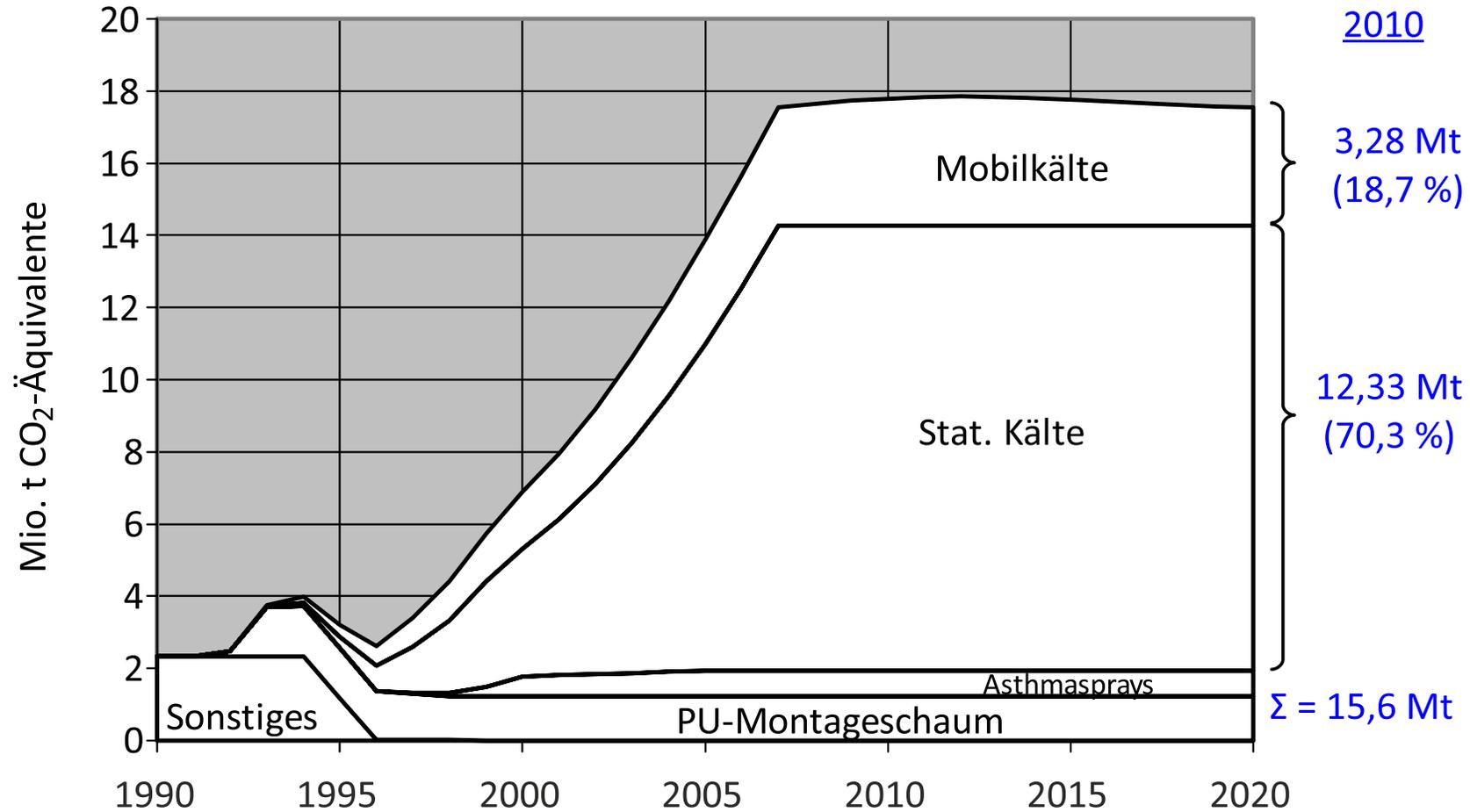
Thema 2: Treibhauseffekt

- (FCKW), HFCKW, HFKW, PFKW, SF₆
sind **auch** treibhauswirksam
- weitere Regelungsmaßnahmen→

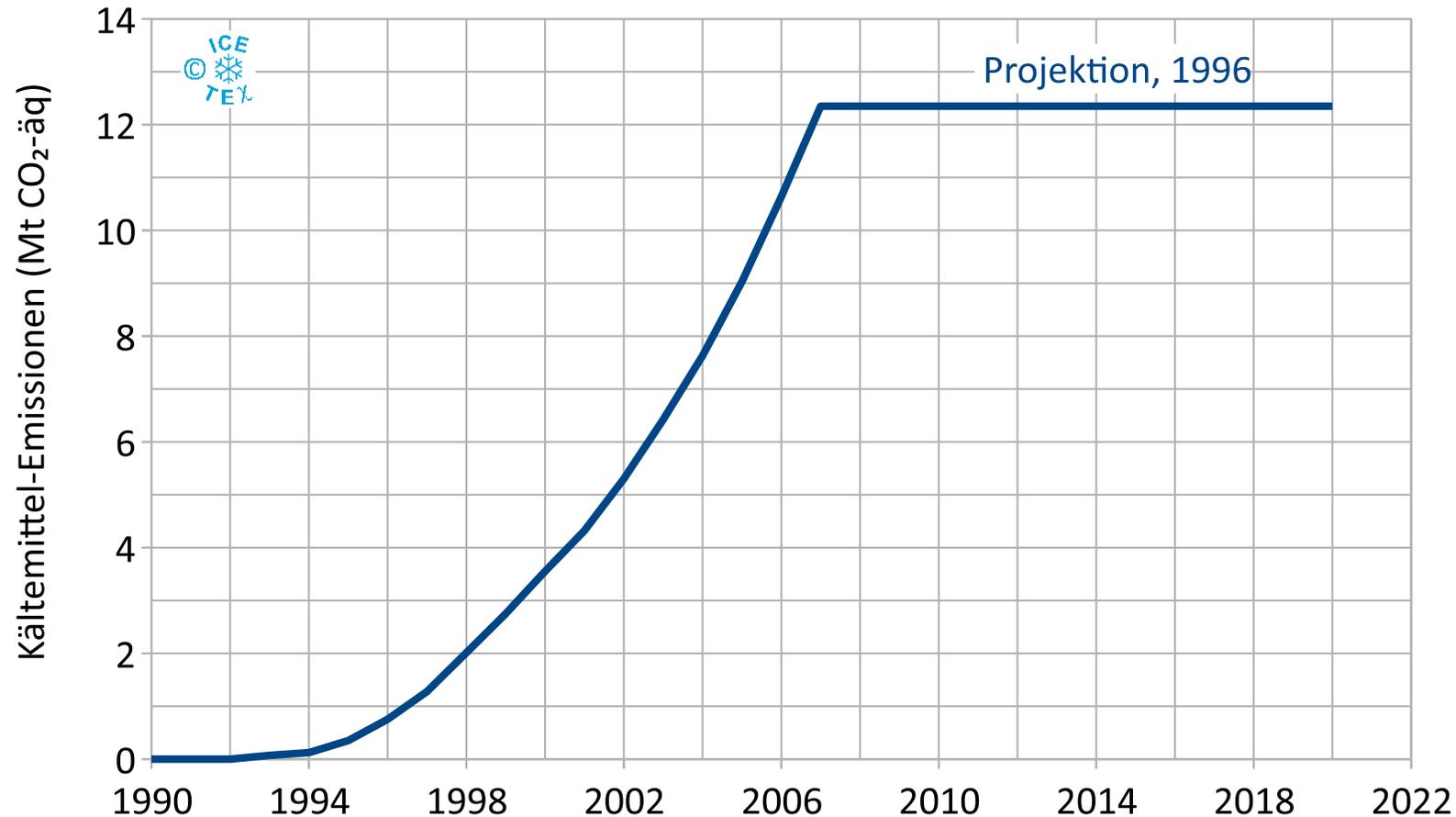
F-Gase-Verordnung von 2006

Emissionen halogenierter Stoffe – 1996

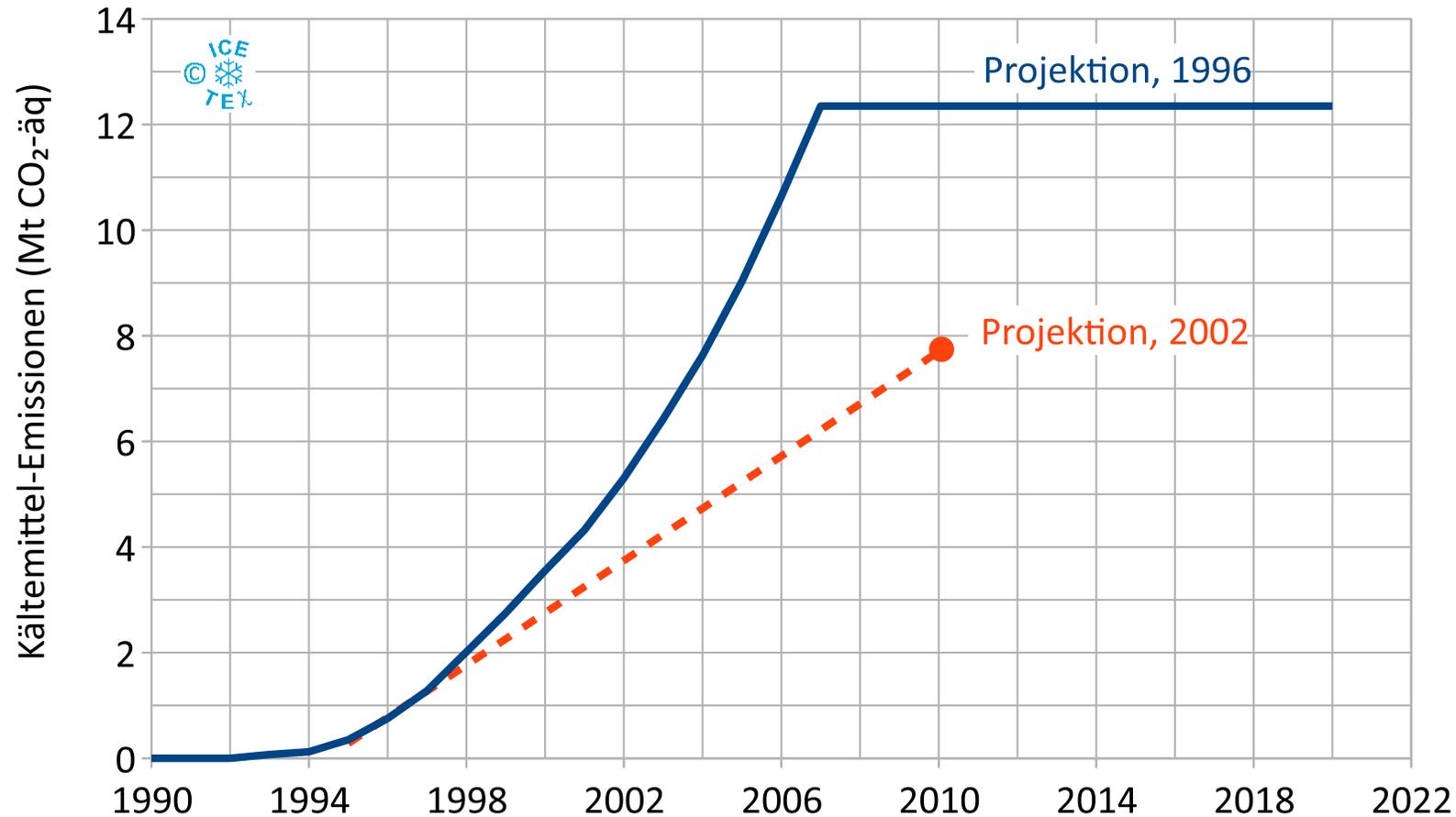
Projektion Umweltbundesamt (UBA-FB 10601 074/01), Originalgrafik



- Emissionen der „stationären Kälte“ dominieren die zukünftigen Emissionen
- Detail-Darstellung der „stationären Kälte = Kälte + Klimatisierung“ →



- Nahezu exponentieller Verlauf der Kältemittel-Emissionen bis 2007, danach Emissionen = konst. = 12,3 Mt CO₂-äq
- nicht nachvollziehbar begründet



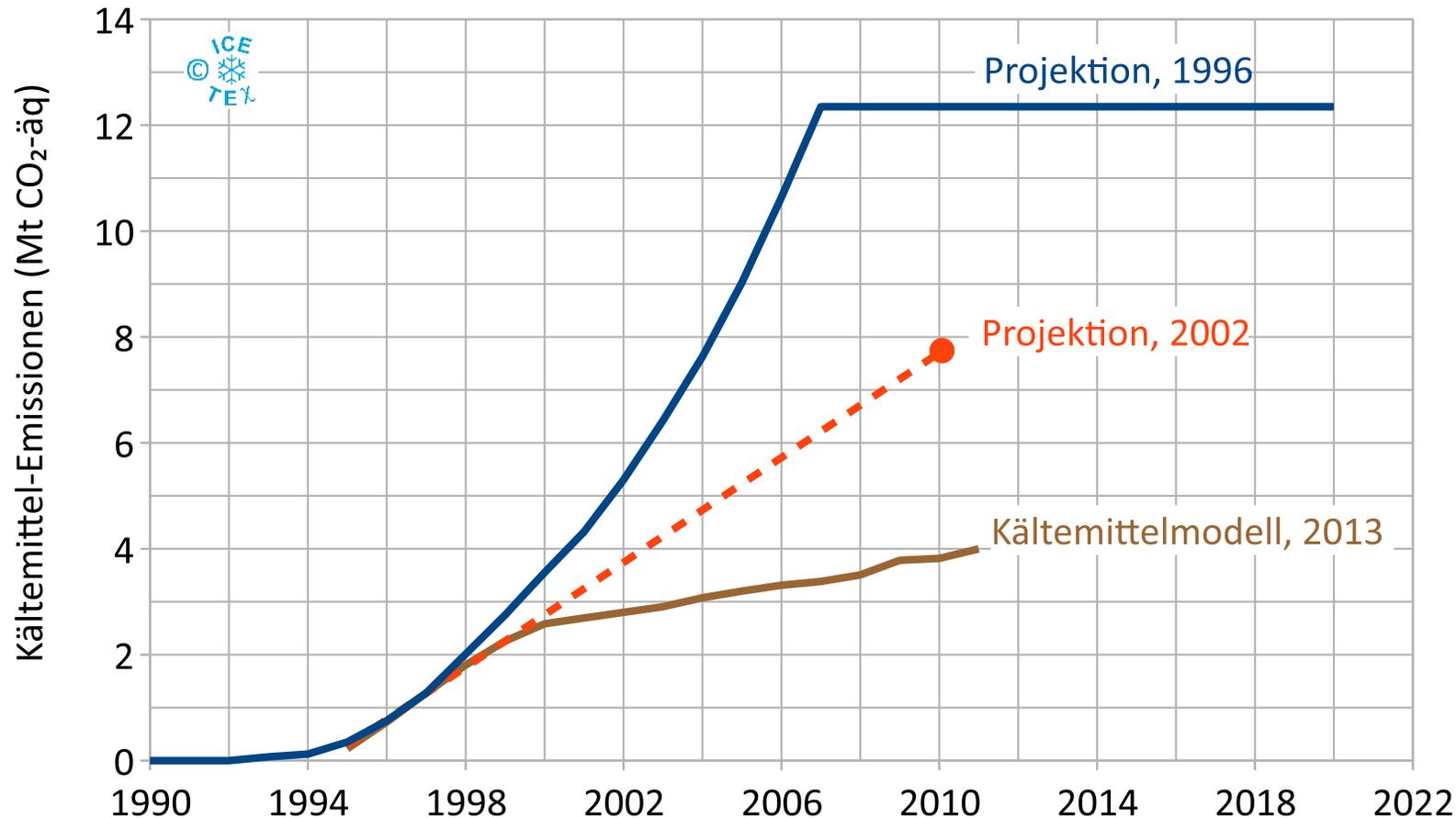
- Rückgang zukünftiger Emissionen: von 12,3 auf 7,7 Mt CO₂-äq (nur bis zum Jahr 2010)

„Umsetzung des Nationalen Klimaschutzprogramms im Bereich der fluorierten Treibhausgase (H-FKW, FKW, SF₆) – F-Gase“

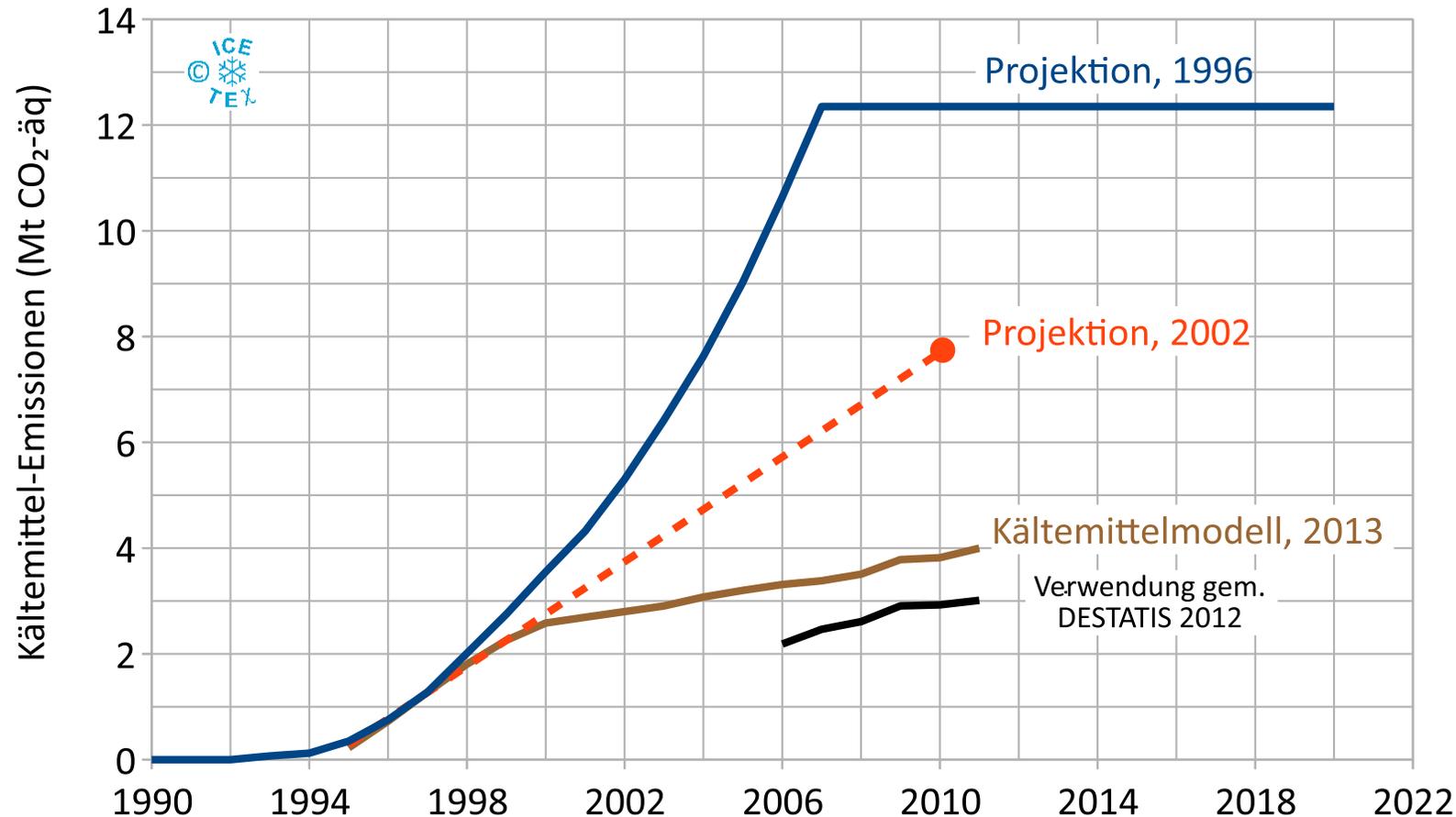
- „Aufnahme von HFKW, FKW und SF₆ auf Grund ihres zum Teil **extrem hohen Treibhauspotenzials** in das Kyoto-Protokoll der Klimarahmenkonvention
- bei den HFKW-Emissionen muss – bezogen auf die absoluten Mengen und ebenfalls ausgehend von einem niedrigen Niveau – mit einem **Anstieg um 780 %** gerechnet werden
- ... daher ist die Bundesregierung entschlossen, ökologisch wirksame und ökonomisch effiziente Maßnahmen zur Minderung von H-FKW, FKW und SF₆ umzusetzen“

F-Gase-Verordnung 1 (EG) Nr. 842/2006 – gültig ab 4.7.2007

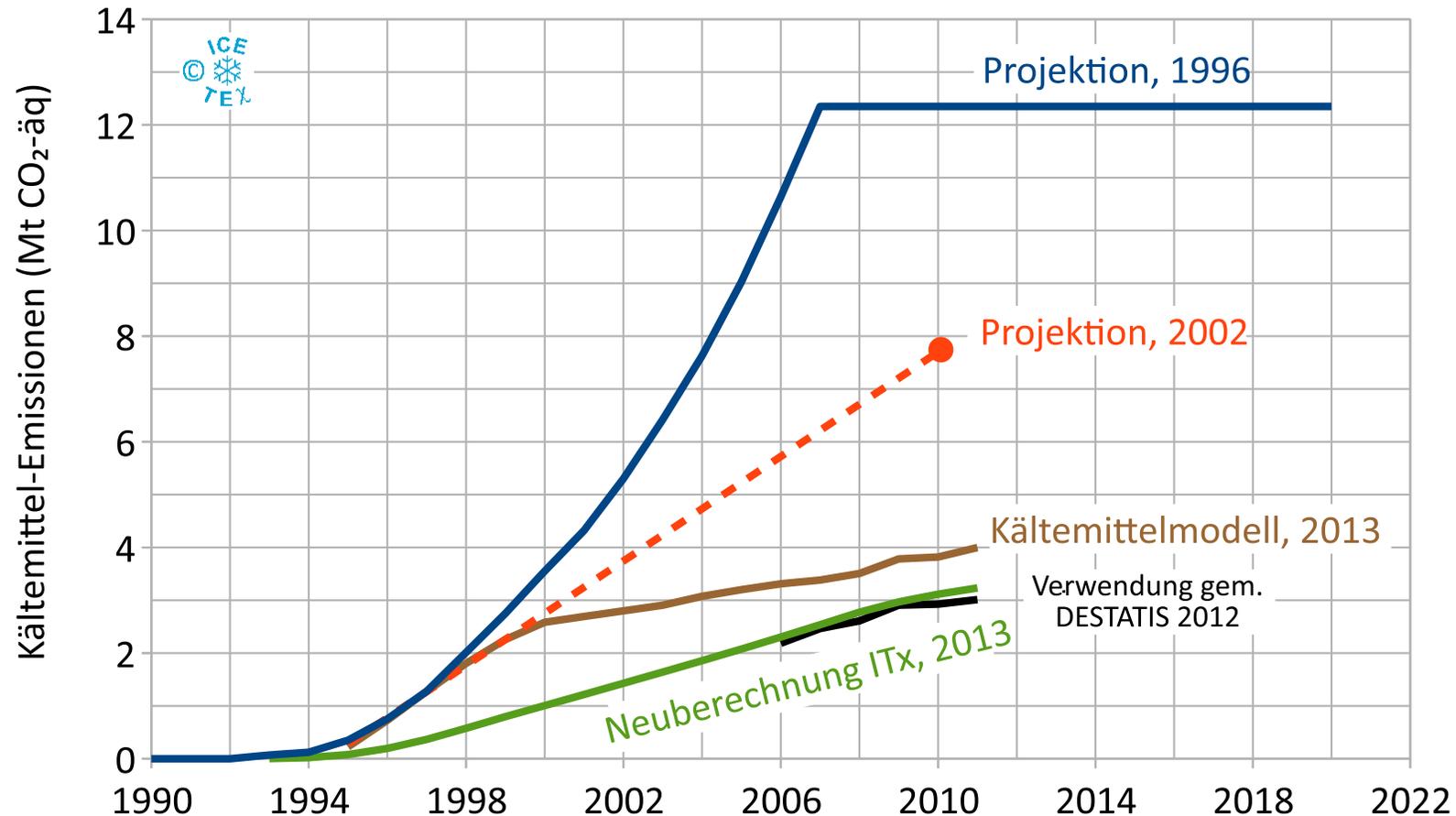
- Ziel: Reduzierung der Emissionen



- Rückwirkende Ermittlung der Emissionen mittels Modell (Annahmen sowie Schätzungen von Emissionsraten etc.)
- Ergebnis: Emissionen waren deutlich geringer als in allen vorherigen Projektionen: 4,0 Mt CO₂-äq im Jahr 2011
- ab 2007 liefert DESTATIS die nationalen **Verwendungsmengen** für u. a. stationäre Kältetechnik →



- gemäß Statistik-Umweltgesetz erhebt DESTATIS seit 2006 die Verwendungsmengen von Kältemitteln
- Vergleich mit „Kältemittelmodell 2013, UBA“ zeigt: **theoretische** Emissionsmengen > Verwendungsmengen
- Wie kann das sein?



- Neuberechnung Ice-TeX, 2013: auf der Grundlage kältetechnisch begründeter Annahmen
- Verwendungsmengen von DESTATIS weichen nur geringfügig von ITx-Berechnung ab

F-Gase-Verordnung von 2014

2009 – „Der große Beitrag projizierter HFKW-Emissionen zur zukünftigen Klimaerwärmung“, PNAS, Velders et al.

The large contribution of projected HFC emissions to future climate forcing

Gauss J. M. Velders^{1*}, David W. Fahey², John S. Daniel³, Mack McFarland⁴, and Stephen O. Andersen⁴

¹Netherlands Environmental Assessment Agency, PO Box 303, 3720 AH Bilthoven, The Netherlands; ²National Oceanic and Atmospheric Administration, Earth System Research Laboratory, Boulder, CO 80505; ³DuPont Fluoroproducts, Wilmington, DE 19805; and ⁴U.S. Environmental Protection Agency, Code 6202J, 1200 Pennsylvania Avenue NW, Washington, DC 20460

Edited by Mark H. Thiemeis, University of California at San Diego, La Jolla, CA, and approved May 14, 2009 (received for review March 13, 2009)

The consumption and emissions of hydrofluorocarbons (HFCs) are projected to increase substantially in the coming decades in response to regulation of ozone depleting gases under the Montreal Protocol. The projected increases result primarily from sustained growth in demand for refrigeration, air-conditioning (AC) and insulating foam products in developing countries assuming no new regulation of HFC consumption or emissions. New HFC scenarios are presented based on current hydrochlorofluorocarbon (HCFC) consumption in leading applications, patterns of replacements of HCFCs by HFCs in developed countries, and gross domestic product (GDP) growth. Global HFC emissions significantly exceed previous estimates after 2025 with developing country emissions as much as 800% greater than in developed countries in 2050. Global HFC emissions in 2050 are equivalent to 9–19% (CO₂-eq. basis) of projected global CO₂ emissions in business-as-usual scenarios and contribute a radiative forcing equivalent to that from 6–13 years of CO₂ emissions near 2050. This percentage increases to 28–45% compared with projected CO₂ emissions in a 450-ppm CO₂ stabilization scenario. In a hypothetical scenario based on a global cap followed by 4% annual reductions in consumption, HFC radiative forcing is shown to peak and begin to decline before 2050.

HFC consumption | radiative forcing | scenarios

Global production and use of chlorofluorocarbons (CFCs) and halons have decreased significantly as a result of the phased-out schedules of the 1987 Montreal Protocol and its subsequent amendments and adjustments (1). The use of HCFCs and HFCs have increased as replacements for CFCs and halons in developed (non-AS) and developing (AS) countries that are parties to the Protocol (1, 2). HCFCs are low-ozone-depletion-potential substitutes for high-ozone-depleting-potential substances, particularly CFCs and halons, and were classified under the Protocol as “transitional substitutes” during the time it took to commercialize new ozone-safe alternatives and replacements. Ultimately, HCFCs will be phased out globally under the Montreal Protocol leaving much of the application demand for refrigeration, AC, heating and thermal-insulating foam production to be met by HFCs (2). The demand for HCFCs and/or HFCs in many applications is expected to increase in both developed and developing countries, but especially in Asia, in the absence of regulations. HFCs do not deplete the ozone layer but, along with CFCs and HCFCs, are greenhouse gases that contribute to the radiative forcing (RF) of climate (2, 3). Thus, the transition away from ozone-depleting substances (ODSs) has implications for future climate.

The technical, economic and environmental trade-offs of replacing CFCs and HCFCs with HFCs and hydrocarbons have been analyzed for refrigerators, chillers, and AC (4–6). Hydrocarbons, ammonia and CO₂, which generally have lower Global Warming Potentials (GWPs) than HFCs, have been found suitable for systems with small refrigerant charges where a refrigerant leak would not pose an unacceptable flammability or toxicity risk and for industrial systems with large refrigerant charges expertly managed for fire and toxicity risk. HFCs are the

preferred refrigerant in consumer products requiring a large charge, where hydrocarbon flammability is problematic (6). The use of HFCs is expected to be minor in many other applications because other low-GWP compounds and not-in-kind (i.e., non-halocarbon based) technologies are available. Overall, not-in-kind technologies are not expected to initially satisfy as large a fraction of future demand as was the case during the CFC phaseout (7).

Multiple scenarios of global HFC emissions are available from SRES (8) and IPCC/TEAP (2). These scenarios are now of limited use because of limited range of years (IPCC/TEAP) or outdated assumptions concerning the transition from HCFCs to HFCs (SRES). The SRES GWP-weighted emissions for refrigeration and AC are ~20% below what we infer here from observed atmospheric mixing ratios for 2007 (SI Text). The 2007 HFC emissions for these applications from IPCC/TEAP (2) are somewhat higher, but this scenario ends in 2015. Others (9–11) have reported HFC scenarios similar to the SRES assumptions and do not consider a more detailed market development as discussed here.

We report new baseline scenarios for the consumption and emissions of HFCs to 2050 based only on existing policies. As in the SRES scenarios, the growth in demand for these compounds is based on GDP and population (8, 12). However, the new scenarios incorporate more recent information such as (i) rapid observed growth in demand, substantiated by atmospheric observations, for products and equipment using HCFCs and HFCs in developing countries (see SI Text); (ii) reported increases in consumption of HCFCs in developing countries; (iii) replacement patterns of HCFCs by HFCs as reported in developed countries; (iv) accelerated phaseout schedules of HCFCs in developed and developing countries, and; (v) increases in reported use of HFC-134a in mobile AC in developed and developing countries. The analysis results in significantly larger emissions in 2050 than could be expected based on previous projections.

Montreal Protocol regulation of HCFCs and other ODSs already has protected both ozone and climate (13, 14). HFCs are in the “basket of gases” regulated under the 1997 Kyoto Protocol (15), a global treaty to reduce developed-country emissions of greenhouse gases. We use the new emission scenarios and GWPs of HFCs to calculate their CO₂-equivalent emissions and RF contributions to global climate forcing. The results are compared with “business-as-usual” SRES CO₂ emissions and those required to stabilize CO₂ concentrations at 450 and 550 parts per

Author contributions: G.J.M.V., D.W.F., J.S.D., M.M., and S.O.A. designed research; G.J.M.V. performed research; G.J.M.V. analyzed data; and G.J.M.V., D.W.F., J.S.D., M.M., and S.O.A. wrote the paper.

The authors declare no conflict of interest.

This article is a PNAS Direct Submission.

Freely available online through the PNAS open access option.

To whom correspondence should be addressed. E-mail: gauss.velders@epa.nl.

This article contains supporting information online at www.pnas.org/cgi/content/full/09028176DCSupplemental.

www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0902817106

PNAS | July 7, 2009 | vol. 106 | no. 27 | 10949–10954

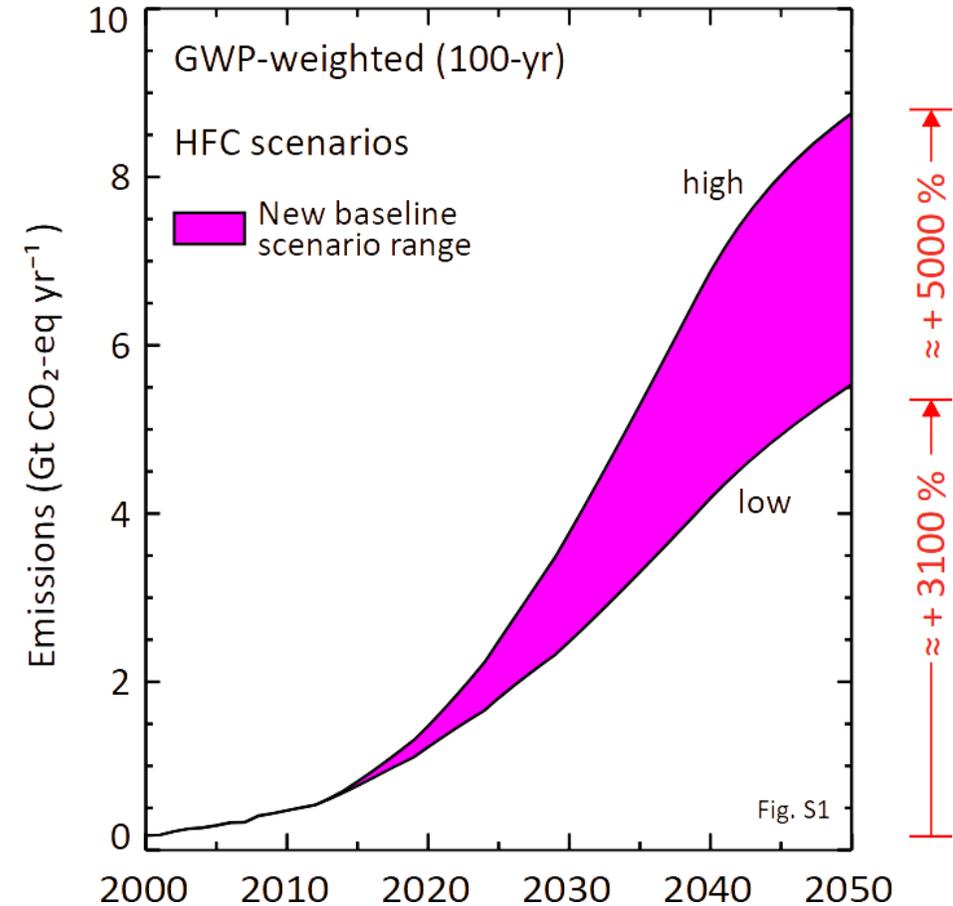
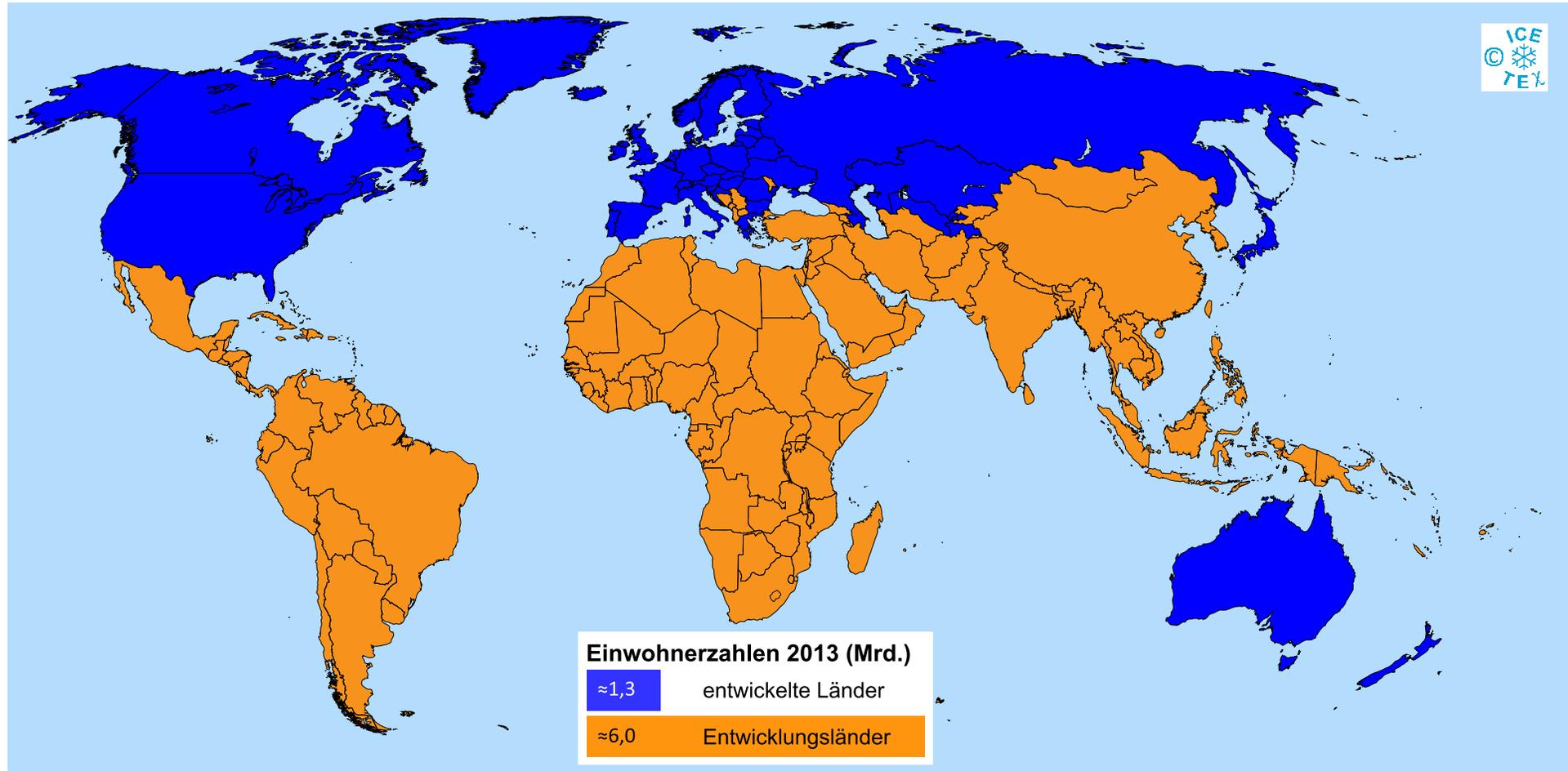
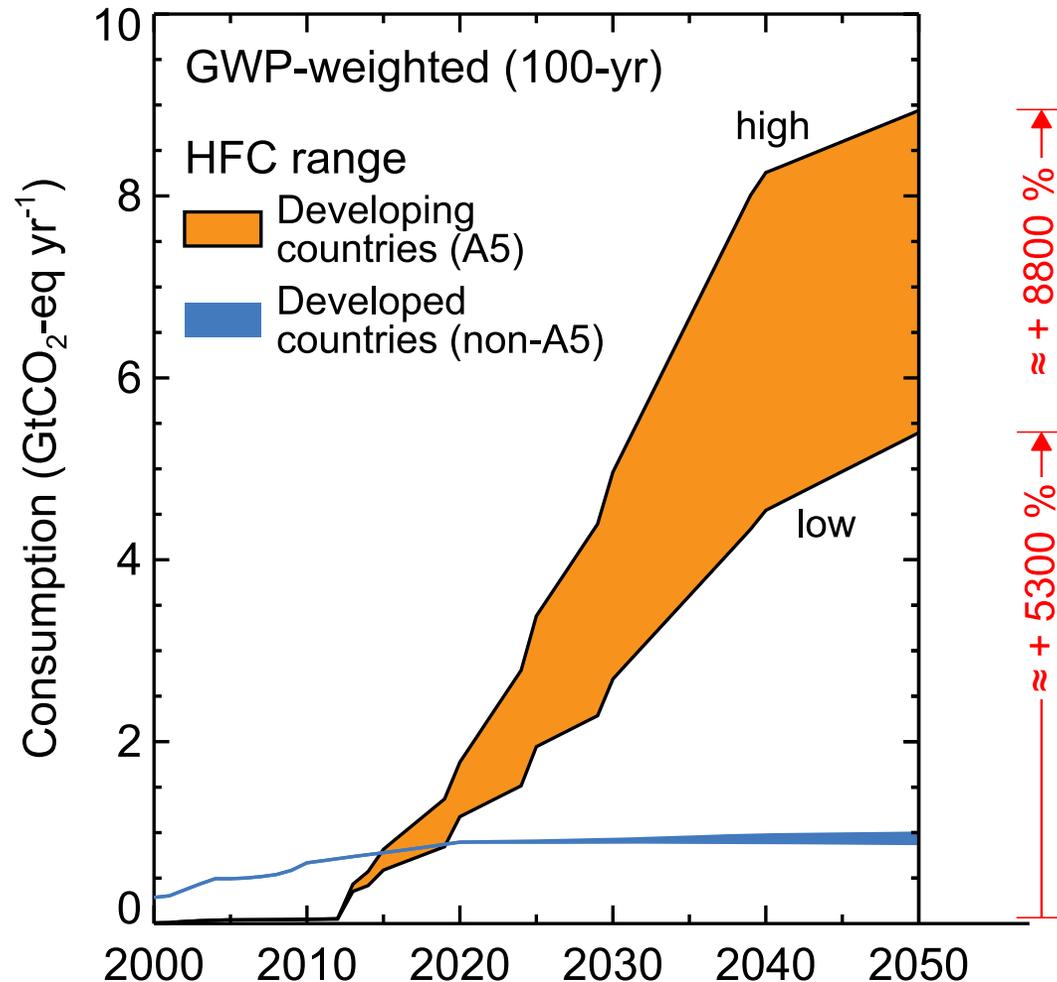


Fig. S1

- Ergebnis der Projektion: HFKW-Emissionen steigen bis 2050 auf 5,5 – 8,8 Gt CO₂-äq an
- Folgerung der Politik: Regulierungsbedarf gegeben!

50 entwickelte Länder mit 1,3 Mrd. Einwohnern, 147 Entwicklungsländer mit 6 Mrd. Einwohnern, 2013





Entwickelte Länder (non-A5)

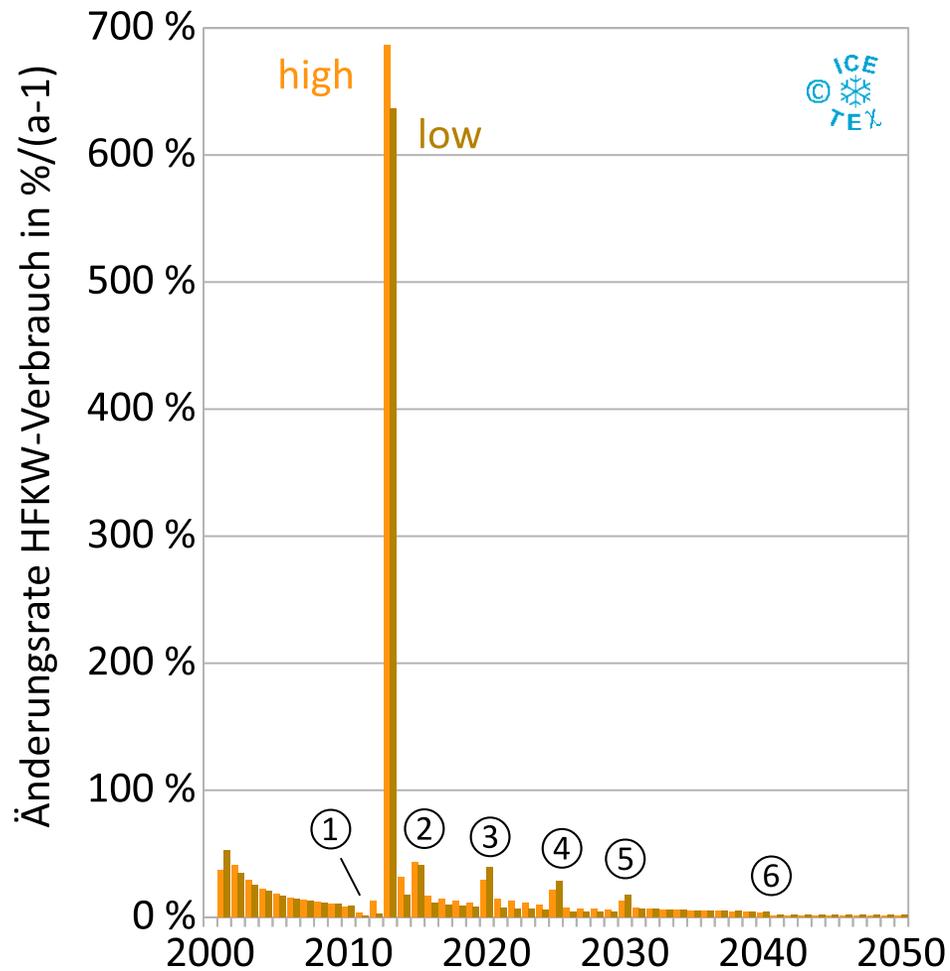
- geringer Verwendungsanstieg bis 2050
(hier: keine weitere Betrachtung)

Entwicklungsländer (A5)

- Anstieg auf ≈ 5,4 – 8,9 Gt CO₂-äq
- auffällig: Steigungsänderungen
 - low, high: 2020, 2025, 2030, 2040
 - (mathematische Modelle erzeugen keine sprunghaften Steigungsänderungen)

→ Analyse der Steigungsänderungen

(Grafik ist als Vektor-Datei veröffentlicht, die ein Auslesen der exakten Daten und damit eine exakte Berechnung der zugrundeliegenden Änderungsraten ermöglicht)



Änderungsraten des HFKW-Verbrauchs

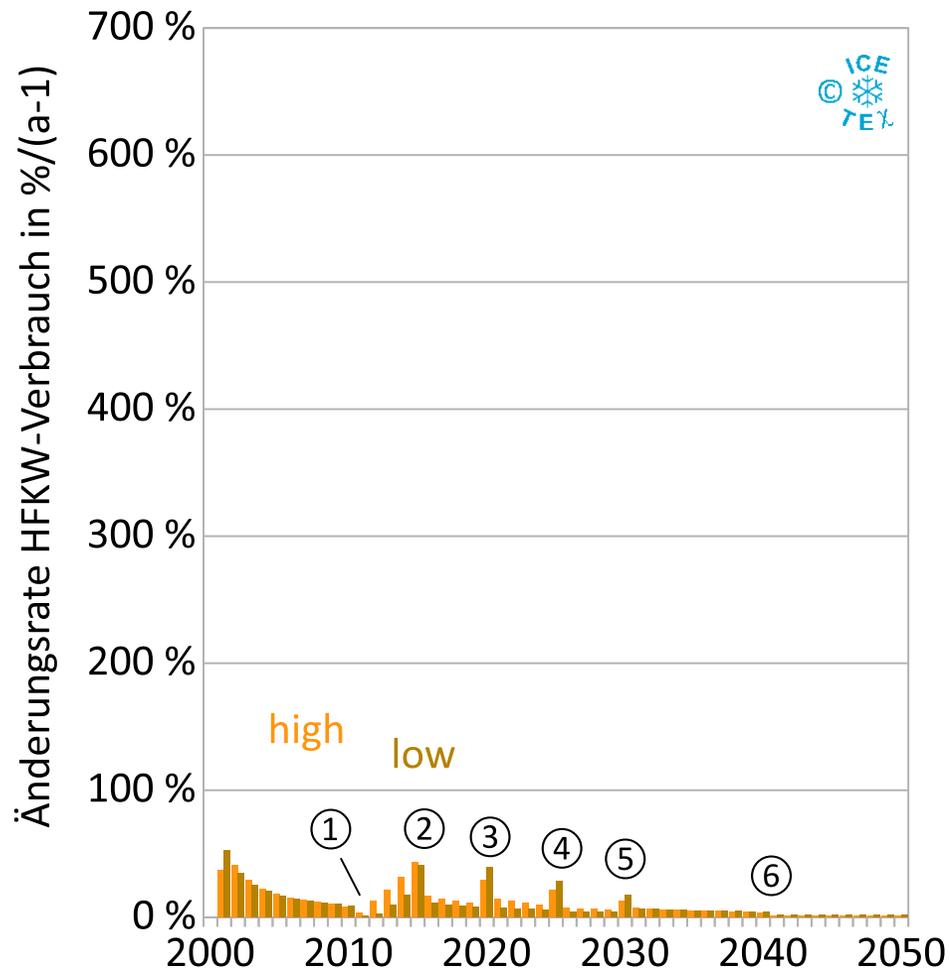
- (Velders: 95 – 99 % des Verbrauchs als Kältemittel)

Extremwerte 2012 auf 2013

- 636 % (low)
- 686 % (high)

Zwischenmaxima

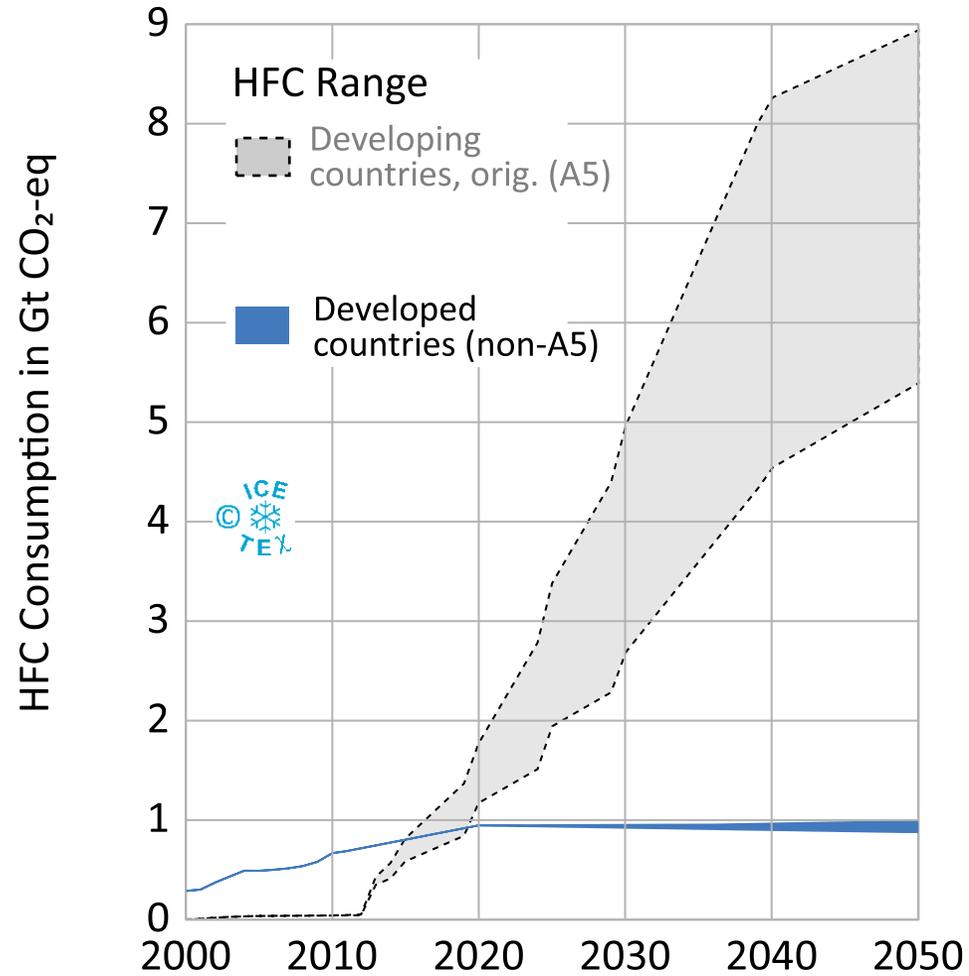
- ② – ⑤ = 43 – 13 %



Änderungsraten nachher

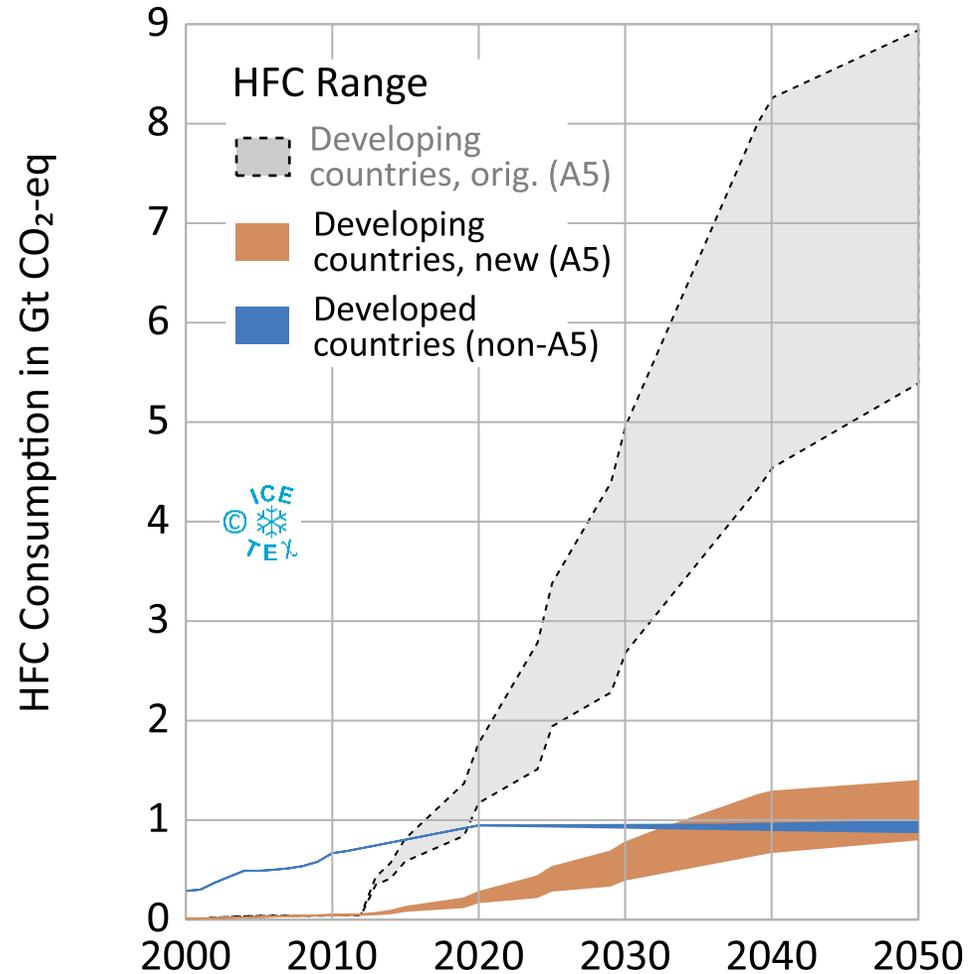
Randbedingungen für Neuberechnung

- 2012 auf 2013: Mittelwerte der vorherigen und der folgenden Steigerungsrate
- alle anderen Steigerungsraten: übernommen (wie unplausibel sie auch sind)



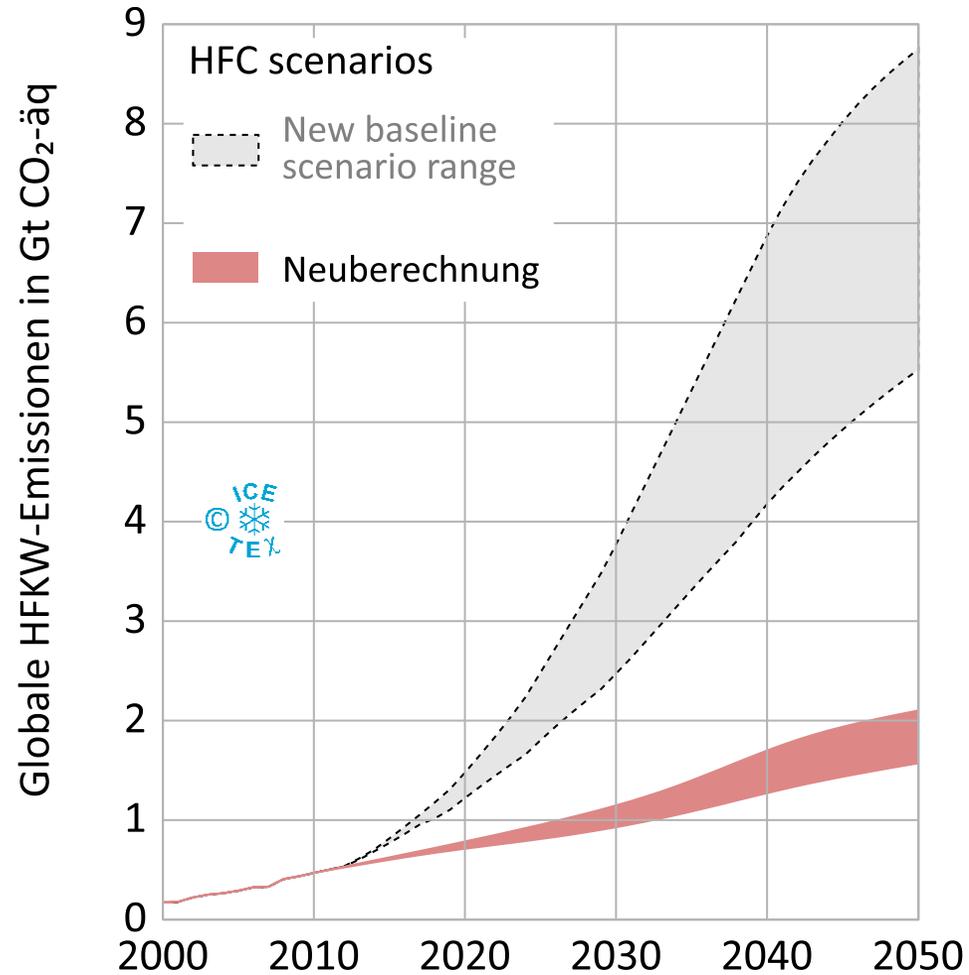
Verbrauchsprojektion

- mit ursprünglichen Steigerungsraten



Verbrauchsprojektion

- mit ursprünglichen Steigerungsraten
- mit geänderter Steigerungsrate 2012/2013
- 2050: Verringerung des Verbrauchs um 84 – 85 %
- Wie verändern sich dann die Emissionen? →



Emissions-Projektion

- Rückgang der Emissionen um 62 – 69 % im Jahr 2050

Folgerung

- korrekte Steigerungsraten 2009 hätten keinen globalen Regulierungsbedarf ergeben

Zustandekommen

1. Veröffentlichungen von Maximalszenarien zukünftiger Verwendung und Emissionen von HFKW
2. Botschaft: *drohender* Anstieg treibhauswirksamer HFKW-Emissionen
 - um 780 % (2002)
 - um „3100 – 5000 %“ (2014)
3. Maßnahme: Regulierung bzw. Phase-Down

Im Nachhinein haben sich die Maximalszenarien als nicht belastbar erwiesen.

DKV  **aktuell**  **extra***Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein e.V.*

Nr. 1-2017

**The Kigali Amendment to the Montreal Protocol: HFC Phase-down**

Die Staatengemeinschaft hat sich im Oktober 2016 in Kigali (Ruanda) auf einen schrittweisen, globalen Ausstieg aus der Verwendung der treibhauswirksamen HFKW geeinigt, die u. a. als Kältemittel eingesetzt werden.

Pressemeldungen dazu:

- **„Der größte Klima-Durchbruch seit Paris“**
www.unep.org
- **„Damit erhalten wir die Möglichkeit, die Erderwärmung um ein halbes Grad Celsius zu verringern.“**
US-Außenminister John Kerry, zitiert nach
www.zeit.de/politik/2016-10/weltgemeinschaft-treibhausgase-abkommen

DKV e.V.
T. 0511-8970814Postfach 0420
E. info@dkv.org30004 Hannover
H. www.dkv.org**DKV aktuell extra 2017**

- auf Anfrage per E-Mail: info@dkv.org

Paradigmen-Wechsel

„Seit Anfang 2017 werden die Klimaanlage fast aller Neuwagen in Deutschland und Europa mit dem **umstrittenen** Kältemittel R1234yf ausgerüstet.

Das Umweltbundesamt (UBA) warnt jetzt vor möglichen **negativen Folgen für die Trinkwassergewinnung**, nachdem Umweltforscher die Chemikalie und Abbauprodukte davon an immer mehr Messstellen in der Luft und in Gewässern gefunden haben. Es fordert die Autoindustrie auf, möglichst schnell auf andere Kältemittel umzusteigen.

UBA-Präsidentin Maria Krautzberger sagte der Frankfurter Rundschau: ‚Wir beobachten mit Sorge den verstärkten Einsatz des Kältemittels R1234yf in Pkw-Klimaanlagen und auch in stationären Kälteanlagen.‘ Das sei problematisch, da diese Chemikalie und ihr **Zerfallsprodukt Trifluoressigsäure (TFA)** auch in die Umwelt gelangten. TFA ist als wassergefährdend eingestuft und schwer abbaubar, außerdem giftig für Algen. ‚Aus dem Trinkwasser kann TFA mit den üblichen Aufbereitungsverfahren nicht entfernt werden, so dass weitere Einträge unbedingt vermieden werden müssen‘, sagte Krautzberger. ...“

TFA gelangt in die Umwelt

1. aus Industrieeinleitungen
 - Bedeutung als Lösemittel für Proteine und als Reagens für chemische Prozesse, REACH: EU-Tonnage 1.000 – 10.000 t/a
2. aus photochemischem Abbau von Inhalations-Anästhetika (Flurane)
 - wie Desfluran, Isofluran, Sevofluran
 - (50 % der neuentwickelten Pharma-Wirkstoffe enthalten Fluor)
3. aus Einsatz von Pflanzenschutzmitteln (= Pestizide) mit CF_3 -Strukturen
 - ≈ 100 Wirkstoffe z. B. Diflufenacin, Flufenacet, Tritosulfuron;
 - $\approx 1/3$ der „modernen“ Pestizide enthalten Fluor
4. aus Kläranlagen-Abläufen
 - Bildung von TFA durch mikrobiellen Abbau/Ozonung
5. aus fossilem, geogenen TFA in Kunstdünger?
 - Begleitsalz in Kalisalzen aus über 250 Mio. Jahre alten Evaporiten des ehem. Zechsteinmeeres?
6. aus atmosphärischem Eintrag nach photochemischem Abbau von F-Gase-Kältemitteln

Sources, fates, toxicity, and risks of trifluoroacetic acid and its salts: Relevance to substances regulated under the Montreal and Kyoto Protocols

Keith R. Solomon^a, Guus J. M. Velders^b, Stephen R. Wilson^c, Sasha Madronich^d, Janice Longstreth^e, Pieter J. Aucamp^f, and Janet F. Bornman^g

^aCentre for Toxicology, School of Environmental Sciences, University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada; ^bNational Institute for Public Health and the Environment (RIVM), Bilthoven, The Netherlands; ^cCentre for Atmospheric Chemistry, University of Wollongong, Wollongong, NSW, Australia; ^dNational Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado, USA; ^eThe Institute for Global Risk Research, Bethesda, Maryland, USA; ^fPtersa Environmental Consultants, Faerie Glen, South Africa; ^gInternational Institute of Agri-Food Security, Curtin University, Perth, Western Australia

ABSTRACT

Trifluoroacetic acid (TFA) is a breakdown product of several hydrochlorofluorocarbons (HCFC), regulated under the Montreal Protocol (MP), and hydrofluorocarbons (HFC) used mainly as refrigerants. Trifluoroacetic acid is (1) produced naturally and synthetically, (2) used in the chemical industry, and (3) a potential environmental breakdown product of a large number (>1 million) chemicals, including pharmaceuticals, pesticides, and polymers. The contribution of these chemicals to global amounts of TFA is uncertain, in contrast to that from HCFC and HFC regulated under the MP. TFA salts are stable in the environment and accumulate in terminal sinks such as playas, salt lakes, and oceans, where the only process for loss of water is evaporation. Total contribution to existing amounts of TFA in the oceans as a result of the continued use of HCFCs, HFCs, and hydrofluoroolefines (HFOs) up to 2050 is estimated to be a small fraction (<7.5%) of the approximately 0.2 µg acid equivalents/L estimated to be present at the start of the millennium. As an acid or as a salt TFA is low to moderately toxic to a range of organisms. Based on current projections of future use of HCFCs and HFCs, the amount of TFA formed in the troposphere from substances regulated under the MP is too small to be a risk to the health of humans and environment. However, the formation of TFA derived from degradation of HCFC and HFC warrants continued attention, in part because of a long environmental lifetime and due many other potential but highly uncertain sources.

Fluorinated organic chemicals are widely used in industry, medicine, agriculture, and household products. A search of the Sci-Finder database (CAS 2015) revealed that more than 1 million synthetic substances contain a trifluoromethyl group (-CF₃) as part of their structure. As pointed out in the 1990s, many of these chemicals are released directly into the environment as part of their use or are lost through fugitive emissions from industry or equipment (Key, Howell, and Criddle 1997). Because of the strength of the carbon-fluorine bond, the -CF₃ group is resistant to degradation in the environment. This results in the release of trifluoroacetic acid (TFA) as a terminal residue after environmental degradation of parent materials.

Many of the substitutes for the ozone-depleting substances (ODS) contain fluorine. However, only

those that contain the -CF₃ group (see the following) degrade in the atmosphere to produce TFA as a final breakdown product. The degradation of refrigerants that produce TFA has raised environmental concerns (United Nations Environmental Programme [UNEP] Environmental Effects Assessment Panel [EEAP] 1998). However, there are benefits from the use of these compounds, as they have a short life in the atmosphere, which prevents them reaching the stratosphere in sufficient amounts to significantly deplete ozone and minimize their global warming potential.

Concerns over TFA have sometimes been erroneously linked to longer chain perfluorinated compounds, such as perfluorinated carboxylates (PFCA) and perfluorinated sulfonates (PFSA), which have

CONTACT Keith R. Solomon ksolomon@uoguelph.ca Centre for Toxicology and Department of Environmental Biology, University of Guelph, 2120 Bovey Building, Gordon Street, Guelph, ON, N1G 2W1, Canada.

Color versions of one or more of the figures in the article can be found online at www.tandfonline.com/uteb.

© 2016 Taylor & Francis

Trifluoressigsäure

- natürlich und synthetisch hergestellt,
- wird in der chemischen Industrie verwendet und ist
- als Säure/Salz für eine Reihe von Organismen gering bis mäßig toxisch
- potenzielles Umweltabbauprodukt zahlreicher Chemikalien (> 1 Mio.), darunter Pharmazeutika, Pestizide und Polymere
 - deren Beitrag zu den weltweiten TFA-Mengen ist ungewiss, im Gegensatz zu dem von HFCKW und HFKW, die unter das Montreal-Protokoll fallen
- TFA-Mengen aus HFO, HFCKW, HFKW, die sich gemäß derzeitiger Projektionen bis 2050 in der Troposphäre bilden, sind **zu gering**, um eine Gefahr für die Gesundheit von Mensch und Umwelt darzustellen
- trotzdem: Beobachtung sinnvoll – z. T. wegen hoher Lebensdauer und wegen **vieler anderer** potenzieller, aber höchst ungewisser **Quellen**

Atmos. Chem. Phys., 21, 14833–14849, 2021
<https://doi.org/10.5194/acp-21-14833-2021>
© Author(s) 2021. This work is distributed under
the Creative Commons Attribution 4.0 License.



Trifluoroacetic acid deposition from emissions of HFO-1234yf in India, China, and the Middle East

Liji M. David^{1,2}, Mary Barth³, Lena Höglund-Isaksson⁴, Pallav Purohit⁴, Guus J. M. Velders^{5,6}, Sam Glaser^{1,a}, and A. R. Ravishankara^{1,2}

¹Department of Chemistry, Colorado State University, Fort Collins, CO 80523, USA

²Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Fort Collins, CO 80523, USA

³Atmospheric Chemistry Observations and Modeling Laboratory, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, USA

⁴Pollution Management Research Group, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Schlossplatz 1, 2361 Laxenburg, Austria

⁵Centre for Environmental Quality, National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), P.O. Box 1, 3720 BA, Bilthoven, the Netherlands

⁶Institute for Marine and Atmospheric Research Utrecht, Utrecht University, the Netherlands

^acurrently at: Tufts University, Medford, MA, USA

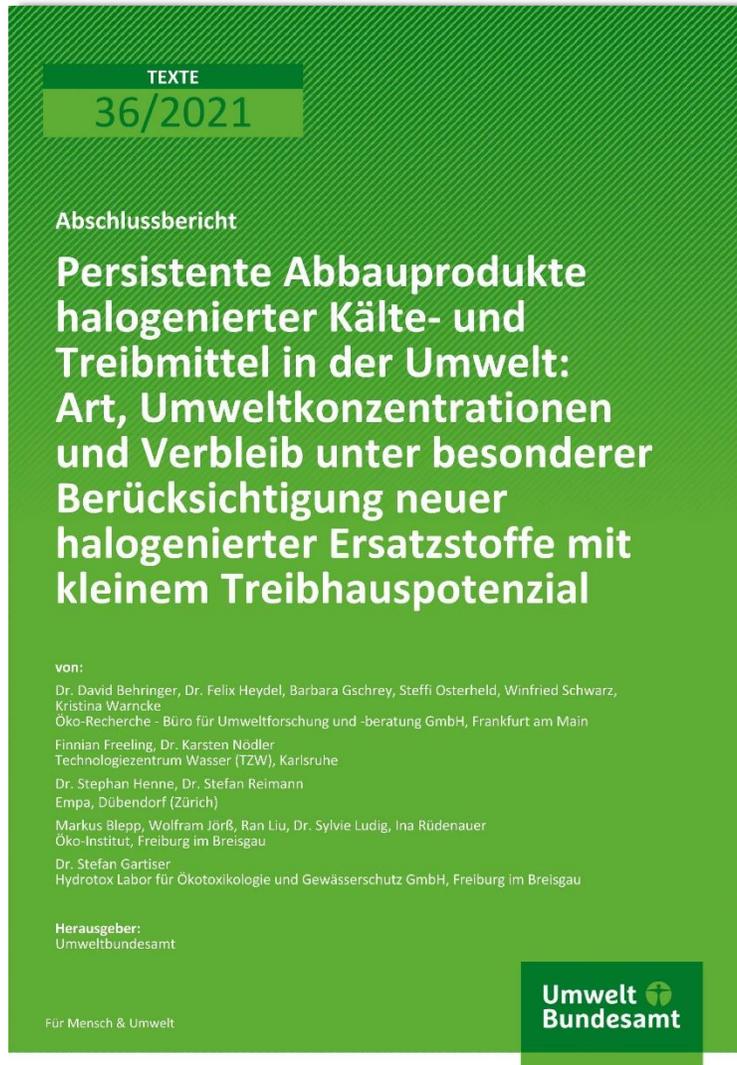
Correspondence: Liji M. David (liji.david@usu.edu), Mary Barth (barthm@ucar.edu), and A. R. Ravishankara (a.r.ravishankara@colostate.edu)

Received: 13 March 2021 – Discussion started: 30 April 2021

Revised: 12 August 2021 – Accepted: 31 August 2021 – Published: 6 October 2021

Ergebnisse

- „Der Mittelwert und die Extremwerte der TFA-Konzentrationen im Regenwasser, die ... berechnet wurden, lagen **um Größenordnungen unter der Konzentration**, bei der keine beobachtbaren Auswirkungen auftreten.“
- Die Auswirkungen auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit sowie die weitere Verwendung von HFO-1234yf in Indien, China und im Nahen Osten werden nach dem derzeitigen Kenntnisstand als **unbedeutend** eingeschätzt, wie Neale et al. (2021) zusammenfassen.“



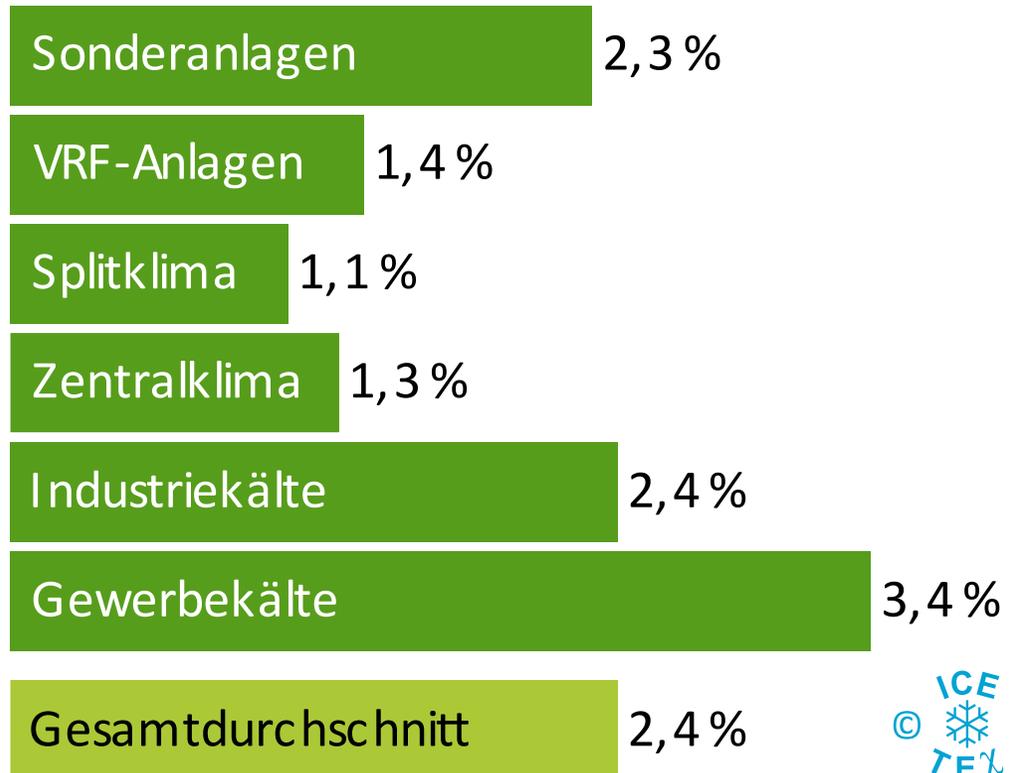
Verwendung, Emissionen, Abbauprodukte von HFKW, HFO in EU

- Szenario: maximale zukünftige Verwendung und Emissionen bis 2050
 - Emissionen von R-1234yf **werden** einen hohen zusätzlichen Anteil zu Trifluoressigsäure- / Trifluoracetat-Mengen in der Atmosphäre beitragen
- Abschätzung des zu erwartenden maximalen Eintrags in der EU in Grund- und Trinkwasser
 - Verwendung von Low-GWP-Stoffen ist angesichts der Persistenz von Trifluoressigsäure- / Trifluoracetat als problematisch anzusehen
 - diese können nur mit erheblichem Aufwand wieder entfernt werden
- Empfehlung des UBA
 - fluorierte Kälte- und Treibmittel sollten durch nachhaltigere Lösungen mit halogenfreien Stoffen ersetzt werden → Phase-Down von HFO!

Sektorspezifisches Maximalszenario von Bedarf und Emissionen von HFCKW, HFKW, u-HFKW, u-HFCKW (UBA FB000452)

Jahr	2000	2010	2020	2030	2040	2050
Bedarf (t)	45.138	90.409	95.969	93.338	91.264	91.756
Mobile Klimatisierung	18.116	28.427	31.616	32.264	32.413	32.361
Stationäre Klimatisierung	3.447	20.459	25.028	24.059	23.412	23.314
Kälte	10.002	17.815	16.825	14.417	12.742	13.190
Schäume	6.686	13.933	13.261	13.303	13.316	13.316
Treib-, Lösungs- und Feuerlöschmittel	6.860	9.748	9.212	9.268	9.354	9.548
Weitere (nur Halbleiterindustrie)	27	27	27	27	27	27
Emissionen (t)	25.597	56.606	60.859	62.825	64.524	66.554
Mobile Klimatisierung	7.187	23.983	29.466	31.889	33.017	33.856
Stationäre Klimatisierung	1.030	7.799	12.193	14.189	15.533	16.208
Kälte	4.510	13.253	8.736	6.487	5.028	4.777
Schäume	6.584	6.277	5.074	4.829	5.505	6.125
Treib-, Lösungs- und Feuerlöschmittel	4.633	5.051	5.187	5.228	5.238	5.385
Weitere (Halbleiterindustrie und HFKW-Produktion)	1.653	243	203	203	203	203

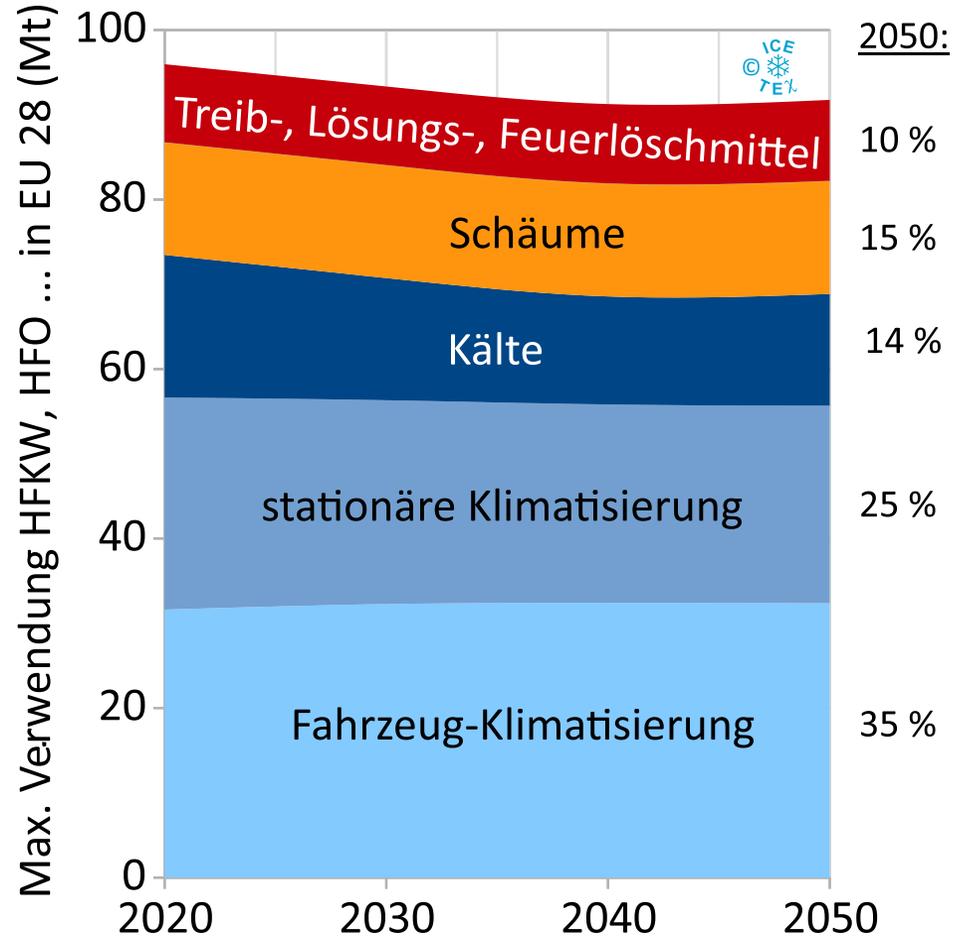
- Grafische Analyse erforderlich →



Leckageraten

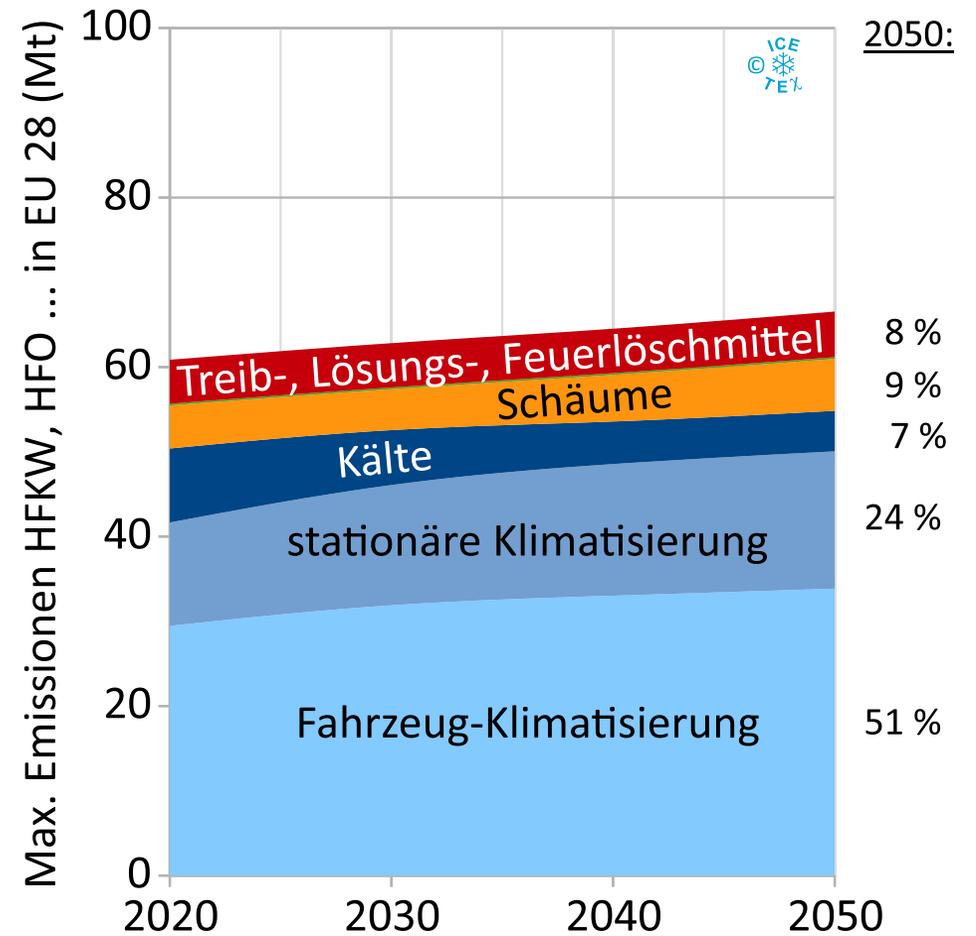
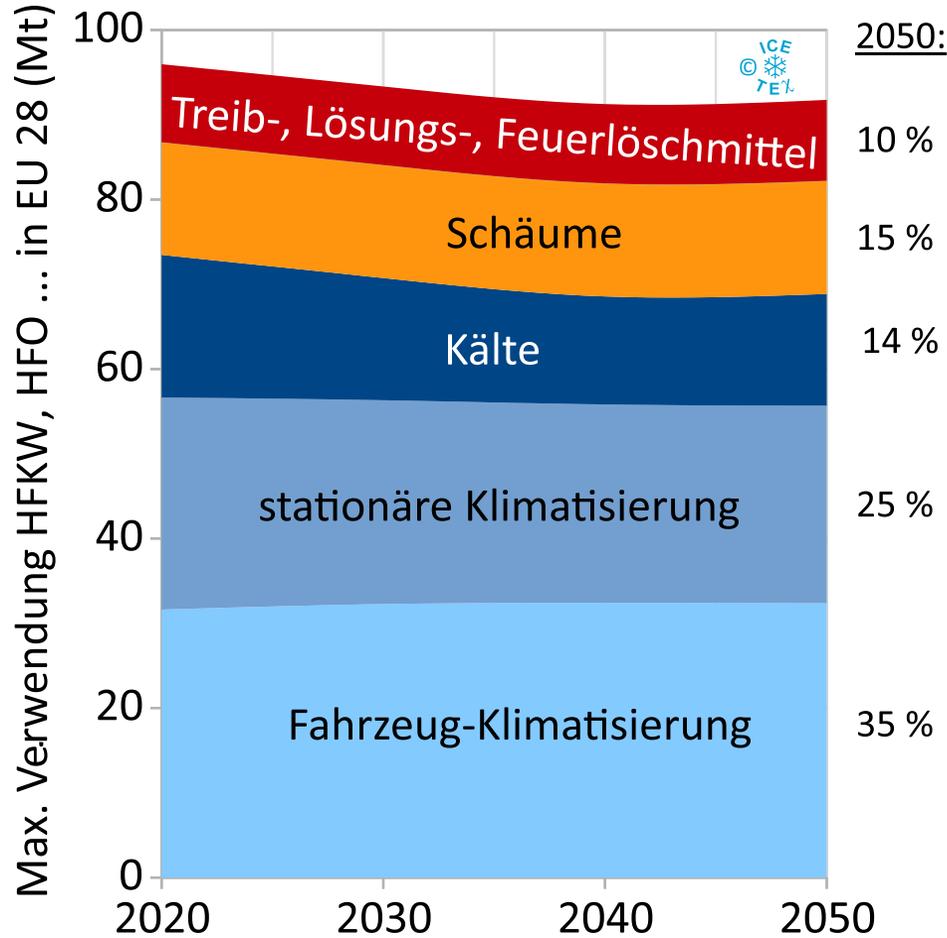
- Bandbreite: 1,1 – 3,4
- Durchschnitt: 2,4 %

Sektorspezifisches Maximalszenario: Verwendung u. Emissionen von HFCKW, HFKW, u-HFKW, u-HFCKW (UBA FB000452)



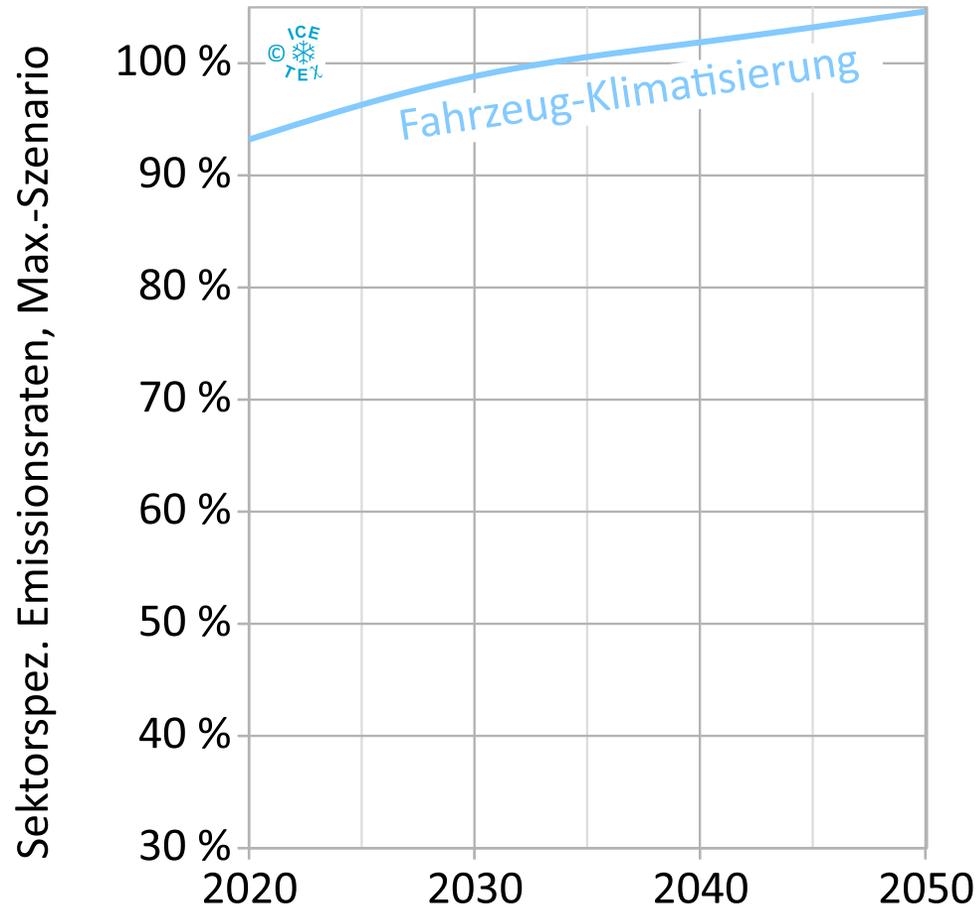
- größte Sektoren sind Fahrzeug- und stationäre Klimatisierung
- nur Verwendung im Sektor „Kälte“ zeigt einen Rückgang bis 2038
- alle anderen Sektoren zeigen ungefähr konstante Verwendung bis 2050

Sektorspezifisches Maximalszenario: Verwendung u. Emissionen von HFCKW, HFKW, u-HFKW, u-HFCKW (UBA FB000452)



- Kältemittel-Emissionsanteile steigen kontinuierlich an, nur im Sektor „Kälte“ gehen sie zurück (?)
- weitere Erkenntnisse liefern sektorspezifische Emissionsraten →

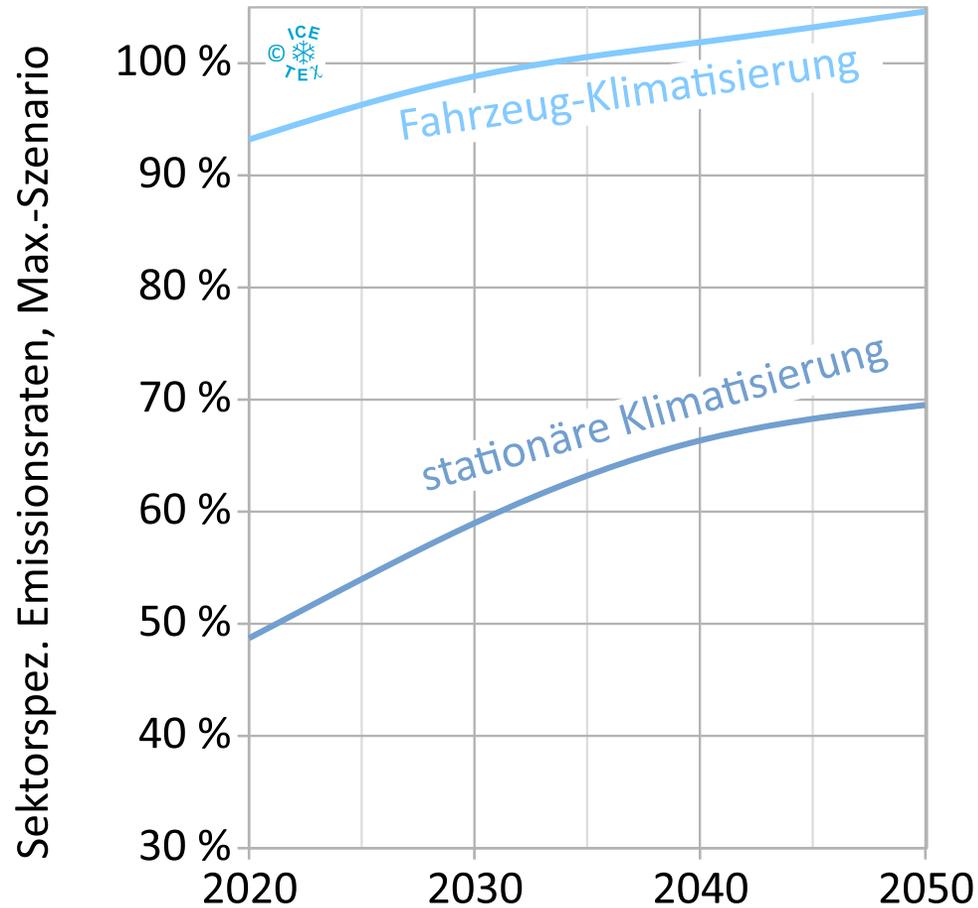
Sektorspezifische Emissionsraten des Maximalszenarios von HFCKW, HFKW, u-HFKW, u-HFCKW (UBA FB000452)



Emissionen aus Fzg.-Klimaanlagen 2020 – 2050

- 2033: Emissionen übersteigen 100 %.
- Ab dann wird mehr Kältemittel emittiert, als vorher eingefüllt wurde: 105 % im Jahr 2050
- Wie ist das möglich?

Sektorspezifische Emissionsraten des Maximalszenarios von HFCKW, HFKW, u-HFKW, u-HFCKW (UBA FB000452)

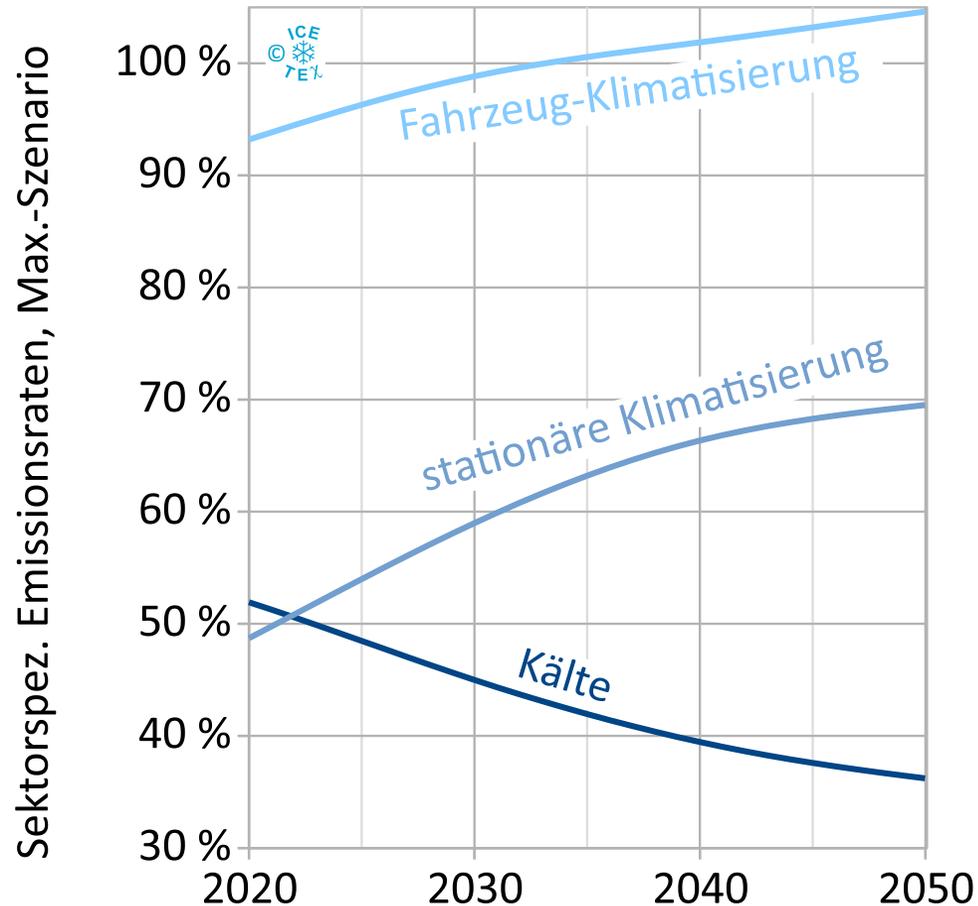


Emissionen aus Klimaanlage 2020 – 2050

(75 % der Emissionen im Jahr 2050)

- Fzg.-Klimaanlagen: Anstieg um 12 %-Punkte
- stat. Klimaanlage: Anstieg um 21 %-Punkte

Sektorspezifische Emissionsraten des Maximalszenarios von HFCKW, HFKW, u-HFKW, u-HFCKW (UBA FB000452)



Emissionen aus Klimaanlage 2020 – 2050

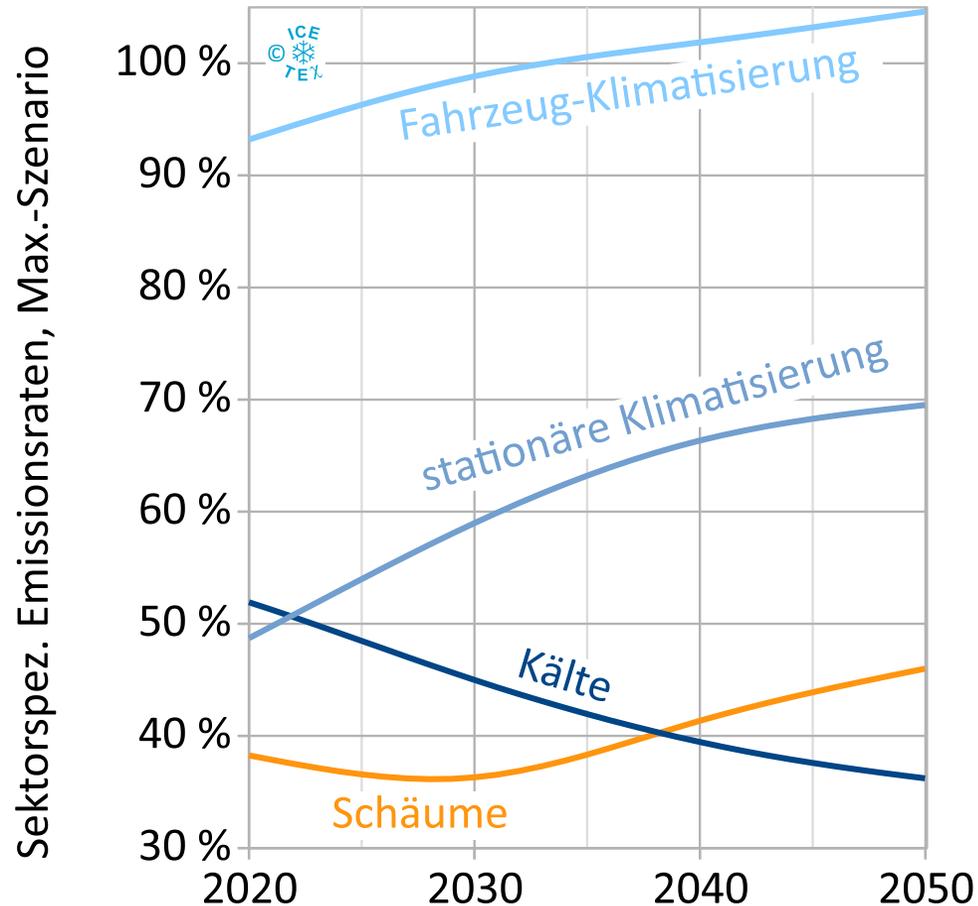
(75 % der Emissionen im Jahr 2050)

- Fzg.-Klimaanlagen: Anstieg um 12 %-Punkte
- stat. Klimaanlage: Anstieg um 21 %-Punkte

Emissionen aus Kälte-Anlagen

- Rückgang um 16 %-Punkte

Sektorspezifische Emissionsraten des Maximalszenarios von HFCKW, HFKW, u-HFKW, u-HFCKW (UBA FB000452)



Emissionen aus Klimaanlage 2020 – 2050

(75 % der Emissionen im Jahr 2050)

- Fzg.-Klimaanlagen: Anstieg um 12 %-Punkte
- stat. Klimaanlage: Anstieg um 21 %-Punkte

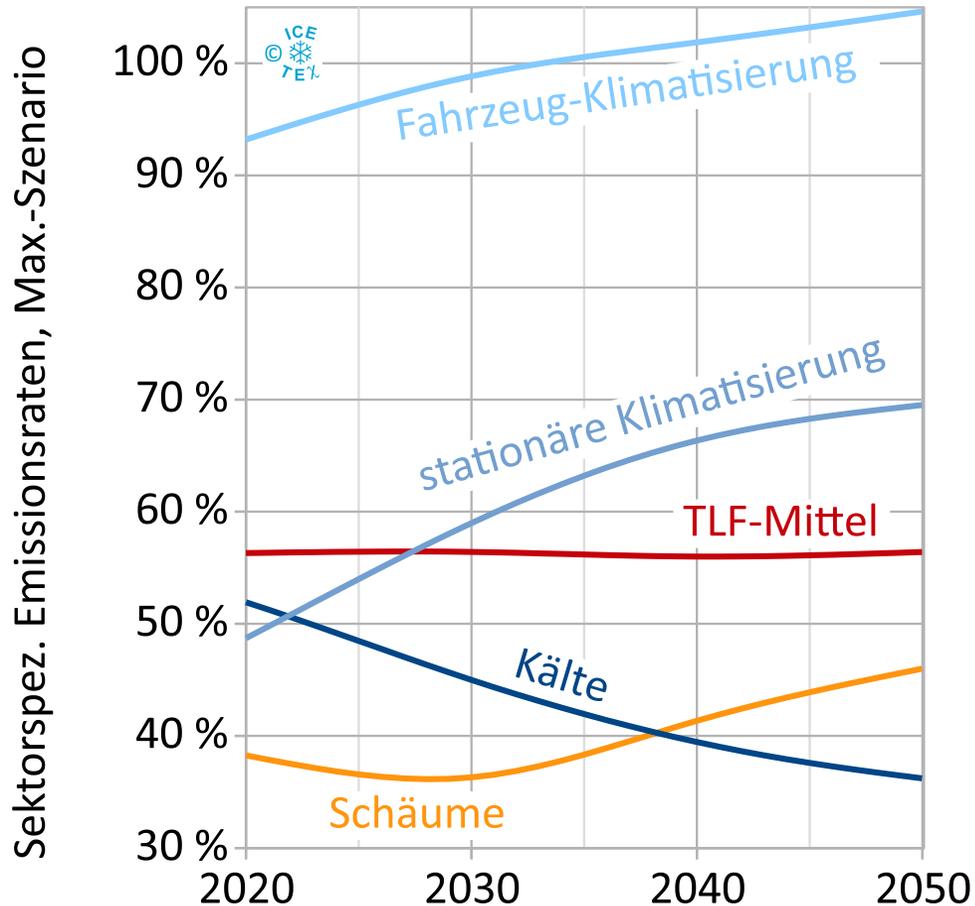
Emissionen aus Kälte-Anlagen

- Rückgang um 16 %-Punkte

Emissionen aus Schäumen

- zunächst Rückgang
- dann Anstieg um insgesamt 12 %-Punkte

Sektorspezifische Emissionsraten des Maximalszenarios von HFCKW, HFKW, u-HFKW, u-HFCKW (UBA FB000452)



Emissionen aus Klimaanlage 2020 – 2050

(75 % der Emissionen im Jahr 2050)

- Fzg.-Klimaanlagen: Anstieg um 12 %-Punkte
- stat. Klimaanlage: Anstieg um 21 %-Punkte

Emissionen aus Kälte-Anlagen

- Rückgang um 16 %-Punkte

Emissionen aus Schäumen

- zunächst Rückgang
- dann Anstieg um insgesamt 12 %-Punkte

**Keine Aussagen zu den Emissionsveränderungen/
-raten im UBA-Bericht (Begriff ist nicht erwähnt)**

**Zweifel an der Höhe und den Veränderungen der
Emissionsraten sind angebracht!**

2. Zwischen-Ergebnis „Paradigmenwechsel 2021“

Vorbereitung eines weiteren Phase-Downs (?)

1. Veröffentlichung von Maximalszenarien zukünftiger Verwendung und Emissionen HFKW, HFO
2. Botschaft: *drohender* Anstieg hoher TFA-Konzentrationen in Gewässern und Böden
3. Empfehlung: Ersatz der F-Gase durch „nachhaltigere Lösungen“

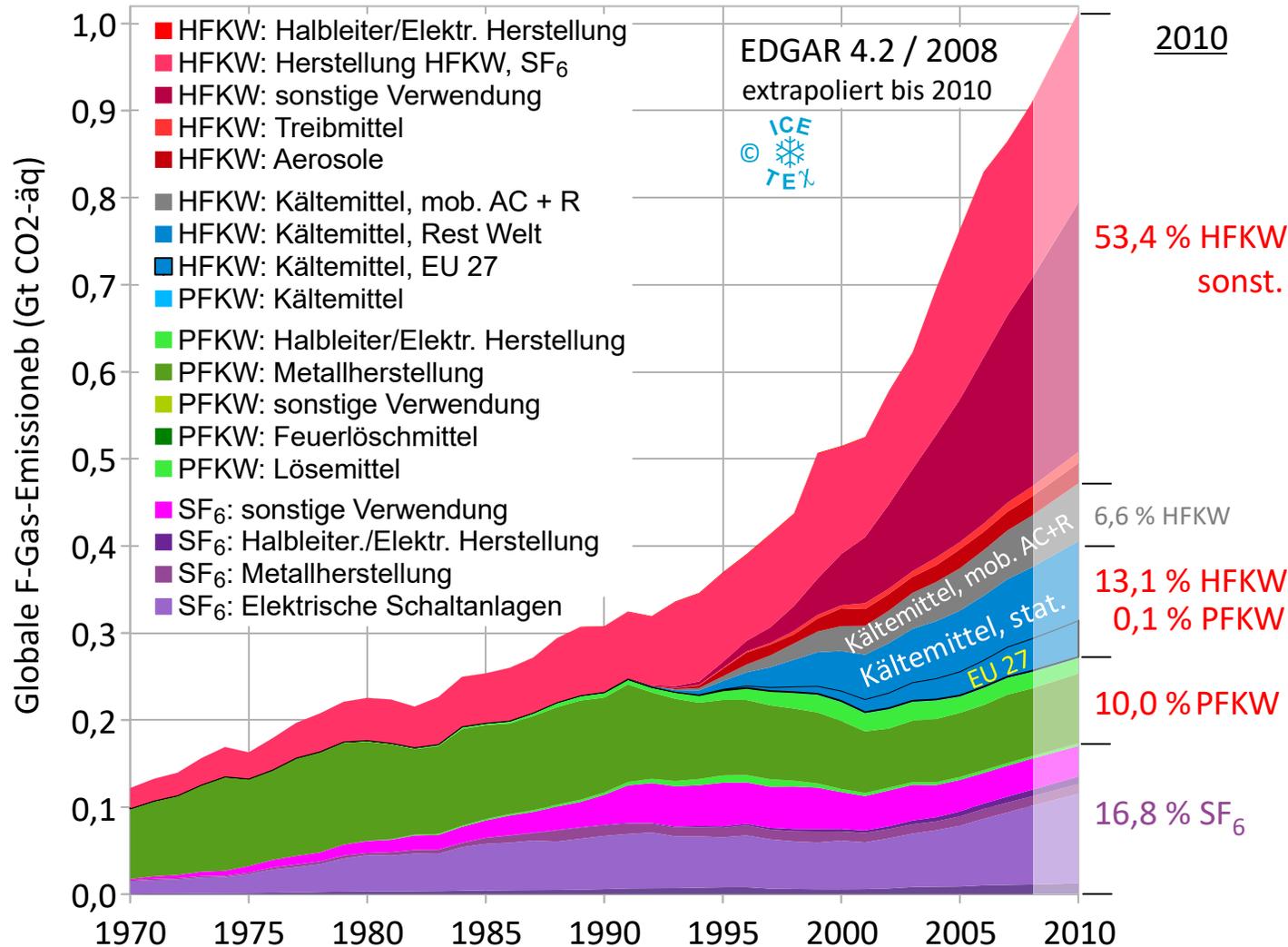
Erste Analysen wecken Zweifel an den Maximalszenarien und den Emissionsraten.

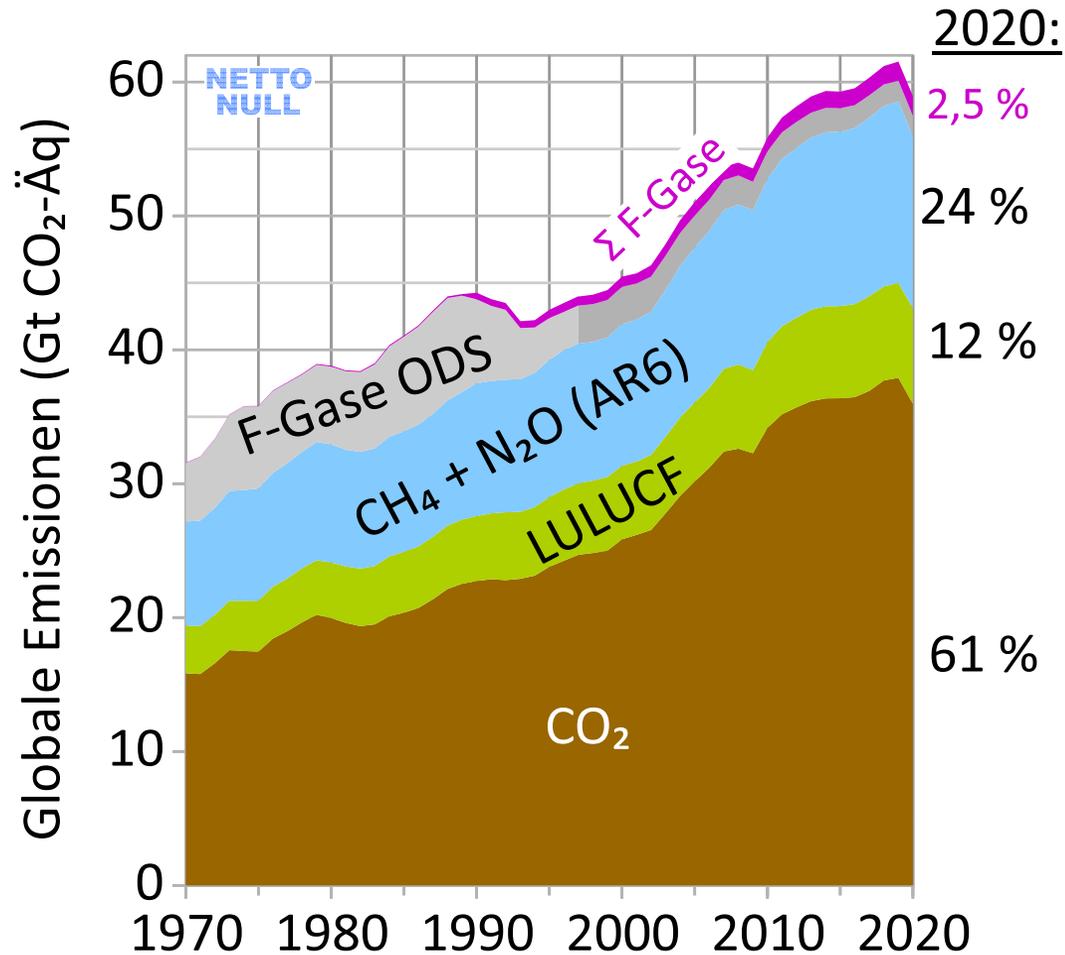
F-Gase-Verordnung 2006 Europäische F-Gase-Verordnung 2014 Kigali-Amendment 2016

- zustandegekommen aufgrund von Maximal-Szenarien der zukünftigen Verwendung und Emission halogenierter Fluide
- Beurteilungskriterium: **Treibhauswirksamkeit**
- **Maximalszenarien haben sich im Nachhinein als nicht belastbar erwiesen**

UBA-Forschungsbericht: „Persistente Abbauprodukte halogenierter Kälte- und Treibmittel in der Umwelt:“

- arbeitet mit Maximal-Szenarien der zukünftigen Verwendung und Emission halogenierter Fluide und empfiehlt deren Ersatz
- Beurteilungskriterium: **TFA-Bildung**
- **Maximalszenarien und Emissionsraten wecken Zweifel**





Die Umweltrelevanz von F-Gase-Kältemitteln hinsichtlich Ozonabbau und Treibhauswirksamkeit

- war *hoch* bei ozonabbauenden Stoffen
- ist *niedrig* bei ozonneutralen Stoffen