



DESIGNING INNOVATIVE SOLUTIONS

 United Technologies

Entwicklung von HFO- Kältemaschinen

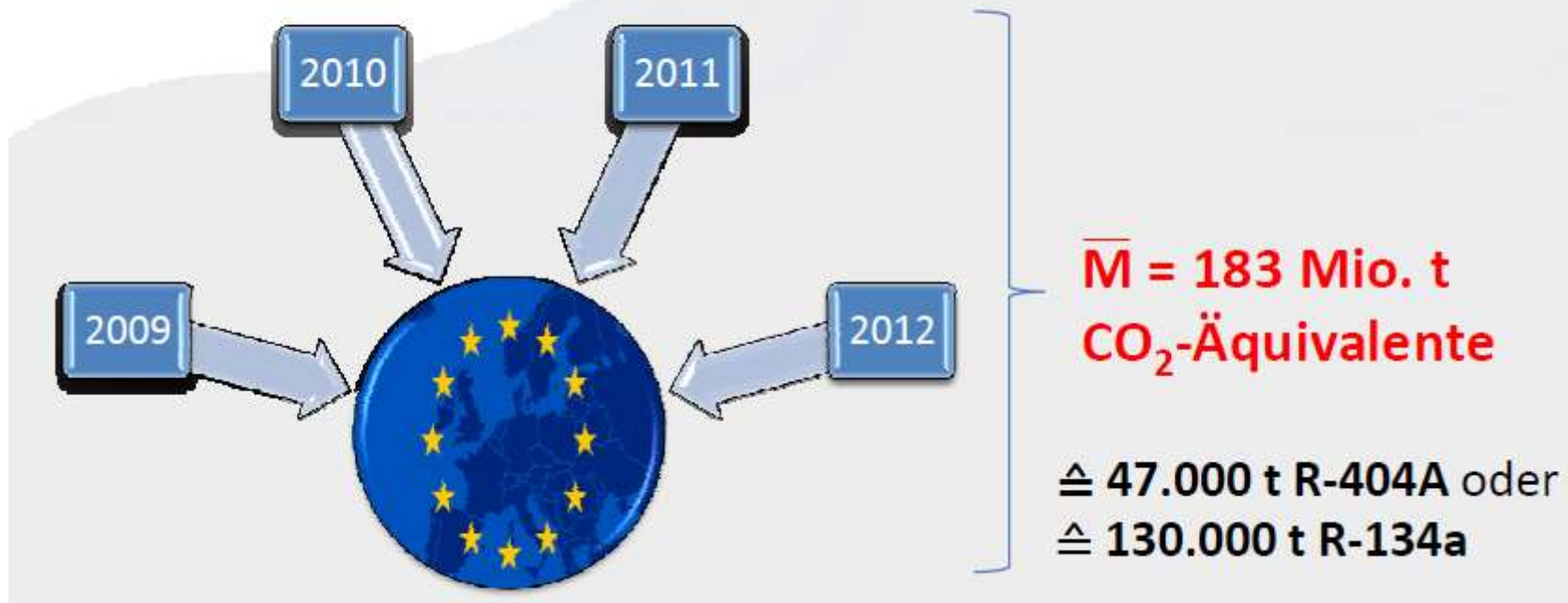
Anwendungsperspektiven und Erfahrungen in der Klimatechnik

Wilfried Buschmann
stellvertr. Vertriebsleiter Nord

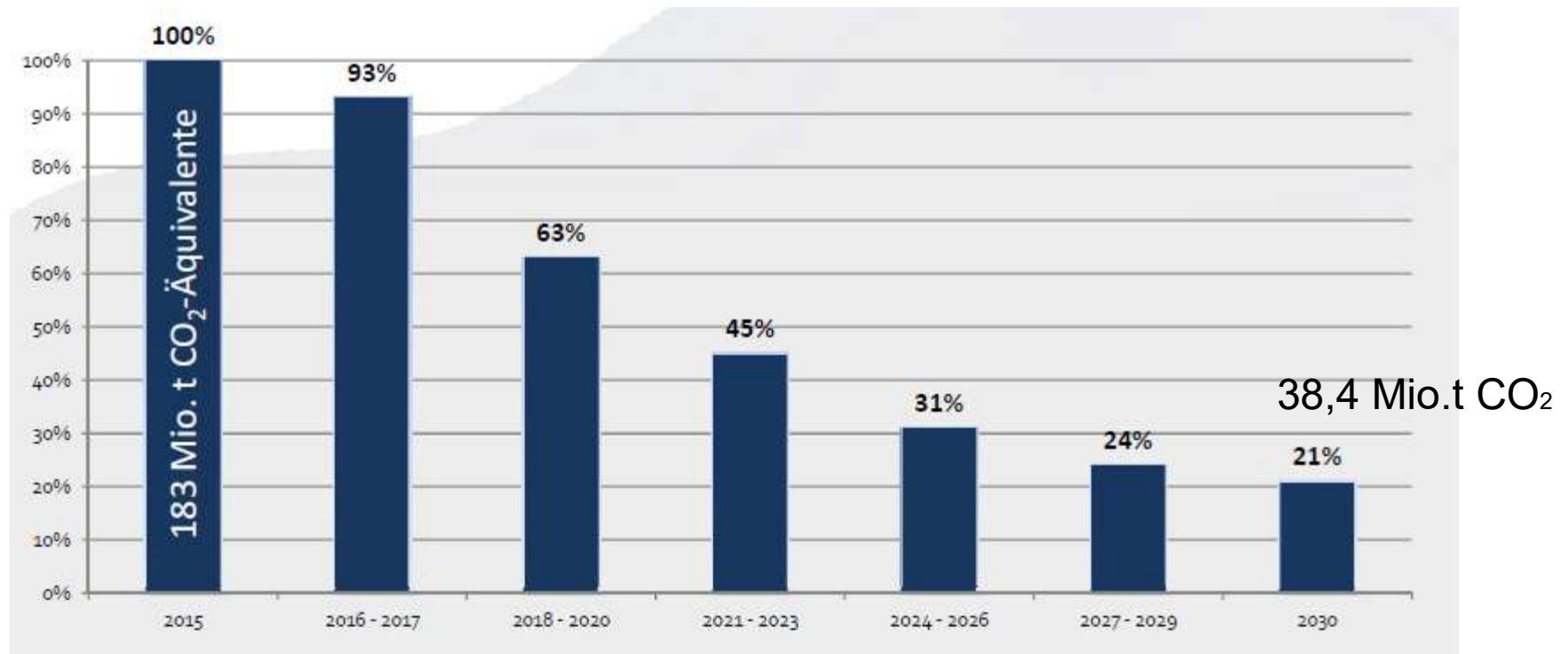
FKW-QUOTEN & REDUZIERUNG

Startwert für Phase-Down:

Mittelwert der eingeführten und produzierten Mengen der Jahre 2009 bis 2012



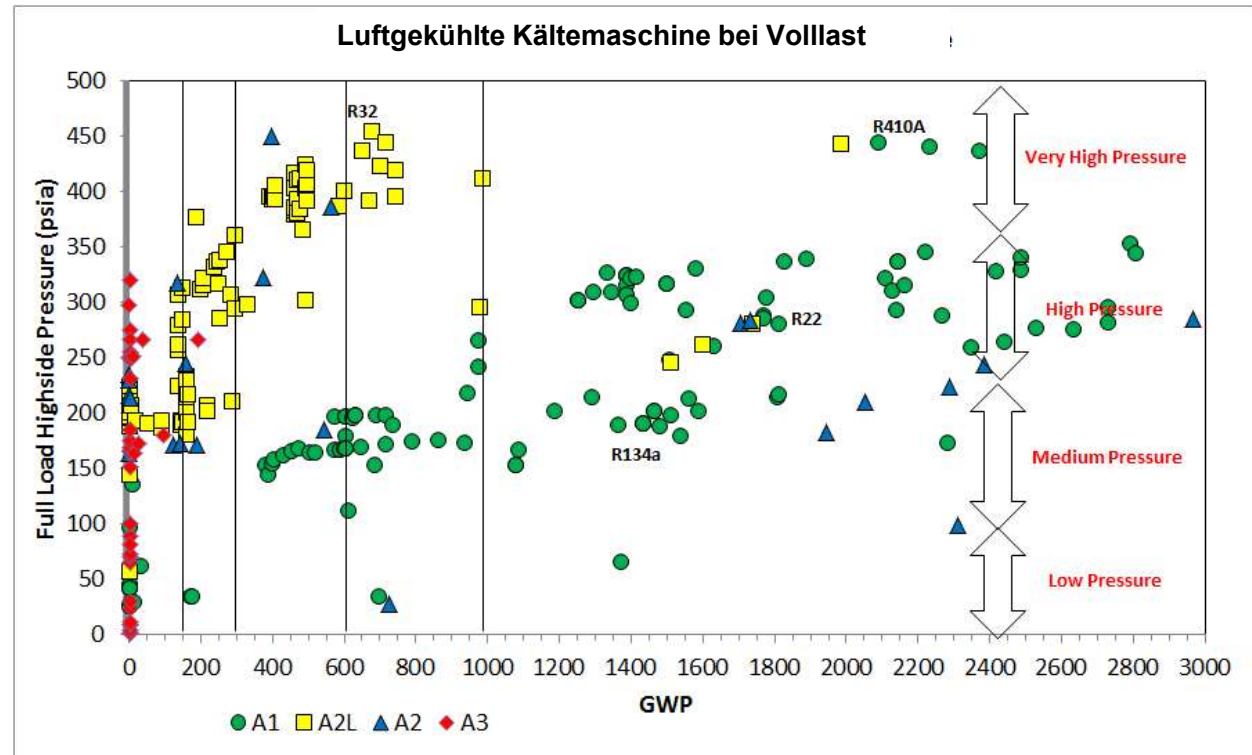
FKW-QUOTEN & REDUZIERUNG



UNTERSUCHUNGS-PHASE

Auswertung basiert auf:

- Treibhauspotential
- Toxizität/Entflammbarkeit
- Leistungen
- Kosten- & Technologieeinfluss



Quelle: Carrier-Schätzungen, basierend auf Tests & Simulationen

Etwa 320 Kältemittel ausgewertet

ALTERNATIVE KÄLTEMITTEL



- ✓ sehr geringer GWP, ≈ 1
- ✓ ungiftig

R1234ze

- ✓ Ist ein HFO, *HydroFluoroOlefin*
- ✓ Ist der von Carrier als Bester ermittelte Kandidat, um R134a für Schraubenkompressoren zu ersetzen

→ ungefährlich für den Menschen beim einatmen
 → ...nicht immer der Fall (siehe Ammoniak):

	Ammoniak(R717)	R1234ze(E)
GWP	0 (natürlich)	<1 (HFO)
ODP	0	0
Toxizität	Klasse B (giftig)	Klasse A (ungiftig)

...mit vielen anderen Vorteilen:

Flammpunkt	2L Flammpunkt bei Zimmertemperatur	2L Nicht flammpunkt bei Zimmertemperatur
Effizienz	Nahe zu R134a	Nahe zu R134a
Systemkosten	hoch	mittel
Wartungskosten	hoch	nieder
Anwendungsmöglichkeiten	Beschränkt auf niedrigere Verflüssigungstemperaturen $[Heißgas\ p, T]_{NH_3} > [Heißgas\ p, T]_{R134a}$	Gleich/besser als R134a $[Heißgas\ p, T]_{R1234ze} < [Heißgas\ p, T]_{R134a}$



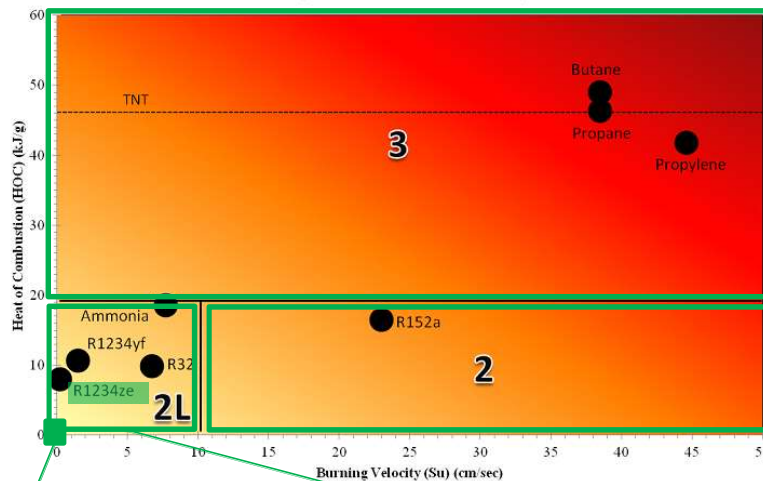
United Technologies

ALTERNATIVE KÄLTEMITTEL

- ✓ sehr geringer GWP, ≈ 1
- ✓ ungiftig
- ✓ Nicht flammbar bei Zimmertemperatur

R1234ze

- ✓ Ist ein HFO, *HydroFluoroOlefin*
- ✓ Ist der von Carrier als **Bester** ermittelte Kandidat, um R134a für Schraubenkompressoren zu ersetzen



Klasse 3
Leicht entflammbare Substanzen
(großer Wärmeinhalt bei Verbrennung)

Klasse 2
Entflammbare Substanzen
Geringer Wärmeinhalt bei Verbrennung

Klasse 2L
Schwer entflammbare Substanzen
Geringe Flammausbreitungsgeschwindigkeit und
Wärmeinhalt

R1234ze - unter den Besten in der A2L Klasse: schwer entzündlich
→ wenn entzündet, Flammgeschwindigkeit ↓
→ Risiko gefährlicher Druckwellen ↓
→ Entzündung und Flammausbreitung nur über 30°C
→ Entzündung und Flammausbreitung nur bei Gaskonzentrationen zwischen 5.7 und 11.3% bei Atmosphärendruck

Klasse 1
Nicht brennbare Substanzen



- ✓ sehr geringer GWP, ≈ 1
- ✓ ungiftig
- ✓ Nicht flammbar bei Zimmertemperatur
- ✓ Langzeitlösung

R1234ze

- ✓ Ist ein HFO, *HydroFluoroOlefin*
- ✓ Ist der von Carrier als **Bester** ermittelte Kandidat, um R134a für Schraubenkompressoren zu ersetzen

→ bestes Gleichgewicht zwischen:

- ✓ GWP
- ✓ Kosten
- ✓ Effizienz
- ✓ Umgang (Logistik, Marktverfügbarkeit, Herstellung, ...)

→ Beste Alternative zu R134a



Explosions Sicherheit

Technische Regeln für Betriebssicherheit/ Gefahrstoffe	Vermeidung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre	TRBS 2152 Teil 2/TRGS 722
--	---	---------------------------

Wenn Geräte “dauerhaft technisch dicht “ nach TRBS 2151 sind, dann muß an der Maschine und deren Aufstellung nichts weiter berücksichtigt werden.

Definition Dauerhaft technisch dicht (Artikel 2)	
geschweisste, gelötete oder ähnliche unlösbare Verbindungen.	Ja
Gesicherter Service Anschluss (Kappe) (Schrader Ventil)	Ja
Service Ventil (Rotalock) mit Kappe	Ja
Schraub und Flanschverbindungen	Nein
Entlastungsventil	Nein

Daher nur “technisch dicht “ nach TRBS 2151



Explosions Sicherheit

Technische Regeln für Betriebssicherheit/ Gefahrstoffe	Vermeidung oder Einschränkung gefährlicher explosionsfähiger Atmosphäre	TRBS 2152 Teil 2/TRGS 722
---	---	------------------------------

Wenn Geräte nur “ technisch dicht “ nach TRBS 2152 sind, muß der Ort an dem sie installiert werden als “ Gefährdungszone Klasse 2 „ bezeichnet werden und folgende Ausrüstung muß vorhanden sein.

- Explosionsgeschützte Beleuchtung und Lüfter
 - Unabhängige Stromversorgung (z.B. Sicherstellung durch Batteriebetrieb bei Stromausfall)
 - Belüftung (Lüftungsführung berücksichtigen)
- Sicherheitsventile/Entlastungsventile müssen nach außen in einen ungefährdeten Bereich abblasen (Klasse 2)
- Gas-Warnsystem (Konzentrationsmessung mit 25% LFL-Erkennung)
(LFL = lower flammable Limit = untere Entzündungsgrenze (EN 378)



INSTALLATIONS-ANFORDERUNGEN

Alle HFO-Maschinen müssen in einen besonderen Maschinenraum

A2L-Maschinenraum-Sicherheitsanforderungen aus EN 378 (2017)

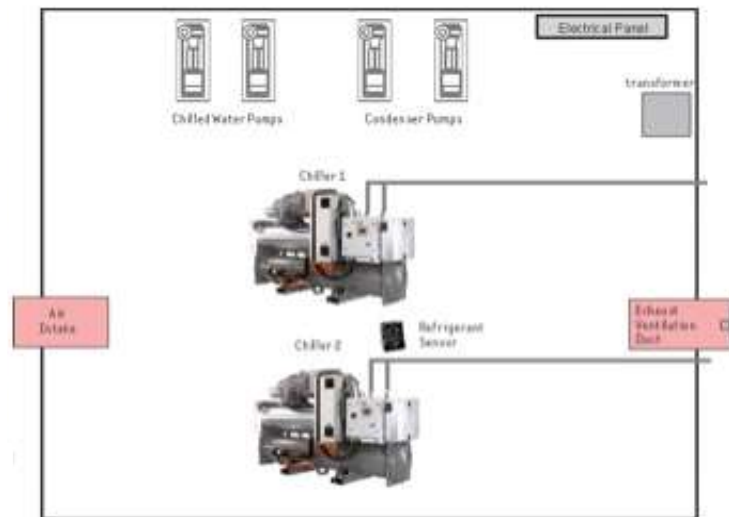


INSTALLATIONS-ANFORDERUNGEN

Alle HFO-Maschinen müssen in einen besonderen Maschinenraum

A2L-Maschinenraum-Sicherheitsanforderungen aus EN 378 (2017)

Typischer Anlagenraum
(nur geregelter Zugang – Kategorie C)





INSTALLATIONS-ANFORDERUNGEN

Alle HFO-Maschinen müssen in einen besonderen Maschinenraum

A2L-Maschinenraum-Sicherheitsanforderungen aus EN 378 (2017)

Maschinenraum

Sicherer
Fluchtweg

Keine offenen Flammen,
Zündquellen-Kontrolle

Zündquellen
kontrolle
durch
Frischluf-
versorgung
des Schalt-
schrankes

Keine Verbrennungs-
Ausrüstung

Notausgang und
Beschilderung

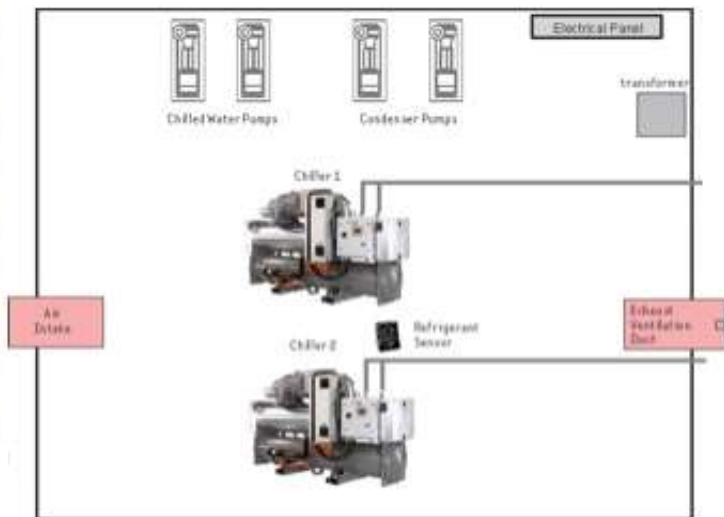
Keine Lagerung von
brennbarem Material

Paniksichere
Türen

Entlastungsventile nach
draußen entlüftet

Notabschaltsystem
außerhalb

Typischer Anlagenraum (nur geregelter Zugang – Kategorie C)



INSTALLATIONS-ANFORDERUNGEN

Alle HFO-Maschinen müssen in einen besonderen Maschinenraum

A2L-Maschinenraum-Sicherheitsanforderungen aus EN 378 (2017)

Maschinenraum

Sicherer
Fluchtweg

Keine offenen Flammen,
Zündquellen-Kontrolle

Zündquellen
kontrolle
durch
Frischluf-
versorgung
des Schalt-
schrankes

Keine Verbrennungs-
Ausrüstung

Notausgang und
Beschilderung

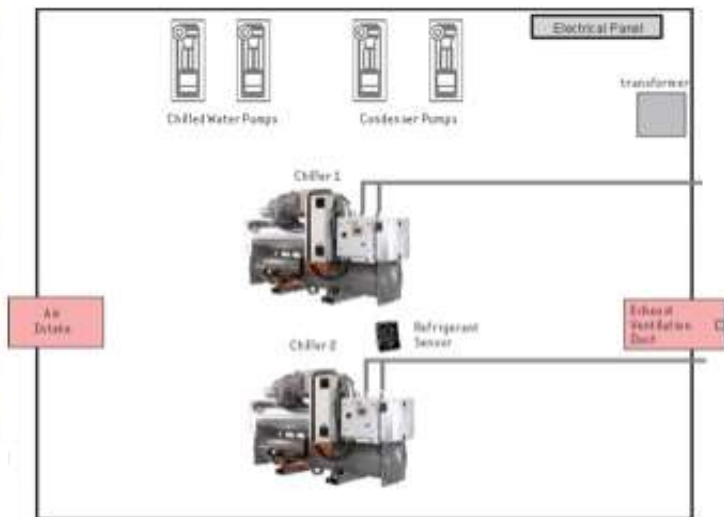
Keine Lagerung von
brennbarem Material

Paniksichere
Türen

Entlastungsventile nach
draußen entlüftet

Notabschaltsystem
außerhalb

Typischer Anlagenraum (nur geregelter Zugang – Kategorie C)



Lüftung/Alarm

Normale Lüftung
4-facher Luftwechsel/h

LFL Kontrolle
Gas-
warnsystem

Notbelüftung max.
15-facher Luftwechsel/h

Automatische
Fehlererkennung
Kältemittelsensoren

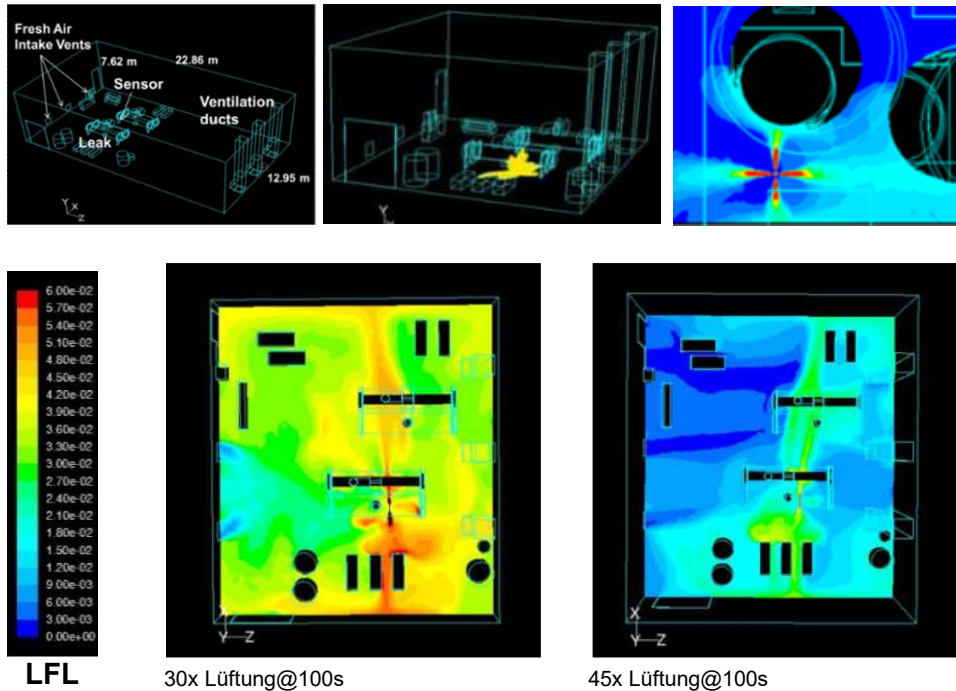
Alarmer sicht-und hörbar
Hupe und Warnlicht

Alarm startet Belüftung
& stoppt alle Maschinen

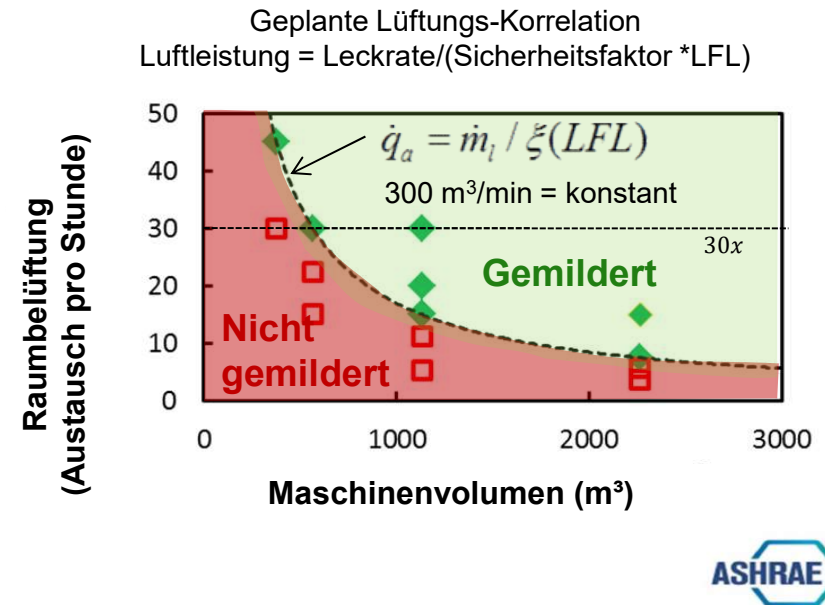
Ex Schutz Belüftungs-
und
Beleuchtungssystem

NEUE MASSSTÄBE SETZEN

R-1234ze(E)-Lecks im Anlagenraum



Auswertung der Lüftungs-Milderungserfordernisse



Entwickelte Lüftungsraten-Korrelation für gefährliche Leckagen von 2L-Kältemitteln (>100 kg Füllmenge) in Anlagenräumen – Vorlage nach **ASHRAE**-Norm 15 und ISO 5149 zur Annahme

NEUE MASSSTÄBE SETZEN

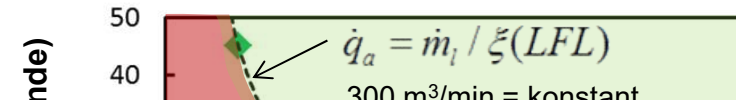
R-1234ze(E)-Lecks im Anlagenraum



$$V = 14 \times 10^{-3} \times m^{2/3}$$

Auswertung der Lüftungs-Milderungserfordernisse

Geplante Lüftungs-Korrelation
 Luftleistung = Leckrate / (Sicherheitsfaktor * LFL)



Forderung aus der EN 378-3 (2017)

Dabei ist

V der Luftstrom, in m^3/s ;

m die Masse der Kältemittel-Füllmenge, in kg, in der Kälteanlage mit der größten Füllmenge, die sich mit irgendeinem Teil in dem Maschinenraum befindet;

14×10^{-3} ein Umrechnungsfaktor.

ASME Untersuchung geht von alleiniger Maßnahme zur Risikominderung aus.
 Europäische Normung setzt auf Kombi zwischen Zündquellenkontrolle und moderater Lüftung.

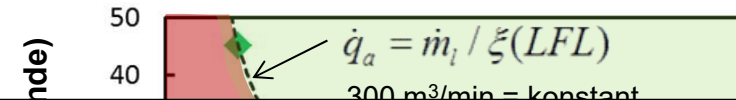
NEUE MASSSTÄBE SETZEN

R-1234ze(E)-Lecks im Anlagenraum



Auswertung der Lüftungs-Milderungserfordernisse

Geplante Lüftungs-Korrelation
Luftleistung = Leckrate / (Sicherheitsfaktor * LFL)



$$V = 14 \times 10^{-3} \times m^{2/3}$$

Forderung aus der EN 378-3 (2017)

Dabei ist

V der Luftstrom, in m^3/s ;

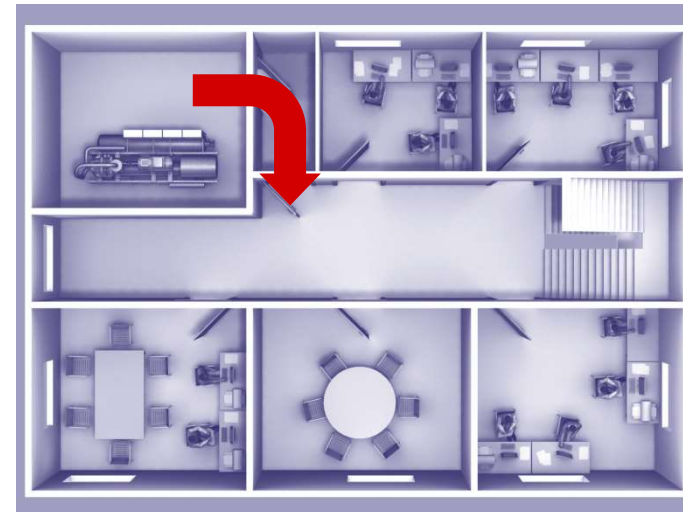
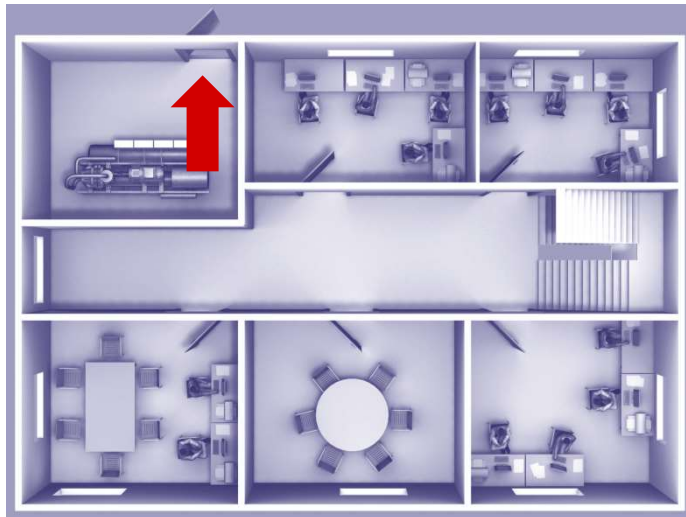
m die Masse der Kältemittel-Füllmenge, in kg, in der Kälteanlage mit der größten Füllmenge, die sich mit irgendeinem Teil in dem Maschinenraum befindet;

14×10^{-3} ein Umrechnungsfaktor.

15-facher Luftwechsel /std ist als Notlüftung ausreichend

TRBS 2152 und EN 378

- Maßnahmen zur Schadensreduzierung bei Explosion
- Fluchtweg direkt nach draussen oder über Korridor





INSTALLATION MEHRERER MASCHINEN IM BESONDEREN MASCHINENRAUM

Alarm stoppt Maschine und schaltet sie stromlos

Alle Maschinen im Maschinenraum werden gestoppt

Keine Kälte / Wärmeversorgung mehr möglich

Lösung

Maschineneinhausung

Ausführung als besonderer Maschinenraum
weitgehend gasdicht

feuersichere Türen und Gehäuseteile (1 h) noch zu klären



INSTALLATION MEHRERER MASCHINEN IM BESONDEREN MASCHINENRAUM

weitgehend gasdicht

Sicherstellen dass kein Kältemittel in den umgebenden Raum gelangt

- Kabine und Abluftkanal m Unterdruck (Luftwechsel saugend realisieren)
- Zuluftkanal im Unterdruck mit Rückschlagklappe oder ähnlichem (gasdicht)
- Türen selbstständig schließend

Weitere Forderungen

Fluchtschleuse:

wenn Gasdichtheit weitgehend gewährleistet ist kann geprüft werden, ob der Umgebende Raum als Schleuse dienen kann.

Begehbarkeit:

Wartungsfreiräume reichen aus um die Fluchtwegforderungen zu erfüllen.
Platz für notwendiges Werkzeug vorsehen.





ZUSAMMENFASSUNG R1234ZE

Maschinenraum vorgeschrieben für :

A1 Kältemittel > ab ca. 100 kW

A2L Kältemittel > ab ca. 10 kW (alle Carrier Chiller)

A2 Maschinenraum Anforderungen :

- ex-geschützte Belüftung und Beleuchtung
- Gas-Warnsystem (schon jetzt Standard für A1)
- spezielle Anforderungen an Fluchtwege (kurzer Weg nach draussen)
- Sicherheits/Entlastungsventile “ müssen “ nach draußen geführt werden
- Paniksichere Türen.
- Türen müssen automatisch schließen.
- Brandschutzvorschrift (1 h Feuersicherheit)

A2 Maschinen Anforderungen

- “ technisch dicht “ (Standard für halbhermetische/hermetische)
- keine großen weiteren Anforderungen an den Schaltschrank

Auswirkungen auf A2 Installationen

- Chiller >100kw mittlere Mehrkosten bei Neukonstruktionen oder Retrofit



HFO aktuell A2 Kältemittel

(Revision 2017)

Außenaufstellung

Keine Mengenbegrenzung

Keine speziellen Sicherheitsanforderungen

Innenaufstellung

Keine Mengenbegrenzung

« Besonderer Maschinenraum » notwendig. (keine Verbrennungsheizung)

VOLLES AQUAFORCE-HFO-ANGEBOT

Flüssigkeitskühler, luftgekühlt



Flüssigkeitskühler, wassergekühlt



HFO-WÄRMEPUMPEN

Wassergekühlte Wärmepumpe 55°C/68°C



500

Variable Drehzahl (55°C)

1600 (7°C/35°C)

300

Feste Drehzahl (68°C)

1300 (7°C/35°C)

Heizleistung in kW

Wassergekühlte Hochtemperatur-Wärmepumpe 85°C



400

Feste Drehzahl (85°C)

1900 (35°C/85°C)

Heizleistung in kW

HÖHER MIT PURETEC

KÄLTEMITTEL HFO-1234ze(E)

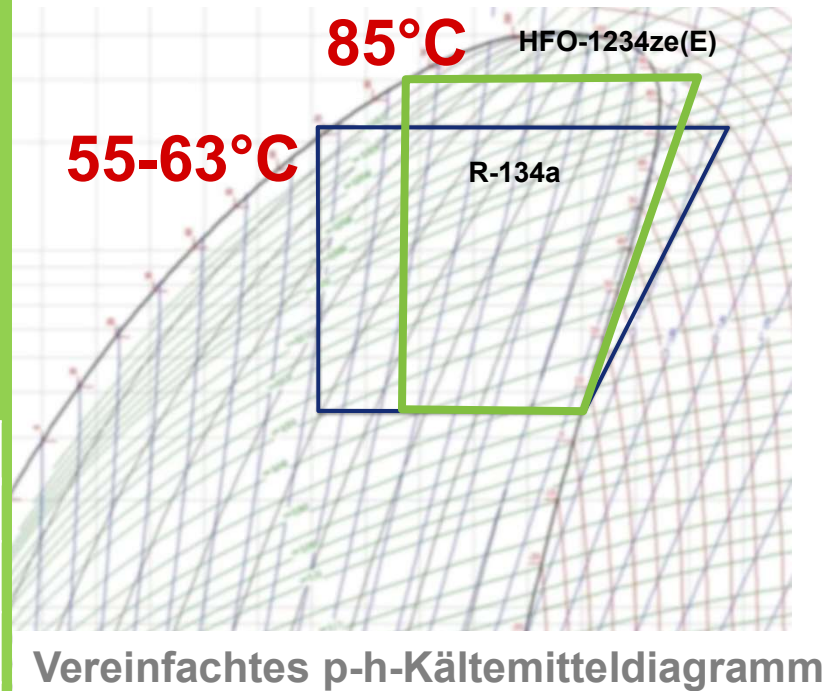


Niedrigerer Dampfdruck*

Niedrigere Überhitzung*

* -v- R- bei gleichen Bedingungen

EIGENSCHAFTEN	PURETEC HFO-1234ze	R-134a
Dampfdruck @25°C abs	498 kPa	665 kPa
Dampfdruck @ 70°C	1611 kPa	2116 kPa
Dampfdruck @ 85°C	2232 kPa	2925 kPa
Überhitzung am Ausgang (@5°C SET / 70°C SDT)	14 K	23 K



ENTWICKLUNG & TECHNOLOGIE

Verdichterkonstruktion



Wärmetauscher-



Betriebsdruckgrenzen

Ölwahl und -qualifizierung

Kältemittel- & Leistungs-
management

Motor-Charakteristiken

Technologie & HFO erweitern Betrieb <85°C



HÖHER MIT PURETEC

Custom Unit 61XWH-ZE0301

Performance Information

Heating Capacity: **326 kW**
 Heating Efficiency (COP): **3,14 kW/kW**
 Cooling Capacity: **229 kW**
 Cooling Efficiency (EER): **2,20 kW/kW**
 Unit Power Input: **103,9 kW**

Evaporator Information

Fluid Type: **Fresh Water**
 Fouling Factor: **0,0440 (sqm-K)/kW**
 Number of Passes: **2**
 Leaving Temperature: **25,0 °C**
 Entering Temperature: **35,0 °C**
 Fluid Flow: **5,5 l/s**
 Total Pressure Drop: **15,0 kPa**

Condenser Information

Fluid Type: **Fresh Water**
 Fouling Factor: **0,0440 (sqm-K)/kW**
 Number of Passes: **3**
 Leaving Temperature: **80,0 °C**
 Entering Temperature: **60,0 °C**
 Fluid Flow: **3,9 l/s**
 Total Pressure Drop: **15,0 kPa**

Unit Information

Manufacturing Source: **Montluel, France**
 Refrigerant: **HFO-1234ze(E)**
 Minimum Capacity: **50 %**
 Number of Refrigerant Circuit: **1**
 Operating/Shipping Weight: **2050/2200 kg**
 Unit Dimensions (LxWxH): **2750/950/1600 mm**

Electrical Information

Unit Voltage: **400(+/-10%)-3-50 V-Ph-Hz**
 Standby Power: **0,1 kW**
 Power Factor: **0,86**

Amps (Un)	Electrical Circuit 1	Electrical Circuit 2
Maximum Current In (A):	204	--
Start Up Current (A)	388	--

Accessories and Installed Options

3 passes Condenser



19DV TURBO CHILLER MIT PURETEC R1233ZD



Kühlleistung von 1,2 – 3,5 MW
Ölfreier Betrieb
Kältemittel GWP <1
Gefahrenklasse A1
Keine besonderen Maßnahmen
im Maschinenraum notwendig



United Technologies

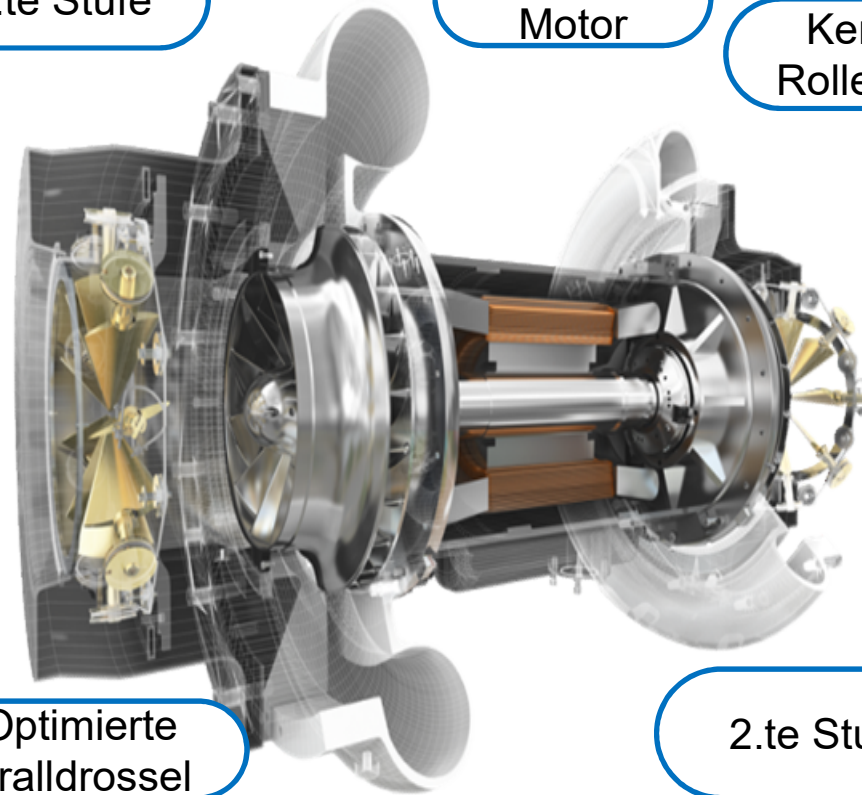
Höhere Effizienz und
Zuverlässigkeit bei
erweitertem Betriebsbereich

19DV TURBO CHILLER MIT PURETEC R1233ZD

1.te Stufe

HSDD
Motor

Keramik
Rollenlager



Optimierte
Dralldrossel

2.te Stufe

Keramik Lager (ölfrei)

Back-to-back
2-Stufen Design

HSDD* motor

*High speed direct drive



United Technologies

Kältemittel geschmiertes
Rollenlager System

19DV TURBO CHILLER MIT PURETEC R1233ZD

High-nitrogen
Spezialstahl

Keramik - Kugeln

Käfig

Geprüfter sicherer Betrieb
>150,000 h Test



Vorteile

- Kein Risiko von Ölverlust
- Keine Öl-spezifischen
Wartungsarbeiten
- Optimale Wärmeableitung
- Einfachere Isolationsmethoden
(Harmonisch Oberwellen)

KPI's

- Kältemittelpumpe für Vorschmierung
- dp Verflüssiger-Kompressor stellt
Schmierung sicher.



United Technologies

?



United Technologies

VIELEN DANK!