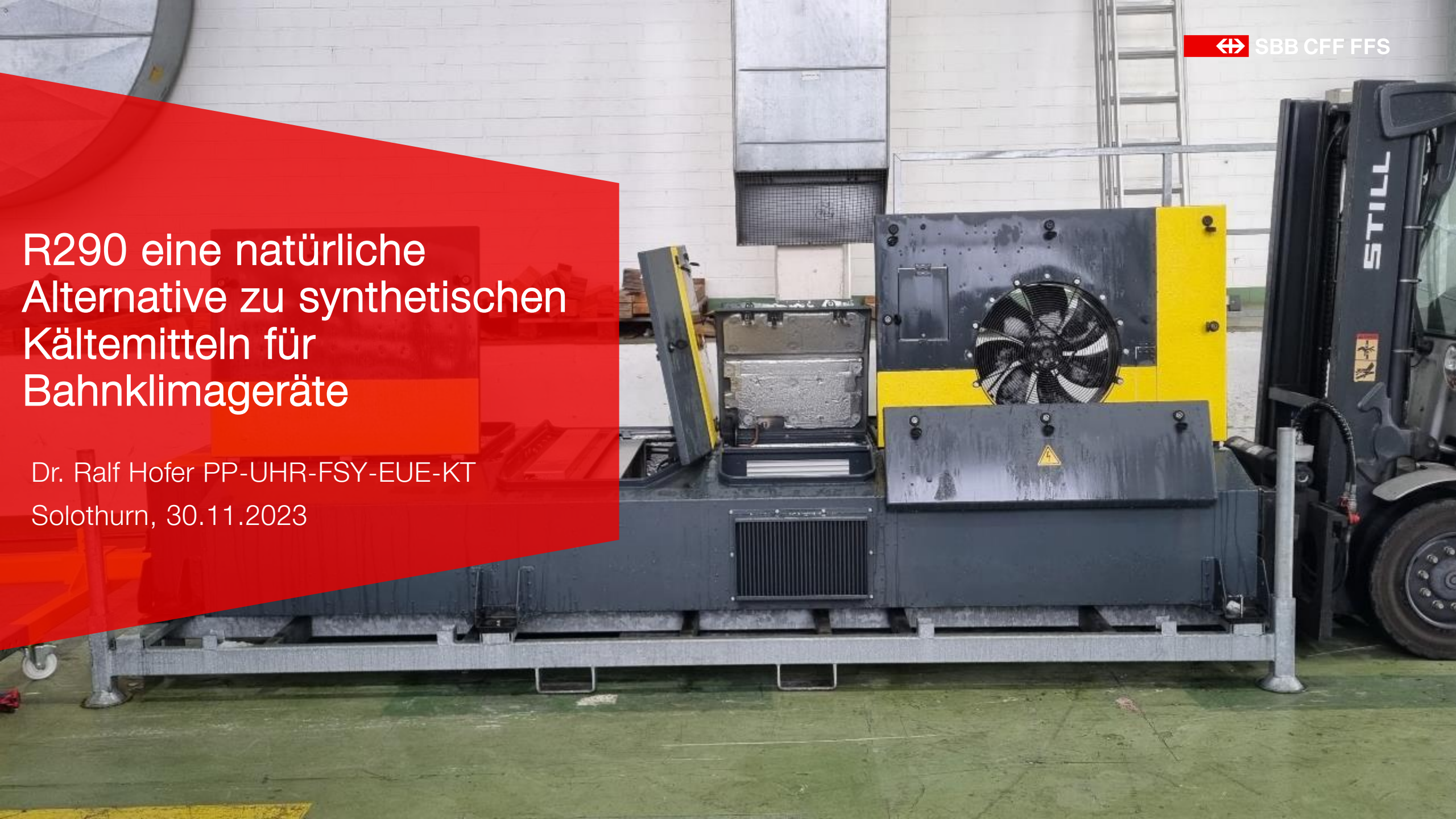


# R290 eine natürliche Alternative zu synthetischen Kältemitteln für Bahnklimageräte

Dr. Ralf Hofer PP-UHR-FSY-EUE-KT  
Solothurn, 30.11.2023



# Kältemittel-Reglementierungen

## Reglementierungen

Montreal  
Protokoll  
1987

FCKW-  
Verbot 1994  
CH (StoV)

HFCKW-  
Verbot  
2000

Verbot in  
der Luft  
stabiler  
Stoffe  
2004

F-Gase  
Verordnung  
(EG) Nr.  
517/2014

Kigali  
Amentment  
2016

Nouvel-  
lierung  
F-Gase  
2023

## Thema

## Schwerpunkt

## Kältemittel

	Ab 1755	Ab 1929	Ab 1988	Ab 2000	Ab 2015
Thema	Technische Machbarkeit	Sicherheit • Brennbarkeit • Toxizität	Ozonloch • Chlor (ODP, Ozon- abbaupotenzial)	Erderwärmung • GWP (Global Warming Potential)	Erderwärmung • GWP • unbekannte Risiken
Schwerpunkt	Natürliche Kältemittel	FCKW	HFCKW FKW	HFKW Natürliche Kältemittel	HFO Natürliche Kältemittel
Kältemittel	Äther Schwefelsäure Dichlorethylen CO <sub>2</sub> Ammoniak	R11 R12 Ammoniak	R22 R124 R142b Ammoniak	R134a R404A R410A R32 Ammoniak, CO <sub>2</sub>	R1234ze R1234yf Propan Ammoniak, CO <sub>2</sub>

Die industrielle Kältetechnik beginnt mit natürlichen Kältemitteln, wie z.B. NH<sub>3</sub>. Diese sind mit wenigen Ausnahmen nicht ungefährlich. Einige sind explosiv, andere sind giftig. Aus dem Wunsch nach mehr Sicherheit entstanden etwa ab 1929 die synthetischen Kältemittel (FCKW, HFCKW, HFKW), die weniger gefährlich sind in der Handhabung. Erst später erkannte man, dass sie die Umwelt bedrohen.



Kältemittel mit Chlor schädigen die Ozonschicht. Daher sind die ozonschichtabbauenden Kältemittel (FCKW, HFCKW) seit 1994/2000 verboten. Bei SBB wurden im Zeitraum 1995-2009 die Klimakälteanlagen sämtlicher EWIV-/EC-Reisezugwagen, der Re450 und Re460 vom Kältemittel R12 auf R134a mit einem speziellen Refit-Verfahren mit mehreren Spülvorgängen umgerüstet.

# Kältemittel-Reglementierungen (Ist-Stand)

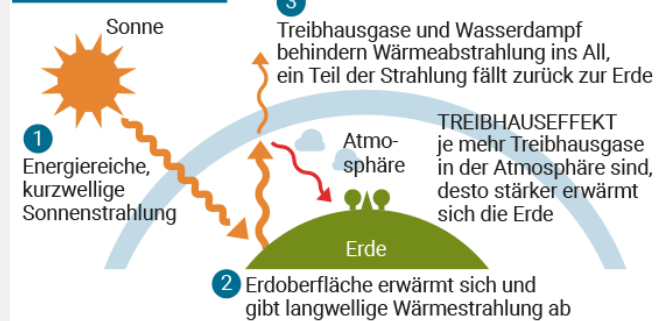
Fluorierte Treibhausgase (HFKW/FKW) wirken sich je nach Substanz sehr stark auf das Klima aus, der Effekt ist 100- bis 24.000-mal höher als bei Kohlendioxid (Vergleichsmassstab).

## Die wichtigsten Treibhausgase

Treibhausgase sind Gase in der Erdatmosphäre, die den Wärmehaushalt der Erde verändern. Zu den wichtigsten zählen:

Kohlendioxid	Methan	Distickstoff-oxid	Fluorierte Treibhausgase
CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFKW, FKW, SF <sub>6</sub> , NF <sub>3</sub>
Quellen:			
Verbrennung fossiler Brennstoffe, Industrie, Abholzung	Reisanbau, Viehhaltung, Mülldeponien, Klärwerke, Verbrennen von Biomasse	Künstliche Düngemittel, Viehhaltung, Verbrennen fossiler Brennstoffe	nicht natürlich; Kühlgase, Kühl- und Löschmittel oder in Schallschutzfenstern

## Der Treibhauseffekt

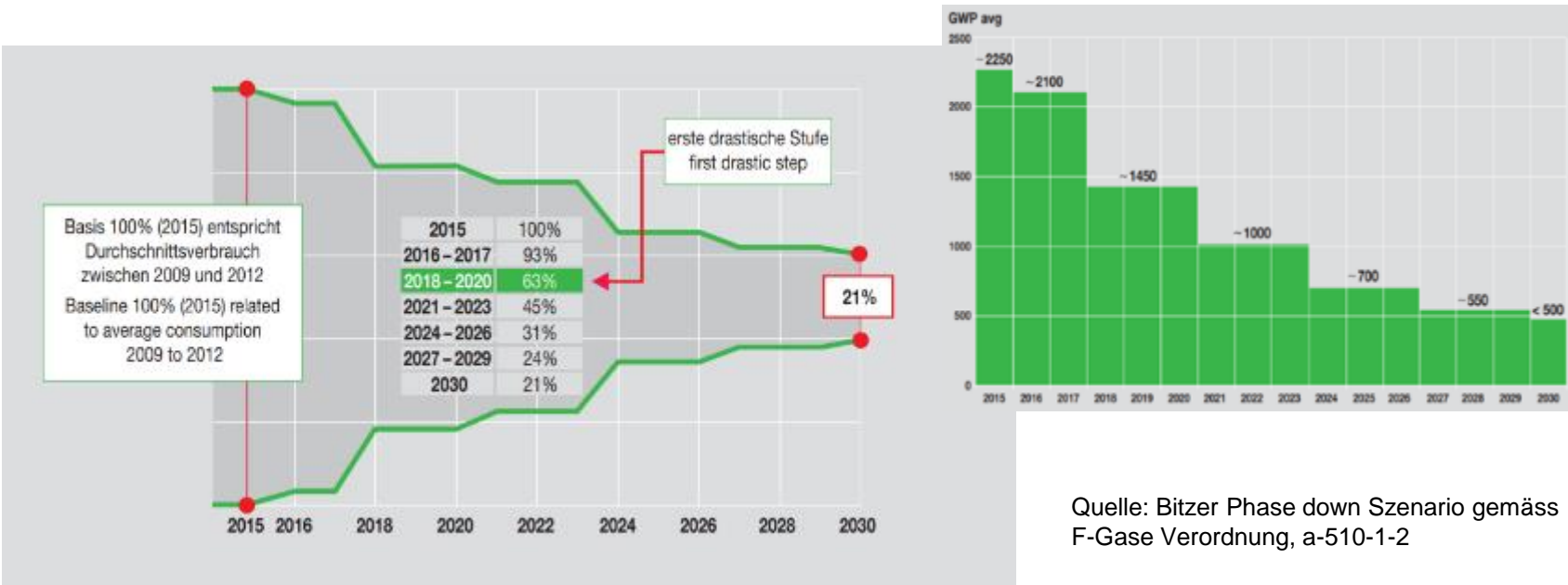


vereinfachte Darstellung

Quelle: dpa, UBA, WWF, WMO

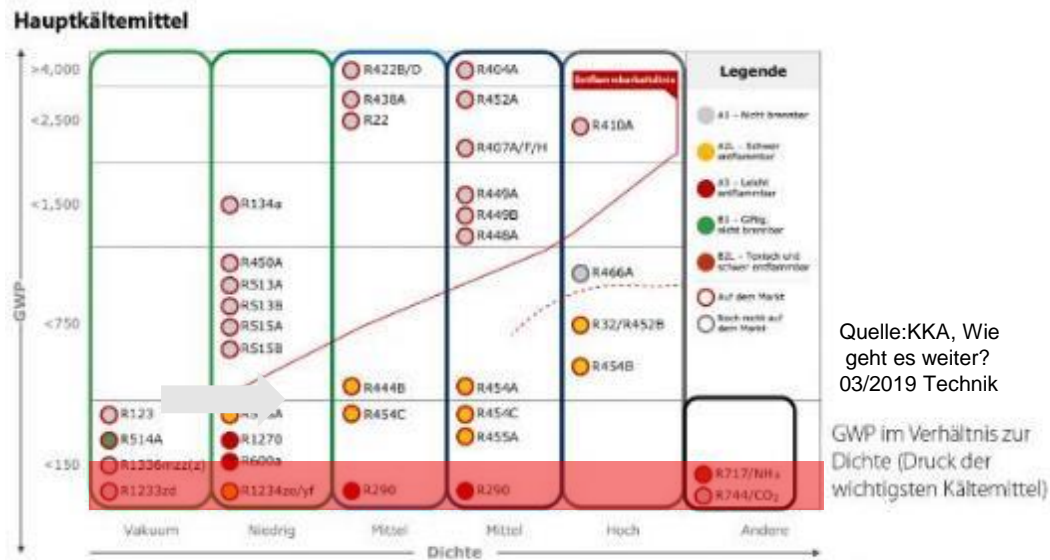
t-online.de

Die europäische **F-Gase Verordnung (EG) Nr. 517/2014**, der auch die **ChemRRV (SR 814.81)** folgt, sieht eine stufenweise Reduktion des Verbrauchs von fluorierten Kohlenwasserstoffen (FKW/HFKW) bis 2030 um 79 % vor. Im **2016** wurde auf der **UN-Konferenz von Kigali** der langfristige weltweiten HFKW/FKW - Ausstieg beschlossen. Dieser wurde 2018 von der Schweiz ratifiziert.



Verfügbarkeit des bei SBB P hauptsächlich angewendeten R134a ist bislang gewährleistet. Kosten seit 1. Reduktionswelle steigend

# Nouvellierung F-Gase Verordnung Trilog Einigung 10/23



Kältemittel mit Kohlenstoffteilen (KW, FKW, HFKW); GWP im Verhältnis zur Dichte (Druck) der wichtigsten Kältemittelgruppen

Kältemittel die nach 2027 mit GWP<150 am Markt zur Verfügung stehen



Quelle: UBA 2021 - Hydrofluorcarbon Emission Reduction: A Crucial Contribution to Climate Protection

EU-Parlament & -Rat haben sich auf einen Kompromissvorschlag zur F-Gase Verordnung geeinigt, der wie folgt aussieht:

- **2050 Beschleunigter Phase-Down** der zur Verfügung stehenden fluorierten Treibhausgasmengen bis **Netto Null**
- **2027 Verbot** von neuen stationären Kälteanlagen, Monoblocken/Klimageräten mit fluorierten Kältemitteln **GWP>150**, so auch R134a sowie **komplettes F-Gase Verbot** für diese Produkte ab **2032**
- **2027 Verbot von Split-Luft-Wasser-Wärmepumpen & -Klimageräten** mit F-Gasen **GWP>150** sowie von Split –Luft-Luft-Wärmepumpen ab **2029** sowie ein **komplettes F-Gase Verbot** ab **2035**.
- **2030 Verbot** stationärer Kälteanlagen (Ausnahme Chiller) F-Gase **GWP>150**
- **2032 Service- und Wartungsverbot** für stationäre Kälteanlagen **GWP>750**, recyceltes Kältemittel ausgenommen.
- **2035 F-Gase Produktion wird neu bis 15% reduziert**, Angebot sinkt weiter.
- **§10c: Klimaanlage & Kühleinrichtungen in Transportmitteln** haben besonders hohe Leckraten aufgrund der beim Transport auftretenden Vibrationen. Die Verordnung verpflichtet Betreiber zur Durchführung von **Leckagekontrollen/** Installation von Leckerkennungssystemen & Rückgewinnung
- **§6a Verweis zur PFAS Regulierung** die 2023 noch verabschiedet wird. **HFOS (Hydrofluorolefine)**, gehören zur Stoffgruppe der **PFAS**. Die nachweislich toxisch für Umwelt & Menschen sind. Einige PFAS lassen sich mit herkömmlichen Methoden nicht aus Boden und Wasser entfernen, weshalb Wasserversorger schon seit Jahren ein Verbot bestimmter PFAS fordern.
- **§32 Ab 2028 ist die Einfuhr und Ausfuhr** von HFKW sowie von Produkten und Einrichtungen, die HFKW enthalten **verboten**.

# Situation Kältemittel in der Schweiz

ChemRRV SR841.81, Anhang 2.10 / Ausgabe 1.6.23 – definiert Stoffe u. -gruppen, welche aufgrund ihrer Wirkung auf die Ozonschicht und das Klima (GWP) als Kältemittel verboten oder nur begrenzt zugelassen sind.

- Details der aktuellen Situation siehe [Kältemittel \(admin.ch\)](https://www.admin.ch/kaltemittel)
- Klimaanlage in Schienenfahrzeugen wurden bislang nicht explizit erwähnt.
- **Seit 2020 gilt bereits das Verbot von Kältemitteln mit einem GWP  $\geq 2500$  für Neuanlagen** (Füllmenge  $\geq 40$  t CO<sub>2</sub>-Äquivalent) und **ab 2030 ein Nachfüllverbot** mit recycelten Kältemittel.

Im Sommer 2023 wurde die Vernehmlassung zur Überarbeitung der Chem RRV geführt.

In der in Vernehmlassung befindlichen **Überarbeitung der ChemRRV, Inkrafttreten voraussichtlich ab 1.5.2024**, werden in Kapitel 2.1 Verbote unter Punkt d. erstmals **«Klimaanlagen, die in Motorfahrzeugen, Schienenfahrzeugen und Schiffen»** verwendet werden eingeschlossen.

Betroffen von Verboten wären dann Kälteanlagen mit luftgekühlten Verflüssigern und einer Leistung  $>50$  kW, bei denen Kältemittel mit **GWP  $> 750$**  zur Anwendung gelangen.

Im Kapitel 2.2 Ausnahmen sind auch dann Ausnahmegewilligungen möglich, wenn:

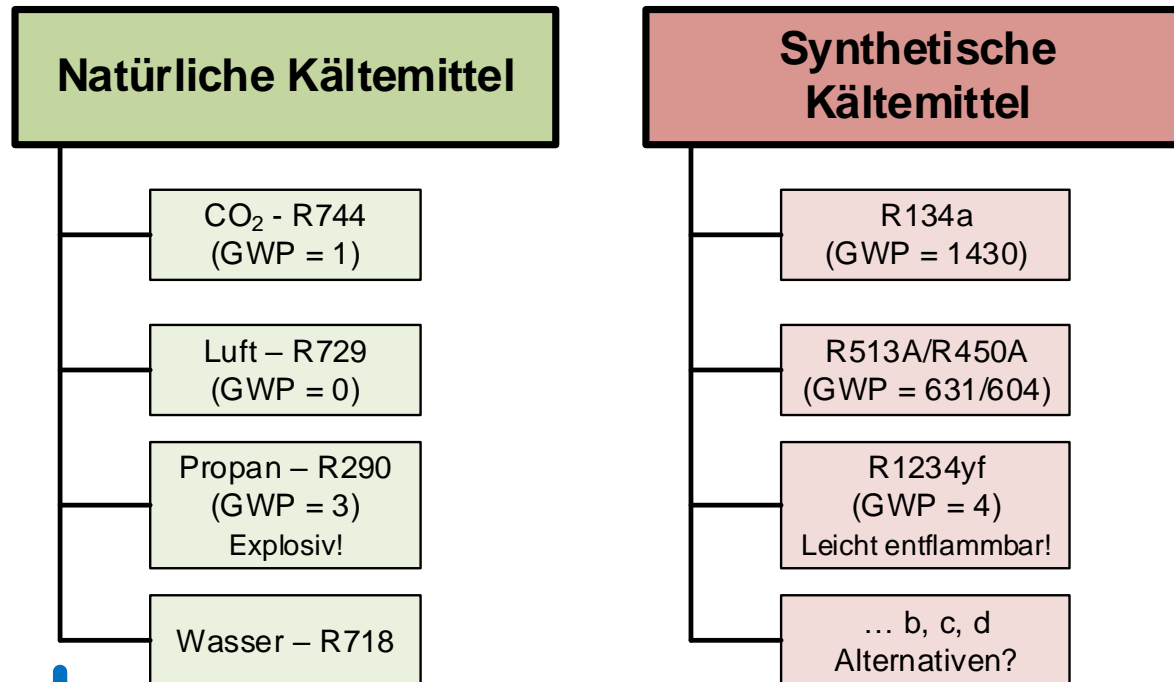
- a. nach dem Stand der Technik ein Ersatz fehlt;
- b. das Kältemittel ein Ozonabbaupotenzial von höchstens 0,0005 aufweist; und
- c. die nach dem Stand der Technik verfügbaren Massnahmen zur Vermeidung von Emissionen des Kältemittels getroffen worden sind.

**Massgebend für die Vorlage der ChemRRV ist lt. BAFU die EU Gesetzgebung.** Da es noch Entwicklungen in der EU gegeben hat (Nouvellierung), wird die Verordnungsänderung anders ausfallen, als die Fassung, die in die Vernehmlassung gegeben wurde. Konsultationen mit der Branche laufen.



# Konsequenzen aus Kältemittel-Reglementierungen

## Quo vadis – Kältemittel?



Welche Technologie ist die richtige für die Zukunft?

## Kältemittel Alternativen (Gefahrenklassen)

- A1 Kältemittel (Synthetisch: Gemische R450A, R513A, R513B,  
Natürlich: R744-CO<sub>2</sub>, R729-Luft)

- A2L Kältemittel (R1234yf, R1234ze)
- A2 Kältemittel (R152a)
- A3 Kältemittel (R290a - Propan, R1270 - Propen)

**Brennbar**

	ungiftig	giftig	→ Kennbuchstabe = Toxizität	A wenig giftig
			→ Kennzahl = Brennbarkeit	1 nicht brennbar,
unbrennbar	A1	B1	Klassifizierung nach ISO 817	
kaum brennbar	A2L	B2L		
brennbar	A2	B2		
explosiv	A3	B3		
			Klassifizierung der Kältemittel gemäss ISO 817	

2L medium entflammbar,  
3 entflammbar,  
3 explosiv



# Kältemittel Alternativen im Vergleich (Auswahl wesentl. Kältemittel für den Bahnklimabereich)

Merkmale	Ökologisch	Thermisch	Chemisch	Physiologisch
Ideale Eigenschaften	Niedriger GWP-Wert (<10) ODP = 0	Hohe Kälteleistung Guter Wärmeübergang Niedrige Drucklage	Zustandsstabil im Kältekreislauf keine Gefährdung bei Leckage keine Zersetzung	Keine Toxizität, keine Gesundheitsgefahr
Kältemittel				
R-134a (HFKW)	GWP = 1430 ODP = 0		Stabil HF Bildung an Heizelementen	MAK=1000
R-1234yf (HFO)	GWP < 5 ODP = 0	Vergleichbar zu R-134a	Langzeitstabilität in Prüfung bei Temperatur > 250°C HF-Bildung TFA-Bildung bei Zerfall in Luft Brennbar	MAK = 200
R-290 (HC)	GWP = 3 ODP = 0	Vergleichbar zu R-134a Wärmepumpe erweitert bis -20°C	Stabil keine hochtoxischen Stoffe bei Reaktion (H <sub>2</sub> O und CO <sub>2</sub> ) Brennbar	MAK=1000
R-729 (Luft)	GWP = 0 ODP = 0	Geringe Wärmekapazität niedrige Leistungszahl Temperaturgleit	Gesundheitlich unbedenklich	
R-744 (CO <sub>2</sub> )	GWP = 1 ODP = 0	Max. Druckniveau von ca. 140 bar	Stabil Nicht brennbar	MAK=5000

Quelle: Faiveley-Wabtec

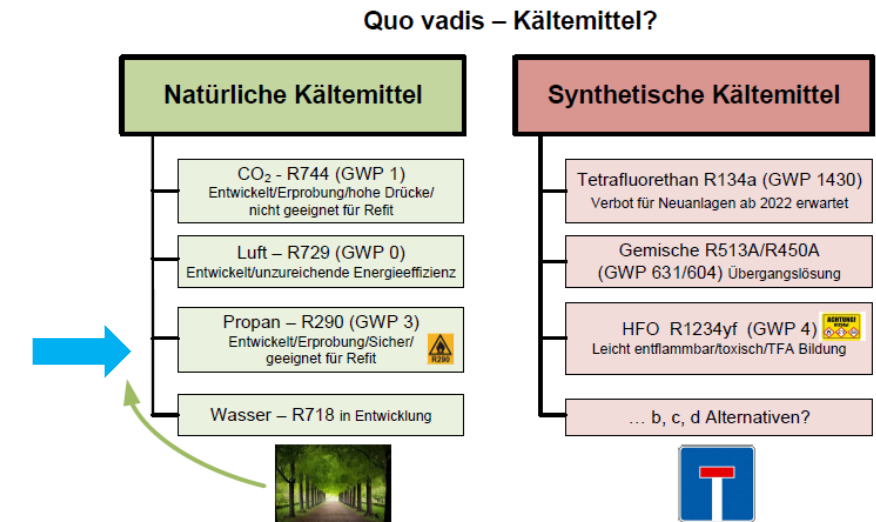
Das der Automobilindustrie 2011 verordnete synthetische Kältemittel R1234yf (HFO-Hydrofluorolefine) wird in immer stärkeren Konzentrationen in der Atmosphäre nachgewiesen (EMPA 2018). Es ist extrem wasserlöslich, algengiftig & enthält schwer abbaubare Trifluoressigsäure (TFA), die über Niederschlag in Gewässer gelangen, dies belegen Untersuchungen in D (UBA) sowie CH (EMPA). TFA ist in der Natur praktisch nicht mehr abbaubar (persistent).

# Fahrzeugbeschaffungsprojekte

- Bereits **seit 2018** wurden bei SBB auf der Basis von **Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen Vergleiche** zu möglichen Alternativkältemitteln, wie CO<sub>2</sub>, Luft, Propan sowie synthetischen Kältemitteln, wie HFO und Blends geführt.
- Aufgrund des geringen GWP's von R290 (3) sowie weiterer Vorteile, wie:
  - geringe Kältemittel-Füllmasse,
  - hoher spezifischer volumetrischer Kälteleistung,
  - möglicher WP-Anwendungem mit hohem COP und breitem Einsatztemperaturbereich,
  - überschaubaren Kosten für Kältemittel etc.

hat sich SBB daraus resultierend im Rahmen des Beschaffungsvorhaben einstöckiger Regionalverkehrszüge (heutige FLIRT Evo) entschieden **natürliche Kältemittel mit einem GWP <10 zu fordern**.

- Im Ergebnis der Angebotsbeurteilungen wurden von allen damaligen Anbietern R290 Kälte-/Klimageräte angeboten.
- Damit waren die Voraussetzungen gegeben für neue Fahrzeuge originär R290 als Kältemittel einzuführen. Der damit erfolgte Entscheid wird zukünftig das Basis-Kältemittel bei SBB sein, da es nicht erstrebenswert sein kann heterogene Kältemittel auf den Fahrzeugflotten anzuwenden.
- Diesem Trend folgen mittlerweile auch andere EVU wie DB und ÖBB



**STADLER**

**MERAK**

Flirt Evo Fahrzeughersteller Stadler, Klimageräte-lieferant MERAK, KKG's FAI durchgeführt

# Prototypentwicklung Refit eines FLIRT RABe523 KKG auf R290

Ausgehend von zukünftigen Kältemittelverboten /-verknappungen wurde die Frage gestellt - Warum nicht ein bestehendes Klimagerät einem Refit zuführen?

Mittels Lastenheft (120 Anforderungen) wurden u.a. folgende Randbedingungen vorgegeben:

- Baugleiche Schnittstellen sowie analoge Leistungsfähigkeit (Kälte und Luftvolumina)
- Software analoge Betriebsarten und Funktionen, evtl. Anpassungen DDS
- Rückwirkungsfreiheit in Bezug auf Energieversorgung sowie analoges akustisches und Vibrationsverhalten
- Definierte Vorgaben zur Ausführung der Kälteanlage
- Sicherheits-/Risiko- und Zündquellenanalysen, Zulassungsdokumentationen im Entwicklungsprozess
- Typentest des Refit-Klimagerätes sowie FAI
- Schulungen Systemverantwortliche und Personal in Instandhaltung und Werkstätten
- Komplette Nachweisführung und Dokumentation

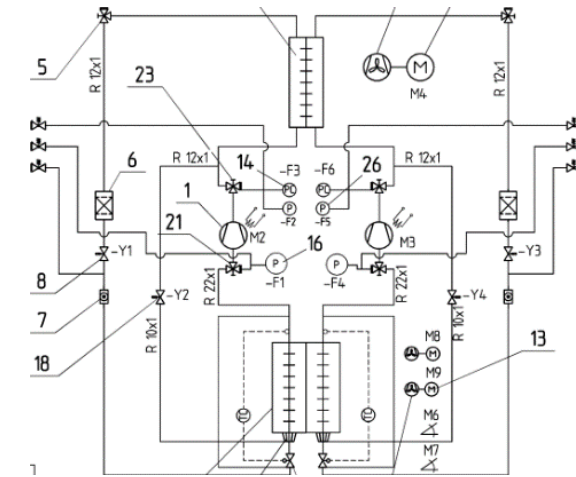


Abb.: Kältekreislaufschema R134a

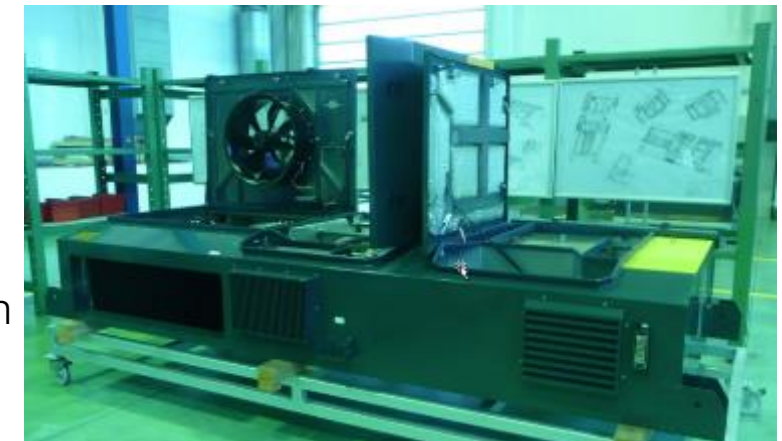


Abb.: KKG Flirt der Baureihe SBB-Art.-Nr.: 723-56-617

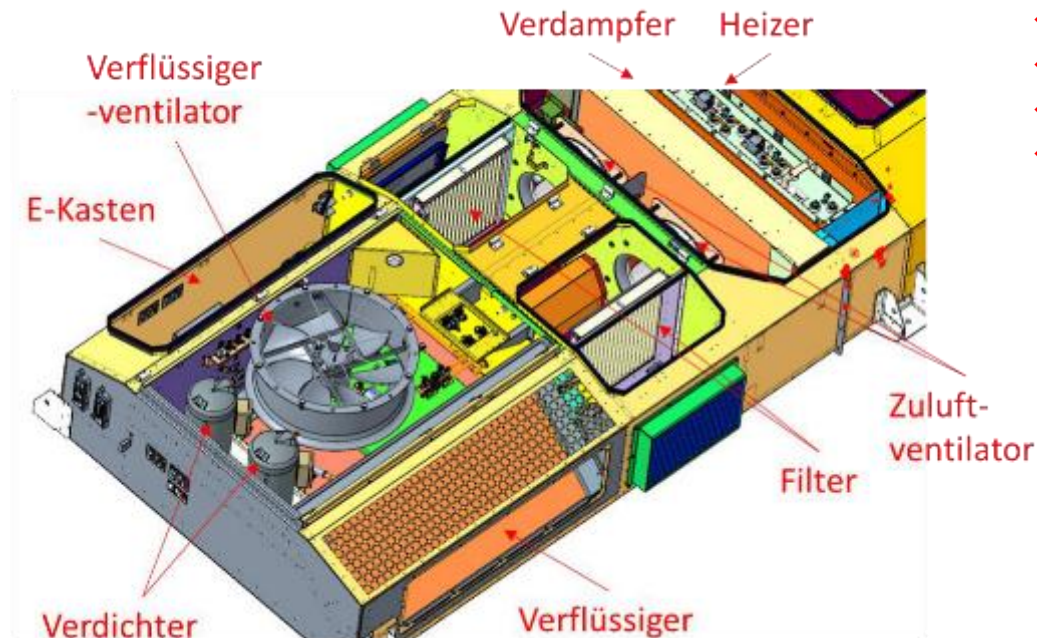
# Infos zu Ausführung R290 - Klimageräte

- a. R290 wird als explosiv, leicht entflammbar, mit geringer Toxizität eingestuft - Kältemittelgruppe A3.  
Selbstentzündungstemperatur 470°C, Untere Explosionsgrenze bei R290: 1.7 Vol.-% oder 38 mg/m<sup>3</sup> in Luft
- b. Die Kälteanlagen sind gemäss SN EN 378-1 / TRGS 722 «**dauerhaft technisch dicht**» ausgeführt. (SUVA 2153 Explosionsschutz) - Begriffe nach TRGS 722
  - ... **technisch dichte Anlagenteile**
    - es sind seltene Freisetzungen an Anlagenteilen zu erwarten
    - betriebsbedingte Freisetzungen => Massnahmen erforderlich (z.B. Lüftung, Ex-Zonen)
  - ... **auf Dauer technisch dichte Anlagenteile**
    - es sind keine Freisetzungen an Anlagenteilen zu erwarten
    - keine betriebsbedingten Freisetzungen => keine Massnahmen erforderlich
- c. **Limitierte Füllmasse an Kältemittel** pro Kältekreislauf, um nicht unter die Vorgaben der SUVA 66139 Kälteanlagen und Wärmepumpen sicher betreiben sowie EKAS 6517 Richtlinie Flüssiggas zu fallen
- d. Dichtheitsprüfung Kältekreislauf nach SN EN 378-2 – mindestens 1 x Jährlich, wie bereits in ChemRWV mit Lecksuchgerät gefordert, sollte beibehalten werden - Empfehlung
- e. Arbeiten an R290 KKG bei Gaskonzentrationen >25% UEG (LFL) ausserhalb und innerhalb der Klimageräte sind gemäss EN378-3 sofort einzustellen. Erfassung mit Gasdetektor / Lecksuchgeräten für R290

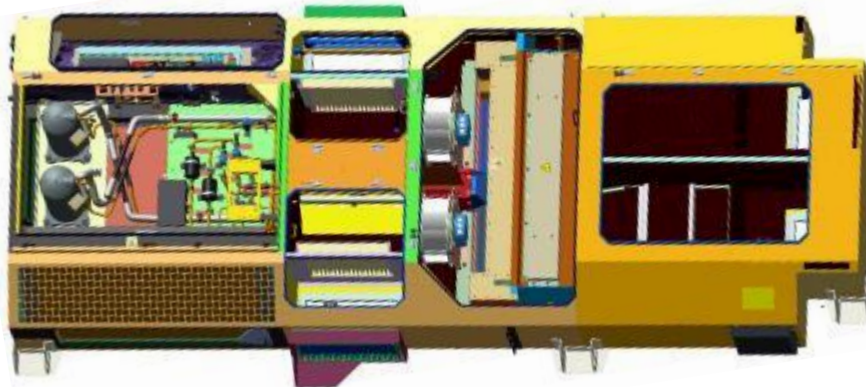


Kennzeichnung EN ISO 7010-W021

# Darstellung der Hauptkomponenten

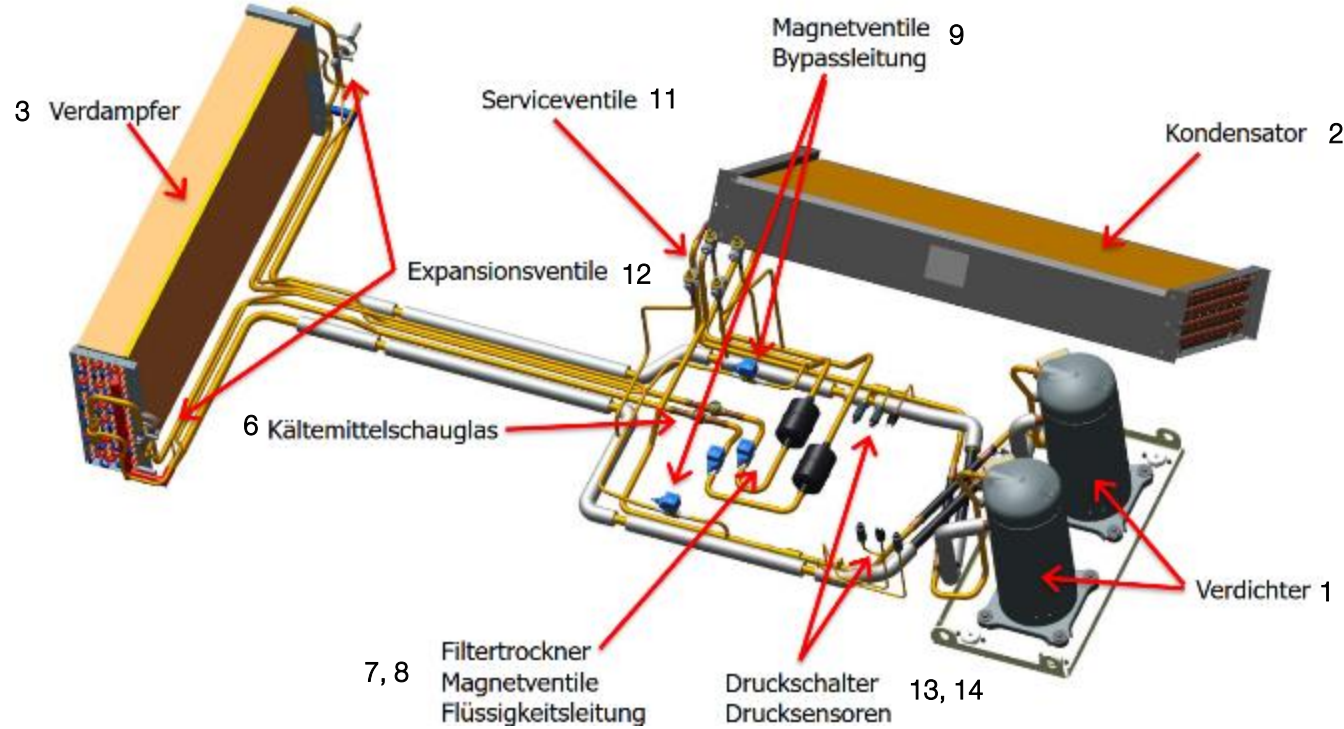


- ❖ Nahezu alle Komponenten des Kältekreislaufes wurden ersetzt
- ❖ E-Tafel wurde gegenüber Kälteteil abgeschottet
- ❖ Verdampfer ist neu mit Kupferrohren / Aluminiumlamellen ausgerüstet.
- ❖ Kammerung kältemittelführende Teile zu Komfortseite



Quelle: FTL / Wabtec

# Kältekreislauf mit R290



- 1 Verdichter
- 2 Verflüssiger
- 3 Verdampfer
- 4 Verflüssigerlüfter
- 5 Zulüfter
- 6 Kältemittelschauglas
- 7 Filtertrockner
- 8 Magnetventil Flüssigkeitsleitung

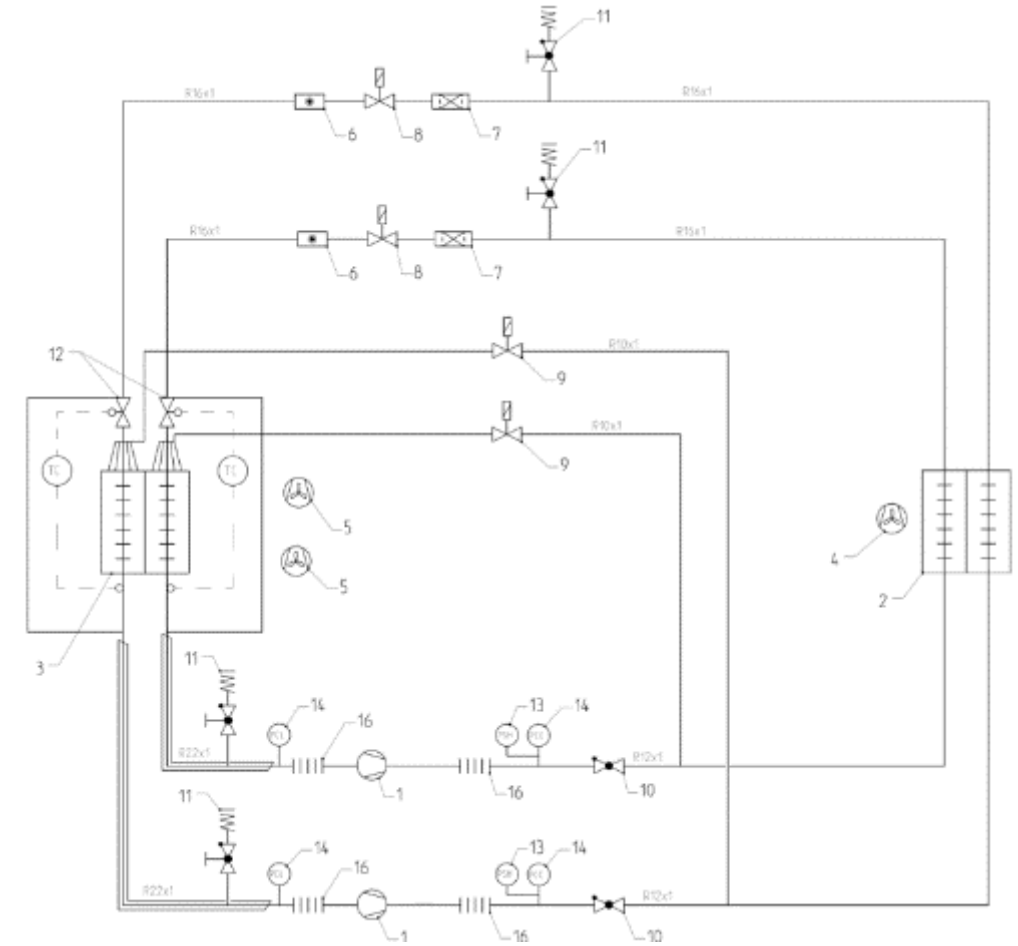
- 9 Magnetventil Bypassleitung
- 10 Rückschlagventil
- 11 Serviceventil
- 12 Expansionsventil
- 13 Druckschalter
- 14 Drucksensor
- 16 Rohrschwingungsdämpfer



Vollhermetisches Magnetventil



Serviceventil (Absperr-Kugelhahn mit zusätzlichem Schraderventil-Einsatz)



Quelle: Faiveley-Wabtec

# VVA & Anordnung Kältemittelrohrleitungen



VVA –Geräteteil

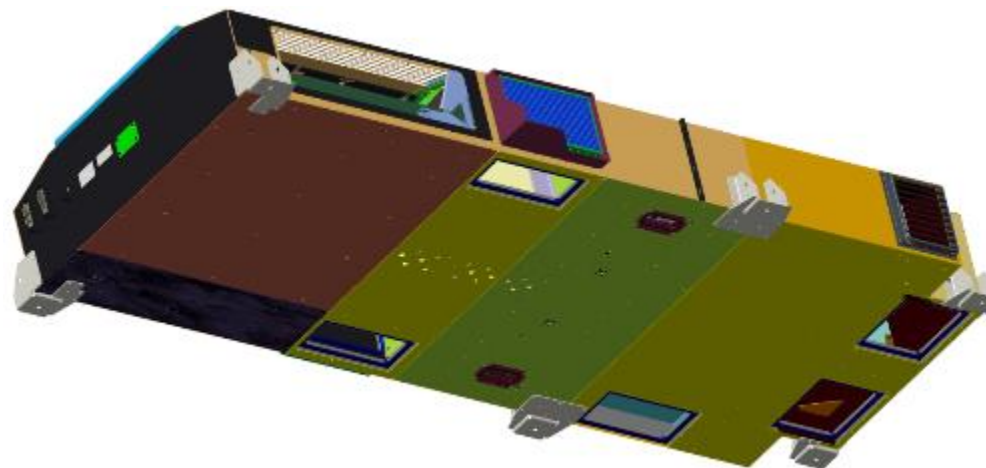


Mg.-Ventile / Filtertrockner



Service-Zone

Entwässerung /  
Entgasung unter  
das Klimagerät



Rohrdurchführung ohne Lötverbindungen

Quelle: FTL / Wabtec

# Technische Daten Klimagerät R134a / R290



Messgröße			Nominaler Auslegungspunkt 35°C Kühlen 100% - 2 Verdichter; 0 Bypass				
			Soll	Ist S67T		Ist F39C	
				Kreis 1	Kreis 2	Kreis 1	Kreis 2
Test-Nr. Typtest:			---	---		5.3.1(1)	
Luftdruck	p <sub>A</sub>	mbar	---	1004		997	
Umgebungstemperatur	t <sub>CAir1</sub>	°C	35,0	35,0		35,5	
Zuluftvolumenstrom gesamt	V <sub>SUP</sub>	m³/h	2800	2791		2819	
Lufttemperatur Eintritt Gerät	t <sub>MIA</sub>	°C	30,0	30,1		30,3	
Luftfeuchte Eintritt Gerät	φ <sub>MIA</sub>	%	53,0	52,8		53,0	
Lufttemperatur Austritt Gerät (Zuluft)	t <sub>SUP</sub>	°C	---	15,4		14,9	
Luftfeuchte Austritt Gerät (Zuluft)	φ <sub>SUP</sub>	%	---	90,6		91,3	
Verdampfungsdruck	p <sub>0</sub>	bar rel.	---	3,1	3,1	4,7	4,8
Verdampfungstemperatur	t <sub>0r</sub>	°C	11,0	9,5	10,0	6,3	6,9
Temperatur KM Verdampferaustritt	t <sub>02h</sub>	°C	---	17,7	17,7	14,6	13,5
Überhitzung Verdampferaustritt	Δt <sub>02h</sub>	K	---	8,2	7,7	8,3	6,6
Temperatur KM Verdichtereintritt	t <sub>0h</sub>	°C	---	20,2	20,2	17,9	16,5
Temperatur KM Verdichteraustritt	t <sub>d1</sub>	°C	---	79,3	77,1	84,2	82,9
Druck Verdichteraustritt	p <sub>d1</sub>	bar rel.	---	13,3	13,7	19,6	19,8
Verflüssigungsdruck	p <sub>cu</sub>	bar rel.	---	12,6	12,8	19,1	19,3
Verflüssigungstemperatur	t <sub>c'</sub>	°C	53,0	51,3	51,8	57,5	58,0
Temperatur KM Verflüssigeraustritt	t <sub>cu</sub>	°C	---	43,1	46,0	51,9	49,9
Unterkühlung Verflüssiger	Δt <sub>cu</sub>	K	---	8,2	5,8	5,5	8,2
Temperatur KM vor Expansionsventil	t <sub>0UTEV</sub>	°C	---	42,2	44,6	49,7	47,3
Kältemittelmassestrom Verdichter	m <sub>R</sub>	kg/min	---	---	---	3,11	3,19
Kälteleistung (kältemittelseitig)	Q <sub>R</sub>	kW	---	---	---	13,7	14,1
Kälteleistung (kältemittelseitig) gesamt	Q <sub>R</sub>	kW	---	---		27,9	
Kälteleistung (luftseitig)	Q <sub>Air</sub>	kW	22,0	24,3		26,3	
Spannung	U	V	400,0	401,9		400,1	
Stromaufnahme Verdichter	I <sub>V</sub>	A	6,5	6,29	6,16	9,12	9,16
Wirkleistung Verdichter	P <sub>W</sub>	kW	---	3,33	3,25	4,95	4,98
Scheinleistung Verdichter	P <sub>S</sub>	kVA	4,5	4,38	4,28	6,32	6,36
Frequenz	f	Hz	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0

## Klimagerät Ist-Zustand R134a

- Kälteleistung Soll: 22 kW / Ist: 24.3 kW
- Kältekreisläufe: 2
- Heizleistung: 14 kW
- Masse: 620 kg
- Füllmasse R134a: 2 x 4.4 kg
- Einstellwert HD-Pressostat Ein/Aus: 16.5/22.5 bar



## Klimagerät Refit R290

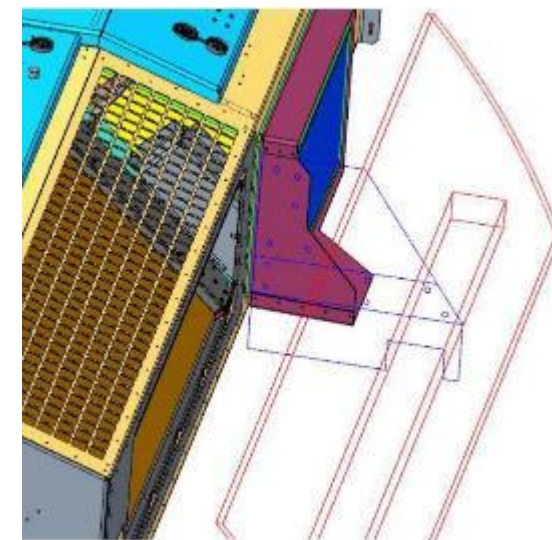
- Kälteleistung Soll: 22 kW / Ist: **26.3 kW**
- Kältekreisläufe: 2
- Heizleistung: 14 kW
- Masse: **633 kg**
- Füllmasse R134a: **2 x 1.08 kg**
- Einstellwert HD-Pressostat Ein/Aus: 21/28 bar



# Ausströmversuche zur Vermeidung Ansaugung von Kältemittel am Aussenlufteintritt im Kältemittel-Leckagefall



Untersuchungen am Fahrzeug und im Versuchslabor



Lösungsansatz zur Vermeidung von Wiederansaugungen

Quelle: FTL / Wabtec

# Meilensteine der Prototypenentwicklung

#	Meilensteine	Termin	Check
1.	Beauftragung der Firma durch die SBB AG	29.07.2022	✓
2.	Lieferung der beiden Kompaktklimageräte an die Firma	08.08.2022	✓
3.	Aktualisierung des Projektplans aus der Angebotsphase	08.08.2022	✓
4.	Design Review	03.02.2023	✓
5.	Design Freeze	08.03.2023	✓
6.	Erstmusterprüfung Prototyp bei der Firma	19./20.09.2023	✓
8.	Schulung der System- und Instandhaltungsverantwortlichen	30.10.2023	✓
7.	Prüfung und Erstinbetriebsetzung des Prototyps am Fahrzeug	30.10.-2.12. 2023	✓
8.	1. Betriebsphase	3.11.-17.11.2023	✓
9.	Klimakammertest bei hohen Lasten und Umgebungstemperaturen	17.11.-01.12.2023	
10.	Einsatz im Regelbetrieb	1.12.23-30.09.24	
10.	Befundung/Probezerlegung Prototypklimagerät im Werk Olten. Details zum	30.09.2024 bis 28.02.2025	
11.	Abgabe finale Dokumentation in allen Sprachvarianten (D, F, I)	30.09.2024 bis 28.02.2025	

# Safety im Handling mit R290 Klimageräten ... Szenarien



## Betrieb

## Fahrzeugwerke (SA, Werke)

## Lagerung

## Komponenten-Werke (spezialisierte Werkstatt)

**Sicherer Zustand:** Kälteanlage dauerhaft technisch dicht (SN EN 378-1 / TRGS 722 / SUVA 2153)

### Betriebsmodi

- Fz – Kommerz-Betrieb / Park-Modi / Überfuhr / Waschmodi / Reinigen / Instandhaltung
- EAO (Diagnose?)

### Diagnose Betrieb

- Ruhedruck Überw./Alarm
- Prüflauf Füllmassebestimmung
- bei stabilen Bedingungen (bsp vor Fzg-IBN?)

### Havarie / Ereignis / Störfall

- Vorsichtsmassnahmen

### Instandhaltung

- Präventiv (T-/MR)
- Kurativ (K)
- Korrektiv

### Diagnose Service Anlage

- Ruhedrucküberwachung (Tag /Nacht) – Problematik: Mehrtägige Auswertung notwendig
- Indikatoren

### DDS-Meldung / Ereignisse

- HLK Kennzeichnung im Leakage-Fall / Freimessen
- Ausbau (Zustand?)
- Notfallkonzepte
- Anlage / Raumvolumen

### Lagerort

- Service Anlage
- Zentrallager
- Klimafertigung

### Lagerzustand

- D- Lager (Zustand: leer, teilgefüllt, befüllt)
- A- Lager (befüllt)
- Aus EB- Lager (neu)

## Transport

- Intern SA und/oder Fahrzeugwerk
- Extern

### Tätigkeiten mit Öffnung Kältekreislauf

- Störungsbehebung (Kennzeichnung KKG)
- Revisionen (MR) mit Komponententausch
- Anpassungen an der Anlage/Infrastruktur erforderlich

### Mög. Gefahren Zündquellen:

- LFL (UEG) = 38 gr/m<sup>3</sup>
- Kritisch bei max. 25% = <10 gr/m<sup>3</sup>
- MAIN – stat. Ladung
- 470 °C Flammpunkt
- Elektrik / Funken / Überschläge

## Ausbildung (SN EN 13313) – Informationen / Notfallkonzepte

**Unsicherer Zustand:** Defekt, Havarie (Leakage Kältekreis unbestimmtes Ausmass)

# R290 Anforderungen an Instandhaltung

## Beschaffung für Propan geeigneter Werkzeuge und Hilfsmittel

- Propan (R290) gehört als brennbares Kältemittel der Sicherheitsgruppe A3 an, das macht die Anschaffung zusätzlicher Werkzeuge und Hilfsmittel erforderlich
- Erforderliches Werkzeug - vergleichbare Geräte sind auch für die R134a-Instandhaltung im Einsatz
  - mobile Propandektoren als persönliche Schutzausrüstung, so z.B. Dräger X-am® 2500 / 5000
  - Lecksuchgeräte mit Prüflecks, so z.B. Lecksuchgerät Bosch CS LD 1.0, A1,A2L,A3 1,000 575,36 1 575,35 für KM, Mischungen, KWs, Formiergas, NH<sub>3</sub>
  - Absauggeräte, so z.B. Absauggerät Bosch RG 4.0A 1-Zylinder
  - Vakuumpumpen, z.B. Vakuumpumpe RS3D-EX für Propan
  - Kältemittel-Recyclingflaschen
  - Monteurhilfen (analog, digitale Monteurhilfen)
  - Füllgerät, Vulkan Rockall HC



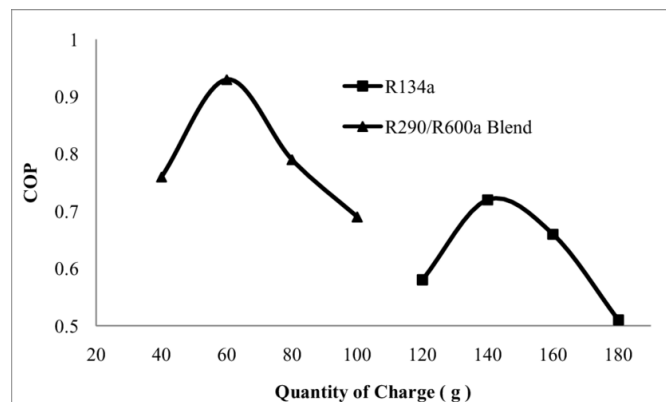
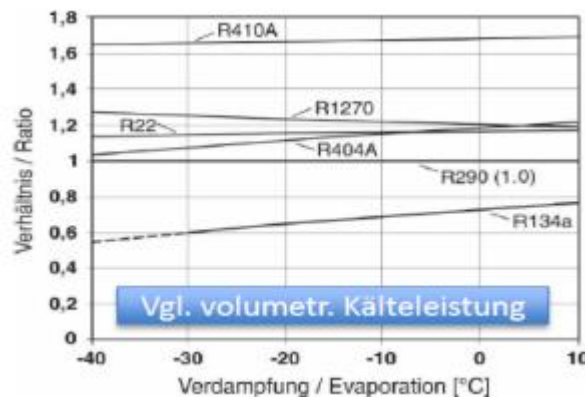
Danke für die  
Aufmerksamkeit

Beilage / Backup



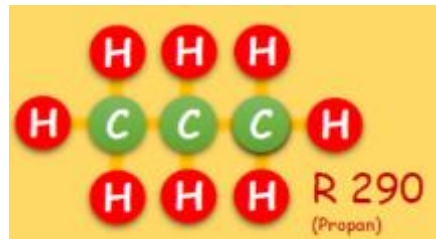
# Kältemittel Propan (R290) – Pro

- Erstanwendungen in der Industrie 1930. Seit 1990 Renaissance. 1995 in 20 Mio. Haushaltskühlschränken und gewerblichen Wärmepumpen R600a/R290 verbaut. Anwendungen in Kaltwassersätzen mit Leistungen von 2-970 kW
- Geringere KM-Füllmengen aufgrund höherer Verdampfungsenthalpie und volumetrischer Kälteleistung (Propan Reduktion Füllmasse auf ca. 50-60% gegenüber R134a)
- Grösserer Wärmepumpen-Einsatzbereich als R134a (Ist -8 bis -10°C), d.h. bis -20°C
- Günstigerer COP, d.h. geringerer Energieverbrauch ca. 0.7-0.8 gegenüber R134a-Kälteanlagen
- Keine Materialunverträglichkeiten, d.h. Eignung heute üblicher Cu-Werkstoffe, wodurch der Einsatz von halbhermetischen und hermetischen Verdichtern möglich ist.
- Breites Sortiment von State of the Art (Standard) - Komponenten am Markt verfügbar, so z.B. Kältekompressoren Fa. Danfoss (Secop), Bitzer, Tecumseh, GEA-Bock, Emerson, ...
- Als Schmierstoffe lassen sich in einem weiten Anwendungsbereich sämtliche am Markt verfügbaren Öle für Kältekompressoren verwenden Polyol-Ester (POE), Polyalpha-Olefine (PAO) und I



# Kältemittel Propan (R290) – Contra

- R290 wird als explosiv, leicht entflammbar, mit geringer Toxizität eingestuft - Kältemittelgruppe A3.  
Selbstentzündungstemperatur 470°C, Untere / obere Explosionsgrenze bei R290: 1.7 / 10.9 Vol.-% in Luft
- Das führt dazu, dass eine relativ aufwändige Ausführung des Systems entsprechend «auf Dauer technisch dichte Anlage» ausgeführt werden müssen.
- Zusätzlich müssen spezielle Risiko-Bewertungen (FMECA, Design FMEA, HAZOP & Zündquellenanalyse durchgeführt werden
- Höhere Dichte als Luft Faktor 1.5, d.h. Propan ist schwerer (Ablagerung am Boden, in Gruben,...)
- Die Ausführungsbestimmungen sind in Normen definiert (z.B. EN 378 / VDMA 24020 / TRBS 2152 Teil 2 / TRGS 722).



## Kältemittel Alternativen (Gefahrenklassen) gemäss ISO 817

- A1 Kältemittel (Synthetisch: Gemische R450A, R513A, R513B,  
Natürlich: R744-CO<sub>2</sub>, R729-Luft)

- A2L Kältemittel (R1234yf, R1234ze)
- A2 Kältemittel (R152a)
- A3 Kältemittel (R290a - Propan, R1270 - Propan)

**Brennbar**

	ungiftig	giftig
unbrennbar	A1	B1
kaum brennbar	A2L	B2L
brennbar	A2	B2
explosiv	A3	B3

→ Kennbuchstabe = Toxizität A wenig giftig  
 → Kennzahl = Brennbarkeit 1 nicht brennbar,  
 2L medium entflammbar,  
 2 entflammbar,  
 3 explosiv  
 Klassifizierung nach ISO 817

R134a  
R290

A1 – Kältemittel (geringe Toxizität, unbrennbar)  
 A3 – Kältemittel (geringe Toxizität, hoch entzündlich)

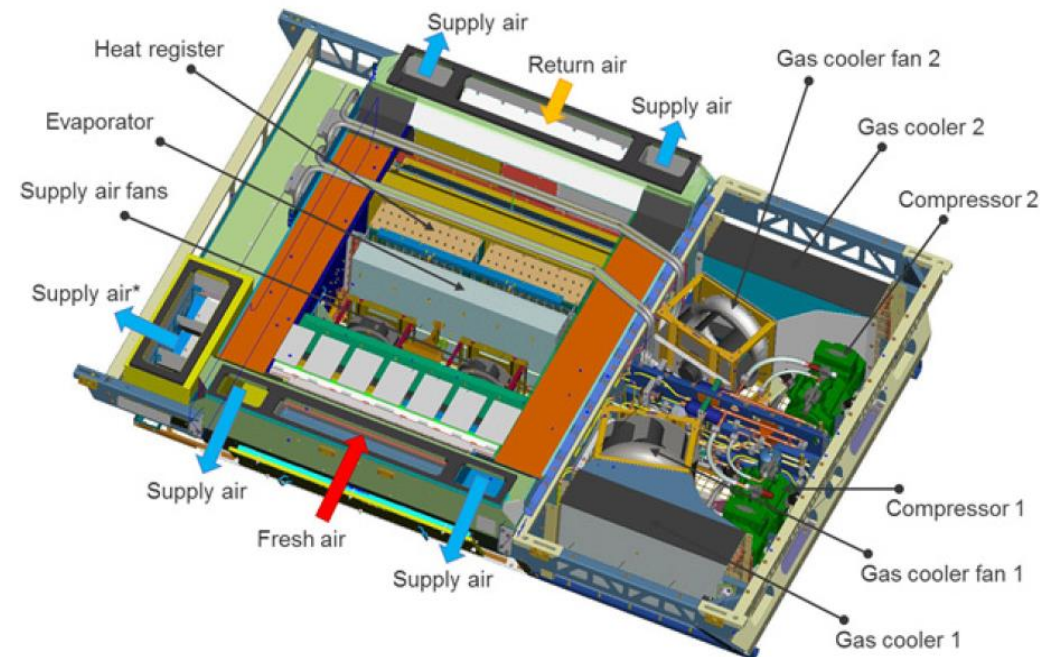
## Kältemittel CO<sub>2</sub> (R744) – Pro & Contra

- **GWP von 1** & ist nahezu unbegrenzt in der Natur verfügbar.
- CO<sub>2</sub> ist in geringen Konzentrationen ungiftig, **nicht brennbar und chemisch-thermisch stabil**.
- Infolge hoher volumetrischer Kälteleistung bauen Kältekreisläufe mit CO<sub>2</sub> **klein & kompakt**.
- **Für Wärmepumpenanwendungen geeignet**, da hohe Vorlauftemperaturen erzeugbar.
- In Schweiz seit 90er Jahren vermehrt in **Supermarkt-Kälteanlagen** bei Migros, Lidl angewendet

**Risiko CO<sub>2</sub> Einfluss auf den Atemprozess** mit folgenden Reaktionen:

- 3% (30'000 ppm) Hyperventilation; 5% (50'000 ppm) narkotisierende Wirkung
- 10% (100'000 ppm) Koma; 30% (300'000 ppm) führt schnell zum Tod (Luft enthält 0.025-0.04% CO<sub>2</sub> (250-400 ppm). **CO<sub>2</sub> - Geruchlos = Gefahr für Betrieb & Instandhaltung**

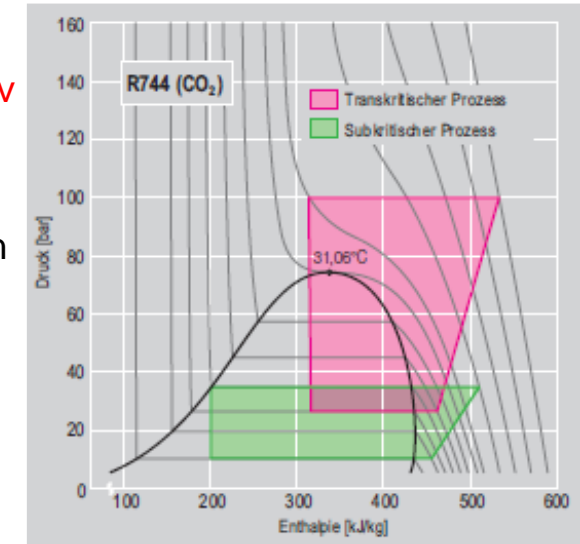
EN 378 fordert **CO<sub>2</sub>-Detektoren** ab Füllmasse ≥ 25 kg, Empfehlung 5'000 ppm für Voralarm- 10'000 ppm für Hauptalarm, Grenzen entsprechen etwa TSI Loc & Pas.



CO<sub>2</sub>- Prototypklimagerät (ÖBB Rail Jet) Consortium Eco2Jet-Projekt (ÖBB, Liebherr, TU Graz, Obrist Engineering, Virtual Vehicle, IESTA,...)

# CO<sub>2</sub> (R744) - Kälteanlage im Vergleich zu R134a

- Die **Betriebsdrücke CO<sub>2</sub> ca. 5...6 höher als bei R134a**, d.h. bis 150 bar somit abnahmepflichtige Druckbehälter nach Druckgeräterichtlinie 97/23/EG. **Hohes Sicherheitsdispositiv für Betrieb und Instandhaltung, zusätzlicher Ausbildungsbedarf.** Bauartenbedingt ist ein **Druckentlastungsventil** erforderlich.
- Verrohrungen massiver und meist aus Stahl- anstatt bisher Cu-Rohr, d.h. Massezu-wachsraten pro Fzg. von ca. 100...150 kg.
- Die „kritische Temperatur“ von R744 liegt bei  $t = 31^{\circ}\text{C}$ . Folge, dass R744 an heißen Tagen durch die Aussenluft nicht mehr verflüssigt werden kann. Ersatz des heutigen Verflüssigers durch einen **Gaskühler**. **Betrieb der Kälteanlage im transkritischen Bereich**
- **Geringerer COP** bedingt **höheren Energiebezug ca. 1.20-1.30**, d.h. leistungsfähigere **Energieversorgungssysteme** auf den Fahrzeugen erforderlich
- Verschiedene Komponenten, wie Wärmetauscher (Gaskühler), Kompressoren, Expansions- u. Umschaltventile am Markt **nur begrenzt** verfügbar.



R744 Druck-Enthalpie Diagramm,  
Quelle: Bitzer Kältemittelreport A500-20



Prototyp CO<sub>2</sub>-Klimagerät Fa.  
Faiveley-Wabtec auf FLIRT  
NSB