



Kältemittel Zukunftsperspektiven Strategien

Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

1

1



Agenda

- Das Problem
- Ozonhypothese | Global Warming Potential (GWP)
- Geschichte der Kältetechnik und Kältemittel
- In Verkehr gebrachte Mengen (EU | Deutschland)
- Auswertung VDKF-LEC (stand 22.05.2019)
- Szenarien – Synthetische | Natürliche Kältemittel

Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

2

2

Das Problem

- Mit zunehmender Industrialisierung haben die anthropogenen CO₂ Emissionen zugenommen
- die Erde erwärmt sich aufgrund der Treibhausgase
- um die Folgen einigermaßen verträglich zu halten, hat man in Paris 2015 das Ziel ausgegeben:
 - die Erderwärmung darf max. 1,5 - 2 K betragen
 - bis 2050 möchte die EU Treibhaus neutral sein.
 - Treibhaus neutral bedeutet nicht mehr emittieren als die Senken aufnehmen können

3

Maßnahmen

Auf Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse hat die EU Klimaziele definiert.

Reduzierung der Treibhausgasemissionen durch:

- Höhere Energieeffizienz
- Mehr erneuerbare Energien
- Reduzierung der anthropogenen Treibhausgasemissionen

Etappenziele

Bis 2020 – 25 % (Basis 1990)

Bis 2030 – 40 %

Bis 2040 – 60 %

Bis 2050 – 80 – 95 %

4

Maßnahmen

Vor dem Hintergrund ist das Klimaschutzprogramm 2030 zu sehen

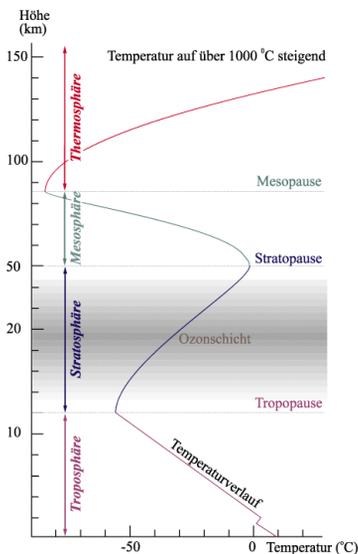
- Öko Design
- Erneuerbare Energiegesetz (heute GEG)
- GEG (EnEV)
- F-Gase Verordnung
- MAP 's (Wärmepumpen, Förderprogramme, etc.)

Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

5

5



A01 - Vertikaler Aufbau der Atmosphäre

Reiber: Moderne Flugmeteorologie © Verlag Harri Deutsch

Ozonhypothese

- Die Stratosphärische Ozonschicht wirkt als UV-B Filter
- Schützt das Leben auf der Erdoberfläche vor kurzwelliger Strahlung (200 – 300 nm)
- Ozon in der Atmosphäre wurde erstmals im Jahr 1839 entdeckt
- Chlor stellte sich als katalytischer Abbauzyklus heraus.
- Um in die Stratosphäre zu gelangen braucht es stabile Chlor Verbindungen
- In den 1970er Jahren wurde die Existenz von FCKW 's in der Stratosphäre nachgewiesen.

Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

6

6

Ozonhypothese

- Aufgrund der wissenschaftlichen Erkenntnisse wurde dann die Halonverbotsverordnung erlassen
- In der Folge dann die EU Verordnung 2037/2000
- Die FCKW´s sind zudem Treibhaus wirksam
- Zusätzlich zu anderen Stoffen wie:
 - CO₂, Methan oder Stickoxyden (NO_x)
- Das Wasser in der Luft spielt auch eine große Rolle
- Erlass der EU Verordnung 842/2006
- Erlass der F-Gase Verordnung 517/2014

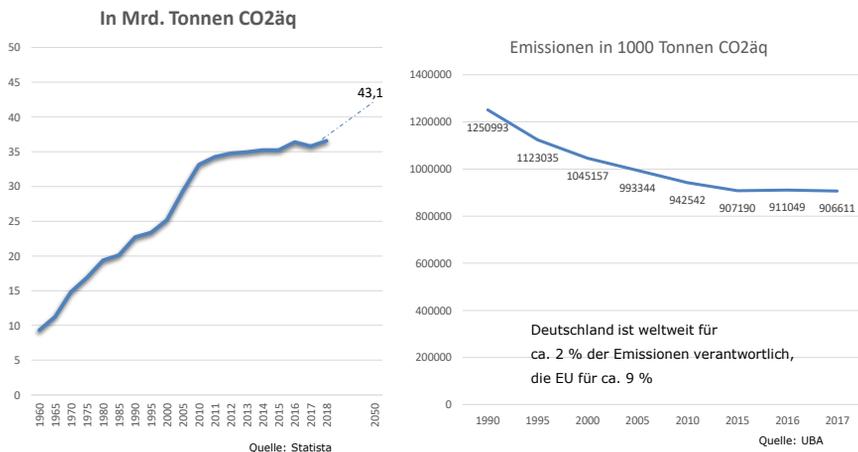
Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

7

7

CO₂ Emissionen weltweit vs. Deutschland



Stand: Jan. 2023

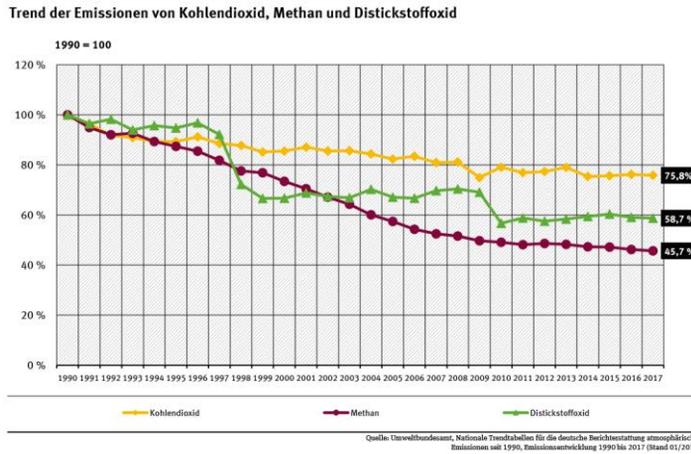
Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

8

8



Emissionen für Deutschland



Stand: Jan. 2023

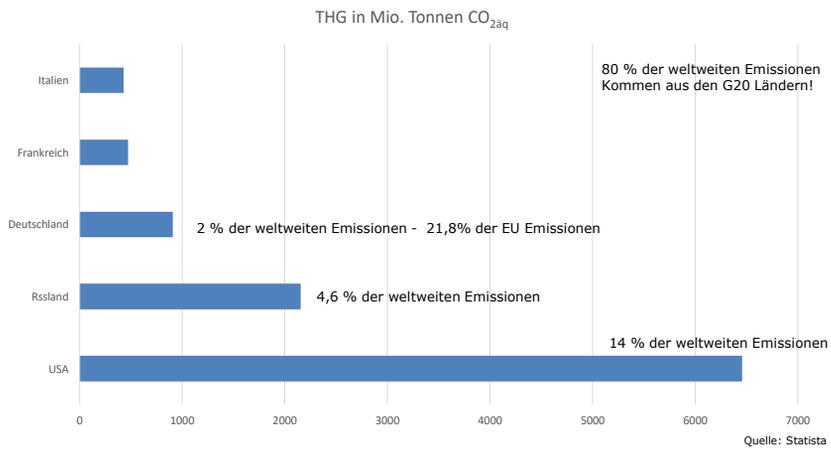
Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

9

9



CO₂ Emissionen nach Land



Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

10

10

Folgen der Erderwärmung

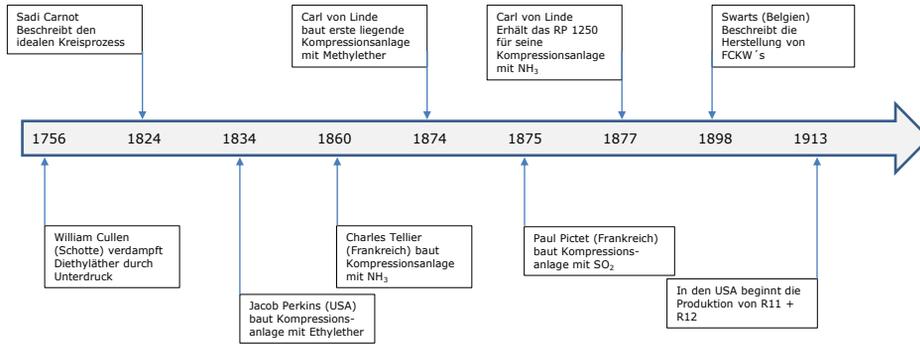
- Hitzewellen
- Dürren
- Starkregen

- Deswegen benötigen wir:
 - mehr CO₂ Senken – anstatt Wälder zu roden
 - Landwirtschaftliche Nutzung - weniger Fleisch!
 - Vielleicht auch Marktanreizprogramme

Geschichte der Kältetechnik

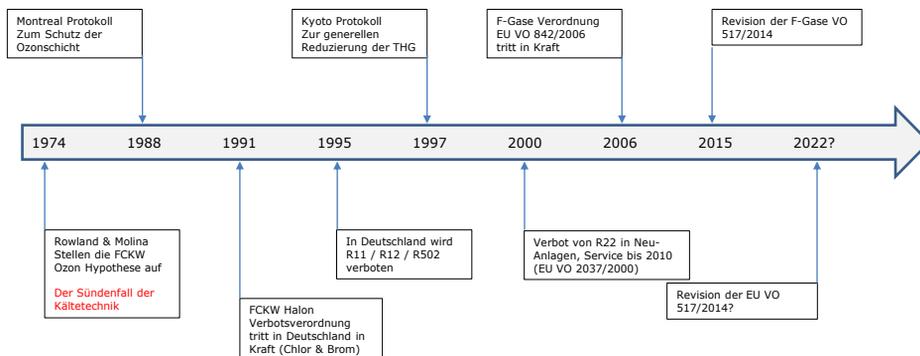
- Die Anlagentechnik in der Kälte wurde seit jeher geprägt durch die Fluide (Kältemittel) und deren Besonderheiten wie:
 - Brennbar (Diethylether, Propan)
 - Toxisch (Ammoniak)
 - Hohe Drücke (CO₂)
- Durch den Einfluss auf die Umwelt werden die Kältemittel mit einem ODP (Ozone Depletion Potential) oder GWP (Global Warming Potential) stark reduziert (EU VO 517/2014)
- Aus diesem Grunde geht es zurück zu den natürlichen Kältemitteln (**back to the roots**)

Geschichte der Kältetechnik



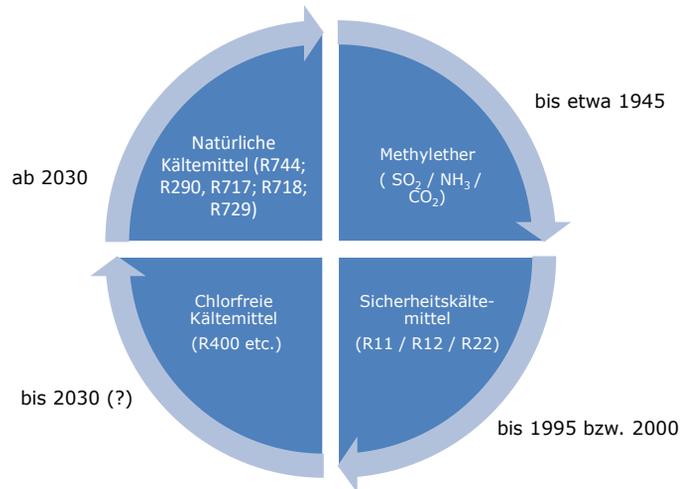
13

Geschichte der Kältetechnik



14

Geschichte der Kältemittel



Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

15

15

Anforderungen an Kältemittel 1953

- Chemische Indifferenz gegenüber Eisen und Metalle
- Beständigkeit bei den auftretenden Drücken und Temperaturen
- Verträglich mit Schmiermitteln (nicht negativ beeinflussen)
- Nicht explosiv (nicht brennbar)
- Nicht toxisch
- Leckagen sollen leicht erkannt werden
- Kreisprozess nicht im Vakuum
- Arbeitsdrücke nicht zu hoch
- Der Prozess soll im Nassdampfbereich stattfinden
- Hohe Verdampfungswärme, geringe spez. Wärme des flüssigen Fluids

Quelle: Bäckström / Emblik 1953

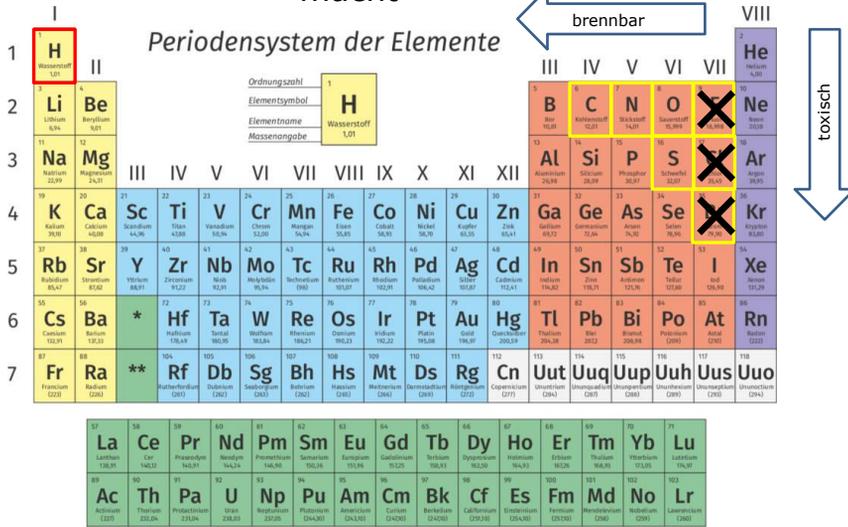
Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

16

16

Die Stoffe aus denen man Kältemittel macht



Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

17

17

Anforderungen an Kältemittel heute



- Kein ODP (Ozone Depletion Potential)
- Kein GWP (Global Warming Potential)
- Chemische Indifferenz gegenüber Eisen und Metalle (nur bedingt siehe NH₃)
- Beständigkeit bei den auftretenden Drücken und Temperaturen
- Verträglich mit Schmiermitteln (nicht negativ beeinflussen) (nur bedingt siehe NH₃)
- Nicht explosiv (nicht brennbar) (nur bedingt siehe Propan)
- Nicht toxisch (nur bedingt siehe NH₃)
- Leckagen sollen leicht erkannt werden
- Kreisprozess nicht im Vakuum (nur bedingt siehe H₂O)
- Arbeitsdrücke nicht zu hoch (nur bedingt siehe CO₂)
- Der Prozess soll im Nassdampfbereich stattfinden (nur bedingt siehe CO₂ transkritisch)
- Hohe Verdampfungswärme, geringe spez. Wärme des flüssigen Fluids
- Hohe Volumetrische Kälteleistung (nur bedingt siehe H₂O)

Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

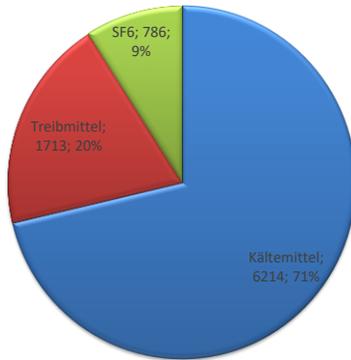
18

18

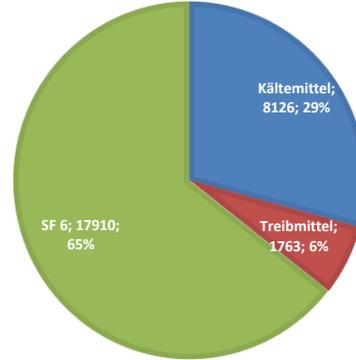
Verwendung FKW, HFKW, Blends & SF6 in 2018 - Deutschland



in metrischen Tonnen



IN 1000 TONNEN CO₂ÄQ



Quelle: Destatis

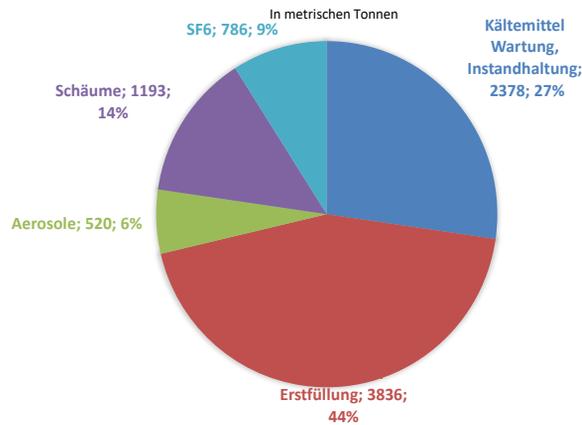
Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

19

19

In Verkehr gebrachte Kältemittel in 2018 in Deutschland



Quelle: Destatis

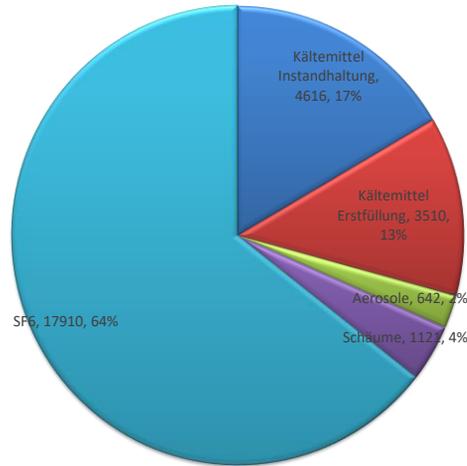
Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

20

20

In Verkehr gebrachte Kältemittel



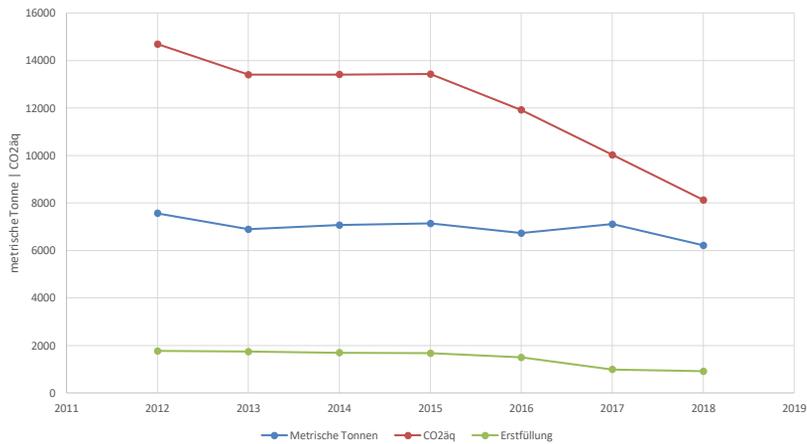
Deutschland 2018

In 1.000 Tonnen CO_{2äq}

Quelle: Destatis

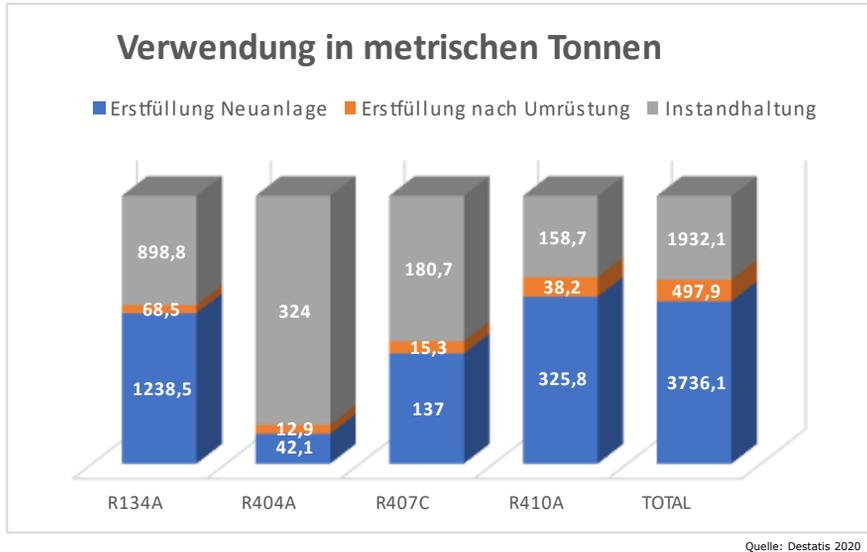
21

KM Tonnage vs. CO_{2äq}



Quelle: Destatis

22



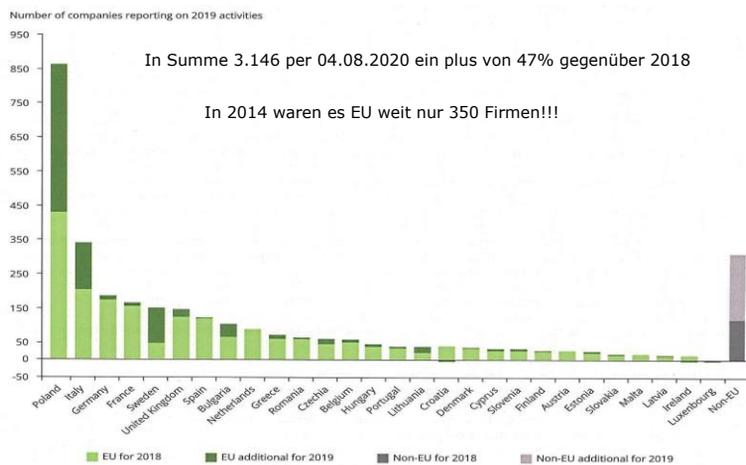
Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

23

23

Reporting Companies EU



Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

24

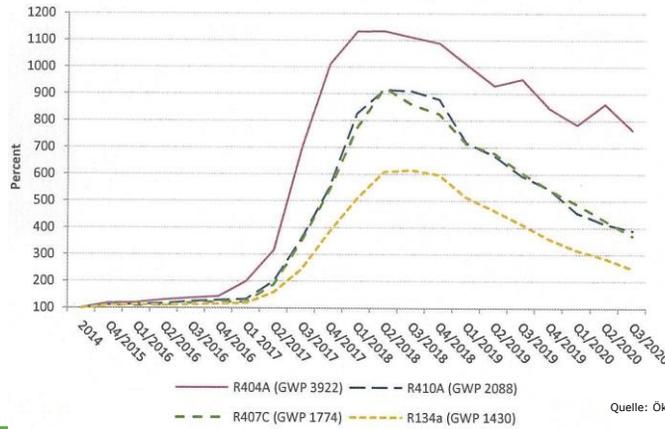
24



Kältemittel Preise

OEM level

Figure 2 displays the development of average purchase prices reported by 26 OEMs. Prices are indexed to the baseline year 2014 (= 100 %). Prices at OEM level are usually determined by longer term fixed price agreements.



Quelle: ÖkoRecherche

Stand: Jan. 2023

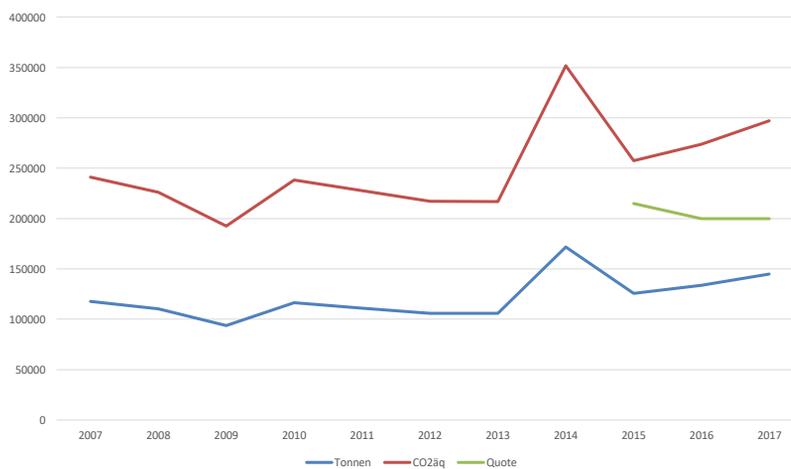
Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

25

25



Quote vs. in Verkehr gebracht



Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

26

26

Auswertung VDKF-LEC

- Stand 22.05.2019
- 199.688 Anlagen
- 45.400 Anlagenbetreiber
- Jede Anlage bekommt eine 9-stellige Anlagennummer
 - Genaue Identifizierung der Anlage durch Seriennummer, Leistung, Kältemittel, Standort
- Kältemitteltonnage 2.520 Tonnen

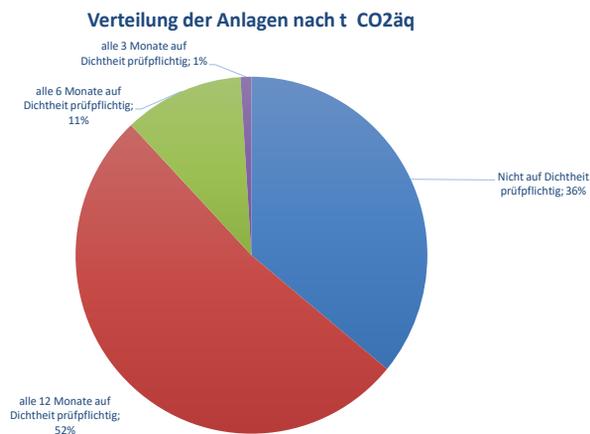
Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

27

27

Auswertung VDKF-LEC



Stand: Jan. 2023

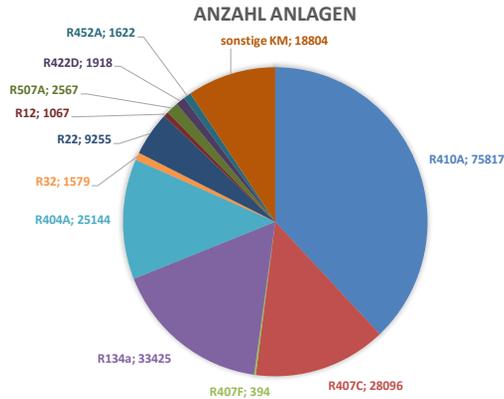
Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

28

28



Auswertung VDKF LEC



Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

29

29



Auswertung VDKF LEC

Anwendung	Anzahl Anlagen		Kältemittel Füllmenge		Ø Füllmenge
	Anzahl	Anteil	Menge	Anteil	
Splitklima	70.092	35,1%	236	9,4%	3,36
Gewerbekälte	44.522	22,3%	876	34,8%	19,68
Industriekälte	28.022	14 %	677	26,9%	24,14
Zentralklima	22.055	11,1%	356	14,1%	16,13
VRF Klima	12.987	6,5%	167	6,6%	12,84
Wärmepumpen	3.840	1,9%	51	2,0%	13,28
Transportkälte	5.825	2,9%	29	1,1%	4,98
Sonderanlagen	7.734	3,9%	110	4,4%	14,22
Sonstige	4.611	2,3%	18	0,7%	3,9
Summe	199.688		2.520		

Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

30

30

Auswertung VDLF LEC

Kältemittel	Tonnage	% Gesamtfüllmenge
R410A	466	18,5%
R407C	495	19,6%
R407F	20	0,8%
R134a	587	23,3%
R404A (Serviceverbot)	550	21,8%
R32	3	0,1%
R22	148	5,9%
R12	2	0,1%
R507A	56	2,2%
Sonstige	143	5,7%
R422D	41	1,6%
R452A	9	0,4%

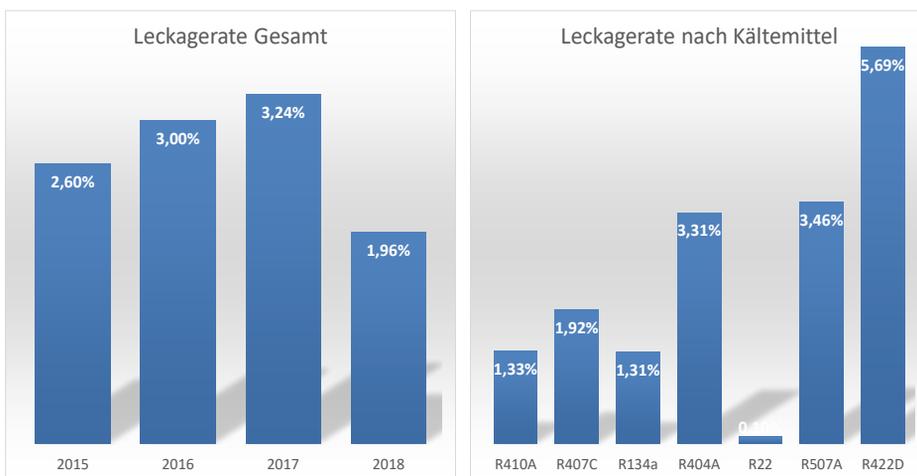
Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

31

31

Leckagerate 2014-2018



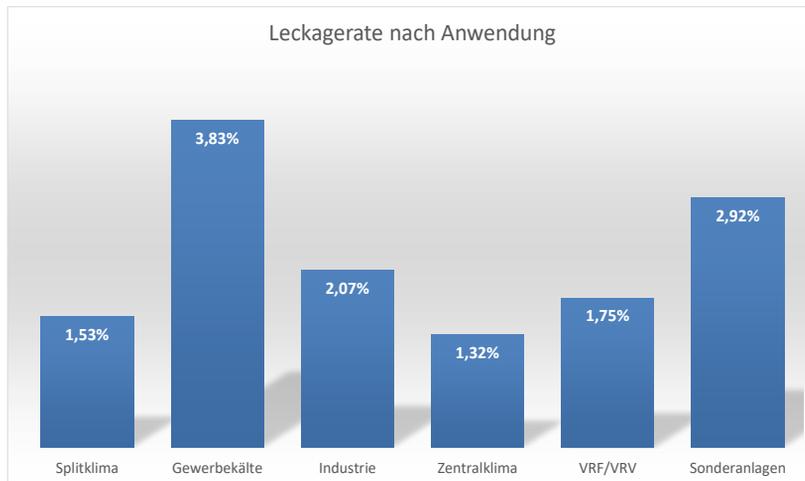
Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

32

32

Leckagerate 2014-2018



Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

33

33

Umweltbelastung 2014-2018

Kältemittel	Nachgefüllte Menge	GWP- Wert	Umweltbelastung in CO _{2äq}	Anteil
R410A	5,5 t	2088	11.484 t	9,4 %
R407C	9,3 t	1744	16.219 t	13,3%
R134a	7 t	1430	10.010 t	8,2%
R507A	1,9 t	3985	7.572 t	6,2%
R404A	18 t	3922	70.596 t	57,7%
R422D	2,3 t	2729	6.277 t	5,1%
R22	0,1 t	1810	181 t	0,1%
Summe	44.1 t		122.339 t	100%

Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

34

34

Verbote | Beschränkungen

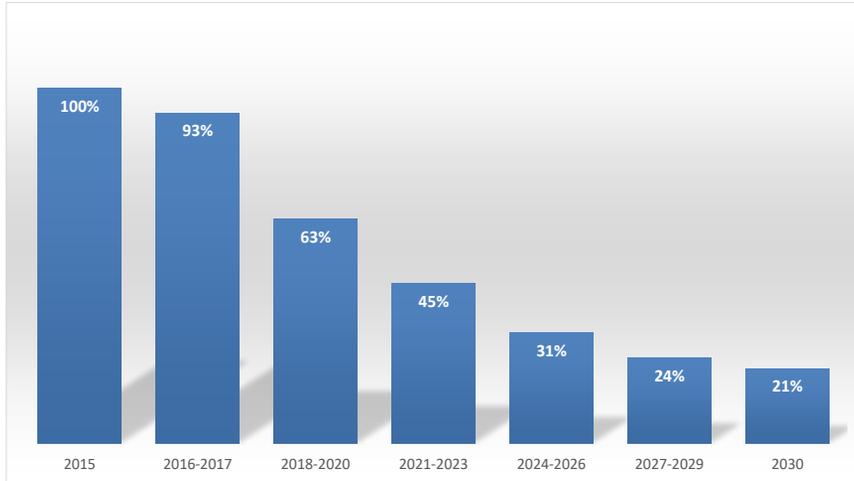
- ab 01.01.2020
 - Kühl- und Gefriergeräte (hermetisch geschlossene Einrichtungen) mit einem GWP > 2.500
 - ortsfeste Kälteanlagen mit einem GWP > 2.500
 - bewegliche Raumklimageräte mit einem GWP > 150
- ab 01.01.2022
 - Kühl- und Gefriergeräte (hermetisch geschlossene Einrichtungen) mit einem GWP > 150
 - mehrteilige Kälteanlagen mit einer Nennleistung > 40 kW mit einem GWP > 150 oder mehr – in Kaskaden mit weniger als GWP < 1500

Verbote | Beschränkungen

- ab 01.01.2025
 - Mono-Splitklimageräte mit weniger als 3 kg F-Gase mit einem GWP > 750



Phase down



Stand: Jan. 2023

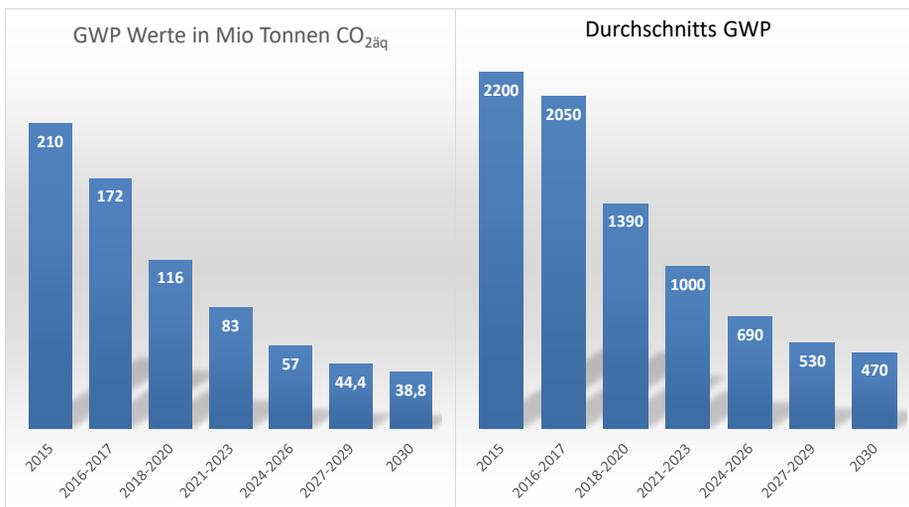
Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

37

37



Phase down



Stand: Jan. 2023

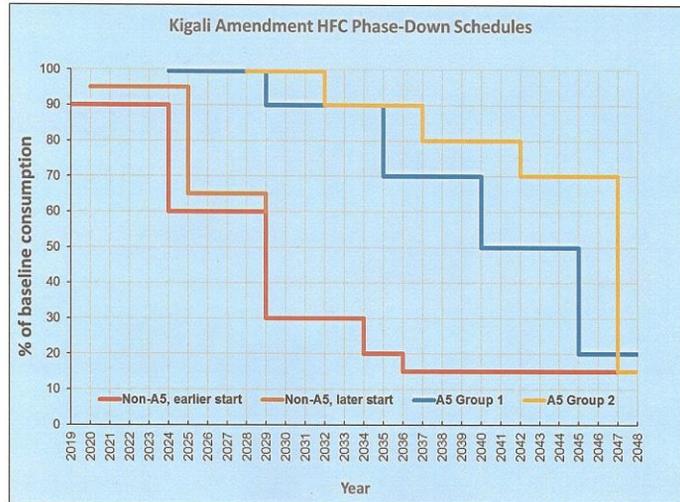
Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

38

38



Kigali Amendment 2016



Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

In Kraft seit 01.01.2019

39

39



Szenarien



Kältemittel	S-Klasse	GWP	Kältemittel	S-Klasse	GWP
R134a	A1	1300	R32	A2L	677
R401	A1	1130	R451	A2L	133
R416	A1	975	R245fa	B1	856
R420A	A1	1380	R415B	A2	544
R425A	A1	1430	HFO's	A2L	1-5
R426A	A1	1370			
R448	A1	1270			
R449	A1	1280			
R450	A1	547			
R513A	A1	573			

Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

40

40



Szenarien

2021 – 2023 Ø GWP 1000

Kältemittel	S-Klasse	GWP	Kältemittel	S-Klasse	GWP
R416	A1	975	R32	A2L	677
R450	A1	547	R451	A2L	133
R513A	A1	573	R245fa	B1	856
			R415B	A2	544
			HFO's	A2L	1-5

Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

41

41



Szenarien

2024 – 2026 Ø GWP 690

Kältemittel	S-Klasse	GWP	Kältemittel	S-Klasse	GWP
R450	A1	547	R32	A2L	677
R513A	A1	573	R451	A2L	133
			R415B	A2	544
			HFO's	A2L	1-5

Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

42

42

Szenarien

2027 - 2029 Ø GWP 530					
Kältemittel	S-Klasse	GWP	Kältemittel	S-Klasse	GWP
R450	A1	547	R32	A2L	677
R513A	A1	573	R451	A2L	133
			R415B	A2	544
			HFO´s	A2L	1-5

ab 2030 Ø GWP 470		
Kältemittel	S-Klasse	GWP
R744 (CO ₂); R729 (Luft); R718 (Wasser)	A1	0-1
R290; R717; R451	A3 / B2L / A2L	3/0/133
HFO´s	A2L	1-5

Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

43

43

Nachhaltige Lösungen

- Es ist politisch gewollt die Verwendung der synthetischen Kältemittel möglichst komplett einzustellen.
- Für (nahezu) alles gibt es Kältemittel mit geringem GWP.
 - SF6 fällt nicht unter die F-Gase Verordnung, wird unter anderem in Schaltanlagen verwendet.
- Allein die Sicherheitsfragen sind nicht geklärt.
- Auch die Versicherer sind etwas überfordert mit den brennbaren Kältemitteln
- Architekten müssen umdenken, weil Brandlasten reduziert werden müssen wenn brennbare Kältemittel eingesetzt werden.

Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

44

44

Natürliche Kältemittel

- Was sind natürliche Kältemittel
 - In der Natur vorkommende Substanzen
 - Substanzen die Enthalpie transportieren können

 - Luft (R729)
 - Wasser (R718)
 - Kohlendioxid (R744)
 - Ammoniak (R717)
- } Anorganische Verbindungen
-
- Propan (R290)
- Propen (R1270)
- Isobutan (R600a)
- } Kohlenwasserstoffe

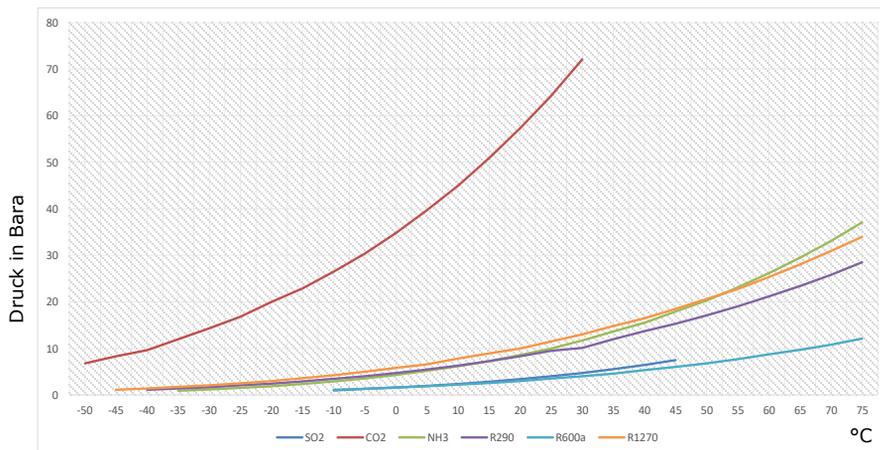
Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

45

45

Sättigungsdruck



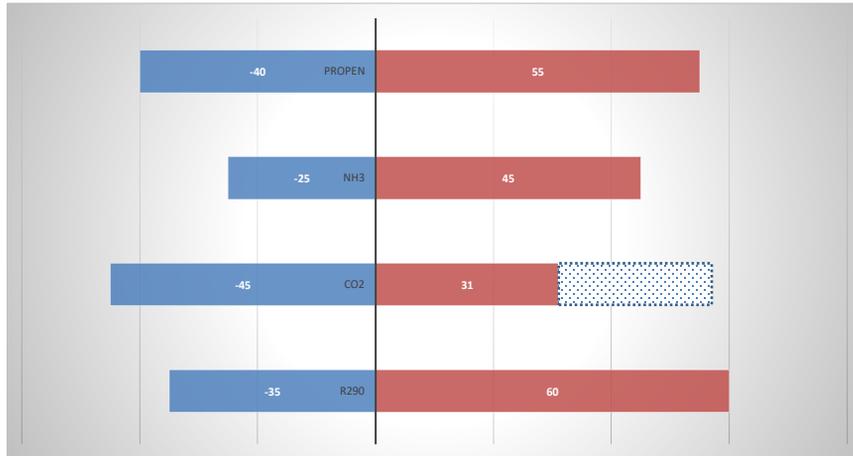
Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

46

46

Einsatzgrenzen



Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

47

47

Teillastfähigkeit

Kältemittel	Verdampfungsenthalpie kJ/kg	Vol. Kälteleistung kJ/m ³
Ammoniak	1.300	4.360
CO ₂	260	22.550
Wasser	2275	12
Propan	380	3.880
Propen	390	4.670
Isobutan	385	1.510

Die Verdampfungswärme sinkt mit zunehmender Verdampfungstemperatur (0°C)
Vol. Kälteleistung Angaben bei $t_0 = 10^\circ\text{C}$; $t_c = +40^\circ\text{C}$

Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

48

48

Besonderheiten von NH₃

- kaum Öllöslich – Ölrückführung! Ölabscheider
- hoher Isentropenexponent
 - hohe Verdichtungsendtemperaturen
 - Druckdifferenzen gering halten
- hohe Verdampfungsenthalpie
- hohe vol. Kälteleistung
 - bedingte Teillastfähigkeit
 - Direktverdampfung nicht möglich – überfluteter Betrieb
- hohe Effizienz
- Toxisch (ab 5.000 ppm – Wahrnehmung ab 3-5 ppm)
- Verfügbarkeit und Preis

Besonderheiten von NH₃

- Dichte (600 g/m₃) von NH₃ geringer als die von Luft – steigt nach oben
- Siedetemperatur bei 1.013 hPa -33°C
- entzündbar zwischen 15,4 – 34,6 Vol.% (Luft/NH₃)
- gute thermodynamische Eigenschaften
 - hoher c_p Wert, hohe Wärmeleitfähigkeit der Flüssigkeit
 - hohe U-Werte - kleinere Wärmeübertragerflächen
- Materialverträglichkeit (kein Kupfer)

Besonderheiten von CO₂

- niedrige kritische Temperatur (31°C)
- hohe Drücke – hohe Druckdifferenzen (deltaP)
 - geringe Druckverhältnisse (P_c/P_o)
- hohe vol. Kälteleistung
 - geringer Massenstrom
 - Niedrigere Füllmengen
 - kompakte Bauart – kleinere Abmessungen
- Transkritischer Betrieb – geringer EER
 - größere Übertragungsflächen erforderlich weil kein Phasenwechsel stattfindet
 - bei Wärmepumpen von Vorteil – hohe Vorlauftemperaturen
 - Wärmerückgewinnung



Besonderheiten von CO₂

- subkritischer Betrieb – beste EER Werte
 - Je näher am kritischen Punkt umso mehr Verluste durch verdampfendes Kältemittel
- Leckageerkennungssystem – Gaswarnanlage
 - Wenn praktischer Grenzwert überschritten werden kann
 - Abblaseleitungen dürfen nicht verstopfen – Trockeneis
- Befüllen ohne Druckminderer – Trockeneis
 - Druck im Tripelpunkt liegt im Überdruck (-56,6 °C / 5,18 bar)
- Achtung: Gesundheitsschädlich AGW 5.000 ppm
- höhere Leckageraten aufgrund der hohen Drücke

Besonderheiten von CO₂

- Dichtungen – bei Druckentlastung wird Material spröde – (Trockeneis) Leckage.
- Auslegung von Bauteilen
 - Möglicher Stillstandsdruck (81 bar)
 - oder geringere Drück mit dem Risiko die Kältemittelfüllung zu verlieren (meist 41 bar)
 - max. Druck Verdichtergehäuse beachten
 - Druckverhältnis geringer - besserer Gütegrad
- gute Wärmeleitfähigkeit Flüssig, hohe cp

Besonderheiten von CO₂

- hohe Stillstandsdrücke
 - Notkühlung vorsehen
 - ggf. abblasen, Achtung Entspannen = Trockeneis
 - wohin abblasen – keine Gefährdung für andere
 - eingeschlossen Flüssigkeit separates Sicherheitsventil
 - Materialien – Edelstahl Versprödung
 - beim Entleeren Anlagendruck messen – Abschnitte
 - Druck nicht unter 6 bar sinken lassen
- Füllen der Anlage
 - ohne Druckminderer
 - bis Anlagendruck mindestens 6 bar erreicht hat



Besonderheiten der Kohlenwasserstoffe

Bezeichnung	Einsatz
Methan R50	-160°C bis -100°C
Ethan (R170)	-90°C bis + 10°C
Propan R290	-40°C bis + 70°C
Propen (Propylen) R1270	-45°C bis +60°C
Isobutan R600a	-10°C bis + 30°C (Haushaltskühlschränke)

Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

55

55



Besonderheiten von Kohlenwasserstoffen

- brennbar
- moderate Drücke, Druckdifferenzen
 - Kleine Verluste, guter Liefergrad
- stabile Verbindungen
- hohe Effizienz, gute EER / COP Werte
- hohe Verfügbarkeit – niedrige Preise
- es sind Gassensoren erforderlich (PL)
- mischbar mit Schmierölen (fast allen)
- Überhitzung beachten, ggf. inneren Wärmeübertrager einsetzen.

Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

56

56

Besonderheiten von Kohlenwasserstoffen

- geringe Dichte – geringe Füllmengen
 - Möglichst keine Sammler
- Explosionsschutz – ATEX RL 2014/34
- Druckgeräterichtlinie – Druckgeräte Fluidklasse 1
- Dauerhaft dichte Verbindungen wählen (TRBS2152)
 - löten, schweißen
- kompakte Anlagen -> sekundär Kreise

Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

57

57

Besonderheiten von Kohlenwasserstoffen

Kältemittel	Flammpunkt °C	UEG Vol. %	Stöchiometrische Konzentration Vol. %	OEG Vol. %	Gefahr-kategorie
Methan	-162	4,4	8,5	17	1
Ethan	-104	2,4	8	32,6	1
Propen	-108	1,8		11,2	1
Propan	-104	1,7	5,2	10,8	1
Isobutan	-83	1,5	4,7	9,4	1
Butan	-60	1,4	4,7	9,4	1



H220 = extrem entzündbares Gas

Zündenergie für Propan 0,24 mJ
 Vergleich R1234yf: 5-10J (auch H220)

Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

58

58

Besonderheiten von Kohlenwasserstoffen

Kältemittel	R170	R290	R1270	R600a	R717	R744	E170
Chem. Formel	CH ₃ CH ₃	CH ₃ H ₈	CH ₃ CH=CH ₂	CH(CH ₃) ₃	NH ₃	CO ₂	(CH) ₃ =O
Sicherheitsklasse	A3	A3	A3	A3	B2(L)	A1	A3
Fluidgruppe	1	1	1	1	1	2	1
PL (kg/m ³)	0,0086	0,008	0,008	0,011	0,00035	0,1	0,013
ATEL/ODL (kg/m ³)	0,0086	0,09	0,0017	0,059	0,00022	0,072	0,079
LFL(kg/m ³)	0,038	0,038	0,046	0,043	0,116		0,064
Dampfdichte (kg/m ³ ; 1013 hPa)	1,23	1,8	1,72	2,38	0,7	1,8	1,88
Siedetemperatur °C bei 1013 hPa	-89	-42	-48	-12	-33	-78	-25
ODP	0	0	0	0	0	0	0
GWP	6	3	2	3	0	1	1
Zündtemperatur °C	515	470	455	460	630		235

Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

59

59

Besonderheiten von Kohlenwasserstoffen

- Praktischer Umgang mit brennbaren Fluiden
 - Was wird an speziellen Werkzeugen benötigt?
 - der ex. geschützte Schraubendreher nicht.
 - Vakuumpumpe in ex. Ausführung
 - Absaugstation in ex. Ausführung
 - tragbares Gaswarngerät (PSA)
 - gut belüfteter Arbeitsplatz
 - Sauerstoff- und wasserfreier Stickstoff
 - heiße Oberflächen – Zündquellen meiden
 - Feuerlöscher
 - Absperrschilder

Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

60

60

Besonderheiten von Kohlenwasserstoffen



- Praktischer Umgang mit brennbaren Fluiden
 - Instandsetzung / Reparatur
 - aufgrund der geringen Dichte der Dampfphase
 - aufgrund der hohen Verdampfungsenthalpie
 - ist beim Absaugen besondere Vorsicht geboten
 - eine Restmenge verbleibt ggf. im Sammler
 - oder im Ölsumpf

Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

61

61

Besonderheiten von Kohlenwasserstoffen



- Praktischer Umgang mit brennbaren Fluiden
 - Auszug aus der DGUV Regel 100-500 Kapitel 2.35
 - Der Unternehmer hat dafür zu sorgen, dass vor Beginn von Instandhaltungsarbeiten an kältemittelführenden Teilen das Kältemittel so weit entfernt wird, wie dies für die gefahrlose Durchführung der Arbeiten notwendig ist.
 - Es ist besonders zu berücksichtigen, dass Kältemittelreste in flüssiger Form sich unterkühlt unter Atmosphärendruck im Leistungssystem halten....
 - [IMG 3392.MOV](#)

Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

62

62

Besonderheiten von Kohlenwasserstoffen



- Feuerarbeiten (Schleifen, Lötten, Schweißen etc.)
 - Dürfen an Kälteanlagen mit brennbaren Kältemitteln, Schmierstoffen oder Dämmmaterial nur mit schriftlicher Genehmigung des Unternehmers durchgeführt werden.

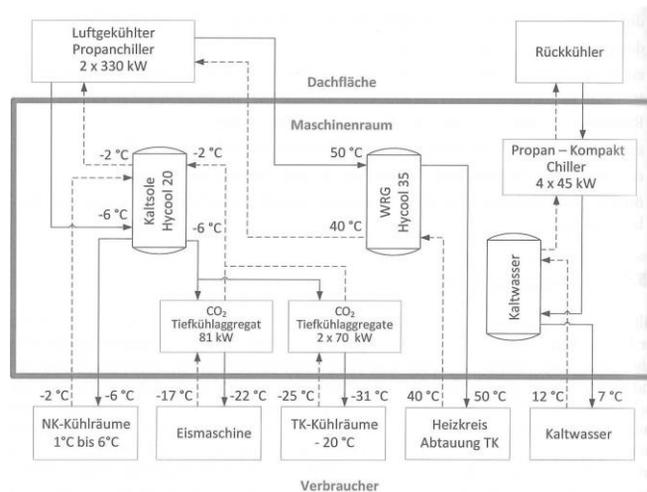
Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

63

63

Anlagenschema



Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

64

64

Kältemittel Wasser R718

- Eines der natürlichsten Kältemittel
 - hohe Verfügbarkeit
 - kein ODP – kein GWP - oder doch?
 - 25 mal so Treibhauswirksam wie CO₂ ?
 - hohe Verdampfungsenthalpie
 - keine Ansprüche an besondere Wasserqualität
- Besonderheit
 - es funktioniert nur im Vakuum
 - Einsatzgrenze wird durch den Gefrierpunkt bestimmt

Kältemittel Wasser R718

- Besonderheit
 - hohe Druckverhältnisse
 - Verlangt eigentlich Kolbenverdichter
 - aufgrund der vol. Kälteleistung – hohe Massenströme
 - deshalb Einsatz von Strömungsmaschinen
 - kleine Druckdifferenzen (0,01 bara bis 0,1 bara)
 - ggf. sind mit Verdrängerverdichter größere Δp möglich

Kältemittel Wasser R718

Druckdifferenzen | Druckverhältnis

Kältemittel	t_0	P_0 bara	t_c	P_c bara	P_c/P_0
R134a	6	3,61	50	13,1	3,6
R407C	6	6,8	50	22,5	3,3
R290	6	5,6	50	17,1	3,0
R717	6	5,3	50	20,3	3,9
CO ₂	-10	26,48	30	72	2,7
R718	6	0,01	50	0,012	12

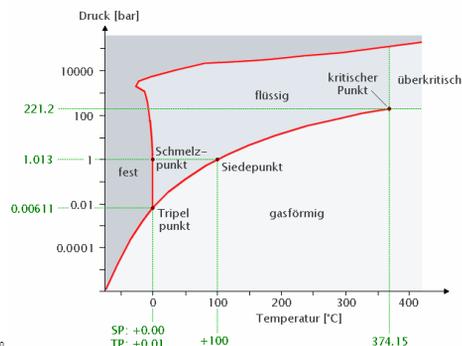
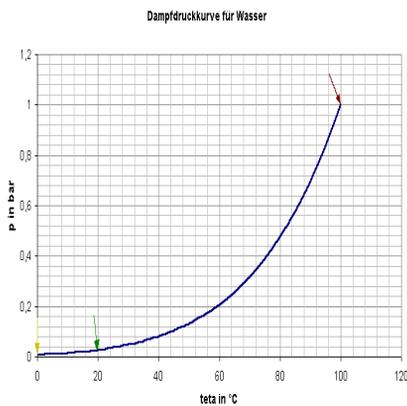
Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

67

67

Dampfdruck | Phasen



Wirtschaftliche Einsatzgrenzen für Strömungsmaschine: 0,01 bara bis 0,07 bara
6 °C 40 °C

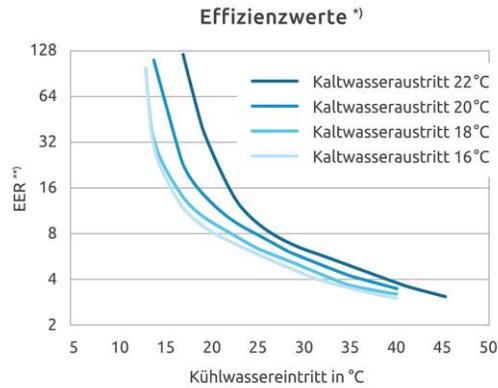
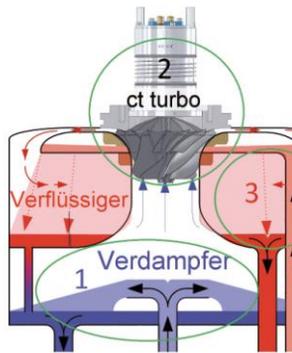
Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

68

68

eChiller



Quelle: Efficient energy Feldkirchen

https://youtu.be/rCdpWIPlc_Y

Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

69

69

Der iChiller - eine Vision?

- es handelt sich um einen Verdrängerverdichter!
- es handelt sich um einen Spindelverdichter
 - mehrstufiger Verdichter ohne Blasloch
 - Drehzahl nur ca. 10.000 RPM anstatt 90.000
 - kein Öl im Kreislauf – nur Wasser (Trockenläufer)
 - steile Kennlinie
 - hohe Kondensationsdrücke möglich
 - Druckverhältnis 1/100

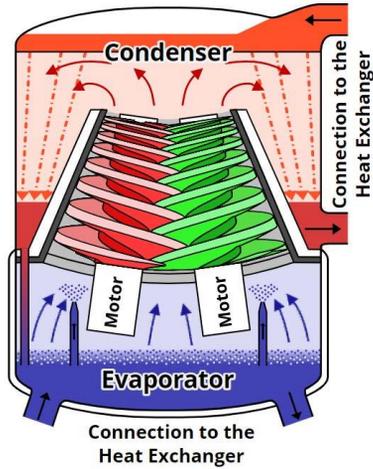
Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

70

70

iChiller



- jeder Rotor eigener Antrieb
- Synchronisation über Frequenzumrichter
- saugt aus dem Nassdampfgebiet an
- unempfindlich gegen Flüssigkeit

Stand: Jan. 2023

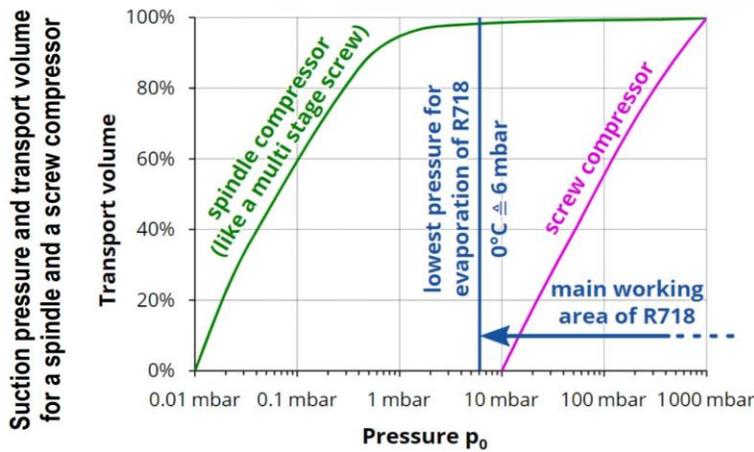
Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

71

71



by HAMBURG VACUUM



www.iCooler-R718.de

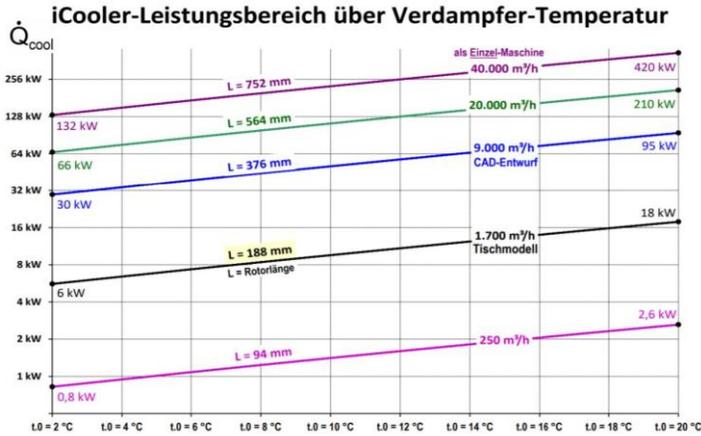
Dr. Ralf Steffens - 17.11.2019

Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

72

72



www.iCooler-R718.de

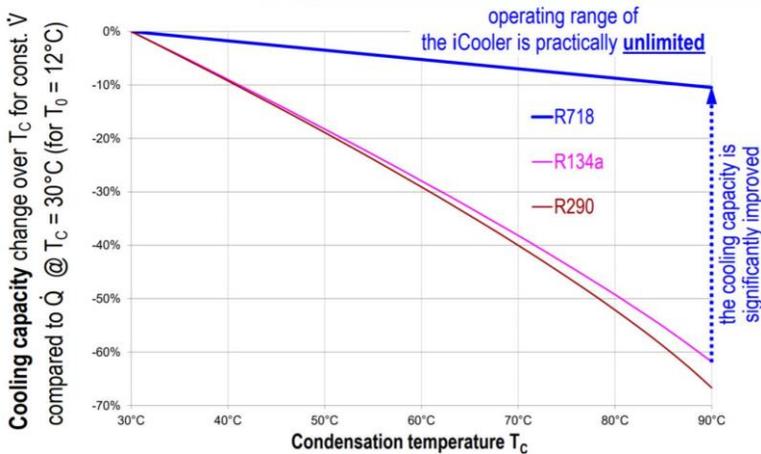
Dr. Ralf Steffens - 17.11.2019

Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

73

73



www.iCooler-R718.de

Dr. Ralf Steffens - 17.11.2019

Stand: Jan. 2023

Grundseminar | Karl-Heinz Thielmann

74

74



Zeit für Fragen