

# EURAMMON STUDENT'S DAY 2025

14. April 2025, Hochschule Karlsruhe

**Hochschule Karlsruhe**  
University of  
Applied Sciences

**TIKA**

**eurammon**  
Refrigerants, naturally!



# PFAS – eine wachsende Herausforderung in der Kälte-, Klima- und Wärmepumpen-Industrie

*Michael Kauffeld*

Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik, Hochschule KA

**EURAMMON STUDENT'S DAY 2025**

14. April 2025, Hochschule Karlsruhe

Hochschule Karlsruhe  
University of  
Applied Sciences

**+IKA**

**eurammon**  
Refrigerants, naturally!

# PFAS

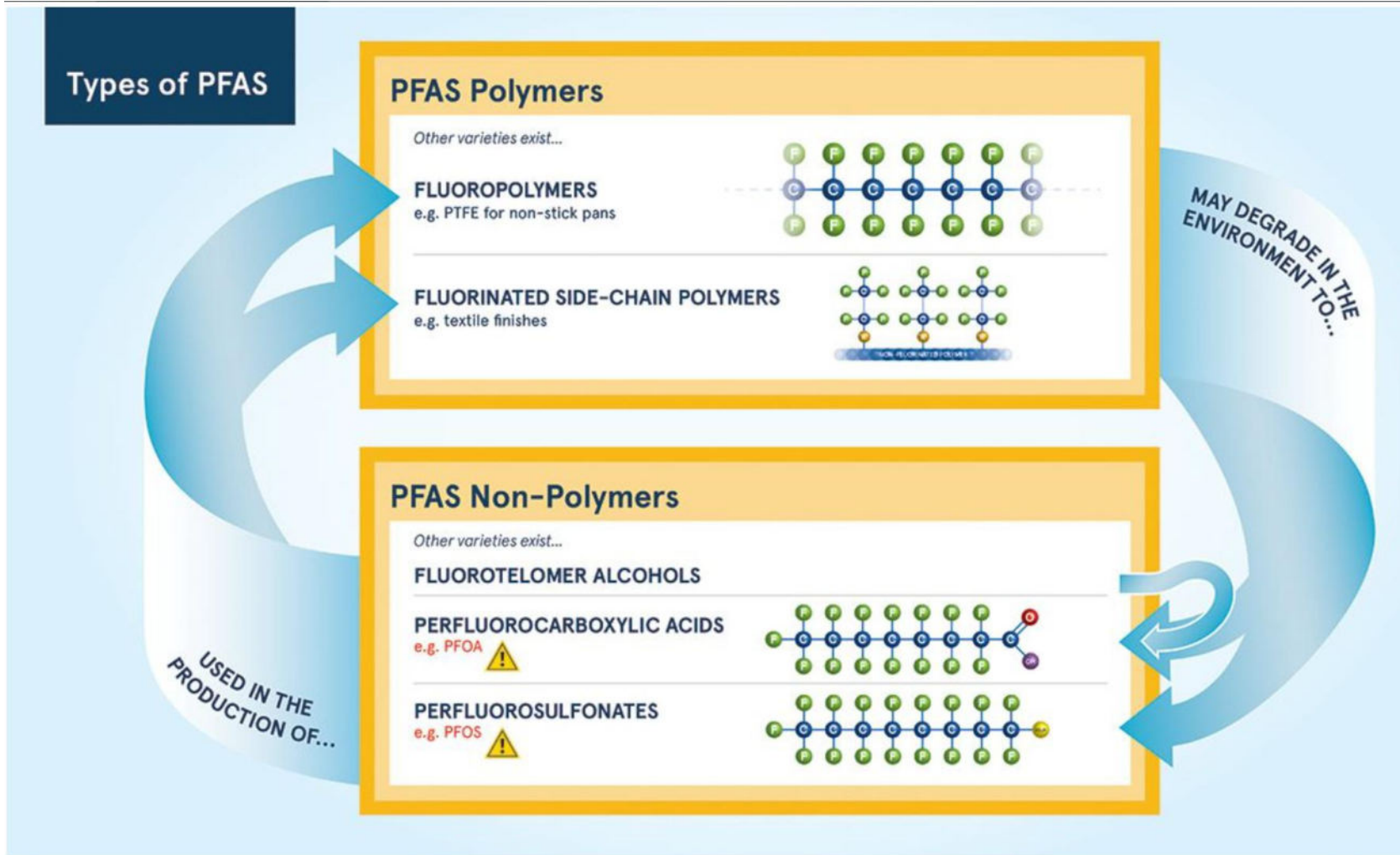
## Eine wachsende Herausforderung in der Kälte-, Klima- und Wärmepumpen-Industrie

Michael Kauffeld

Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik  
Hochschule Karlsruhe

Montag, 14. April 2025

# PFAS – Per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen



<https://www.pfasfree.org.uk/about-pfas/pfas-science-the-basics>



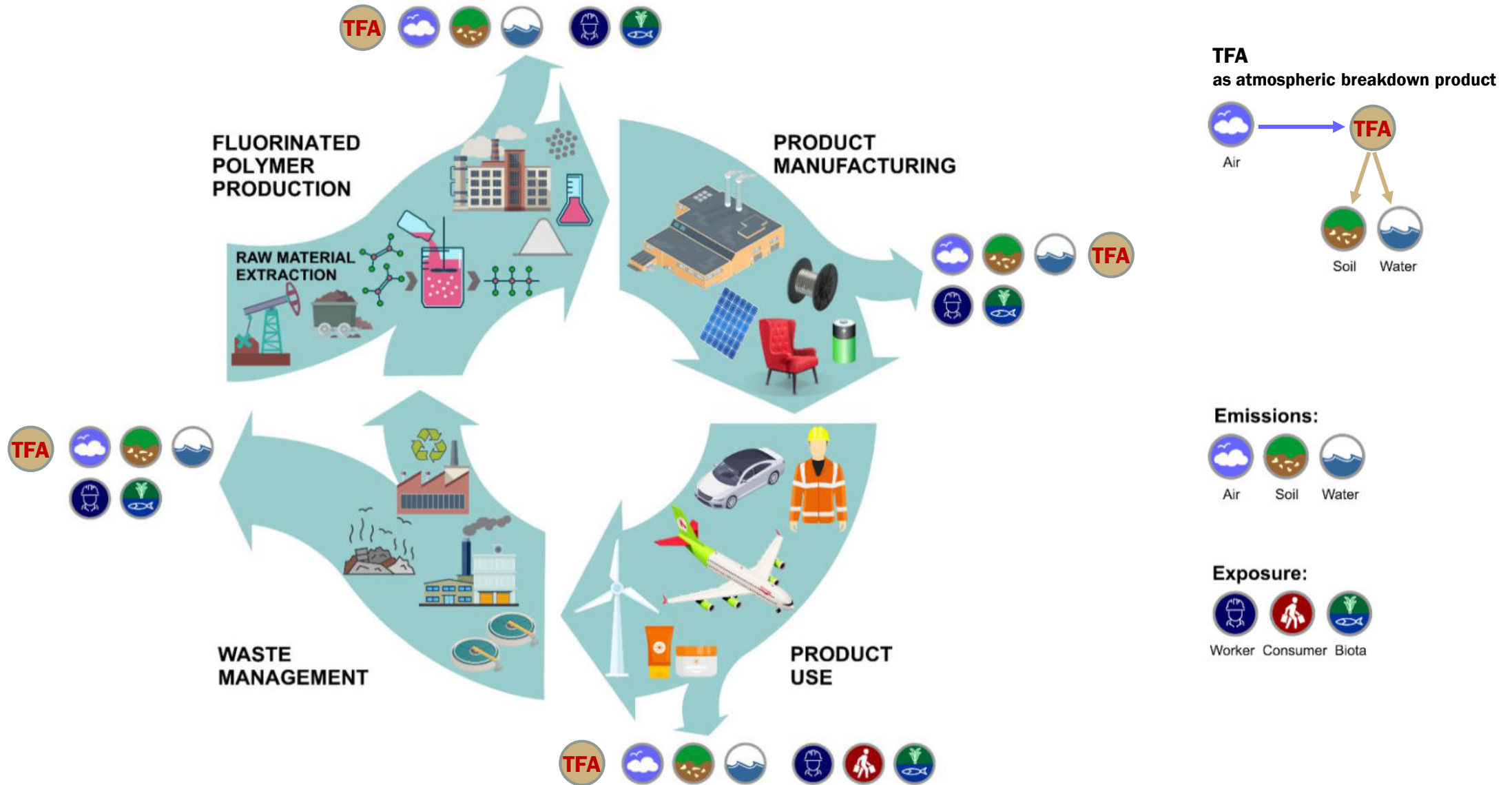
**PFAS IN DIESEN PRODUKTEN STECKEN DIE GIFTSTOFFE**

 OUTDOOR-KLEIDUNG	 IMPRÄGNIER-SPRAY	 BACKPAPIER	 SKI-WACHS
 FEUERLÖSCHER	 KOSMETIKA	 BESCHICHTETE PFANNEN	 ZAHNSEIDE
 FAST-FOOD-VERPACKUNGEN	 PESTIZIDE	 ELEKTRONIK	 FARBE

<https://www.prosieben.de/serien/galileo/news/pfas-warum-die-ewigen-chemikalien-verbotten-werden-sollen-330067>



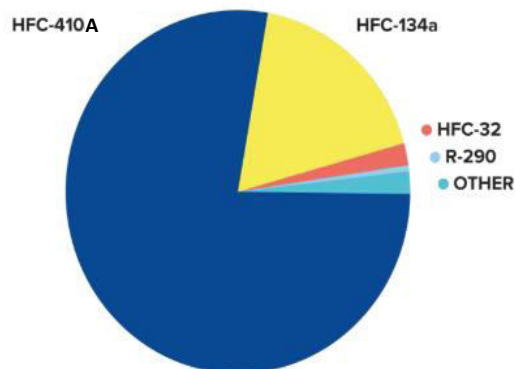
# Lebenszyklus fluorierter Produkte – von Rohstoffgewinnung bis Lebensende



# Herausforderung in der HLK-Branche

- Wärmepumpen – ein Schlüssel zur Energiewende, **aber sind Wärmepumpen eine saubere Heiz-/Kühlösung?**
- Erneuerbare, umweltfreundliche Energie kann durch Wärmepumpen aus dem Boden, Wasser, der Luft oder Abwärme gewonnen werden,
- aber **Problem mit F-Gas-Kältemitteln**, die in den meisten aktuellen HLK-Systemen verwendet werden, zusammen mit **Komponenten, die nicht PFAS-frei sind**

In der Schweiz verwendete Kältemittel für Wärmepumpen im Jahr 2019



- 80% der hydronischen Wärmepumpen, die 2019 verkauft wurden, enthielten **HFC-410A**
- **HFC-134a** ist das zweithäufigste Kältemittel
- Die anderen beiden verwendeten Kältemittel sind **HFC-32 und R-290**, deren Nutzung bis **2023** voraussichtlich zunehmen wird – ein **Schritt weg von HFC-410A**

## Warum sind F-Gase ein Problem?

- Abbau der Ozonschicht (CFCs)

Mehrere Jahrzehnte atmosphärische Lebensdauer

- Globale Erwärmung durch CFCs, HCFCs, HFCs und atmosphärische Abbauprodukte einiger HFOs (HFC-23)

HFCs: Mehrere Jahre atmosphärische Lebensdauer

HFOs: Einige Tage atmosphärische Lebensdauer

- Versauerung unseres Wassers durch TFA (atmosphärisches Abbauprodukt vieler HFCs/HFOs)

TFA: Einige Monate atmosphärische Lebensdauer, aber Tausende von Jahren im Grundwasser!

- Giftige Verbrennungsprodukte (Wasserstofffluorid (HF), ein giftiges und potenziell tödliches Gas)

**Forever Chemical**

TFA ist das kleinste PFOA – eine Untergruppe der PFAS

# TFA = PFAS



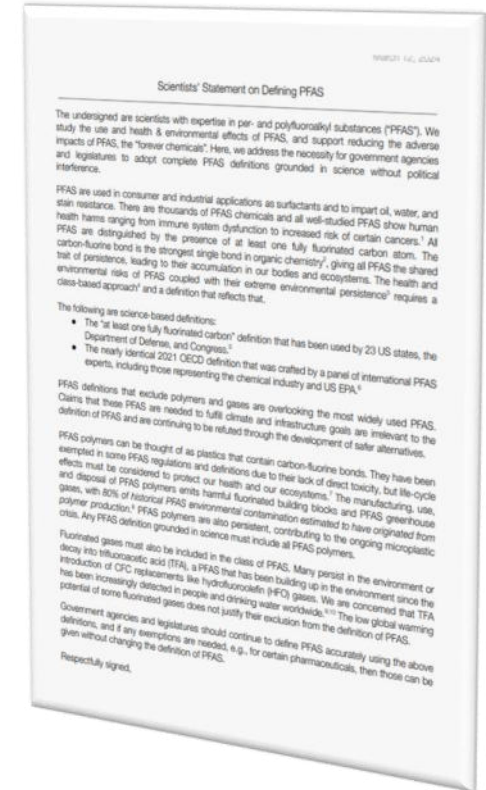
## Stellungnahme von 171 Wissenschaftlern vom 12. März 2024

Auch **fluorierte Gase** müssen in die Klasse der PFAS eingeordnet werden.

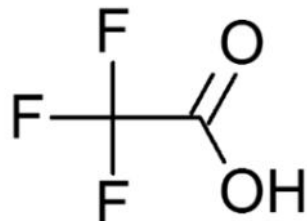
Viele verbleiben in der Umwelt oder zerfallen zu **Trifluoressigsäure (TFA)**, einem **PFAS**, das sich seit der Einführung von FCKW-Ersatzgasen wie Hydrofluorolefin (HFO)-Gasen in der Umwelt ansammelt. **Wir sind besorgt darüber, dass TFA weltweit zunehmend in Menschen und Trinkwasser nachgewiesen wird.**

**Das geringe Treibhauspotenzial einiger fluoriertes Gase rechtfertigt nicht deren Ausschluss aus der Definition von PFAS.**

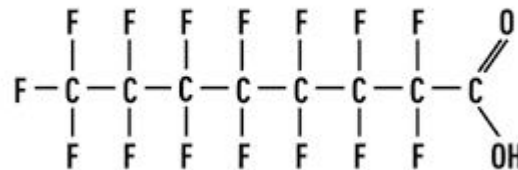
<https://drive.google.com/file/d/1YLB2zvWG5Ez6VeMqqbw77LpVEj0Tj1H/view>



**TFA**



**PFOA:**



[www.bola.de](http://www.bola.de)

TFA entspricht der Definition von PFAS der OECD (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung) einer zwischenstaatlichen Organisation

# Toxizität von TFA



*Es gibt Leute, die behaupten TFA sei ungiftig*

## Safety Data Sheet

**The most important adverse physicochemical, human health and environmental effects**

Skin corrosion produces an irreversible damage to the skin; namely, visible necrosis through the epidermis and into the dermis. Spillage and fire water can cause pollution of watercourses.

If swallowed, danger of perforation of the esophagus and the stomach (strong corrosive effects).

### Acute toxicity

Harmful if inhaled.

### Skin corrosion/irritation

Causes severe skin burns and eye damage.

### Serious eye damage/eye irritation

Causes serious eye damage.

## Safety data sheet

acc. to Regulation (EC) No. 1907/2006 (REACH)

Trifluoroacetic acid (TFA)  $\geq 99,9\%$

article number: 6957



### Classification acc. to GHS

Section	Hazard class	Cat-egory	Hazard class and category	Hazard statement
2.16	Substance or mixture corrosive to metals	1	Met. Corr. 1	H290
3.1I	Acute toxicity (inhal.)	4	Acute Tox. 4	H332
3.2	Skin corrosion/irritation	1A	Skin Corr. 1A	H314
3.3	Serious eye damage/eye irritation	1	Eye Dam. 1	H318
4.1C	Hazardous to the aquatic environment - chronic hazard	3	Aquatic Chronic 3	H412

For full text of abbreviations: see SECTION 16

### The most important adverse physicochemical, human health and environmental effects

Skin corrosion produces an irreversible damage to the skin; namely, visible necrosis through the epidermis and into the dermis. Spillage and fire water can cause pollution of watercourses.

## SECTION 4: First aid measures

### 4.1 Description of first aid measures



#### General notes

Take off immediately all contaminated clothing. Self-protection of the first aider.

#### Following inhalation

Provide fresh air. In all cases of doubt, or when symptoms persist, seek medical advice.

#### Following skin contact

After contact with skin, wash immediately with plenty of water. Immediate medical treatment required because corrosive injuries that are not treated are hard to cure.

#### Following eye contact

In case of contact with eyes flush immediately with plenty of flowing water for 10 to 15 minutes holding eyelids apart and consult an ophthalmologist. Protect uninjured eye.

#### Following ingestion

Rinse mouth immediately and drink plenty of water. Call a physician immediately. If swallowed danger of perforation of the esophagus and the stomach (strong corrosive effects).

### 4.2 Most important symptoms and effects, both acute and delayed

Corrosion, Gastric perforation, Nausea, Vomiting, Unconsciousness, Headache, Circulatory collapse, Dyspnoea, Pulmonary oedema, Risk of serious damage to eyes, Risk of blindness

### 4.3 Indication of any immediate medical attention and special treatment needed

Treat symptomatically.

[https://www.carlroth.com/medias/SDB-6957-GB-](https://www.carlroth.com/medias/SDB-6957-GB-EN.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGFOYXNoZWV0c3wzMTIwNDI8YXBwGljYXRpb24vcGRmfGFZEzFM)

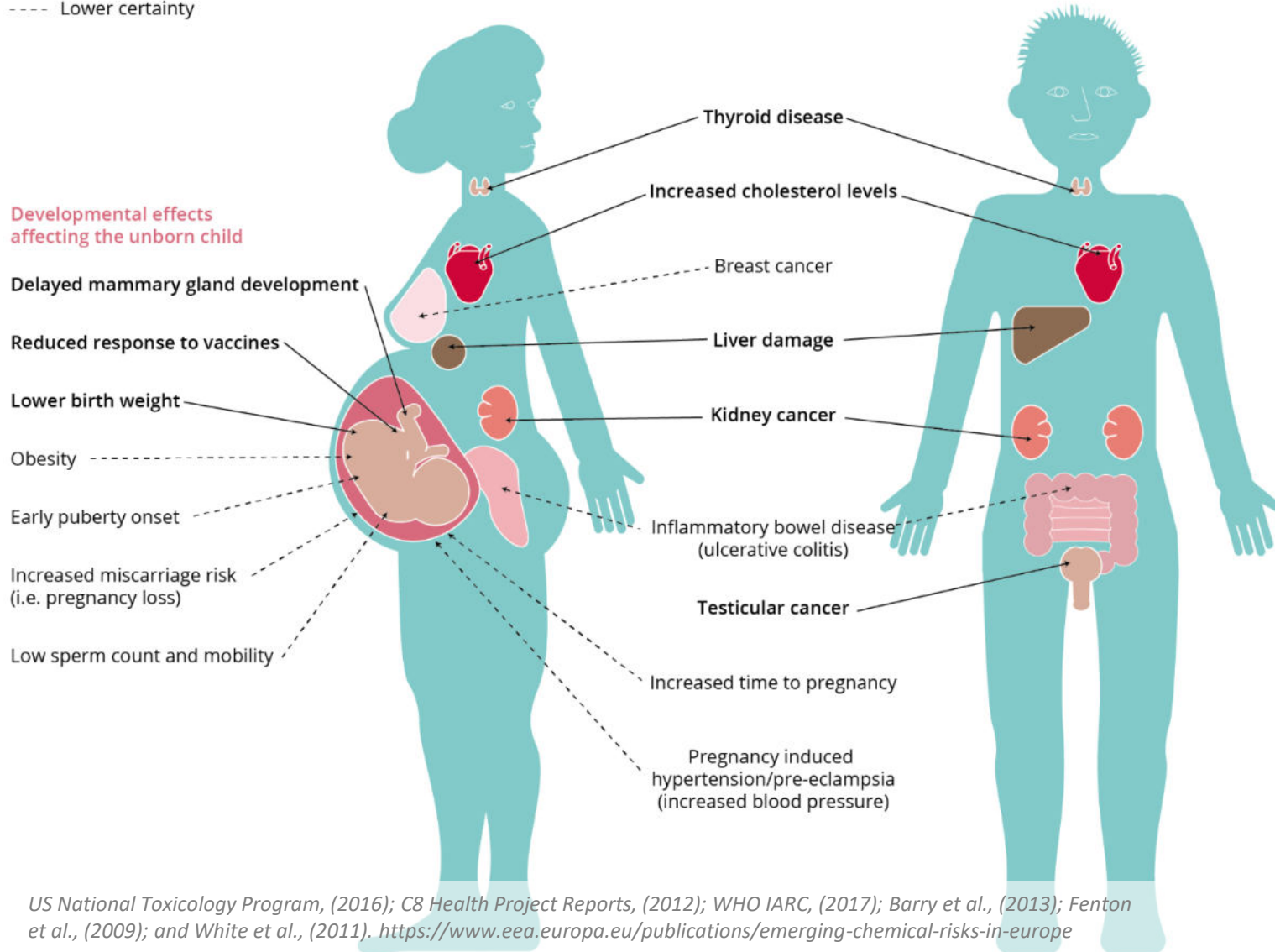
[EN.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGFOYXNoZWV0c3wzMTIwNDI8YXBwGljYXRpb24vcGRmfGFZEzFM](https://www.carlroth.com/medias/SDB-6957-GB-EN.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGFOYXNoZWV0c3wzMTIwNDI8YXBwGljYXRpb24vcGRmfGFZEzFM)  
MmhsTnk4NU1UYzVPVFI5TURRNE5UUXIMMU5FUWw4Mk9UVTNYMGRDWBWTOxuQmtaZ3wzYmYwYjE3NTk3ZDA5ODc2NmMwM2FhZTc0ZjdiNGEwNmE1MzYyZjZkZDIjYmM3YjA5YjUxNjc1NjM1ZTJKYmNI

# Auswirkungen von PFAS auf die menschliche Gesundheit



— High certainty

- - - Lower certainty



Es gibt Hinweise aus Toxizitätsstudien an Säugetieren, dass TFA reproduktionstoxisch ist und Leberschäden verursachen kann

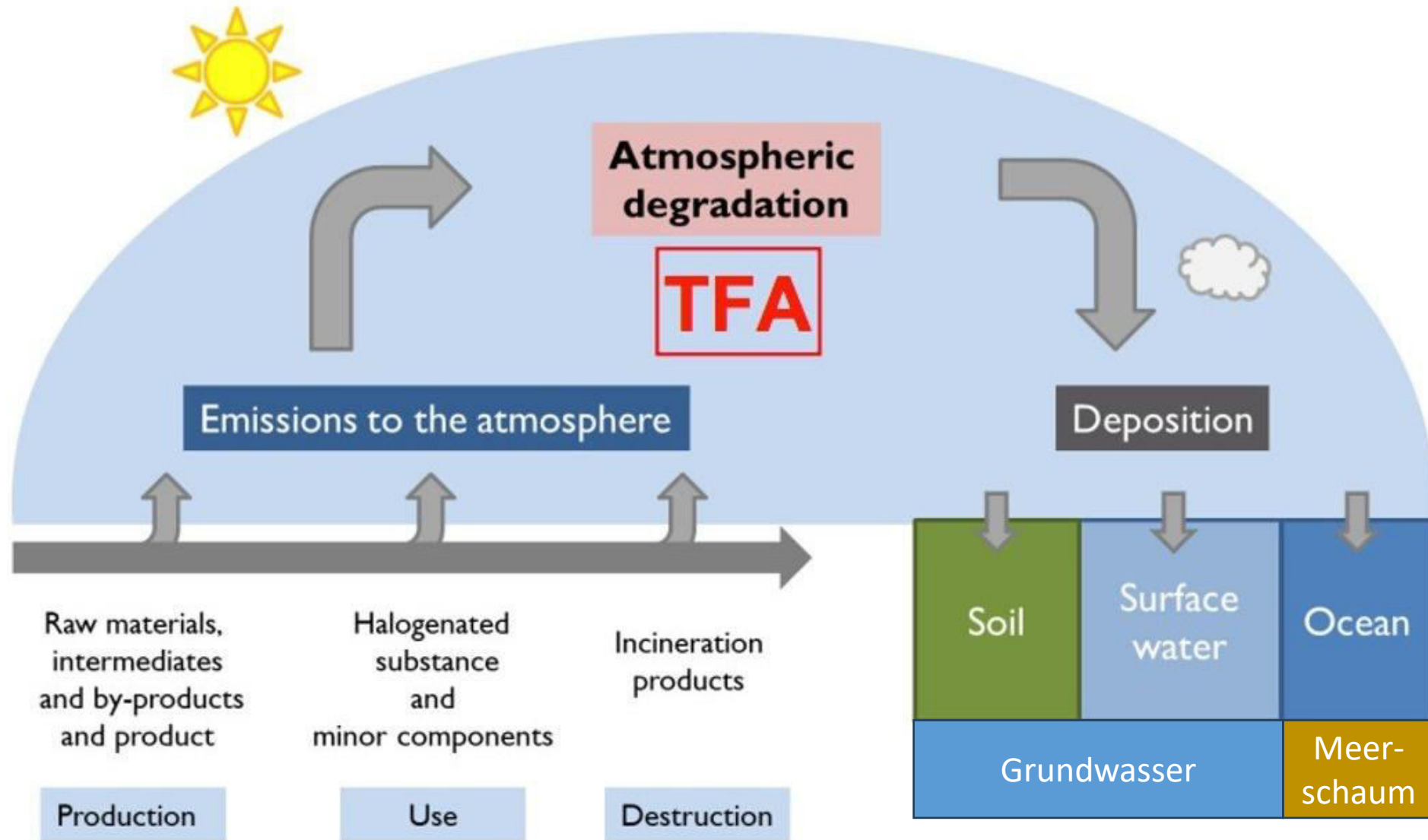
Arp, H.P.H.; Gredelj, A.; Glüge, J.; Scheringer, M.; Cousins, I.T.: The Global Threat from the Irreversible Accumulation of Trifluoroacetic Acid (TFA). *Environ. Sci. Technol.* 2024, 58, <https://doi.org/10.1021/acs.est.4c06189>

Sehr interessantes webinar von Hans Peter Arp mit vielen neuen Erkenntnissen auf:  
<https://www.healthandenvironment.org/che-webinars/96949>

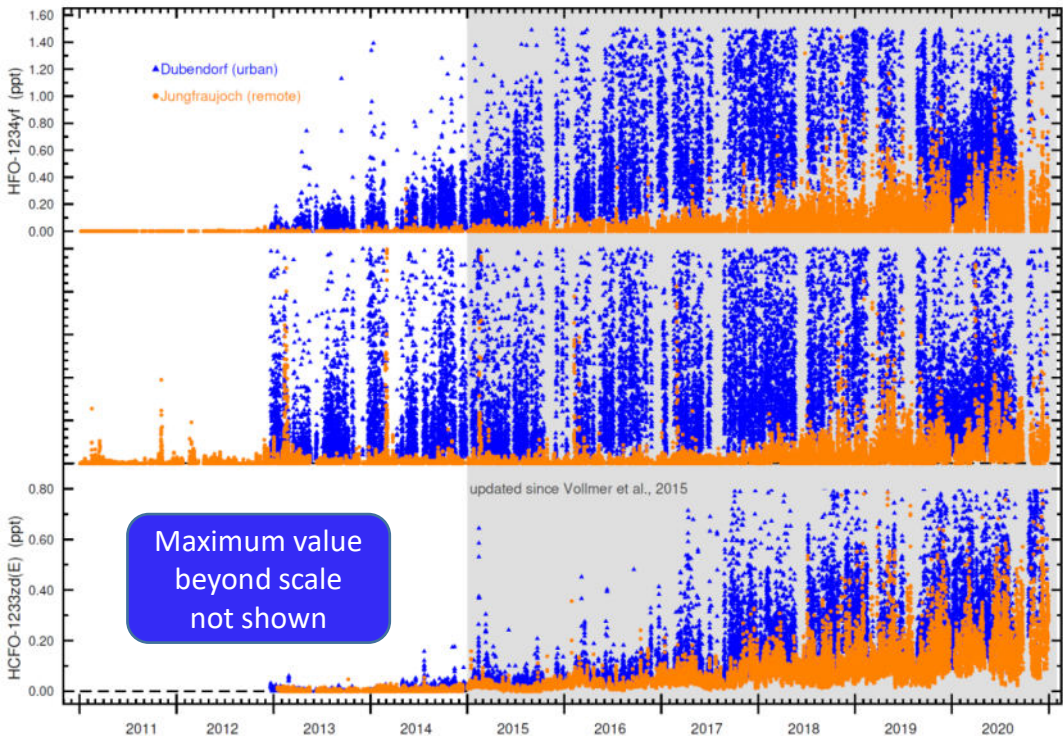


US National Toxicology Program, (2016); C8 Health Project Reports, (2012); WHO IARC, (2017); Barry et al., (2013); Fenton et al., (2009); and White et al., (2011). <https://www.eea.europa.eu/publications/emerging-chemical-risks-in-europe>

# Mögliche Quellen von TFA im Grundwasser



# Woher stammt TFA?



Die Ergebnisse werden als Trockenluft-Molenbruch in Teilen pro Billion (ppt,  $\text{pmol mol}^{-1}$ ) dargestellt.

Blau - urban (Dubendorf); Orange - ländlich (Jungfrauoch)

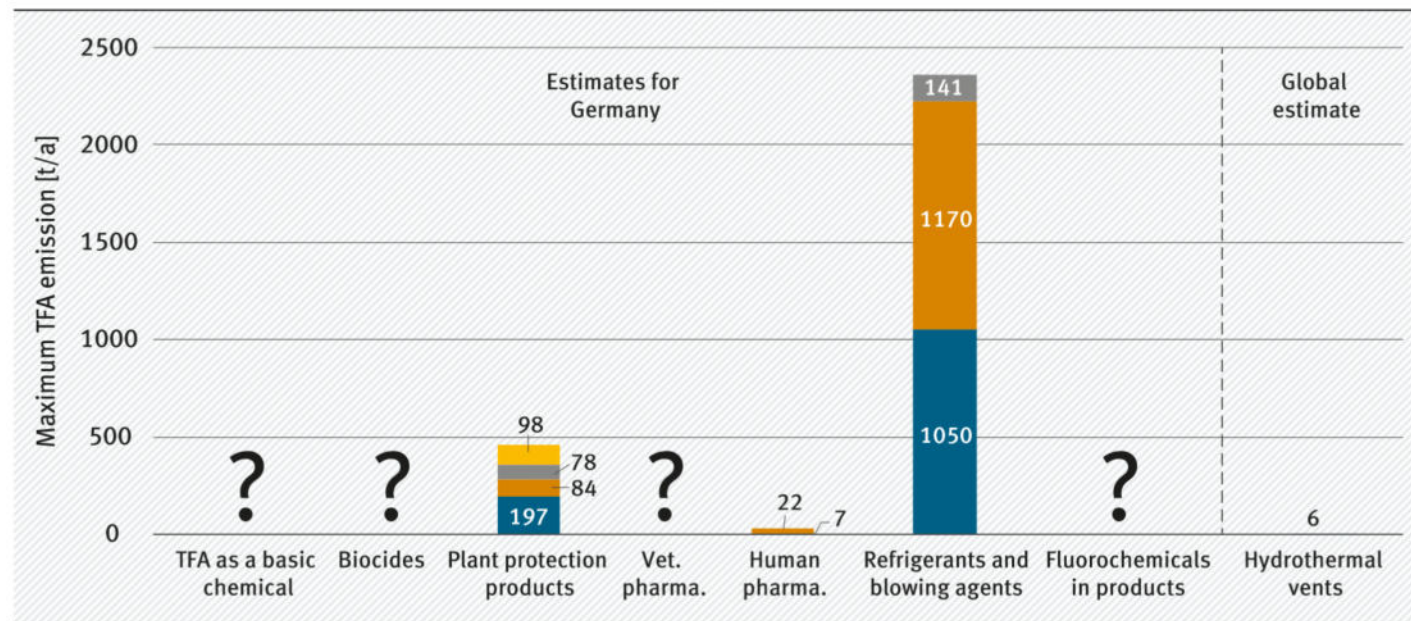
Um die y-Achse zur besseren Darstellung kleinerer Molenbrüche zu erweitern, wurden die Ergebnisse oberhalb der größten Achsenbeschriftung für jede Verbindung ausgelassen. Maximalwerte außerhalb des Maßstabs werden nicht angezeigt..

<https://www.empa.ch/documents/56101/190047/HFO+update+Report/fe3b26b5-fcb6-4cd9-a6f6-5c39ac01f20a>

Schätzung der potenziellen Menge von TFA aus Kältemitteln und Treibmitteln für das Jahr 2020 auf Basis der erwarteten Emissionen in Deutschland und der Raten der TFA-Bildung.  
(blau: TFA von R-134a; orange: R-1234yf; grau: andere Kältemittel)

*Adlunger, K.; et al.: Reducing the input of chemicals into waters: trifluoroacetate (TFA) as a persistent and mobile substance with many sources. Background, November 2021*

Estimated maximum TFA emissions in t/a for the relevant groups of chemicals\*



\* Calculated from the respective quantities sold or the emissions (refrigerants and blowing agents), or taken from published model-based estimates (hydrothermal vents)

Source: own diagram, German Environment Agency (data basis: see Notes on Fig. 4)

# Wie viel TFA aus ausgewählten Kältemitteln mit GWP < 750



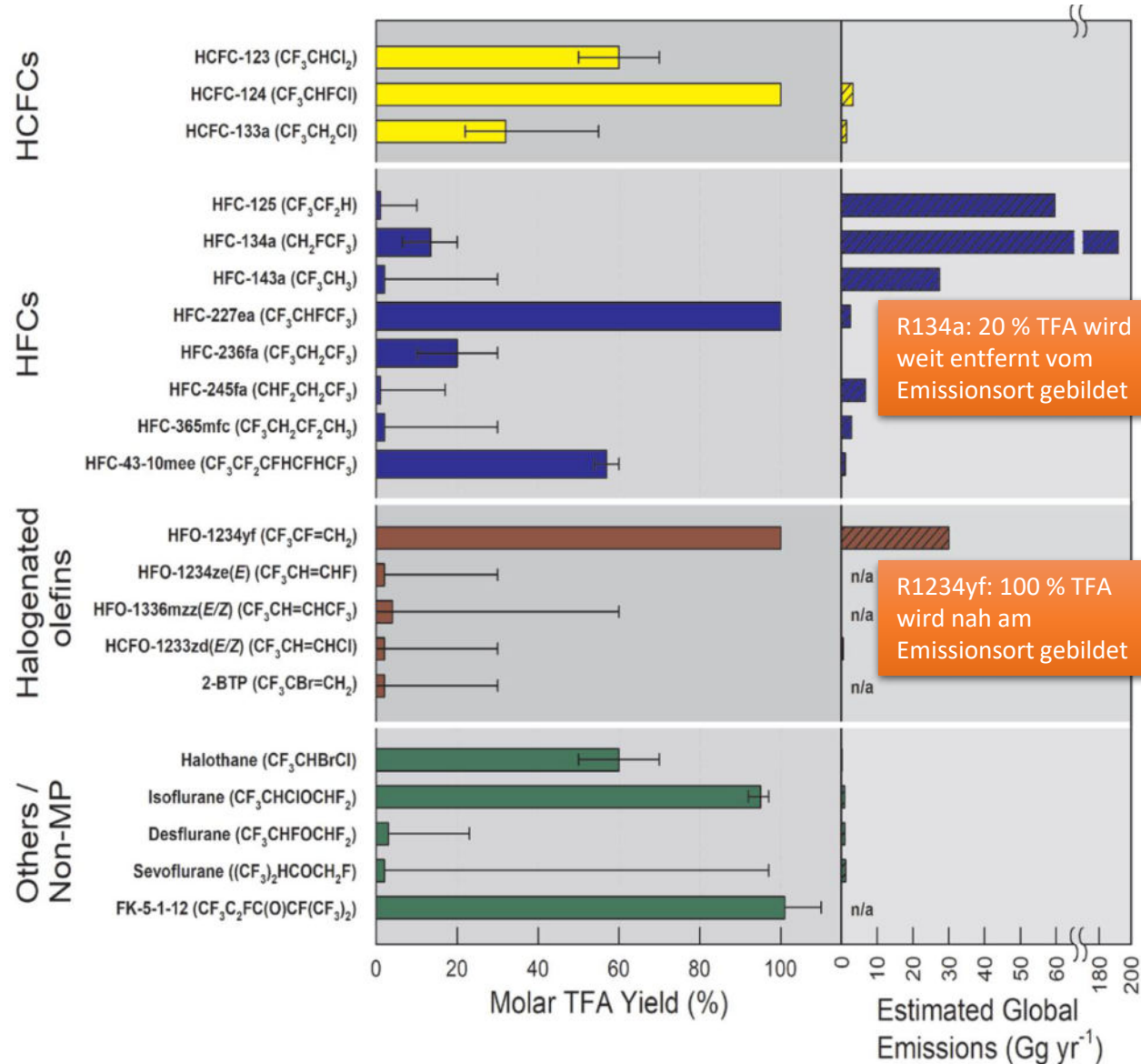
Refrigerant	Additional Information (Blend composed of)	Safety class	Normal boiling point <sup>1</sup>	GWP <sub>100</sub> <sup>1</sup>	GWP <sub>20</sub> <sup>1</sup>	TFA formation potential <sup>2</sup>	HFC-23 formation potential <sup>3</sup>
R-32	Used pure and in blends	A2L	-52 °C	749	2 620	-	-
R-125	<i>Only in blends below GWP = 750</i>	A1	-49 °C	3 820	6 790	-	-
R-134a	<i>Only in blends below GWP = 750</i>	A1	-26 °C	1 470	4 060	7-20 %	-
R-227ea	<i>Only in blends below GWP = 750</i>	A1	-15.6 °C	3 580	5 830	100 %	-
R-450A	R-134a and R-1234ze(E)	A1	-23.4/-22.8 °C	618	1 708	up to 14 %	0.8 - 2.6 %
R-452B	R-125, R-32 and R-1234yf	A2L	-51.0/-50.3 °C	769	2 231	26 %	-
R-454B	R-32 and R-1234yf	A2L	-50.9/-50.0 °C	516	1 806	31 %	-
R-454C	R-32 and R-1234yf	A2L	-46.0/-37.8 °C	162	565	79 %	-
R-455A	R-32, R-1234yf and R-744	A2L	-51.6/-39.1 °C	162	565	76 %	-
R-513A	R-134a and R-1234yf	A1	-29.2 °C	647	1 788	up to 65 %	-
R-1233zd(E)	Used pure and in blends	A1	18.1 °C	0.0651	4	up to 10 %	1.3 - 4.4 %
R-1234yf	Used pure and in blends	A2L	-29.4 °C	0.0268	< 1	100 %	-
R-1234ze(E)	Used pure and in blends	A2L	-19 °C	0.0459	1	up to 10 %	1.3 - 4.4 %
R-1233zd(E)	Used pure and in blends	A1	18.1 °C	0.0651	4	up to 10 %	1.3 - 4.4 %

<sup>1</sup> Normalsiedepunkt und GWP-Werte von UNEP RTOC 2022

<sup>2</sup> TFA Bildungsrate von Behringer et al.: Umwelt- und Klimaauswirkungen natürlicher und halogener Kältemittel in Flüssigkeitskühlsätzen und Verflüssigungssätzen. German UBA (2024)

<sup>3</sup> HFC-23 Bildungsrate von Pérez-Peña et al. (2023) Pérez-Peña, M.P.; Fisher, J.A.; Hansen, C.; Kable, S.H. (2023): Assessing the atmospheric fate of trifluoroacet-aldehyde (CF<sub>3</sub>CHO) and its potential as a new source of fluoroform (HFC-23) using the AtChem2 box model. Environ. Sci.: Atmos., 3, 1767-1777

# Wie viel TFA von ausgewählten Kältemitteln & globale Emissionen



Ausbeute an Trifluoressigsäure (TFA) aus einzelnen ausgewählten FCKW-Ersatzstoffen sowie die geschätzten globalen Emissionen dieser Stoffe.

Die Abbildung enthält auch ausgewählte Kältemittel, die nicht in den Geltungsbereich des Montrealer Protokolls fallen.

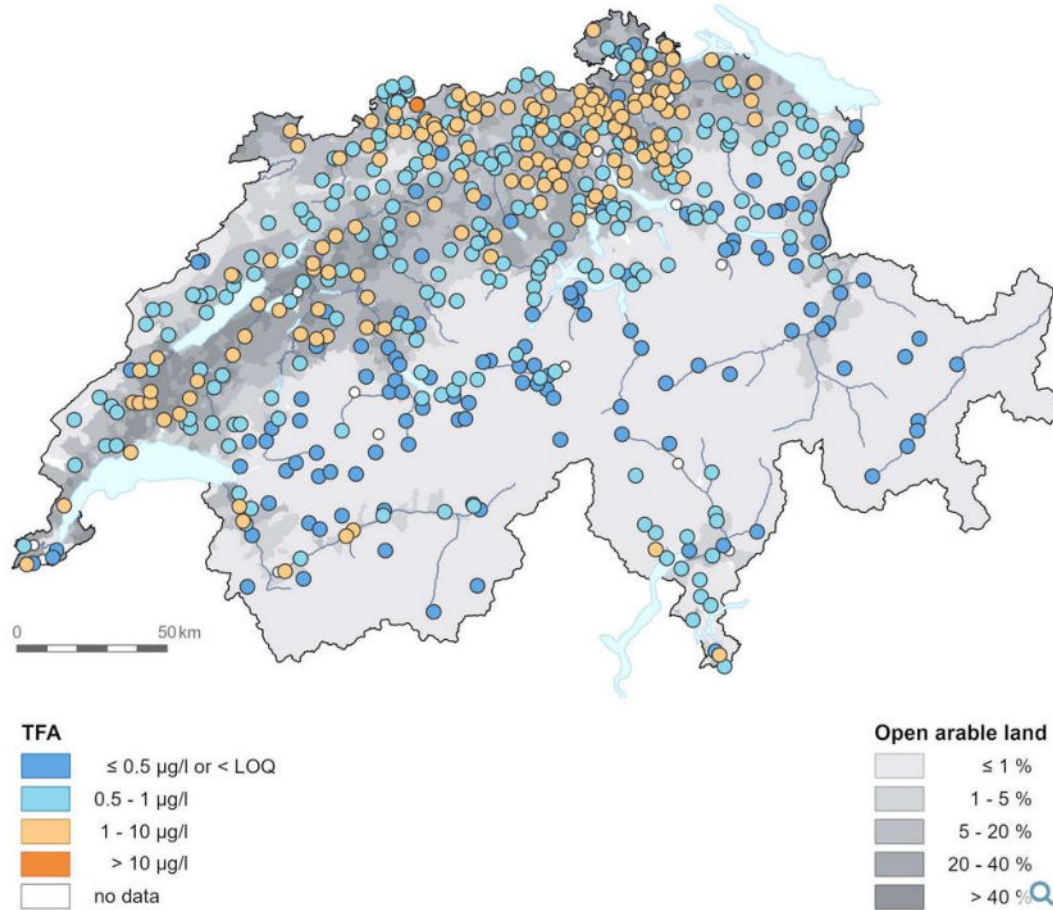
Die Fehlerbalken stellen sowohl experimentelle Unsicherheiten als auch obere und untere Ausbeutebereiche dar, die auf konkurrierende Reaktionskanäle zurückzuführen sind und von den Umweltbedingungen abhängen.

Die Ausbeute an TFA aus einzelnen Stoffen wurde auf der Grundlage von Auswertungen der verfügbaren Literatur geschätzt.

*Die Split-Skala für die Emission von HFKW-134a ist deutlich größer als die der anderen Stoffe.*

<https://ozone.unep.org/system/files/documents/EEAP-2022-Assessment-Report-May2023.pdf>

# TFA in der Schweiz



TFA in groundwater. Data: NAQUA 2022/2023

<https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/topics/water/info-specialists/state-of-waterbodies/state-of-groundwater/groundwater-quality/tfa-im-grundwasser.html>

TFA kommt in allen Schweizer Seen vor (0,25 bis 0,91 µg/L)



- ❏ Schweizer Trinkwasser 0,25 bis 0,80 µg/L TFA
- ❏ über Prozesswasser ist TFA auch im Bier vorhanden

In 104 Bierproben aus 23 Ländern wurde TFA mit einer Konzentration von bis zu 51 µg/L nachgewiesen, wobei die Median-Konzentration bei 6,1 µg/L lag

Scheurer, M.; Nödler, K.: Ultrashort-chain perfluoroalkyl substance trifluoroacetate (TFA) in beer and tea – An unintended aqueous extraction, Food Chemistry, Volume 351, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129304>

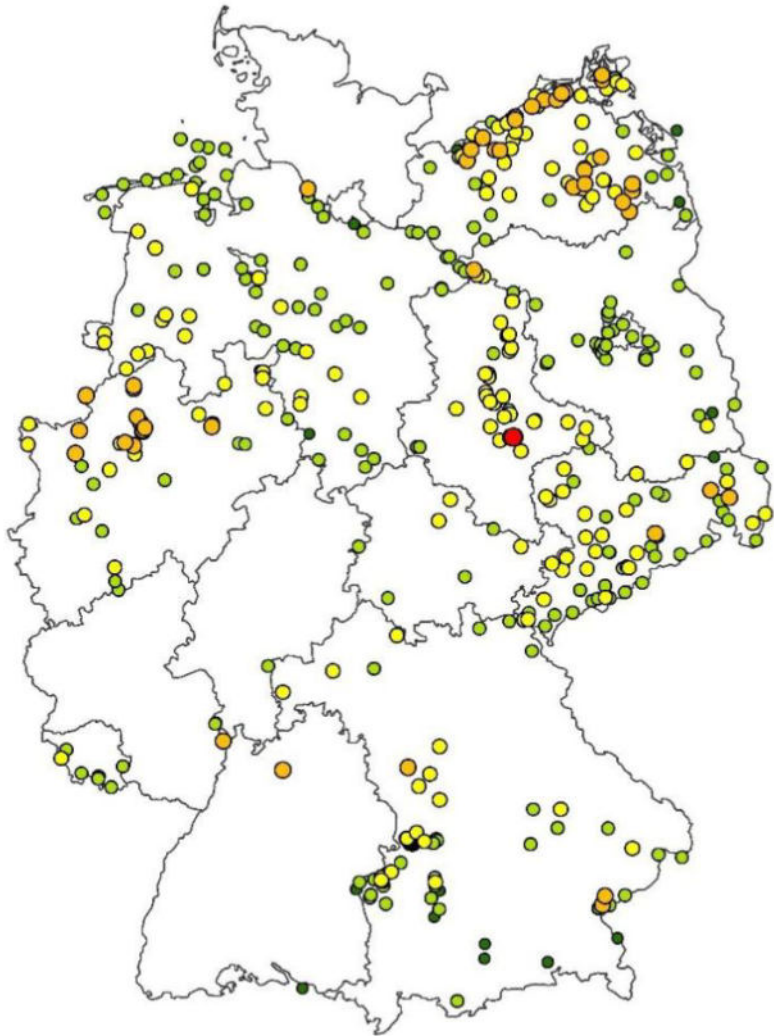
Nicht mehr nur Wasser, Hopfen und Malz ☹️  
*Deutsches Reinheitsgebot von 1516*

Bei der Auswahl einer Kälte-, Klima- oder WP-Anlage, gibt es (bisher) **keine Kriterien für PFAS-freie Geräte.**

Aber diverse Kriterien für Genehmigung, Beratung, Planung etc.



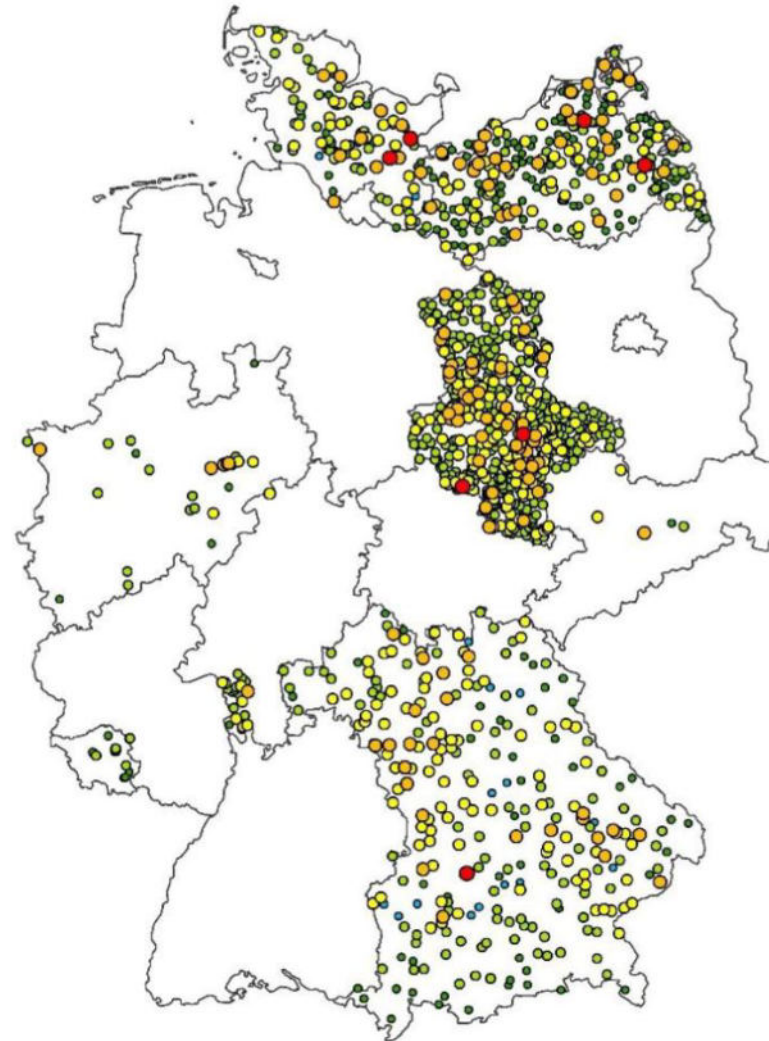
# TFA in Oberflächen- und Grundwasser in Deutschland



**Legend**

Median TFA concentrations at individual surface water sampling sites in µg/L

- > 0.1 - 0.3
- > 0.3 - 1.0
- > 1.0 - 3.0
- > 3.0 - 10
- > 10 - 30



**Legend**

Median TFA concentrations at individual groundwater sampling sites in µg/L

- ≤ 0.1
- > 0.1 - 0.3
- > 0.3 - 1.0
- > 1.0 - 3.0
- > 3.0 - 10
- > 10 - 30

Source: own illustration, TZW.

Source: own illustration, TZW.

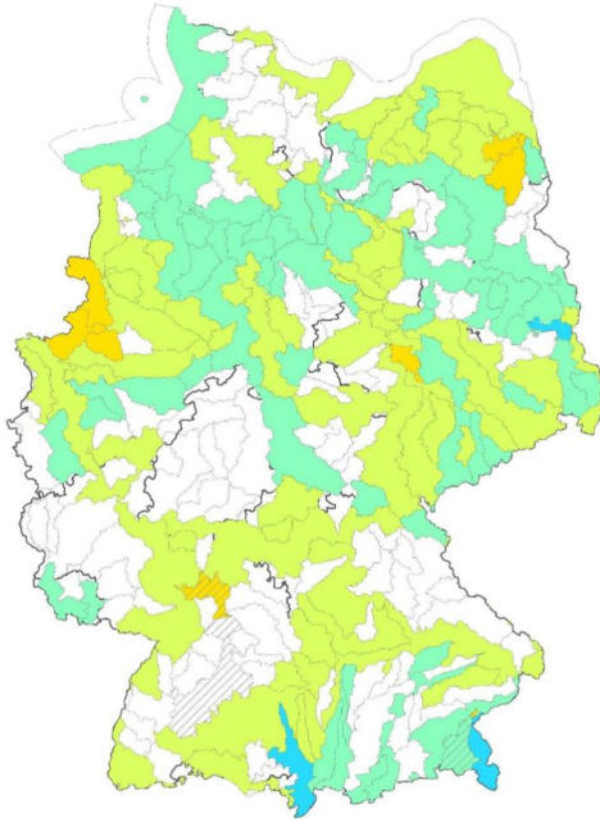
German UBA: Trifluoroacetate (TFA): Laying the foundations for effective mitigation. Spatial analysis of the input pathways into the water cycle. Texte | 167/2023. December 2023

# TFA in Flüssen und Grundwasser in Deutschland



Durchschnittliche mittlere TFA-Konzentrationen und maximale TFA-Konzentrationen in Flusseinzugsgebieten mit einer Fläche > 500 km<sup>2</sup> in µg/L

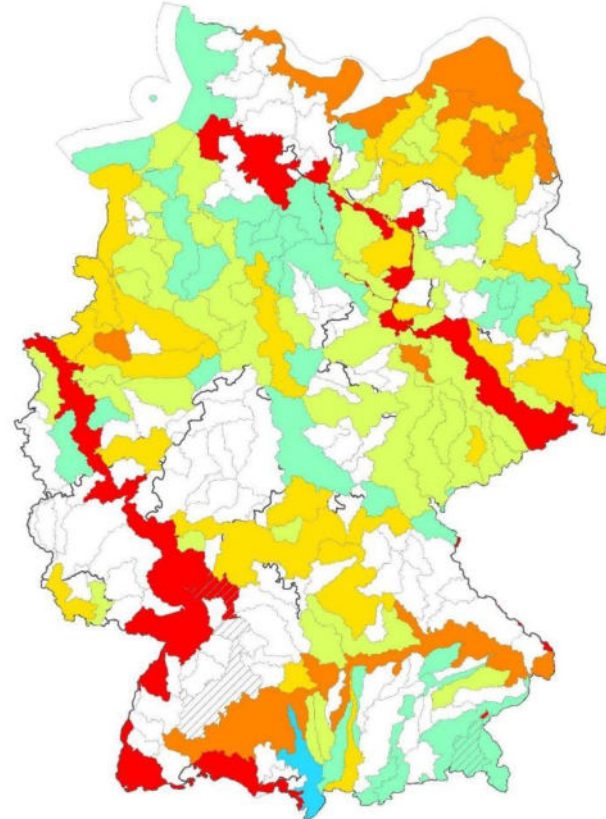
Maximaler TFA in Grundwasserkörpern in µg/L



Average median TFA concentration per catchment in µg/L

- N/A
- > 0.1 - 1
- > 0.3 - 1
- > 1 - 3
- > 3 - 10

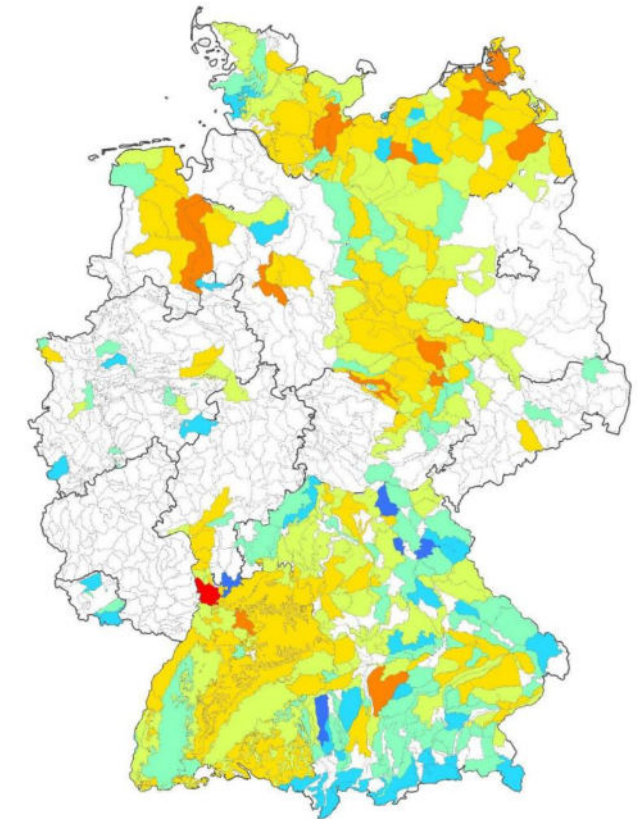
/// Catchment area of Neckar and Alz\*



Maximum TFA concentration per catchment in µg/L

- N/A
- > 0.1 - 1
- > 0.3 - 1
- > 1 - 3
- > 3 - 10
- > 10 - 30
- > 30

/// Catchments of Neckar and Alz\*



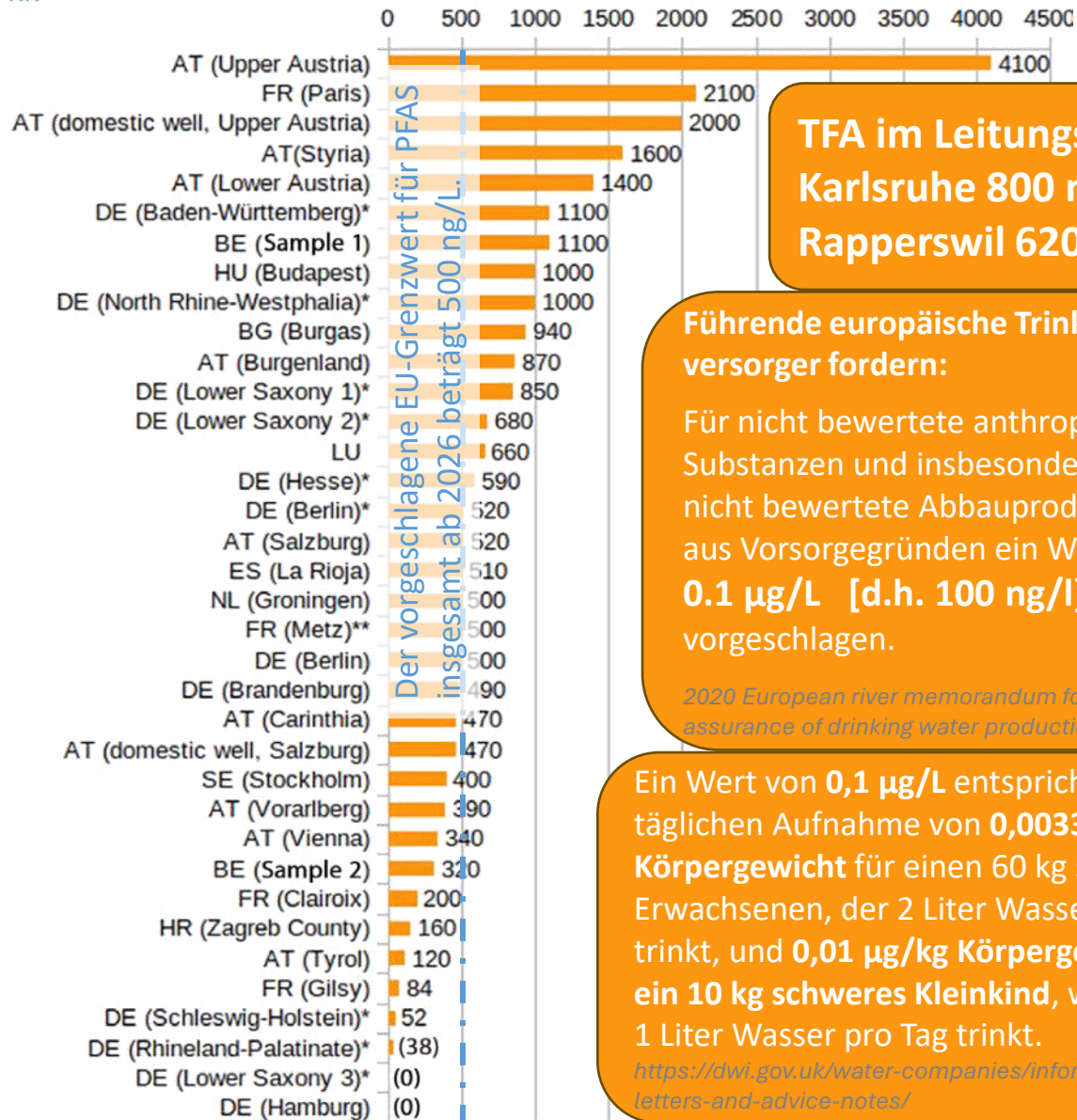
Maximum TFA concentration per groundwater body in µg/L

- N/A
- ≤ 0,1
- > 0.1 - 1
- > 0.3 - 1
- > 1 - 3
- > 3 - 10
- > 10 - 30
- > 30



German UBA: Trifluoroacetate (TFA): Laying the foundations for effective mitigation. Spatial analysis of the input pathways into the water cycle. Text 167/2023. Dec. 2023

# TFA – eine Ewigkeits-Chemikalie in unserem Trinkwasser



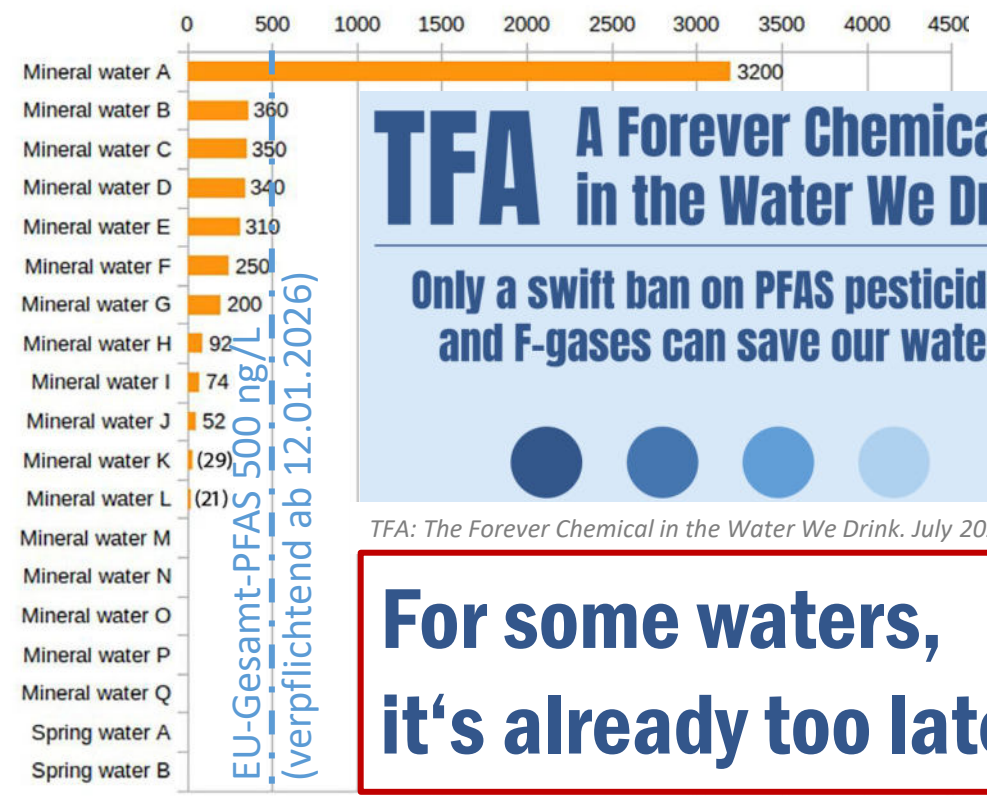
**TFA im Leitungswasser:  
Karlsruhe 800 ng/L  
Rapperswil 620 ng/L**

**Führende europäische Trinkwasser-  
versorger fordern:**  
Für nicht bewertete anthropogene  
Substanzen und insbesondere für  
nicht bewertete Abbauprodukte wird  
aus Vorsorgegründen ein Wert von  
**0.1 µg/L [d.h. 100 ng/l]**  
vorgeschlagen.

*2020 European river memorandum for quality assurance of drinking water production*

Ein Wert von **0,1 µg/L** entspricht einer  
täglichen Aufnahme von **0,0033 µg/kg  
Körpergewicht** für einen 60 kg schweren  
Erwachsenen, der 2 Liter Wasser pro Tag  
trinkt, und **0,01 µg/kg Körpergewicht** für  
ein **10 kg schweres Kleinkind**, welches  
1 Liter Wasser pro Tag trinkt.

<https://dwi.gov.uk/water-companies/information-letters-and-advice-notes/>



**TFA A Forever Chemical  
in the Water We Drink**

**Only a swift ban on PFAS pesticides  
and F-gases can save our water**

TFA: The Forever Chemical in the Water We Drink. July 2024

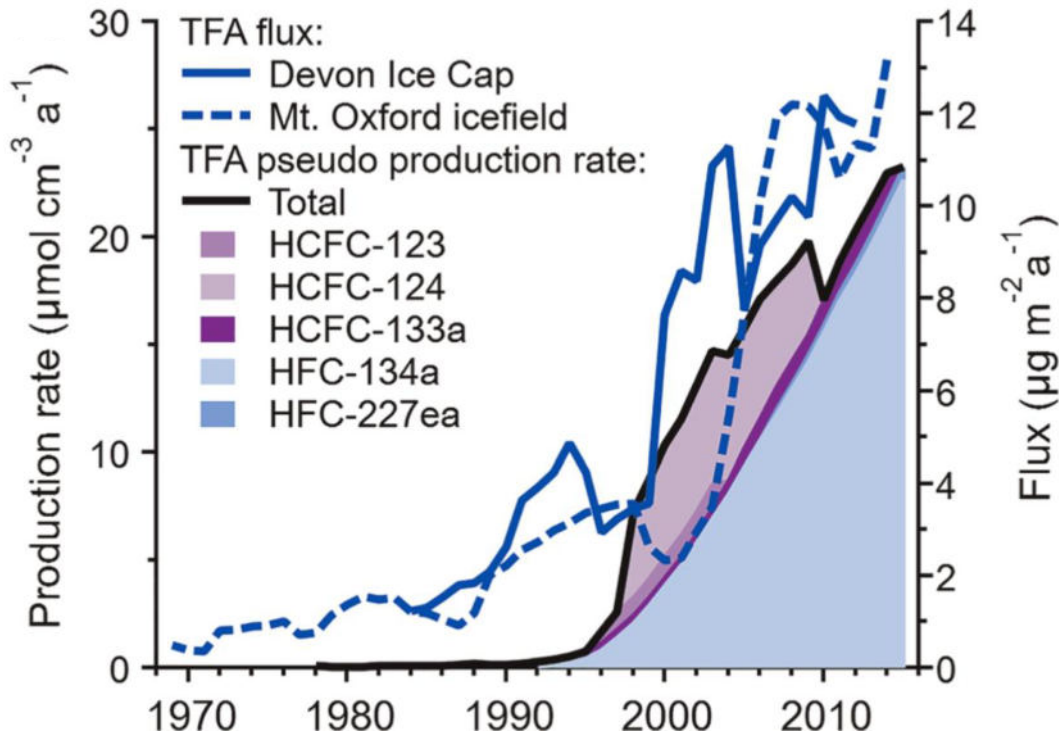
**For some waters,  
it's already too late!**

- ↑ TFA in Mineralwässern (ng/L)
  - ↔ TFA im Leitungswasser (ng/L, 34 öffentliche, 2 private Netze)
  - TFA wurde in 34 von 36 europäischen Trinkwasserproben (94 %) aus 11 EU-Ländern nachgewiesen.**
  - TFA wurde in 12 von 19 abgefüllten Mineralwasserproben (63 %) nachgewiesen.**
- TFA: The Forever Chemical in the Water We Drink. July 2024

# TFA in der Natur – Auswirkungen von HFKWs und HFOs

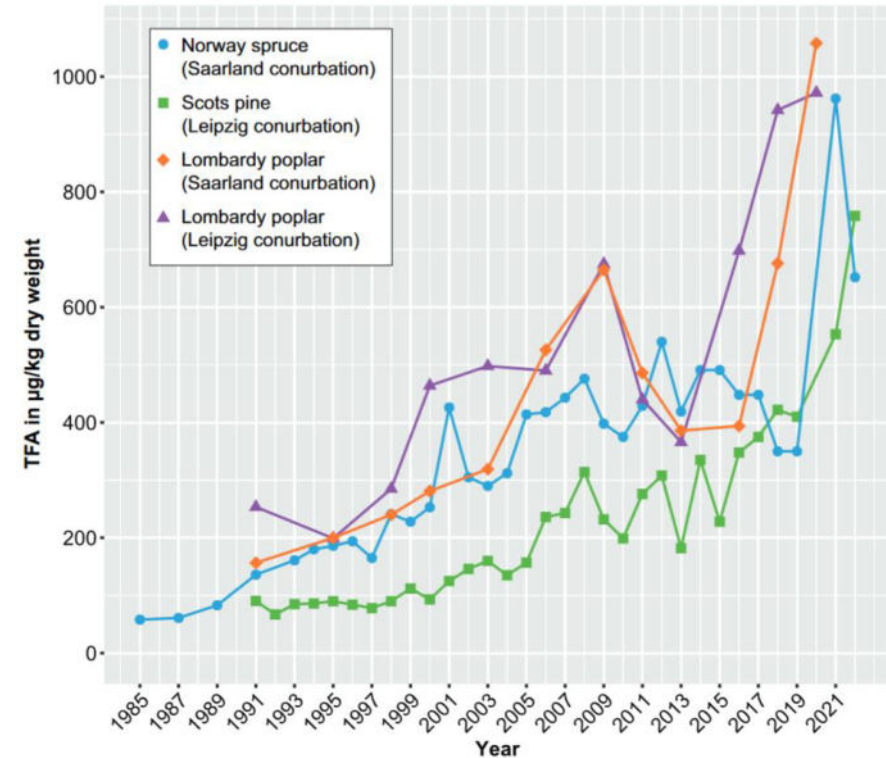


Pseudoproduktionsraten und gemessene Ablagerungsflüsse von TFA aus der Devon-Eiskappe und dem Mt. Oxford-Eisfeld



Pickard, H. M., Criscitiello, A. S., Persaud, D., Spencer, C., Muir, D. C. G., Lehnerr, I., et al. (2020). Ice core record of persistent short-chain fluorinated alkyl acids: Evidence of the impact from global environmental regulations. *Geophysical Research Letters*, 47, e2020GL087535. <https://doi.org/10.1029/2020GL087535>

Zeitliche Konzentrationsverläufe von TFA in Blatt- und Nadelproben der Probenahmestellen Ballungsräume Saarland und Leipzig in Deutschland



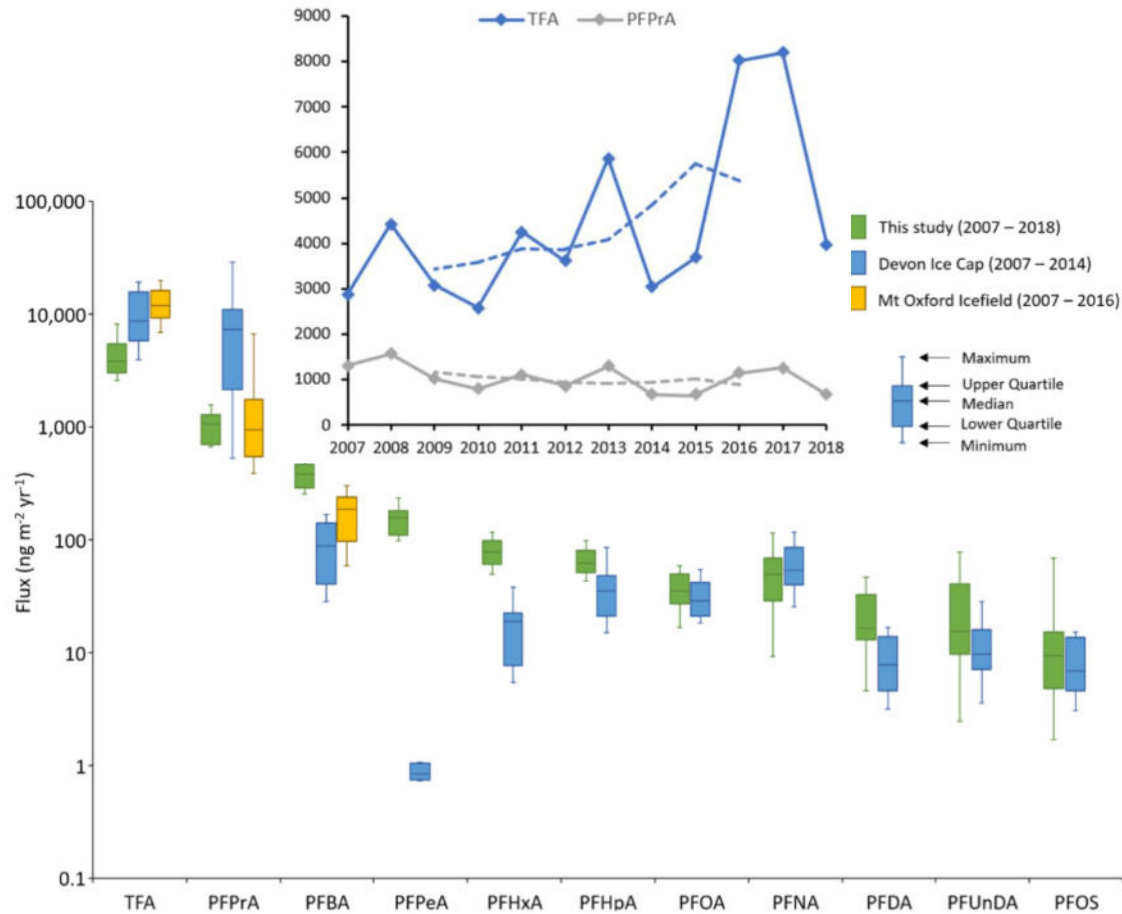
Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry

Freeling, F.; Björnsdotter, M.K.: Assessing the environmental occurrence of the anthropogenic contaminant trifluoroacetic acid (TFA), *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, Volume 41, 2023, [doi.org/10.1016/j.cogsc.2023.100807](https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2023.100807)

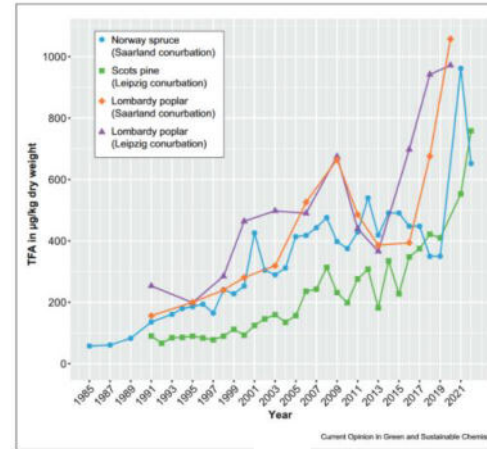
# TFA in der Natur – Auswirkungen von HFO-1234yf



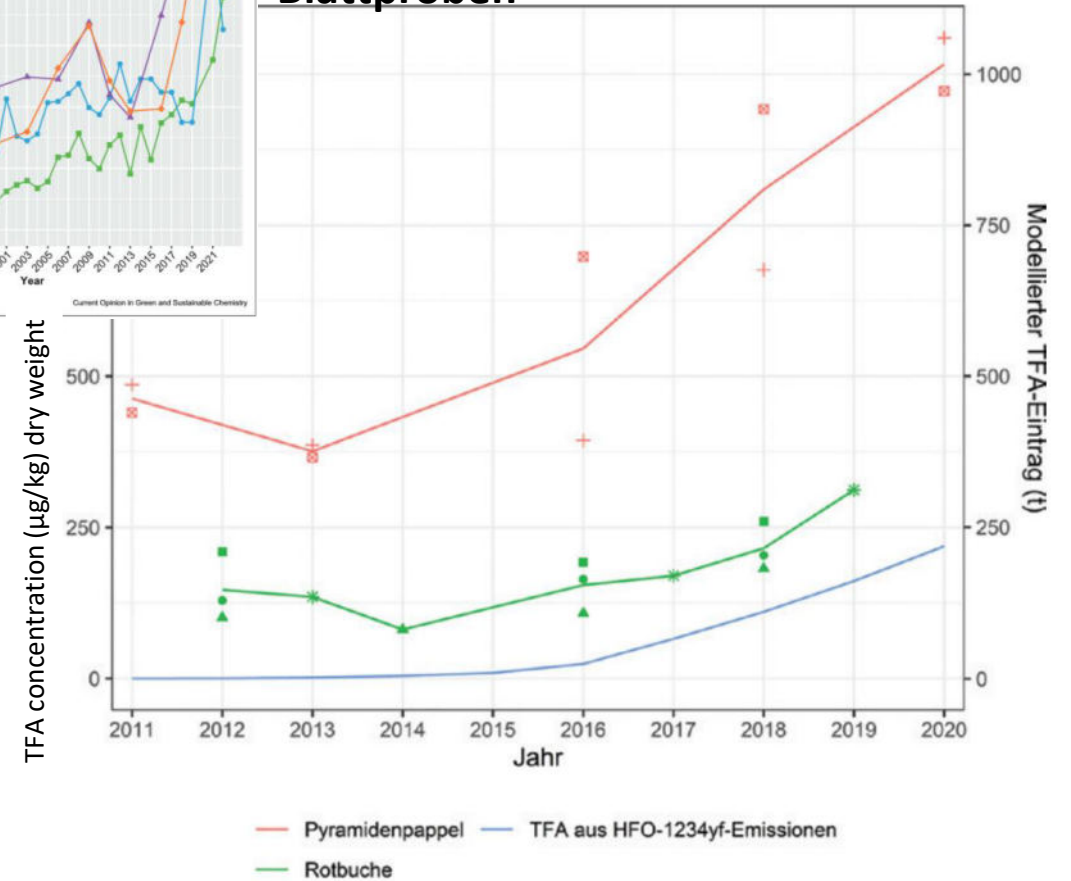
## Konzentrations- und Verteilungsprofile von PFAS in einem Eisbohrkern aus der Arktis auf Spitzbergen



Hartz, W.F.; Björnsdotter, M.K.; et al.: Levels and distribution profiles of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in a high Arctic Svalbard ice core. *Science of The Total Environment*, Vol. 871, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161830>.



## TFA-Konzentration in Blattproben



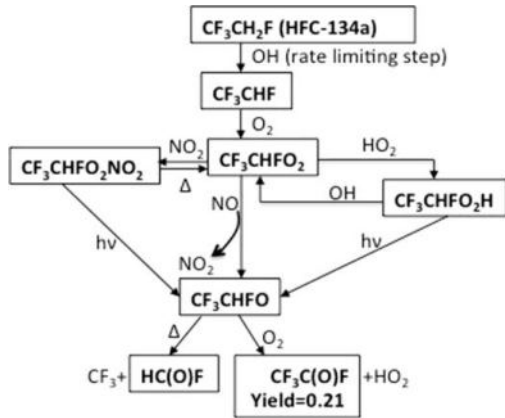
Behringer, D.: TFA as a persistent degradation product of fluorinated hydrocarbons. *Public Health Forum* 2022; 30(4): 269–272 <https://doi.org/10.1515/pubhef-2022-0077>

# Zunahme der TFA-Verteilung beim Wechsel von HFKW-134a zu HFO-1234yf



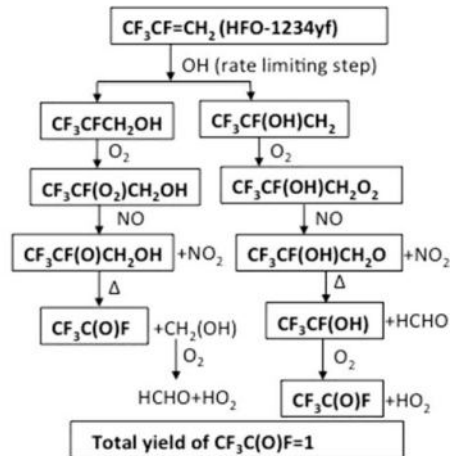
Abbaumechanismen von (Oxidation durch OH)

**HFC-134a**



**Ausbeute 21 %**

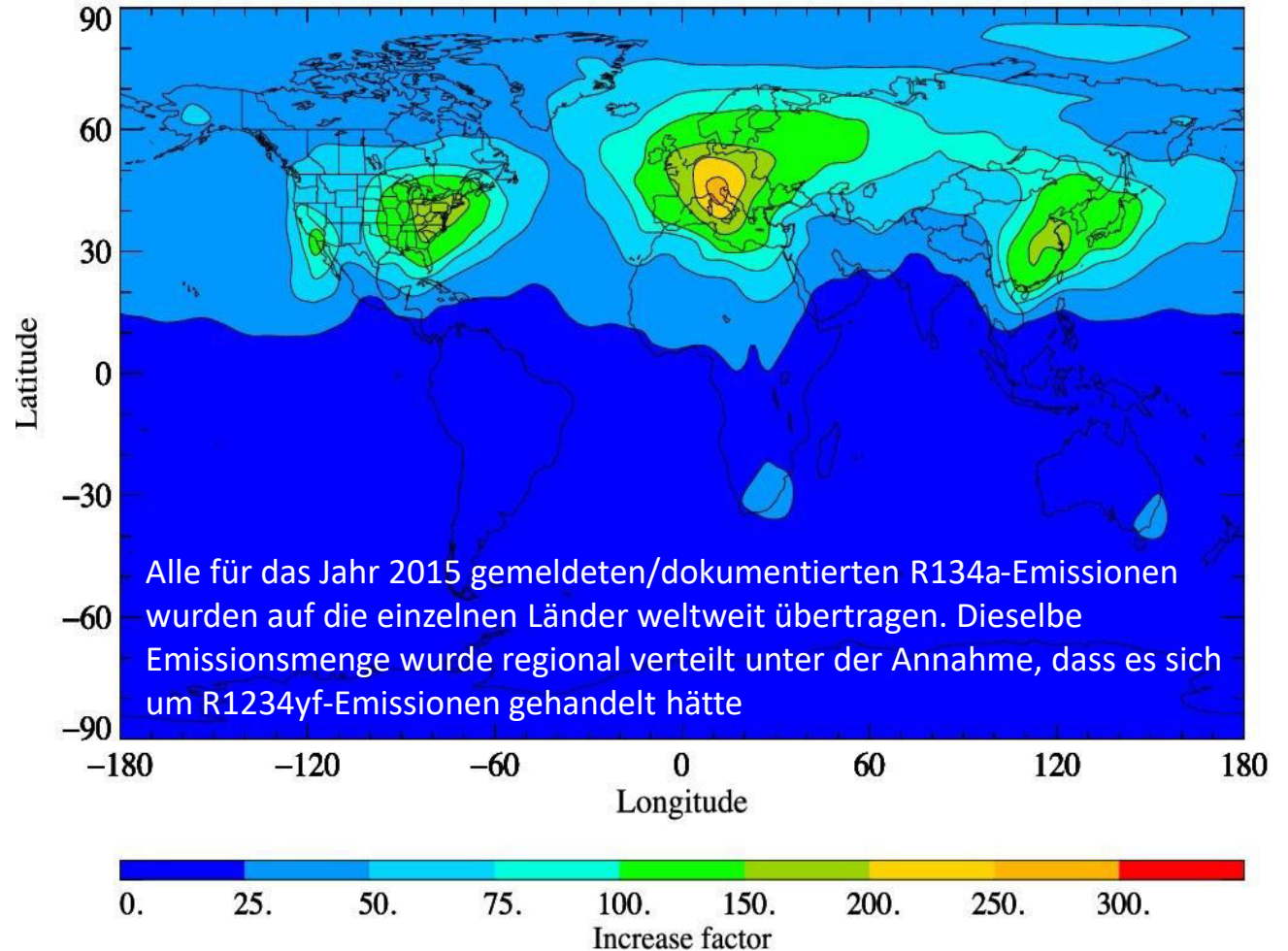
**HFO-1234yf**



**Ausbeute 100 %**

Für HFO-1234yf erfolgt die Bildung von organischen Hydroperoxiden (durch die Reaktion eines Peroxyradikals mit HO<sub>2</sub>-Radikalen) und Peroxynitraten (durch die Reaktion von Peroxyradikalen mit NO<sub>2</sub>) aus den durch OH initiierten Oxidationsprodukten auf die gleiche Weise wie bei HFKW-134a. Diese Reaktionen sind jedoch im Diagramm nicht dargestellt

Holland, R.; Khan, M.A.H.; Driscoll, I.; Chantyal-Pun, R.; Derwent, R.G.; Taatjes, C.A.; Orr-Ewing, A.J.; Carl J. Percival, C.J.; Shallcross, D.E.: 2021. Investigation of the production of Trifluoroacetic Acid from two Halocarbons, HFC-134a and HFO-1234yf and its fates using a global three-dimensional chemical transport model. ACS Earth Space Chem.



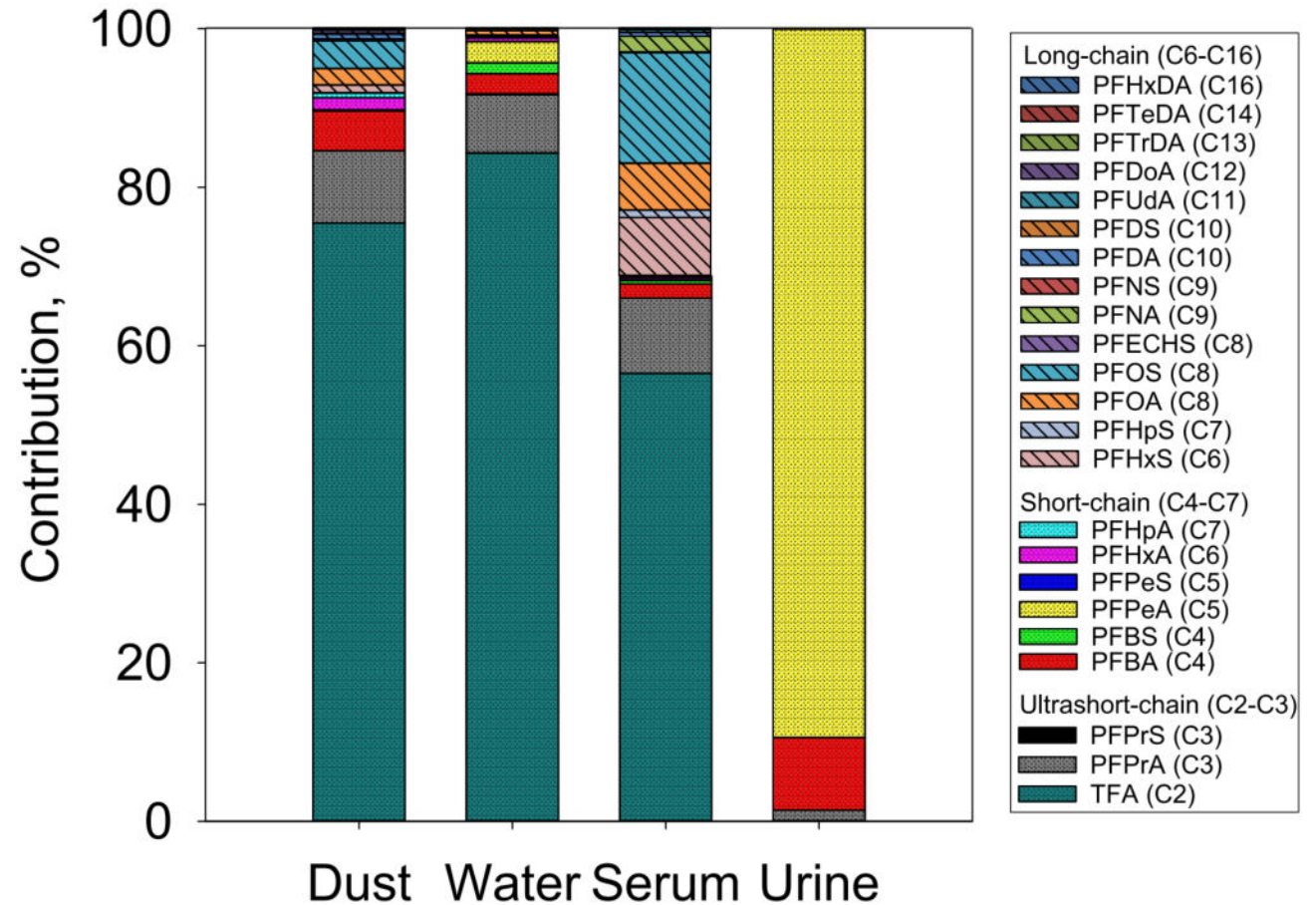
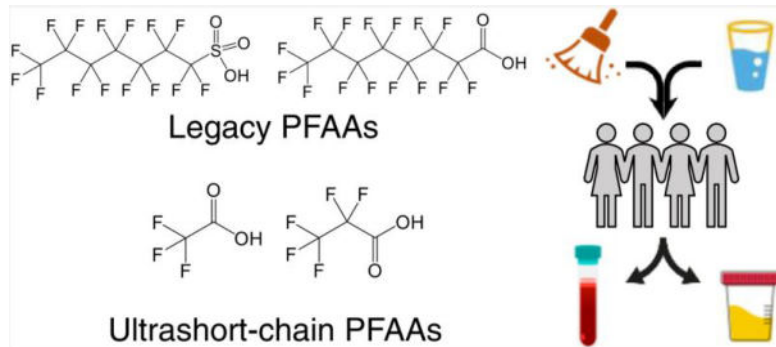
Alle für das Jahr 2015 gemeldeten/dokumentierten R134a-Emissionen wurden auf die einzelnen Länder weltweit übertragen. Dieselbe Emissionsmenge wurde regional verteilt unter der Annahme, dass es sich um R1234yf-Emissionen gehandelt hätte

Das Diagramm zeigt den **multiplikativen Anstieg der TFA-Verteilungen**, der durch den Wechsel vom **STO-HFC-SCI-Szenario** zum **STO-HFO-SCI-Szenario** vorhergesagt wird

# Erhöhte PFAS-Werte in US-Haushalten und bei Menschen

## Staub

TFA, ein PFAA mit der kürzesten Kohlenstoffkette, wurde in **84 % der Staubproben** nachgewiesen und war mit Abstand das häufigste PFAA (Median: **220 ng/g**) und trug **75 % zur gesamten PFAA-Konzentration im Staub** bei



PFAA – Perfluoralkylsäure

Zheng, G.; Eick, S.M.; Salamova, A.: Elevated Levels of Ultrashort- and Short-Chain Perfluoroalkyl Acids in US Homes and People. Environmental Science & Technology, 2023, doi: 10.1021/acs.est.2c06715

**Beim Menschen beträgt die Halbwertszeit der renalen Ausscheidung von intravenös verabreichtem TFA 16 Stunden. Bei Aufnahme durch den Mund**

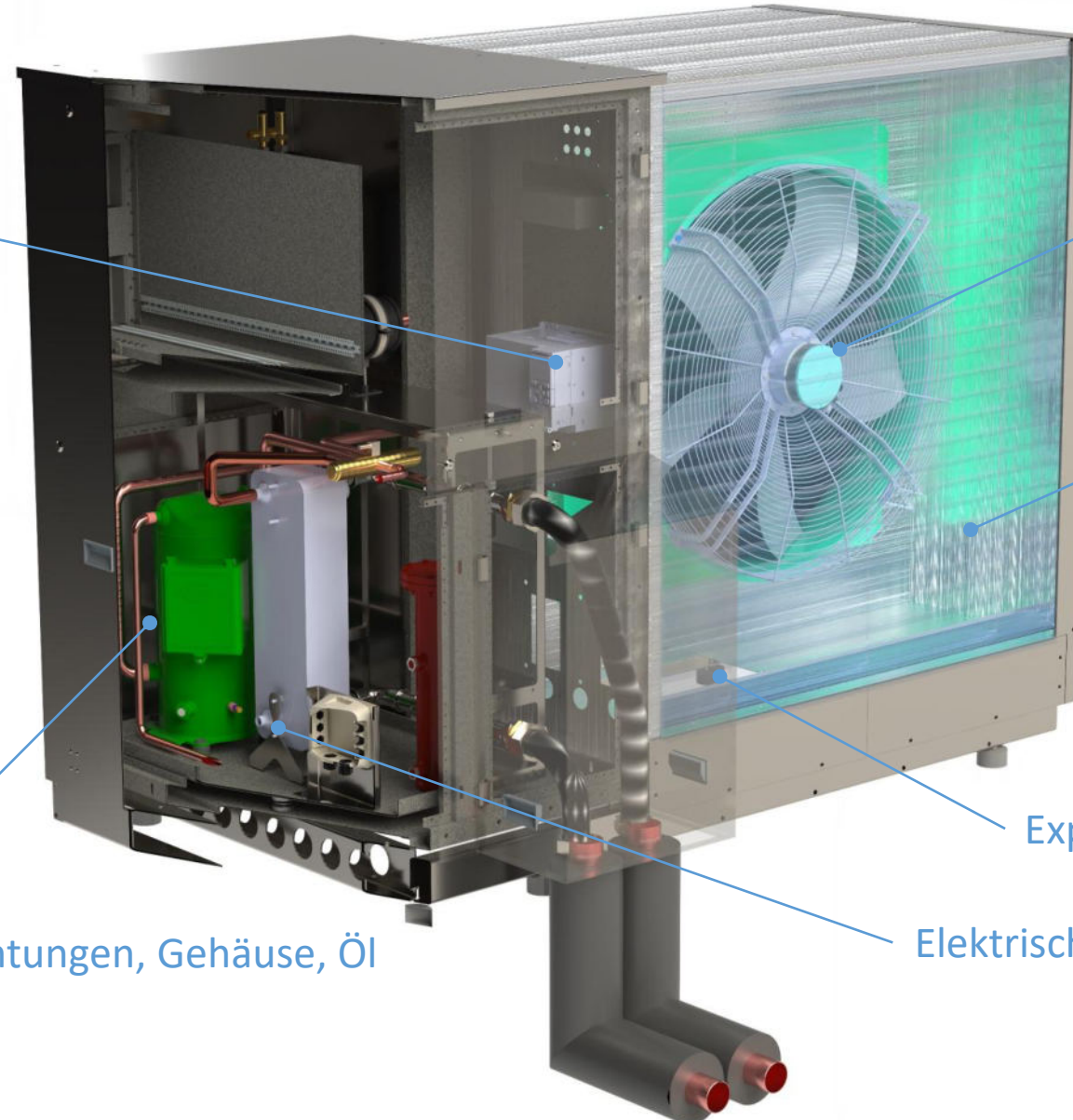
mehr! Toxicology of atmospheric degradation products of selected hydrofluorocarbons. Dep. Env. Health & Toxicology, State Univ. Of NY at Albany, 1990

# PFAS in Kälte-, Klima- und WP-Anlagen am Beispiel Wärmepumpe



Leistungselektronik

- PFAS machen nur einen kleinen Anteil des Gewichts einer Wärmepumpe aus.
- Der Hauptanteil entfällt auf das Kältemittel.
- In der Umwelt stammen ca. 60 % der PFAS aus Kältemitteln.



Lüftermotor

Verdampferbeschichtung

© Heim AG

Expansionsventil

Elektrische und elektronische Bauteile

Kompressor: Wicklungen, Lager, Dichtungen, Gehäuse, Öl

# PFAS-haltige Komponenten in einer Wärmepumpe



Wärmepumpen/Komponenten-Produktion

PFAS im Produktionsprozess – eine Auswahl

## Nutzung

- Lösungsmittel
- Reinigungsmittel

## Elektronik:

- Photolithografie
- Antireflexbeschichtungen
- Entwickler
- Spüllösungen
- Ätzmittel
- Vakuumpumpen
- Lötverfahren im Dampfphasenbereich
- Komponenten
- Inerte Geräte

Heim LWK Masp 1-30 (reversibel)  
Außenluft-Wasser-Wärmepumpe  
Heizleistung 30 kW

Gesamtmasse der Wärmepumpe 800 kg  
PFAS 11,4 kg (1,4 %) (11 kg von 22 kg R410A ist R32, also kein PFAS)  
Anteil des Kältemittels am gesamten PFAS 11,0 kg (97 % PFAS)

Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...



# REACH-Vorschlag

Vorgeschlagene Beschränkung von etwa 10.000 Per- und Polyfluoralkylsubstanzen (PFASs)



Die ECHA (Europäische Chemikalienagentur) übernimmt Aufgaben im Zusammenhang mit der Umsetzung der Chemikaliengesetzgebung und -politik der EU.

**13 January 2023**  
Restriction proposal submitted to ECHA

1

**7 February 2023**  
Proposal made available on ECHA's website

2

**22 March 2023**  
Start of a six-month open consultation  
ECHA committees' evaluation

3

**5 April 2023**  
Online information session

4

5

ECHA's committees adopt their opinions

6

Opinions of ECHA's committees sent to the European Commission

7

**Entscheidung der EU-Kommission 2025**  
Umstellungszeitraum: 1,5 bis 13,5 Jahre

Laut Entwurf: 12 Jahre Wartung bestehender Systeme erlaubt



## Kalifornischer Senatsgesetz 903, USA

Das bestehende Gesetz verbietet PFAS in bestimmten Lebensmittelverpackungen.

Das bestehende Gesetz verbietet ab dem 1. Januar 2025 PFAS in neuen, zuvor unbenutzten Textilien sowie in Kosmetika.

Dieses Gesetz würde ab dem 1. Januar 2032 einer Person verbieten, ein Produkt zu vertreiben, zu verkaufen oder zum Verkauf anzubieten, das absichtlich zugesetzte PFAS enthält.

THE PEOPLE OF THE STATE OF CALIFORNIA DO ENACT AS FOLLOWS:

**SECTION 1.** The Legislature finds and declares all of the following:

(a) Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances (PFAS) are a class of persistent and highly toxic chemicals with widespread contamination across the United States, including California. The United States Geological Survey estimates that 45 percent of the United States' tap water is contaminated with PFAS. It is also estimated that 98 percent of people living in the United States have PFAS in their blood.

[https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill\\_id=202320240SB903](https://leginfo.legislature.ca.gov/faces/billNavClient.xhtml?bill_id=202320240SB903)

### ABSCHNITT 1:

Der Gesetzgeber stellt fest und erklärt Folgendes:

(c) **Die Exposition gegenüber PFAS stellt eine erhebliche Bedrohung für die Umwelt und die öffentliche Gesundheit dar.** Zu den nachteiligen gesundheitlichen Auswirkungen, die mit PFAS in Verbindung gebracht werden, gehören unter anderem Nieren- und Leberschäden, eine verminderte Funktion des Immunsystems (einschließlich Beeinträchtigung der Impfreaktion und erhöhtes Asthmarisiko), Entwicklungs- und Fortpflanzungsschäden, erhöhte Cholesterinwerte, vermehrte Schilddrüsenerkrankungen und andere Hormonstörungen sowie eine erhöhte Häufigkeit von Hodenkrebs und Nierenkrebs.



15. Oktober, 2024,  
**Brasilianisches Chemikaliengesetz**  
(PL 6120/2019) – inspiriert von EU  
REACH – Verabschiedet vom Plenum des  
Bundes-Senats  
PFAS-Kontrollrichtlinie 2726/2023



## US EPA PFAS National Primary Drinking Water Regulation

On April 10, 2024, US EPA announced the final **National Primary Drinking Water Regulation (NPDWR) for six PFAS**. EPA expects that over many years the final rule will prevent PFAS exposure in drinking **water for approximately 100 million people**, prevent thousands of deaths, and reduce tens of thousands of serious PFAS-attributable illnesses.

**EPA is also making unprecedented funding available** to help ensure that all people have clean and safe water. In addition to the final rule, EPA announced [\\$1 billion in available funding through the Infrastructure Investment and Jobs Act](#) to help states and territories implement PFAS testing and treatment at public water systems and to help owners of private wells address PFAS contamination.

EPA established legally enforceable levels, called Maximum Contaminant Levels (MCLs), for six PFAS in drinking water: PFOA, PFOS, PFHxS, PFNA, and HFPO-DA as contaminants with individual MCLs, and PFAS mixtures containing at least two or more of PFHxS, PFNA, HFPO-DA, and PFBS using a Hazard Index MCL to account for the combined and co-occurring levels of these PFAS in drinking water. EPA also finalized health-based, non-enforceable Maximum Contaminant Level Goals (MCLGs) for these PFAS.

<https://www.epa.gov/sdwa/and-polyfluoroalkyl-substances-pfas>

Compound	Final MCLG	Final MCL (enforceable levels) <sup>1</sup>
PFOA	Zero	4.0 parts per trillion (ppt) (also expressed as ng/L)
PFOS	Zero	4.0 ppt
PFHxS	10 ppt	10 ppt
PFNA	10 ppt	10 ppt
HFPO-DA (commonly known as GenX Chemicals)	10 ppt	10 ppt
Mixtures containing two or more of PFHxS, PFNA, HFPO-DA, and PFBS	1 (unitless) Hazard Index	1 (unitless) Hazard Index

<sup>1</sup> Compliance with MCLs is determined by running annual averages at the sampling point.

**Globalnorm has summarized a non-exhaustive list of current and proposed PFAS regulations:**

<https://www.globalnorm.de/en/news-product-compliance/details/pfas-updates/>

# PFAS-frei ist möglich



## Leistung trifft Ökologie

Bereits seit 2010 verwendet VAUDE keine poly- und perfluorierten Chemikalien (PFCs), die zu der Gruppe der PFAS gehören, in wasserdichten Membranen. In den folgenden Jahren gelang es VAUDE, den Einsatz von PFCs in schmutz- und wasserabweisenden Ausrüstungen aus immer mehr Teilen der Kollektion zu verbannen: 2015 bei der wasserabweisenden Bekleidung, 2016 bei den Schlafsäcken, 2018 bei der wasserdichten Bekleidung und 2020 auch bei Schuhen und Rucksäcken. Wir sind sehr stolz darauf, dass wir seit 2021 unsere gesamten Bekleidungsstoffe vollständig PFC-frei ausrüsten.

„Wir sind froh, dass PFAS endlich gesetzlich verboten werden sollen und dass dieses Thema nun auch in der breiten Öffentlichkeit angekommen ist. Es betrifft uns alle, jeden Menschen, egal wo auf dieser Welt. Bei VAUDE engagieren wir uns schon lange freiwillig und zeigen: „Umweltfreundliche, PFAS-freie Outdoor-Ausrüstung ist möglich!“, betont Antje von Dewitz, VAUDE Geschäftsführerin.

<https://www.vaude.com/de/de/blog/post/pfas-in-outdoor-produkten-was-du-wissen-musst.html>

## Schrittweise zum PFAS\*-Verzicht bei allen Stoffen mit Eco-Finish



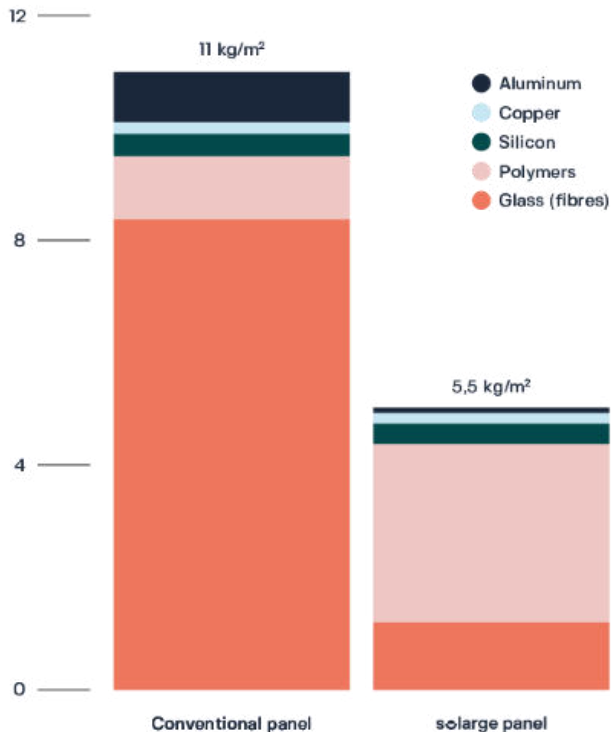
<https://csr-report.vaude.com/gri-en/product/water-repellent-materials.php>

# Beispiele für PFAS-freie Technologien

## PFAS-freie Zellen

Leclanché verbessert sein Angebot mit neuen PFAS-freien und Nioboxid-Zellen und tritt in die Testphase mit wichtigen Partnern ein

<https://www.leclanche.com/leclanche-achieving-new-milestone-cell-technology-recognition/>



## PFAS-freie PV-Module

Seit über 15 Jahren, Endurans, Crown, Solarge und Futurasun PFAS-freie Rückseitenfolien für Solarmodule mit vergleichbaren Kosten und Leistungen

<https://chemsec.org/reports/busted-five-industry-myths-about-the-pfas-ban/>



## PFAS-freie Bratpfannen



Edelstahl, Gusseisen, Keramikbeschichtung

Photo: Caraway, Consumer Reports, OXO  
[www.consumerreports.org/home-garden/cookware/best-frying-pans-if-you-want-to-avoid-pfas-chemicals-a1006253549/](http://www.consumerreports.org/home-garden/cookware/best-frying-pans-if-you-want-to-avoid-pfas-chemicals-a1006253549/)

## PFAS-freie Skiwachs



<https://ceh.org/yourhealth/pfas-free-ski-wax/>

# Beispiele für PFAS-freie Technologieprojekte in HKA



## Solarthermisches Ejektorkühlsystem

Fläche = 400 m<sup>2</sup> (Netto 360 m<sup>2</sup>)  
 Nennleistung = 200 kW  
 140 °C, 3.7 bar

Vacuum Tube Solar  
 Collector with Plasma  
 Technology

Latent Heat  
 Storage

Heat Storage capacity = 30 kWh  
 $t_{\text{melt}} = 125 \dots 135 \text{ °C}$

Steam Jet Ejector

**R718**

Cooling Tower  
 nominal power = 480 kW  
 e.g. 35 °C

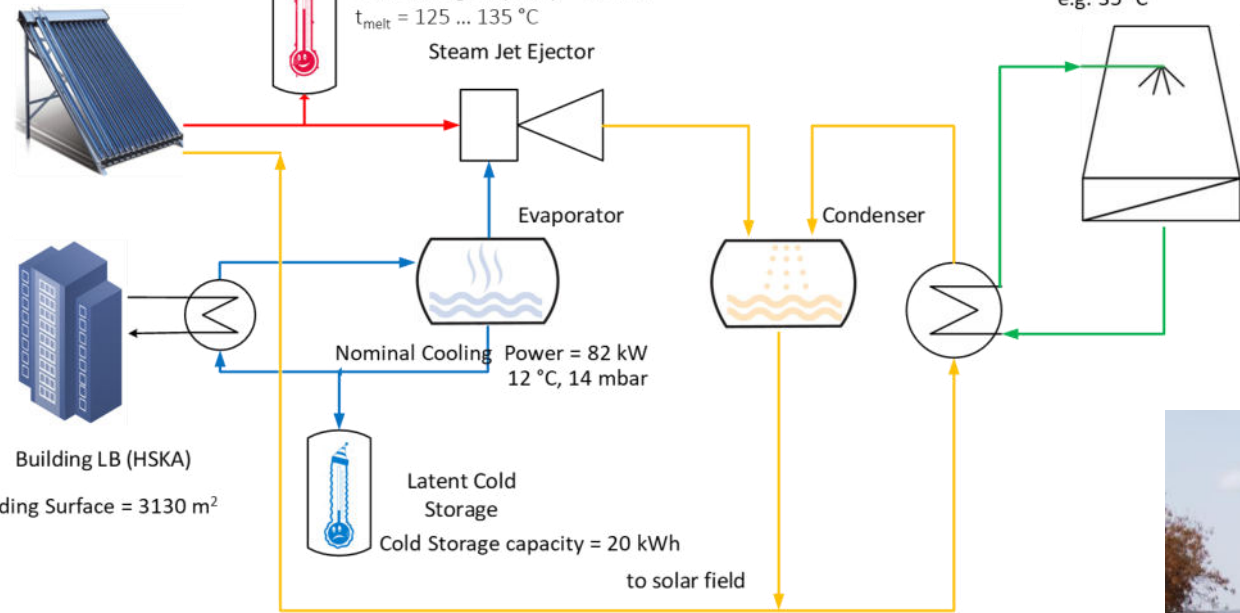
Evaporator

Condenser

Nominal Cooling Power = 82 kW  
 12 °C, 14 mbar

Latent Cold  
 Storage

Cold Storage capacity = 20 kWh  
 to solar field

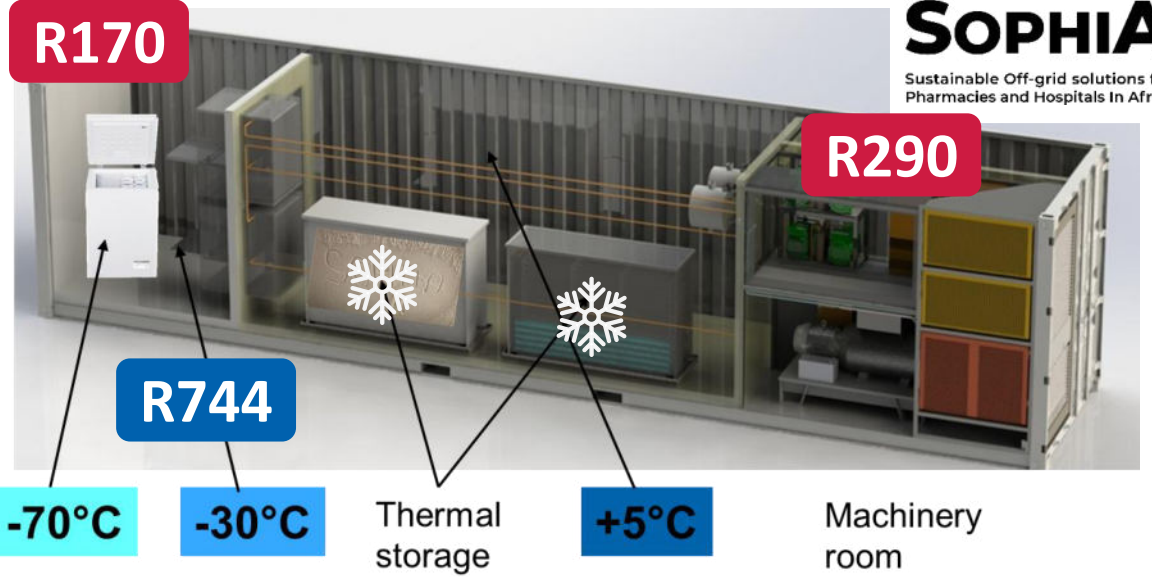


Building LB (HSKA)  
 Building Surface = 3130 m<sup>2</sup>

Elektrischer Wirkungsgrad COP<sub>el</sub>:

→ Werte zwischen 5 – 9 im stationären Zustand erreicht

## SophiA für Afrika



**SOPHIA**  
 Sustainable Off-grid solutions for  
 Pharmacies and Hospitals In Africa



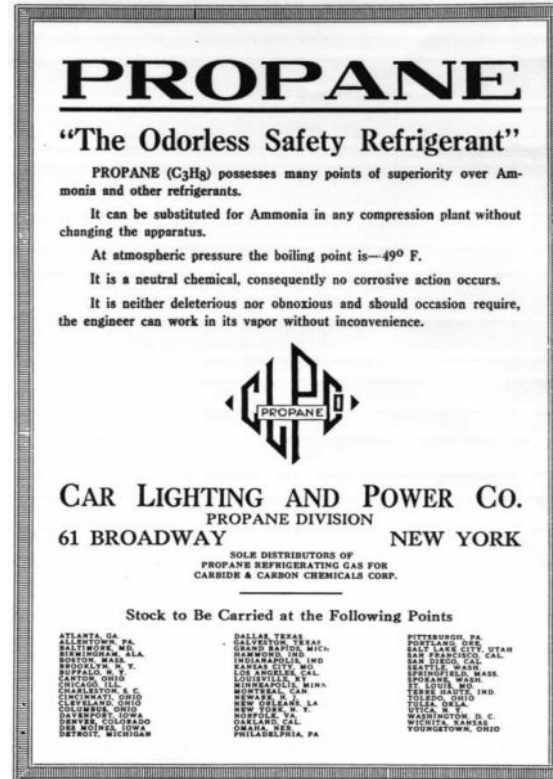
SophiA at Dr. Sedogo Clinic in Léo, Burkina Faso

Component	Value
Propanzyklus	16 kW Kühlleistung
CO <sub>2</sub> -Zyklus	2 kW Kühlleistung
Brückenzeit	36 h

# PFAS-freie Kältemittel für HLK-Systeme

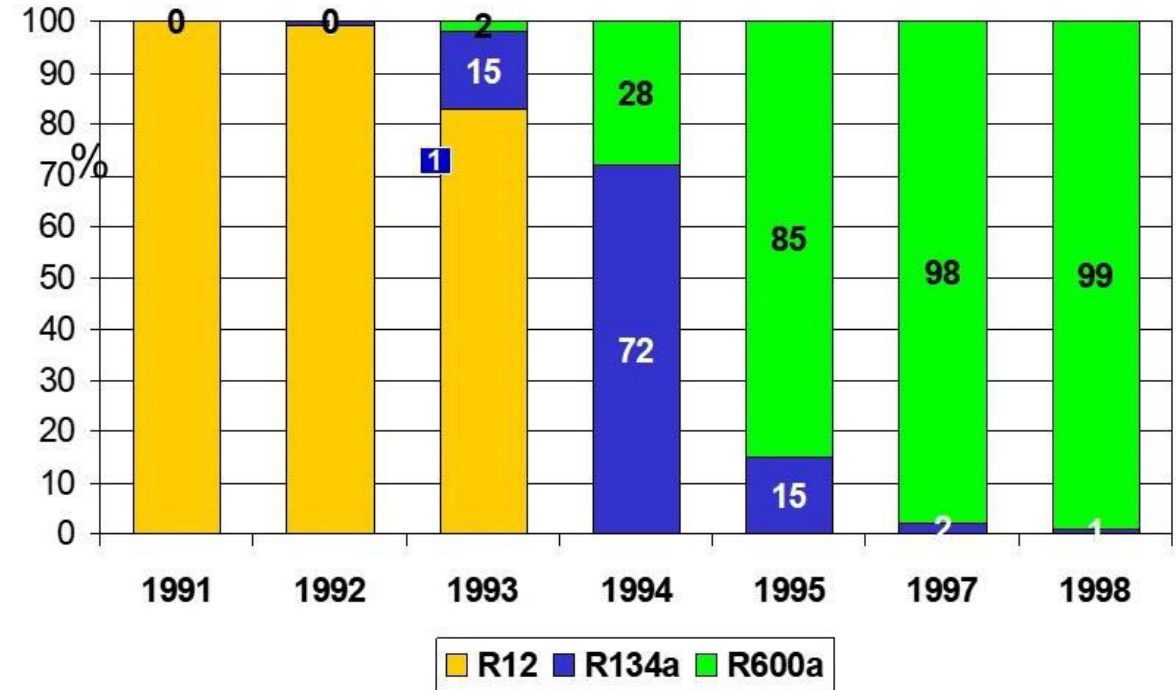


- Ammoniak
- CO<sub>2</sub>
- Propan
- Propen
- Isobutan
- Pentan
- Wasser



Werbung im American refrigeration magazine, 1922

Von deutschen Kältschrankherstellern verwendete Kältemittel



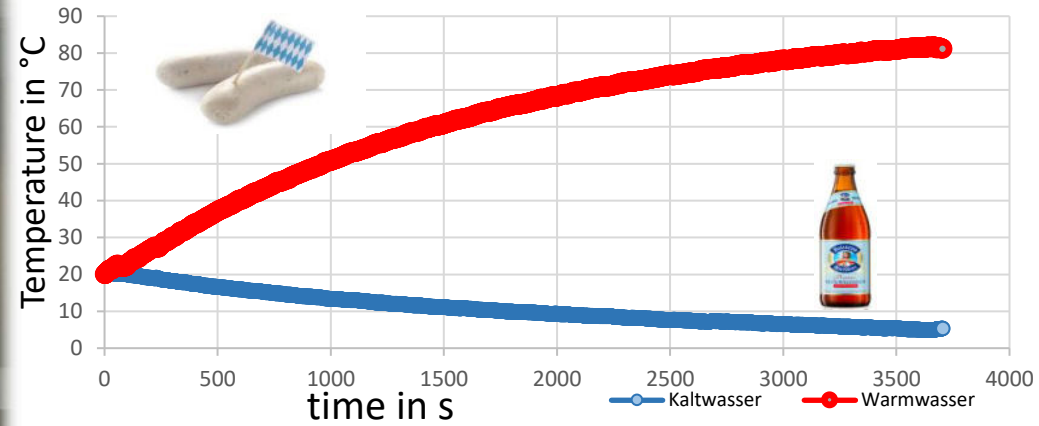
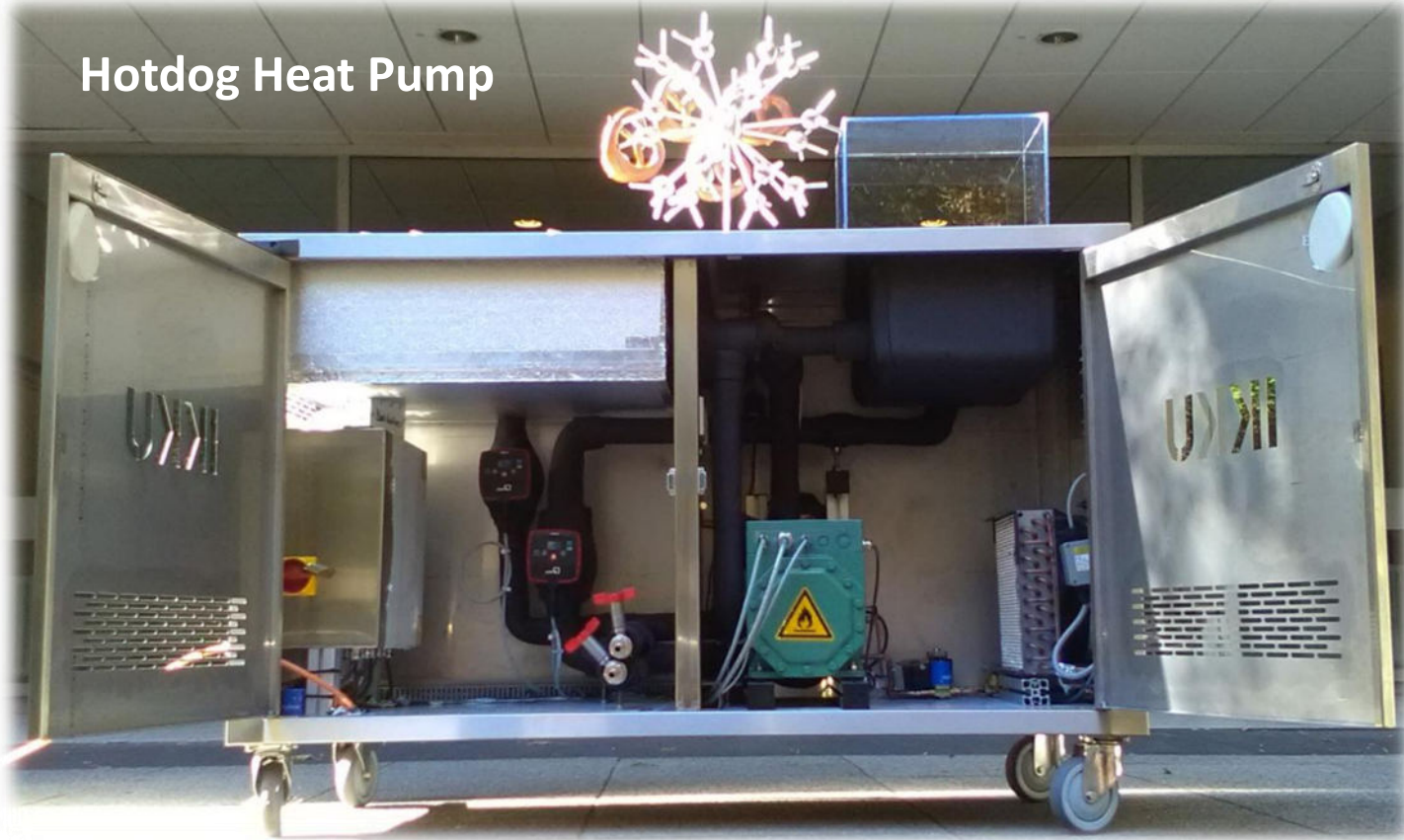
Wärmepumpen-Industrie wird dem selben Muster folgen

*nur 30 Jahre später*

# Another great Heat Pump Fluid: Iso-Butane



Hotdog Heat Pump



385 g R600a  
COP Heating 3.5  
45 Minutes for 35 beer bottles (0.5 l) and 3 kg sausages



# Ammonia Chiller

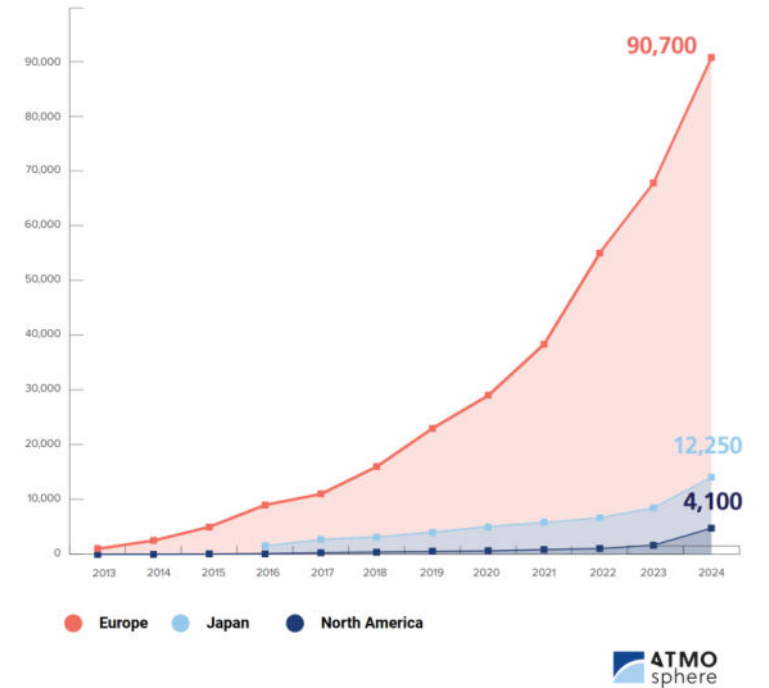
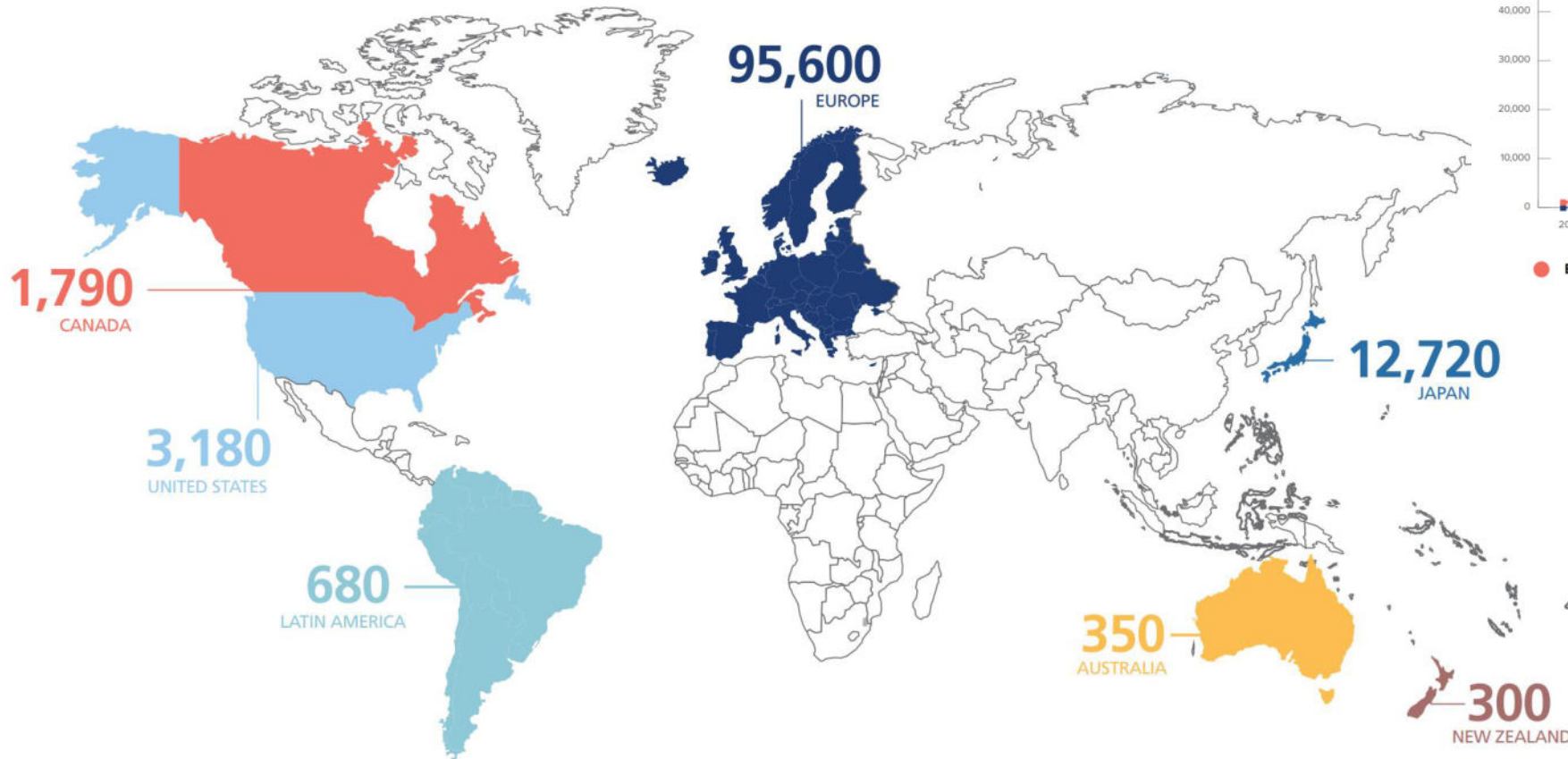
- Ammonia is poisonous – but it stinks !!!  
→ Built-in leak detector
- Ammonia achieves highest COP
- Low charge possible (30 g/kW)  
indirect and cascade systems
- Examples of ammonia chillers:  
*Scandinavian Congress Center (1200 kW) and  
Salling department store in Aarhus, Denmark,  
Shopping Center Fields in Copenhagen,  
Copenhagen Airport and Heathrow Airport, UK*
- Even in the ISS because of performance



# Transcritical CO<sub>2</sub> Installations in Major Regions

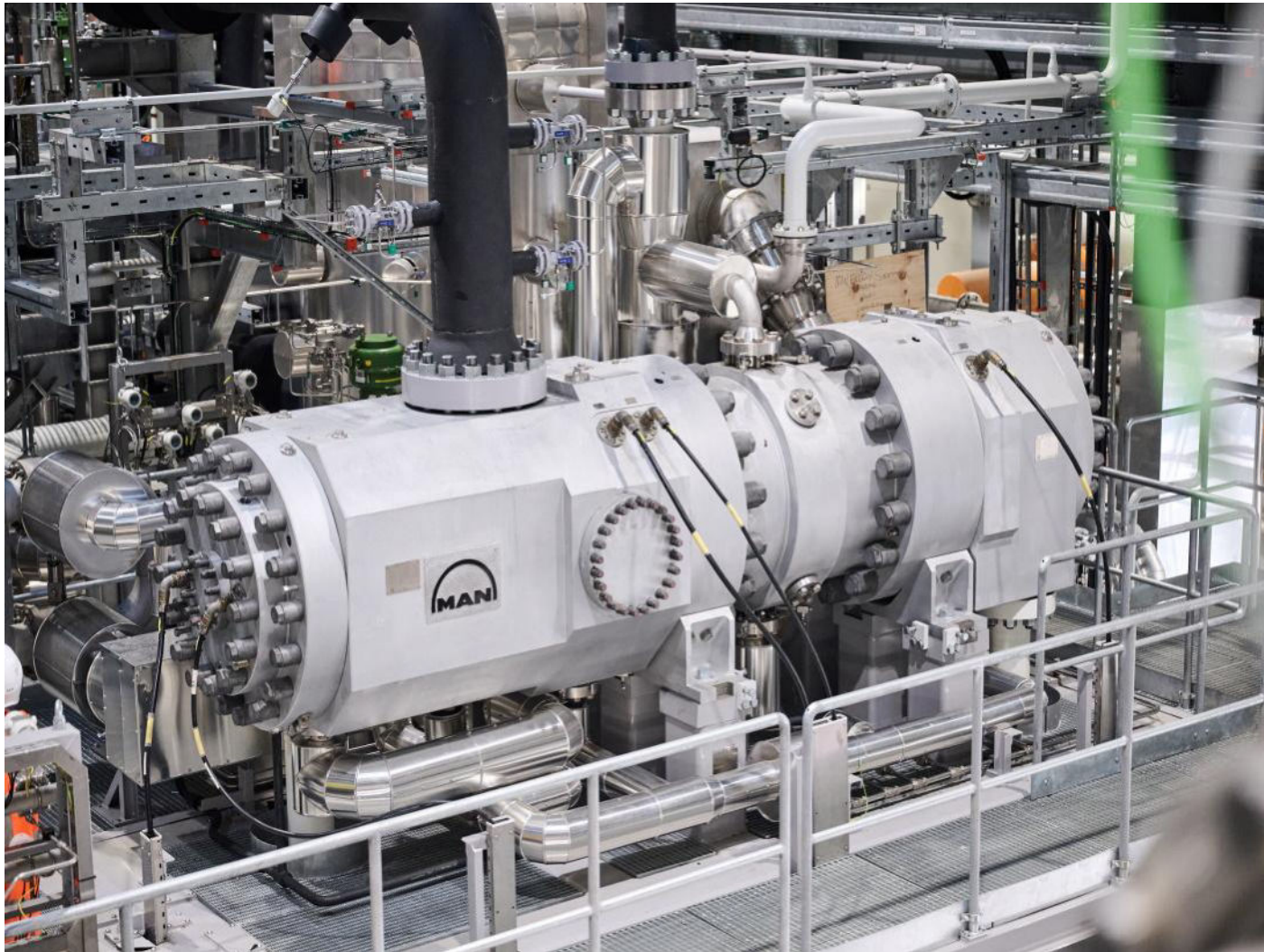
## Natural Refrigerants: State of the Industry

Stores and industrial sites, as of December 2024



[https://atmosphere.cool/wp-content/uploads/2025/02/2024\\_ATMO\\_Marketreport-compressed.pdf](https://atmosphere.cool/wp-content/uploads/2025/02/2024_ATMO_Marketreport-compressed.pdf)

# CO<sub>2</sub> heat pumps for district heating



MAN Energy Solutions has successfully commissioned the first unit of its industrial-scale heat pump in Esbjerg, Denmark.

Heat pump plant will supply approximately 280,000 MWh of climate-neutral heat annually to the district heating networks of Esbjerg and the neighboring town Varde

Total heating capacity of 70 MW, the CO<sub>2</sub>-based heat pump system is the largest of its kind ever brought into operation globally.

Oil-free, hermetically-sealed HOFIM<sup>®</sup> motor-compressor at the core of MAN's industrial-scale heat pump system.

<https://www.man-es.com/company/press-releases/press-details/2024/11/28/mega-heat-pump-delivers-first-heat-in-esbjerg>

# Water as refrigerant (Århus, Denmark)

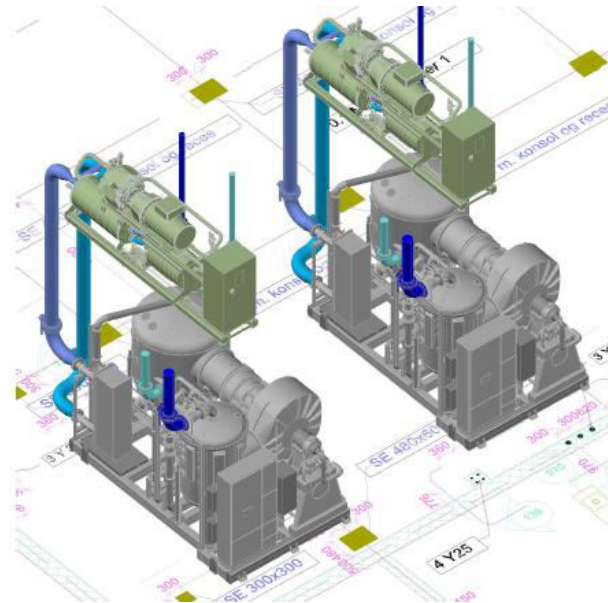


© Jyllands Posten, Foto: Mathilde Bech

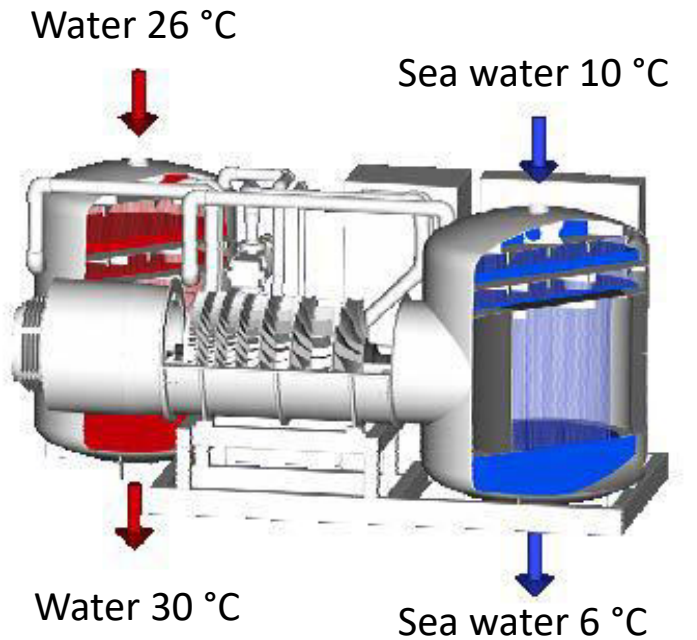


© Affald Varme Aarhus

Ammonia-water-cascade  
1070 kW Heating capacity  
 $COP_{\text{Heating}} 3,3$   
Sea water  $10\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 6\text{ }^{\circ}\text{C}$   
District heating  $45\text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow 65\text{ }^{\circ}\text{C}$



© Johnson Controls International



# Air as refrigerant for low Temperatures (below -50 °C)



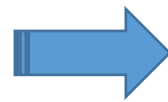
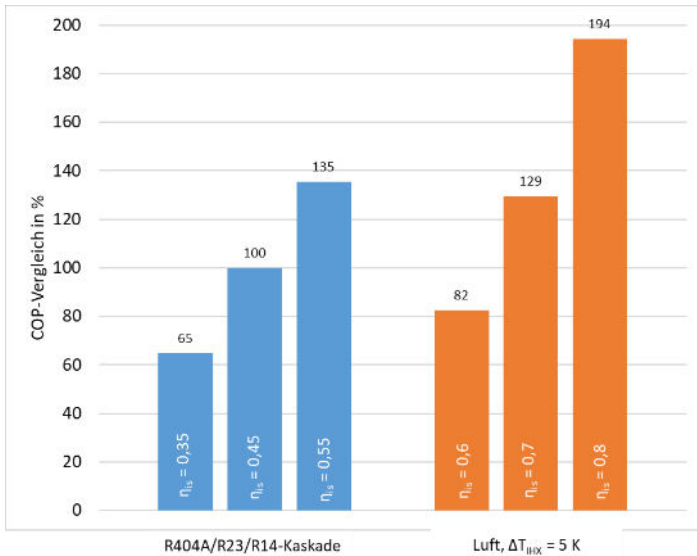
© Hof



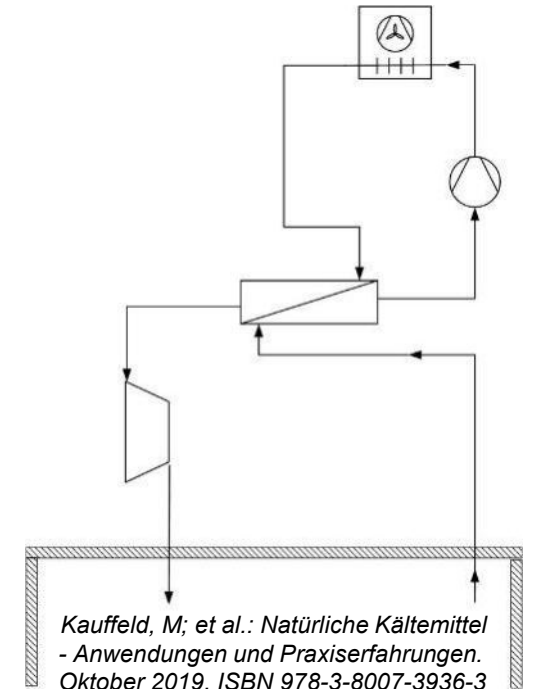
© Mirai



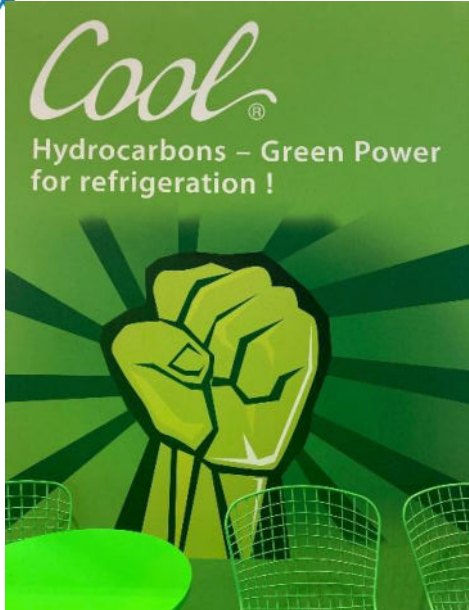
© Mirai



At low temperatures more efficient than vapor compression process



# Die KK+WP-Branche wird PFAS-frei – Beispiele von Chillventa 2024



**PFAS frei - Wirklich?**



## GEA BluX

GEA BluX is among the world's first ammonia chillers with a semi-hermetic compact screw compressor,

MIRAI INTEX PARTNERS WITH SECON TO SHOWCASE PROPANE TURBO-COMPRESSOR AT CHILLVENTA 2024

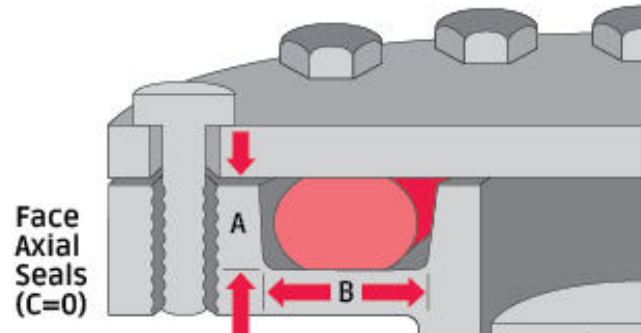
SECON VISIT US AT THE BOOTH AND LEARN MORE ABOUT OUR LATEST INNOVATIONS CHILLVENTA HALL 7A BOOTH 559

CHILLVENTA CONNECTING EXPERTS. WE ARE PART OF IT Nuremberg 8 - 10.10.2024



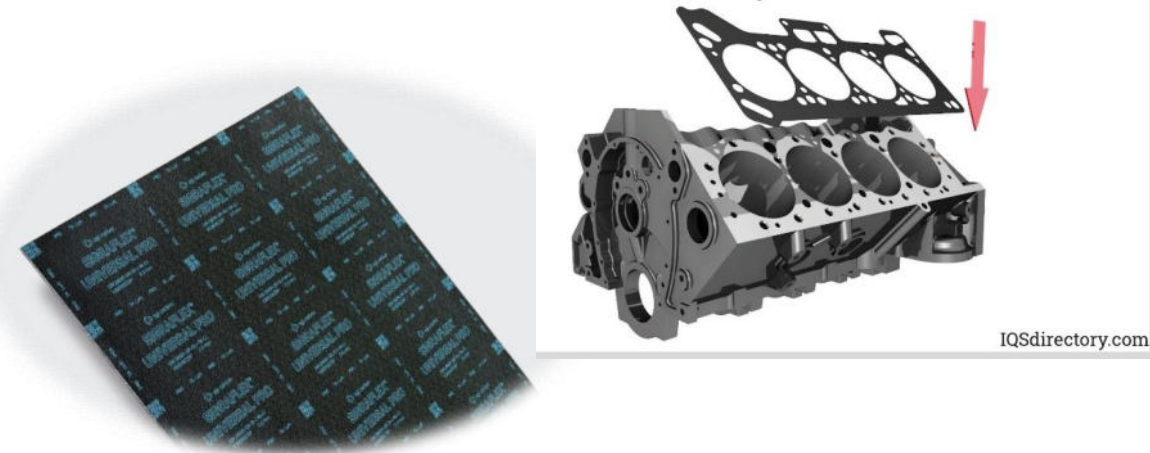
# Für eine vollständige Lösung: Feststoff-PFAS-freie Technologien in der HLK-Branche

## Kompressorzylinderkopf – PFAS



<https://www.applerrubber.com/seal-design-guide/oring-basics/definition/>

## Kompressorzylinderkopf – PFAS-frei



## PFAS-freie Wellendichtungen

Anwendung von -200 °C bis 80 °C,  
einige Typen bis zu 95 °C

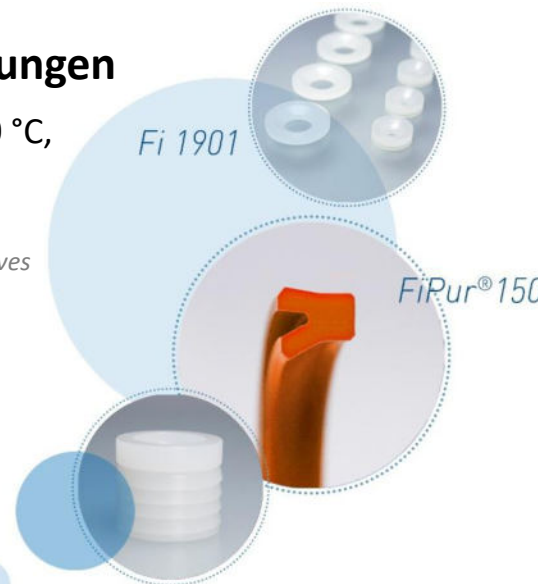
[https://www.fipur.de/en/News/News/  
The-Fietz-Group-offers-PFAS-free-alternatives](https://www.fipur.de/en/News/News/The-Fietz-Group-offers-PFAS-free-alternatives)

## PFAS FREE COATINGS

Home / PFAS free coatings

Coating Technology S.r.l. is proud to offer a range of cutting-edge treatments, **completely free of PFAS**, designed to meet the most advanced needs of our customers. The PFAS-free treatments we offer ensure excellent performance **without the use of perfluoroalkyl substances**, thus providing safe and sustainable solutions. Here is an overview of the PFAS-free coatings available:

[www.coatingtechnology.net/coating-pfas-free-en](http://www.coatingtechnology.net/coating-pfas-free-en)



## PFAS-freie Dichtungsplatten

SIGRAFLEX UNIVERSAL PRO  
Dichtungsplatten für hohe Dichtheit  
entsprechen TA Luft, sind PFAS-frei und für  
alle gängigen Rohrleitungen geeignet,  
einschließlich Dampfleitungen in  
Heizgeräten und Flanschdesigns von  
Behältern.

[https://www.sgicarbon.com/en/markets-  
solutions/component/sigraflex-universal-pro/](https://www.sgicarbon.com/en/markets-solutions/component/sigraflex-universal-pro/)

# PFAS-freie O-Ringe



Think they are the same ORs as yours?  
They are not



**100% PFAS-FREE**



**OLAB EcoSystem** offers **EPDM** gaskets (-50 to +150 °C) and **HNBR** (-40 to +15 °C) made with **OLAB certified 100 % PFAS-FREE** elastomers — with excellent performance in terms of compression set and hardness.

<https://www.olabitaly.com/products/refrigeration-systems/olab-ecosystem-100-pfas-free/>

# Zurück zu den Kältemitteln: Es wird keine fünfte Kältemittelgeneration geben!

## Concluding Remarks

- Thermodynamic properties determine the performance of a refrigerant
  - critical parameters & heat capacity of vapor are most important
  - also underlie flammability
- Design engineer must manage tradeoffs among these parameters
  - modify cycle to match fluid, if necessary
- Will there be a “5<sup>th</sup> generation” of refrigerants
  - No! But we may well “recycle” refrigerants from earlier generations

Mark McLinden, NIST:  
**Thermodynamik der neuen Kältemittel.**  
*IIR ICR 2019, Montreal*

Thermodynamische Analyse  
von **60 Millionen** Chemikalien

Nach HFO  
bleiben nur  
natürliche Fluide  
übrig

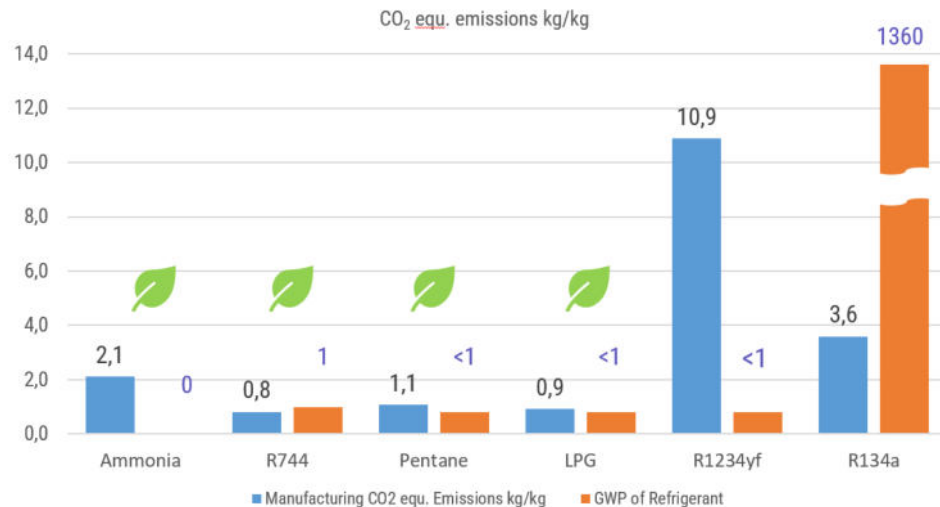


# Gute Nachrichten: Natürliche Kältemittel steigern die Energieeffizienz

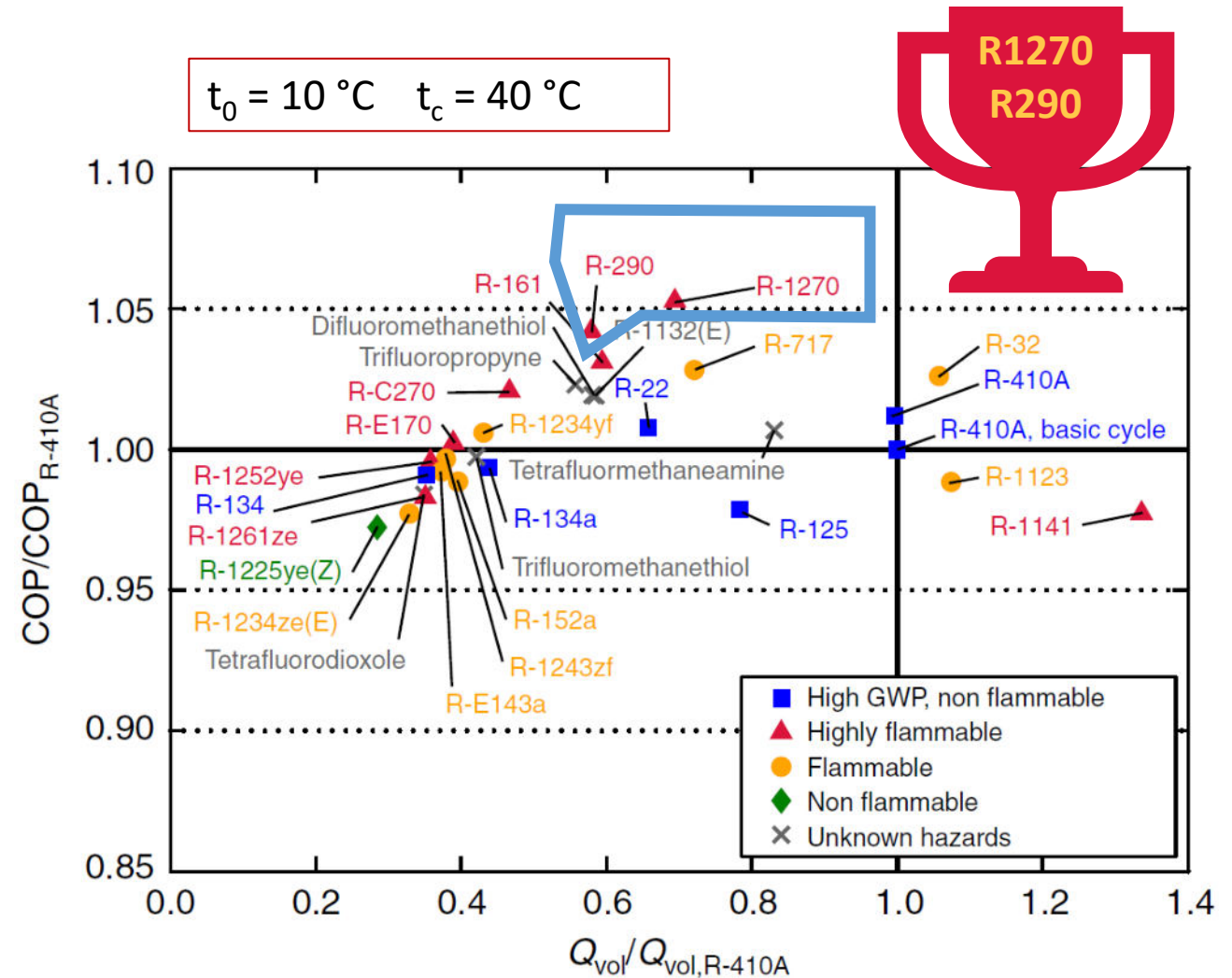


Energieeinsparungen von etwa 10 - 15 %  
durch die Nutzung natürlicher Kältemittel

... und ca. zehnmal weniger CO<sub>2</sub>-äquivalente  
Emissionen bei der Herstellung.



Kauffeld, M.; Dudita, M.: Environmental impact of HFO refrigerants & alternatives for the future. Open Access Government, 11. Juni 2021, <https://www.openaccessgovernment.org/hfo-refrigerants/112698/>

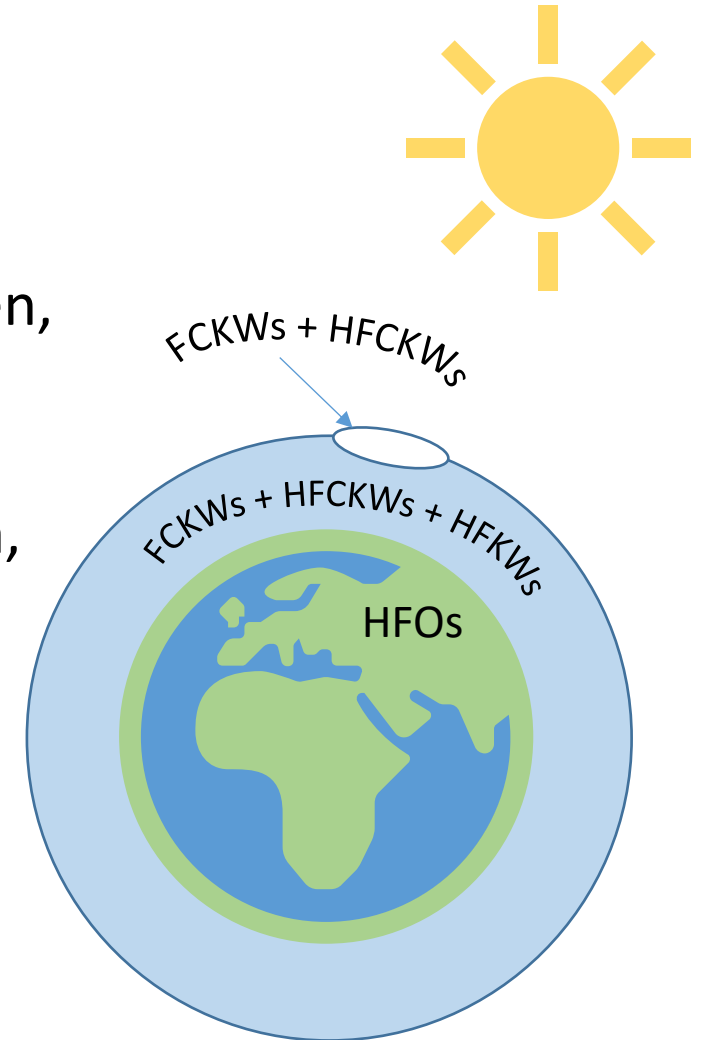


McLinden, M., Brown, J., Brignoli, R. et al. Limited options for low-global-warming-potential refrigerants. Nat Commun 8, 14476 (2017). <https://doi.org/10.1038/ncomms14476>

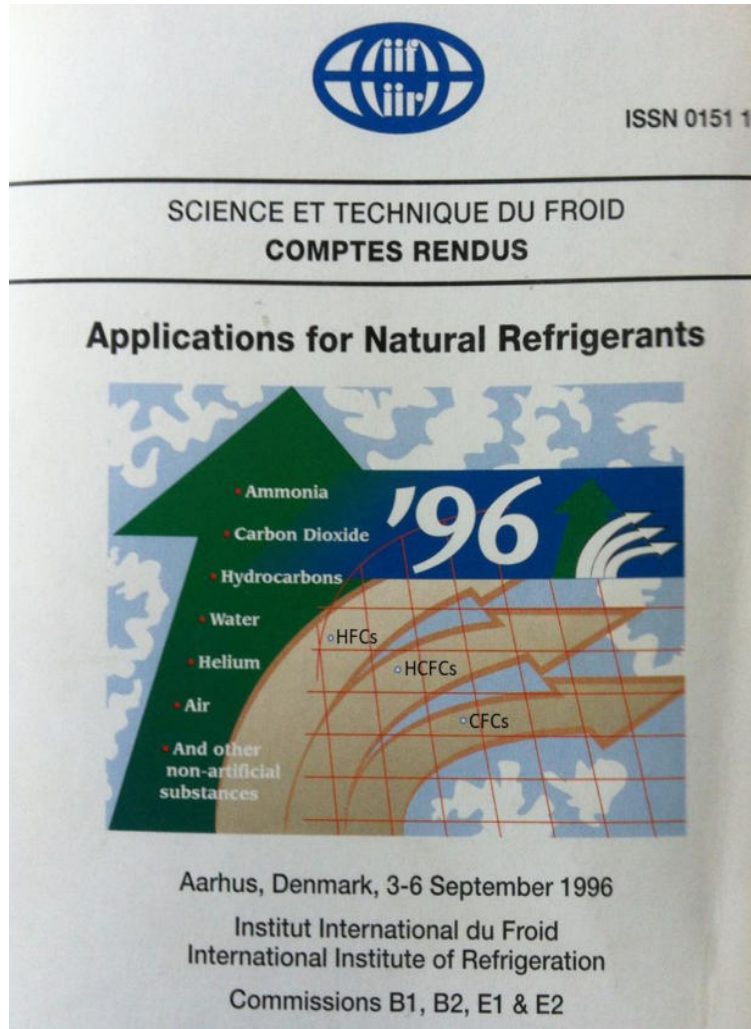
**Natürliche Kältemittel = höchste Energieeffizienz dank ihrer thermophysikalischen Eigenschaften**

# 60 – 30 – 15

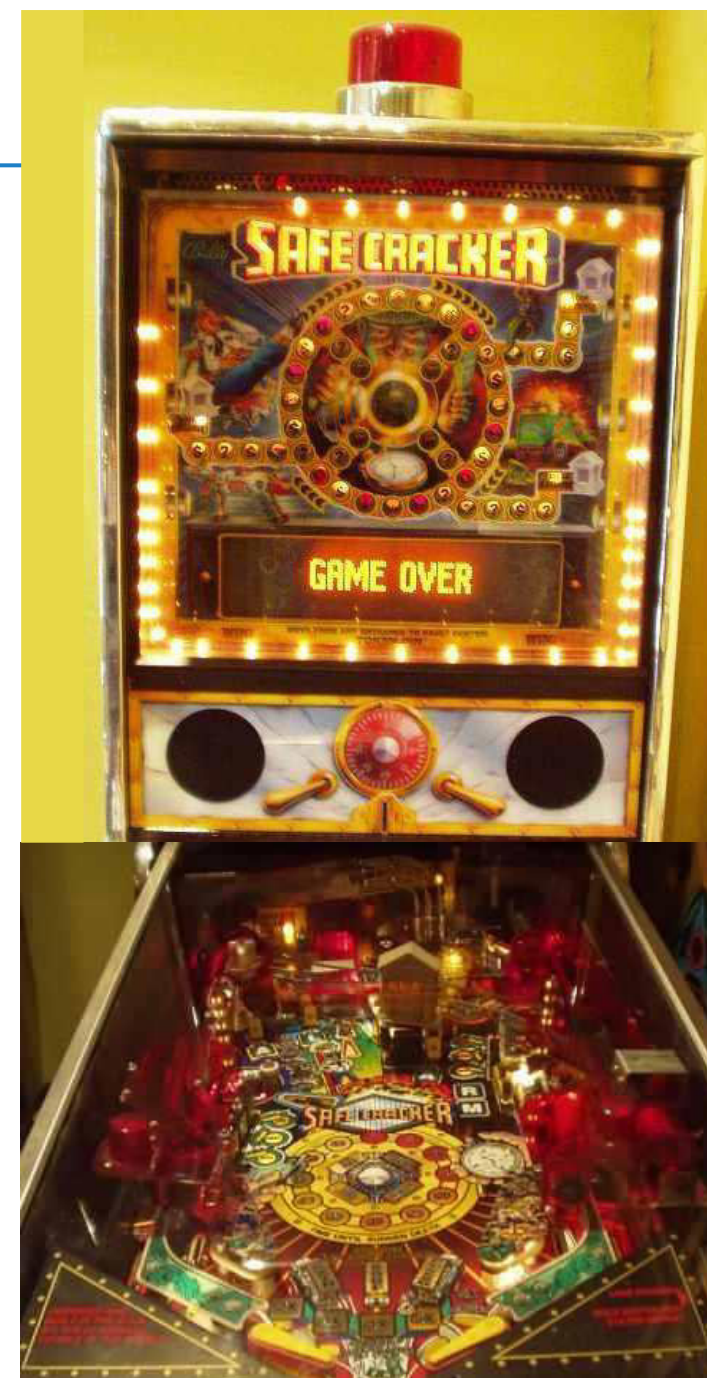
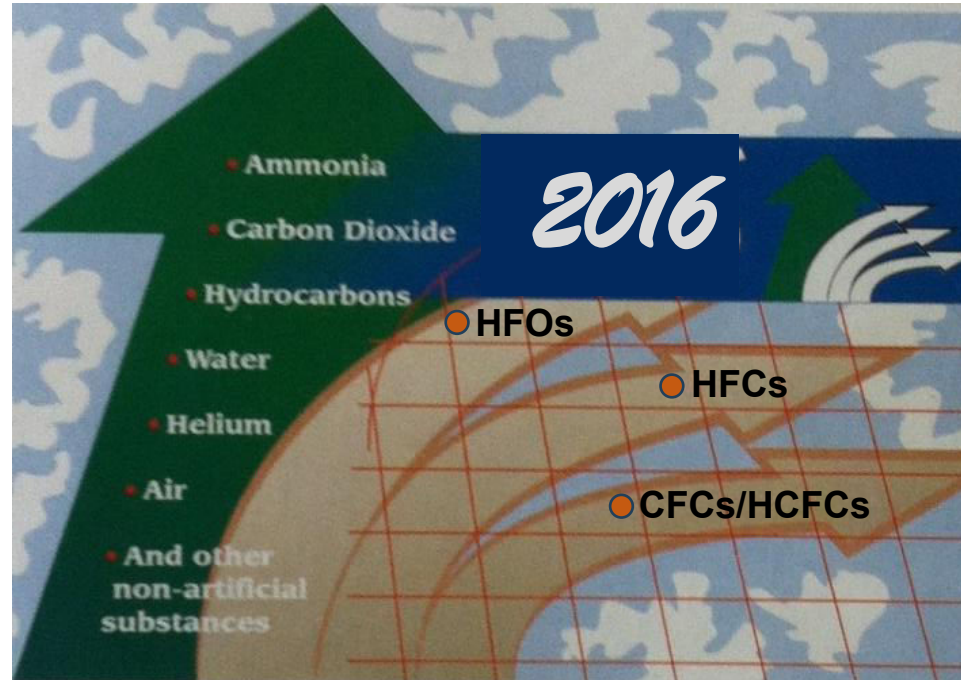
- Es hat 60 Jahre gedauert (1930 bis 1990), um herauszufinden, dass FCKWs die Ozonschicht schädigen
- Es hat 30 Jahre gedauert (1990 bis 2020), um anzuerkennen, dass HFKWs merklich zur globalen Erwärmung beitragen
- Es wird 15 Jahre dauern, um zu akzeptieren, dass HFOs schädlich für die lokale Umwelt sind  
(Gesundheit von Technikern, Erdreich, Oberflächengewässer und Grundwasser)



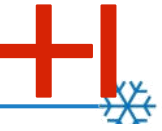
# Fazit



## GAME OVER for HFOs



# Noble Banadda International Sustainability Summer School 2025



Die 4. Summer School on Sustainability i3s wird sich auf **Klimaschutzmassnahmen und Nachhaltigkeit** konzentrieren. Durch die Zusammenarbeit mit internationalen Expertinnen und Experten und den Einsatz interaktiver Lernmethoden erwerben die Teilnehmenden neues Wissen und Fähigkeiten im Zusammenhang mit technischen Lösungen zur Reduzierung unseres ökologischen Fussabdrucks.

Die **4. Ausgabe der Summer School** wird in Anerkennung eines aussergewöhnlichen Mannes, der massgeblich zum Erfolg des SophiA-Projektantrags beigetragen hat – der EU-finanzierten Initiative, aus der i3s hervorging – den Namen **Noble Banadda International Sustainability Summer School** tragen.

Mit der Internationalen Summer School für Nachhaltigkeit laden 2025 die HKA Karlsruhe und die OST – Ostschweizer Fachhochschule Studierende aus unterschiedlichen Fachrichtungen und Ländern ein, sich auszutauschen und voneinander zu lernen.

Gastgeberin 2025 ist die OST – Ostschweizer Fachhochschule in Rapperswil-Jona. Der Campus liegt direkt am Zürichsee in der schönen Kleinstadt Rapperswil mit historischem Schloss und einer Umgebung, die zu Ausflügen in die Natur lockt.

Zudem sind Exkursionen geplant. Es bleibt auch genügend Zeit für gemeinsame Aktivitäten und Austausch.

## Kosten:

CHF 100.- für die Woche inklusive Anmeldegebühr, Seminare, Exkursionen, Unterkunft und Verpflegung.

Die Reise nach Rapperswil muss selbst organisiert und bezahlt werden.



## Themen und Highlights aus dem Programm:

- Nachhaltigkeit (Förderung und Umsetzung)
- Umwelttechnik
- Erneuerbare Energien: Solar, Wasser, Wind
- Energiespeicherung
- Nachhaltige Kühl- und Wärmepumpentechnologie
- Sauberes Wasser
- Workshop zur Wassertechnik
- Technologien für den Globalen Süden
- EU-Projekt SophiA
- Drachenbootfahren
- Grillfest mit Live-Musik
- Besuche des OST-Campus und der Labore

## Spender 2025 bisher:



# Fragen?



## Heizen/Kühlen, Kochen und Tragen Sie PFAS-frei?

### Michael Kauffeld

Hochschule Karlsruhe

IKKU Institut für Kälte-, Klima- und Umwelttechnik

☎ +49 151 144 70230

✉ [michael.kauffeld@st2k.de](mailto:michael.kauffeld@st2k.de)

### Mihaela Dudita-Kauffeld

Ostschweizer Fachhochschule

SPF Institut für Solar-Technologie

☎ +41 58 257 41 69

✉ [mihaela.dudita@ost.ch](mailto:mihaela.dudita@ost.ch)

### Partner im Projekt

„PFAS-freie Heiz- und Kühllösungen“,  
finanziert durch das **Innovation Booster Energy Lab**  
über **Innosuisse** im Pitch & Fund von Call #5.

Michael Eckert · Michael Kauffeld  
Volker Siegismund (Hrsg.)

## Natürliche Kältemittel – Anwendungen und Praxiserfahrungen

2., vollständig neu bearbeitete Auflage





**THANK YOU**

**Hochschule Karlsruhe**  
University of  
Applied Sciences

**+IKA**

**eurammon**  
Refrigerants, naturally!