Umrüstung von Bestandsanlagen auf Kohlenwasserstoffe

IKKE

CoolTool
AC & R technology



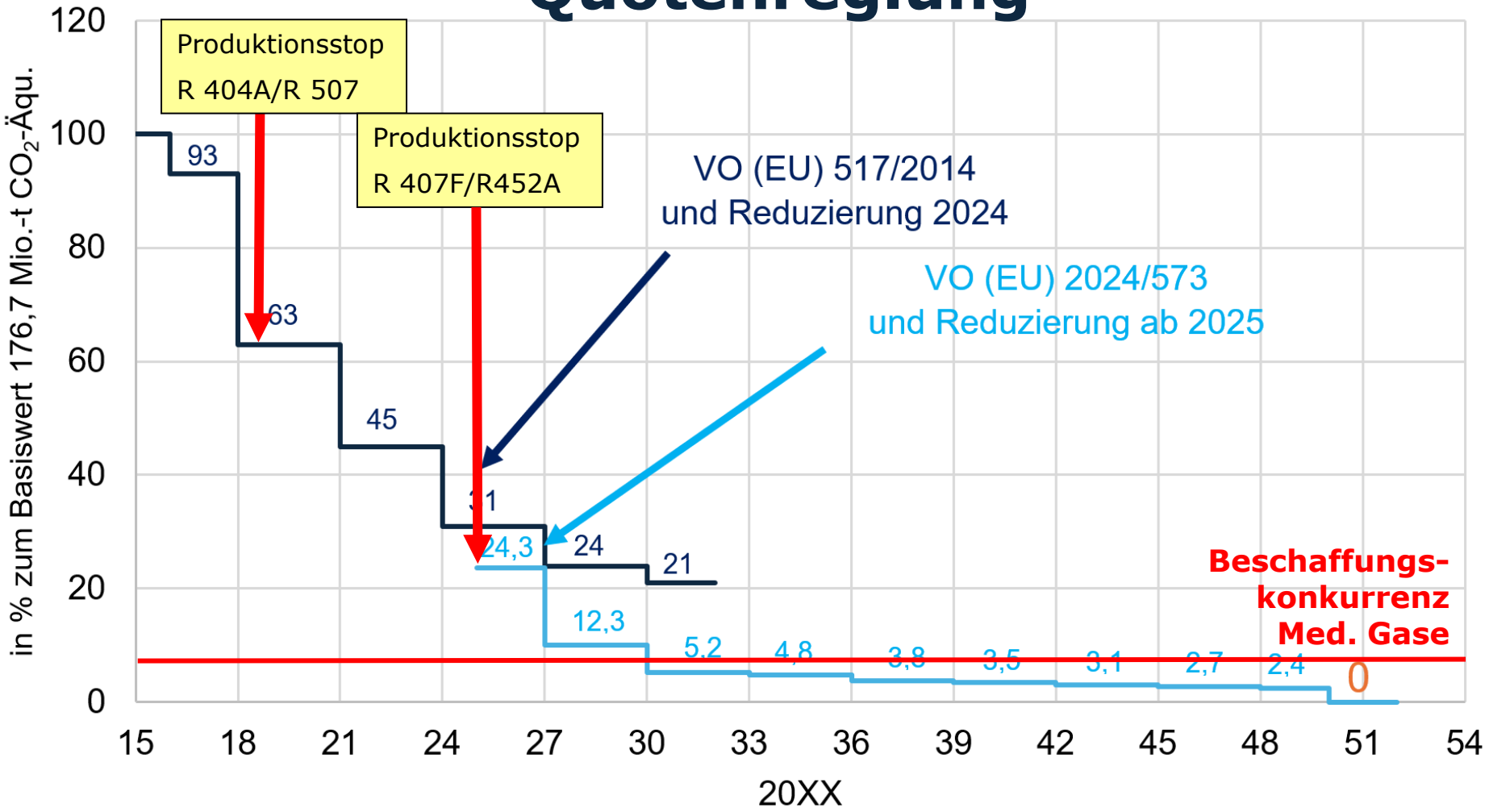
- **Planungs- und Berechnungssoftware**
- **Diagnose, Monitoring- und Messsysteme**
- **Effizienzmessungen**
- **Schulungen für natürliche Kältemittel**
- **Schulungen für Kältemittelstrategien und Energieoptimierung**
- **Planungen für Anlagenbau und -sanierung**

CoolTool Technology GmbH
Info@cooltool-technology.de

Kruppstr. 184
D-47229 Duisburg

Ausblick in die Zukunft
F-Gas Verordnung

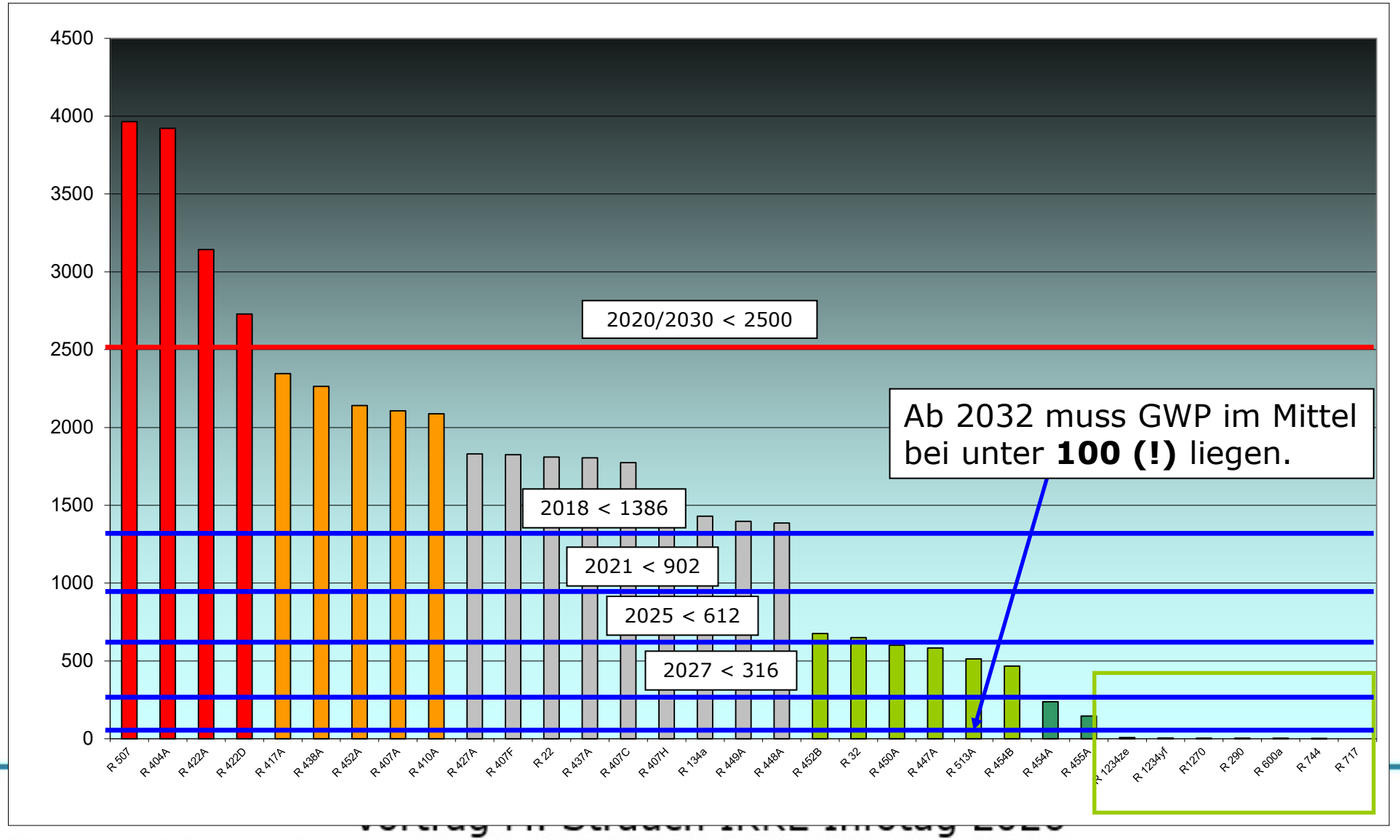
Quotenreglung



GWP-Werte von aktuellen Kältemitteln

Vergleich der verfügbaren Tonnagen aus Quoten

Quotenkiller ?



Brennbarkeit/Eigenschaften von KW-Kältemitteln

Explosivs… …lethan,
Nitroglyc… …etc.

Explo… …**n** durch
(Fun… …Oberfläche,
oh…
L… …Anteilen
S…

Detonati… …t:
6,35 bis … …> 0,38 m/s

Druckau… …er:
ca. 68.000 bis 147.000 bar ca. 8,5 bar bei 6,5 Vol. %

Wording im gesetzlichen und normativen Regelwerk:

„Explosionsfähige Atmosphäre“

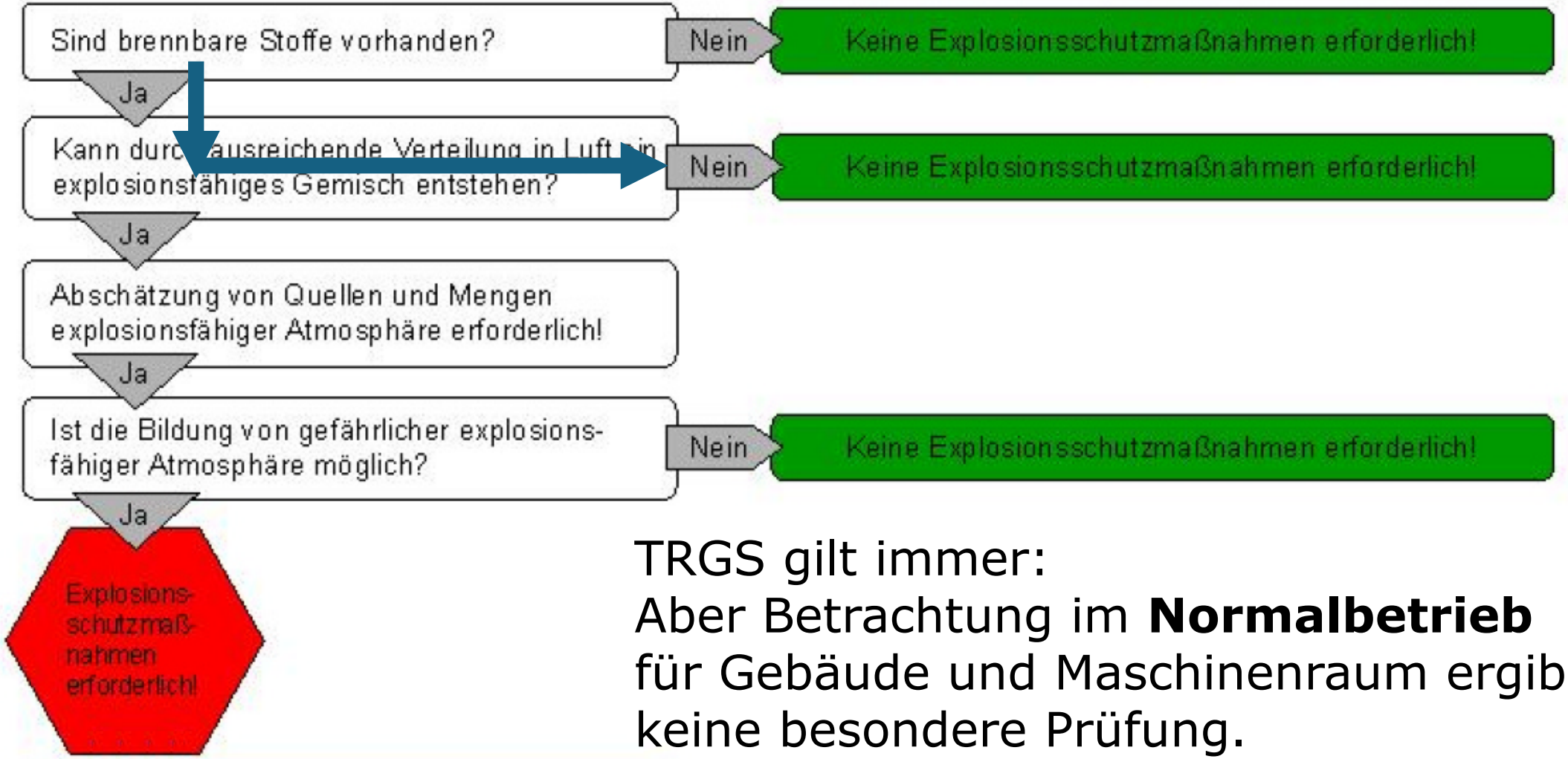
ist ein zündfähiges, **gefährliches** Gemisch aus brennbaren Stoffen und Luft.

⇒ Technisch gesehen eine **Verpuffung**

⇒ v_{max} = 0,38 m/s < 1 m/s

Brennbarkeit/Zündfähigkeit von Propan

TRGS 720, 721,722,...



TRGS gilt immer:
Aber Betrachtung im **Normalbetrieb**
für Gebäude und Maschinenraum ergibt keine besondere Prüfung.

FAQ´s zu KW-Kältemitteln

Aus ATEX-Betriebsrichtlinie 2014/34/EU

Explosionsschutz geregelt durch ATEX?

Im Sinne der Richtlinie 2014/34/EU ist eine explosionsfähige Atmosphäre definiert als ein Gemisch:

a) aus brennbaren Stoffen in Form von Gasen, Dämpfen, Nebeln oder Stäuben;
b) und Luft;
c) unter atmosphärischen Bedingungen;
d) in dem sich der Verbrennungsvorgang nach erfolgter Entzündung auf **das gesamte unverbrannte Gemisch überträgt.**

Eine Atmosphäre, die aufgrund der **örtlichen** und/oder **betrieblichen Bedingungen (im Normalbetrieb)** explosionsfähig werden kann, wird als explosionsgefährdeter Bereich bezeichnet.

Nur für diese Art von explosionsgefährdetem Bereich sind die Produkte, die unter die ATEX-Richtlinie 2014/34/EU fallen, ausgelegt.

FAQ´s zu KW-Kältemitteln

Aus DGUV 100-500

Beispiel für Unfallverhütungsvorschriften.

3.7.1 Der Unternehmer hat Räume, in denen Kälteanlagen mit brennbaren Kältemitteln oder Kühleinrichtungen mit brennbaren Kühlmitteln aufgestellt sind, als explosionsgefährdete Bereiche festzulegen.



3.7.2 Der Unternehmer hat bei Kälteanlagen mit brennbaren Kältemitteln oder Kühleinrichtungen mit brennbaren Kühlmitteln, die im Freien aufgestellt sind, einen explosionsgefährdeten Bereich festzulegen.



3.7.3 Der Unternehmer hat dafür zu sorgen, dass explosionsgefährdete Bereiche nach den Abschnitten 3.7.1 und 3.7.2 gekennzeichnet sind. Innerhalb des gefährdeten Bereiches sind Zündquellen unzulässig.



3.7.4 Die Abschnitte 3.7.1 bis 3.7.3 gelten nicht für Anlagen mit

1. Ammoniak als Kältemittel,
2. anderen brennbaren Kältemitteln der Gruppe 2, deren Füllgewicht 25 kg nicht überschreitet,
3. sonstigen brennbaren Kältemitteln, deren Füllgewicht bei Anlagen mit hermetischen Verdichtern 2,5 kg nicht überschreitet.

FAQ´s zu KW-Kältemitteln

Aus EN 378

Stand der Technik in der EN 378.

3.1.7

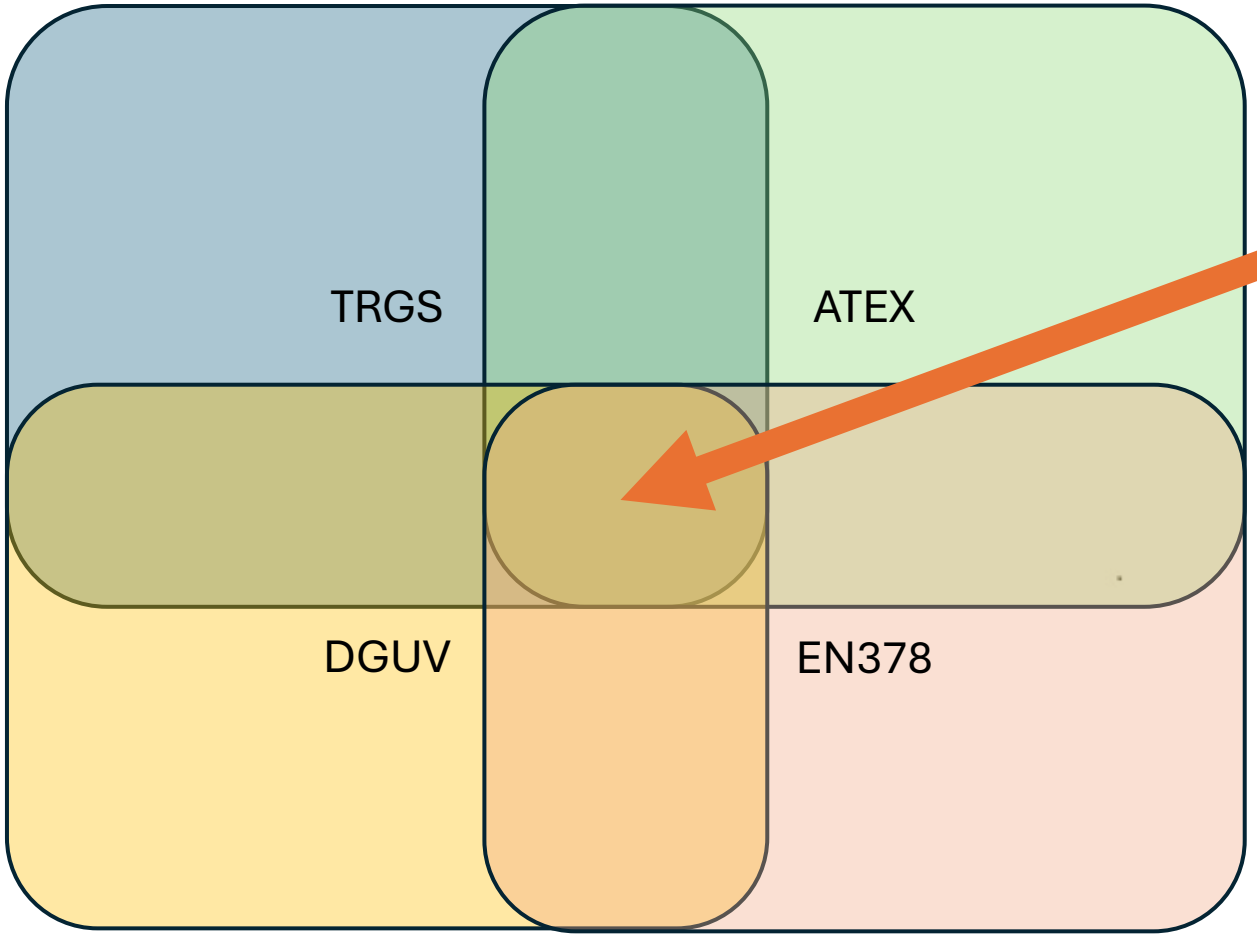
dauerhaft geschlossene Anlage

Kälteanlage, in der alle kältemittelführenden Teile durch Schweißen, Hartlöten oder eine vergleichbare nicht lösbare Verbindung dicht zusammengebaut sind, die Ventile mit Kappen und Serviceanschlüsse mit Kappen enthalten kann, die die ordnungsgemäße Instandsetzung oder Entsorgung ermöglichen, und die unter einem Druck von mindestens einem Viertel des maximal zulässigen Drucks eine geprüfte Leckagerate von weniger als 3 Gramm pro Jahr aufweist

Anmerkung 1 zum Begriff: Mechanische Verbindungen, die dadurch vor unsachgemäßer Handhabung geschützt sind, dass Spezialwerkzeuge (z. B. Klebstoff) erforderlich sind, werden als gleichwertige nichtlösbare Verbindung angesehen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Hermetisch dichte Anlagen nach EN 16084 entsprechen dauerhaft geschlossenen Anlagen in EN 378-2.

Umrüstung von Bestandsanlagen auf Kohlenwasserstoffe



Die Schnittmenge aller relevanten gesetzlichen und normativen Vorgaben muss eingehalten werden:

Um alle Vorgaben zu erfüllen, muss mindestens:

- die Anlage auf Dauer technisch dicht ausgeführt sein
- die Füllmengen sollten unter den Empfehlungen der EN378 liegen
- Die Raum Größe muss in Relation zur Füllmenge betrachtet werden
- bei höheren Füllmengen oder kleinen Räumen muss die Anlage zusätzlich abgesichert werden



Kältetechnische-Anwendungen

Vor- und Nachteile Ersatz Kältemittel R404A – Regelbarkeit und Verdichtungsendtemperatur

	R507/404A	R452A	R448/449A	R 455A	R 454C	R290	R1270
GWP	3922	2141	1397	146	148	3	3
Sicherheitsgruppe	A1	A1	A1	A2L	A2L	A3	A3
Neuanlagen bis	bis 2020	bis 2030	bis 2030	über 2030	über 2030	unbegrenzt	unbegrenzt
PFAS relevant	J	J	J	J	J	N	N
Rot markiert:	**3x**	**5x**	**12x**	**10x**	**10x**	**0x**	**0x**
Relative Leistung **NK t_R = 2°C**	100%	102%	99%	99%	91%	96%	115%
Glide to = -8°C	0,5 K	4K	5,6K	11,8K	7,8K	0K	0K
Selektive Öllöslichkeit	N	N	J	J	J	N	N
IWÜ erforderlich/empfohlen	N	N	J	J	J	E	E
Heißgastemperatur tc = 42°C	68°C	74°C	112°C	106°C	104°C	68°C/81°C	78°C/93°C
Relative Leistung **TK t_R= -20°C**	100%	99%	63%	75%	74%	115%	146%
Glide to = -30°C	0,6K	3,9K	5,9K	12,2K	7,7K	0K	0K
Selektive Öllöslichkeit	N	N	J	J	J	N	N
IWÜ erforderlich	N	N	J	J	J	N	N
Nacheinspritzung erforderlich	N	N	J	J	J	N	N
Heißgastemperatur tc = 42°C	88°C	101°C	100°C/150°C	100°C/137°C	100°C/132°C	80°C	98°C

Quelle: Eigene Berechnungen und Messungen

Förderung von stationären Kälte- und Klimaanlagen

BAFA-Förderung: Umrüstleitfaden - IKKE

Förderung nach Kälte-Klima-Richtlinie

Gefördert wird die Umstellung von halogenierten Kältemitteln mit einem GWP > 100 auf R50, R 170, R 1150, R-290, R-600a, [illegible] Kältemitteln ist [illegible] Füllmenge auf ca[illegible] Bei Ausbau un[illegible] Kondensatleitun[illegible]

R-22, R-50[illegible] R-407H, R-
R-12, R-13[illegible]
R23, R508A
R 14, etc.

Tabelle 1: Lis[illegible]

2.6 Effizienz-Umrüstung von Kleinanlagen

An bestehenden, kleinen Kompressionskälte- oder -klimaanlagen mit fluorhaltigen Kältemitteln werden folgende Nach- und Umrüstungen zur Steigerung der Energieeffizienz gefördert:

a) verpflichtende Maßnahmen:

- Umrüstung auf ein Kohlenwasserstoff-Kältemittel mit mindestens 0,5 und höchstens 10 Kilogramm Füllmenge sowie
- Einbau eines druckgesteuerten Drehzahlreglers für den Verflüssigerventilator zur Absenkung des Verflüssigungsdruckes der Anlage bei niedrigen Außentemperaturen.

b) optionale Maßnahmen:

- Einbau eines elektronischen Expansionsventils und/oder
- Einbau eines Inverters zur Verdichter-Drehzahlregelung und/oder
- Einbau eines Inneren Wärmeübertragers oder „In-Kontakt-Bringen“ von Saugleitung und Flüssigkeitsleitung.

- Rechtliches und normatives Gerüst für Kohlenwasserstoffe ist vorhanden und nicht kontraproduktiv.

- Zentrale Forderung:

  Umbau der Anlage in relevanten Bereichen auf den Standard

„auf Dauer technisch dicht“

bei Effizienz-Umrüstungen.

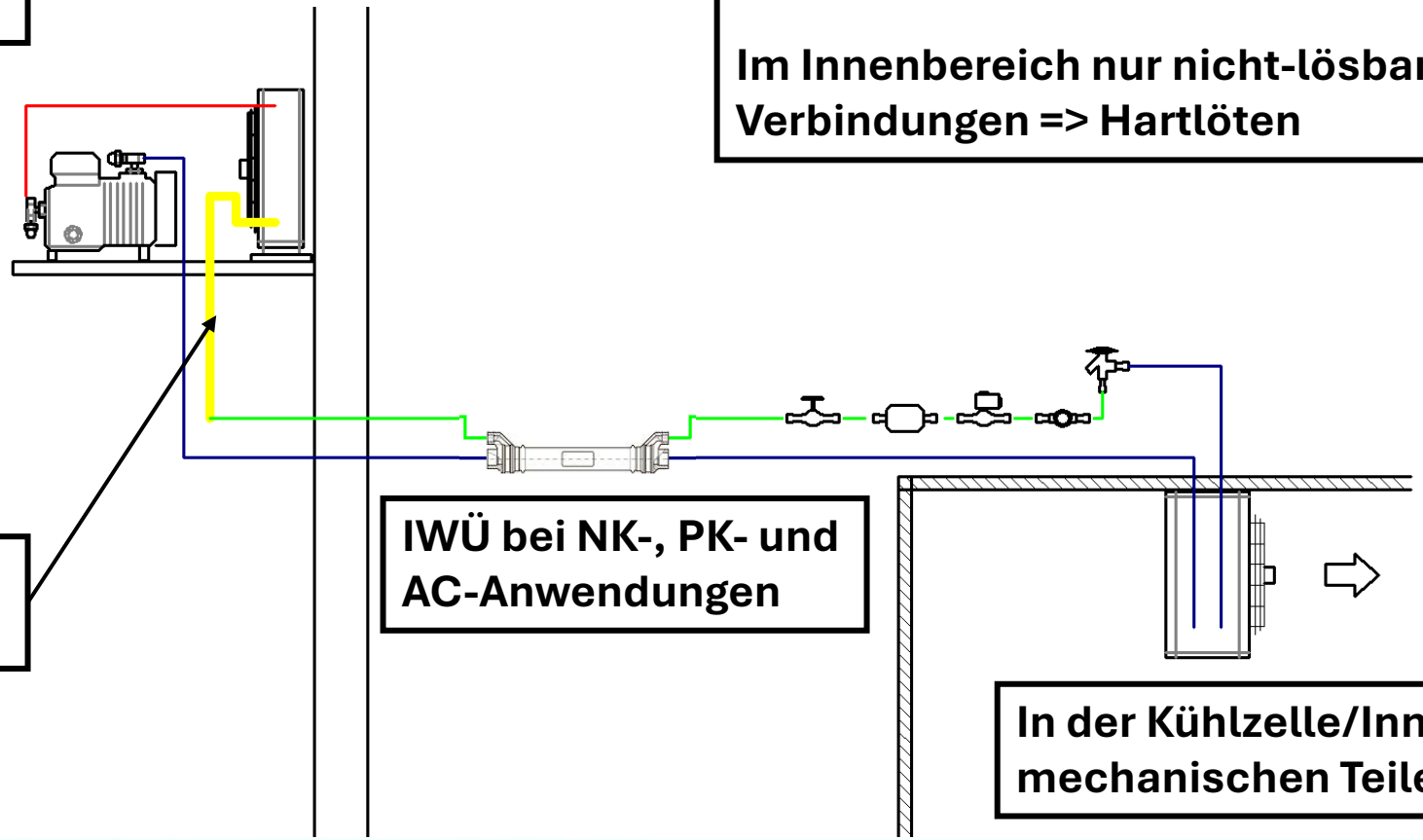
Umrüstung von Bestandsanlagen auf Kohlenwasserstoffe

Beispiel: 14 kW TK-Zelle Details bei Umstellung auf R290

Im Außenbereich auch Bördel

auf Dauer technisch dicht:

Im Innenbereich nur nicht-lösbare Verbindungen => Hartlöten



Kondensatleitung als Vorlage für KäM

IWÜ bei NK-, PK- und AC-Anwendungen

In der Kühlzelle/Innenraum keine mechanischen Teile mit KM

Umrüstung von Bestandsanlagen auf Kohlenwasserstoffe

Selektive Öllöslichkeit: Überhitzungsregelung bei H-FKW und H-FO Gemischen

Löslichkeit abhängig vom Öl Typ:
Ein Kältemittel verhält sich je nach eigener Polarität und der chemischen Struktur des Öls unterschiedlich:

- Vollständige Löslichkeit (Mischbarkeit):
Kältemittel und Öl vermischen sich immer zu einer homogenen Flüssigkeit.

- Teilweise Löslichkeit:
Das Kältemittel löst sich nur in einem bestimmten Temperaturbereich oder nur in einer bestimmten Ölsorte.

- Unlöslichkeit:
Kältemittel und Öl mischen sich gar nicht (z. B. Ammoniak NH_3 und Mineralöl).

Umrüstung von Bestandsanlagen auf Kohlenwasserstoffe

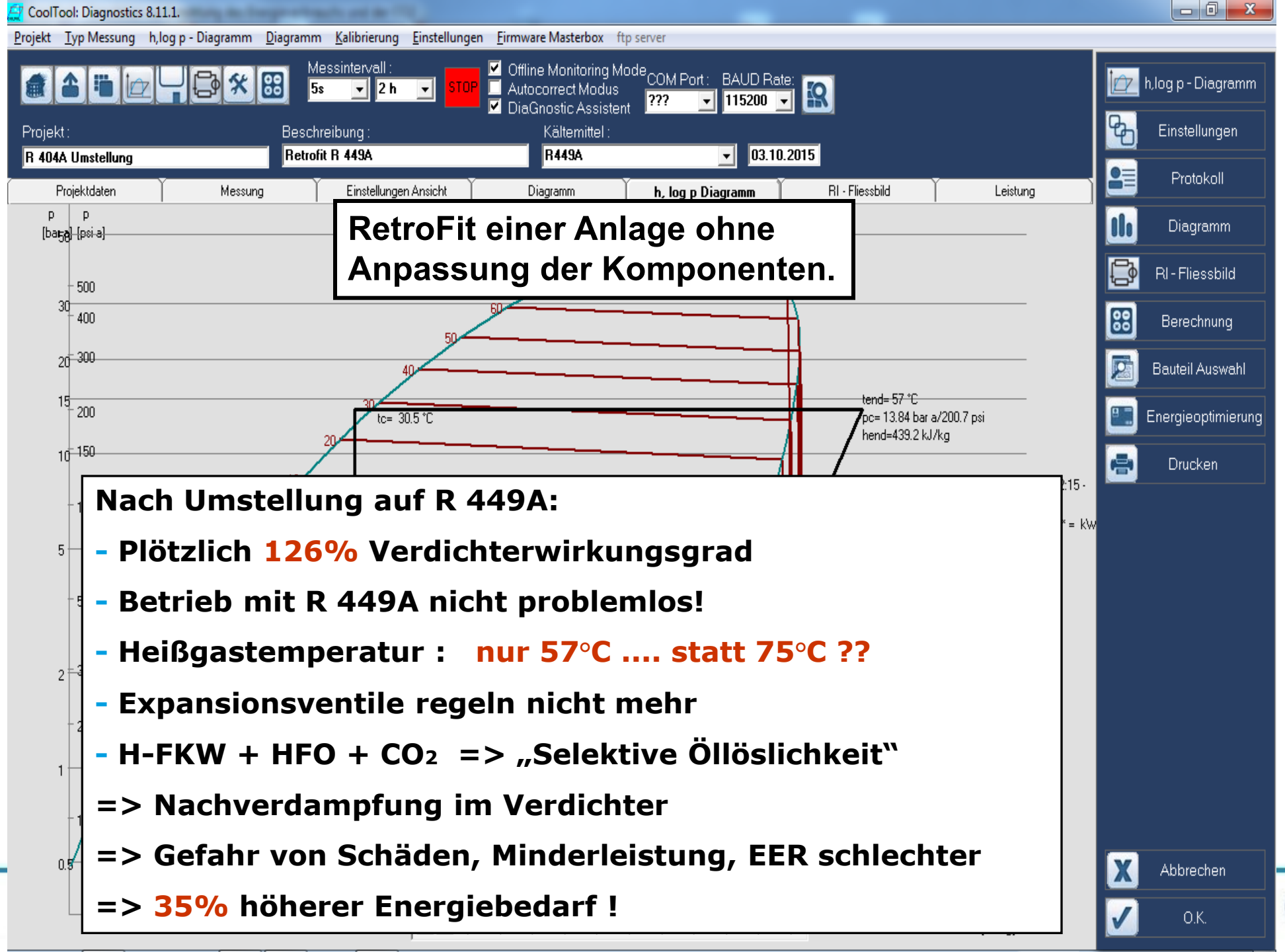
Selektive Öllöslichkeit: Überhitzungsregelung bei H-FKW und H-FO Gemischen

Entmischung bei Kältemittelgemischen (Zeotrope Gemische => Glide)
- Bei Kältemittelgemischen wie R-407C, R-449A, R-455A oder R-454C, die aus verschiedenen **polaren Mischbestandteilen (H-FKW, H-FO und CO_2)** bestehen, tritt die selektive Löslichkeit besonders stark auf.

- Einige Komponenten des Gemischs lösen sich hervorragend im Verdichter Öl und fließen im Öl gelöst zum Verdichter => **Nachverdampfung** im Verdichter

- Andere Komponenten bleiben gasförmig und trennen sich vom Öl.

Die Folge:
- Das **Mischungsverhältnis** des Kältemittels verändert sich, was die Überhitzungsregelung **zusätzlich zum Glide erschwert**
- negative thermodynamische Effekte auf den Betrieb der Anlage.



RetroFit einer Anlage ohne Anpassung der Komponenten.

Nach Umstellung auf R 449A:

- **Plötzlich 126% Verdichterwirkungsgrad**
- **Betrieb mit R 449A nicht problemlos!**
- **Heißgastemperatur : nur 57°C .... statt 75°C ??**
- **Expansionsventile regeln nicht mehr**
- **H-FKW + HFO + CO_2 => „Selektive Öllöslichkeit“**

=> Nachverdampfung im Verdichter

=> Gefahr von Schäden, Minderleistung, EER schlechter

=> 35% höherer Energiebedarf !

Ölverträglichkeit von Kohlenwasserstoffen



R404A

Die folgende Tabelle zeigt die Daten für R404A und alternative Kältemittel.

Bitzer

	R404A	R448A	R449A	R454A	R454C	R455A	R290	R1270	R744
Gruppe	HFKW	HFO/ HFKW	HFO/ HFKW	HFO/ HFKW	HFO/ HFKW	HFO/ HFKW	KW	KW	CO_2
Bestandteile	R143a/ 125/ 134a	R32/ 125/ 1234yf/ 1234ze(E)/ 134a	R32/ 125/ 1234yf/ 134a	R32/ 1234yf	R32/ 1234yf	R32/ 1234yf/ 744			
Anwendung max (°C)	0	12	12	12	12	12	12	12	20
Anwendung min (°C)	-45	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-20
Anw. 2-stufig max (°C)	-30	-25	-25	-25	-25	-25	-20	-20	-10
Anw. 2-stufig min (°C)	-70	-65	-65	-65	-65	-65	-55	-55	-50
Öl 1	POE	POE	POE	POE	POE	POE	PAO	PAO	POE
Öl 2	PVE	PVE	PVE	PVE	PVE	PVE	PAG	PAG	PAG
Öl 3							POE	POE	

Quelle: Bitzer Kühlmaschinenbau

- Kohlenwasserstoffe sind kompatibel mit:
  - PAO – Polyalphaolefinöl
  - PAG – Polyalkylenglykolöl
  - POE – Polyolesteröl
  - MO – Mineralöl

➢ Einsatz als Ersatzkältemittel in der Breite des Anlagenbestandes möglich



Energetische Bewertung von Kälteprozessen

Zu erwartende Anlagen Effizienz – BAFA-Effizienzumrüstung von Kleinanlagen

	R404A / GWP 3922	R4xyz GWP < 150	R290 GWP = 0,02
Glide (K)	0,5	8 – 12	0
To eff. (°C)	-8	-12 bis - 14	-6
Tc_{max} / tc_{min} (°C)	45/ 35	47/ 35	43/ 24
Füllmenge (kg)	5,9	5,4	2,2
Tend (°C)	91	107	81
$\dot{Q}_{0\ real}$ (kW)	17	12,8	16,1
EER	2,59	1,89	3,35
SEPR	2,77	2,26	3,95
Differenz zu R404A	--	**-21 %**	**+44 %**

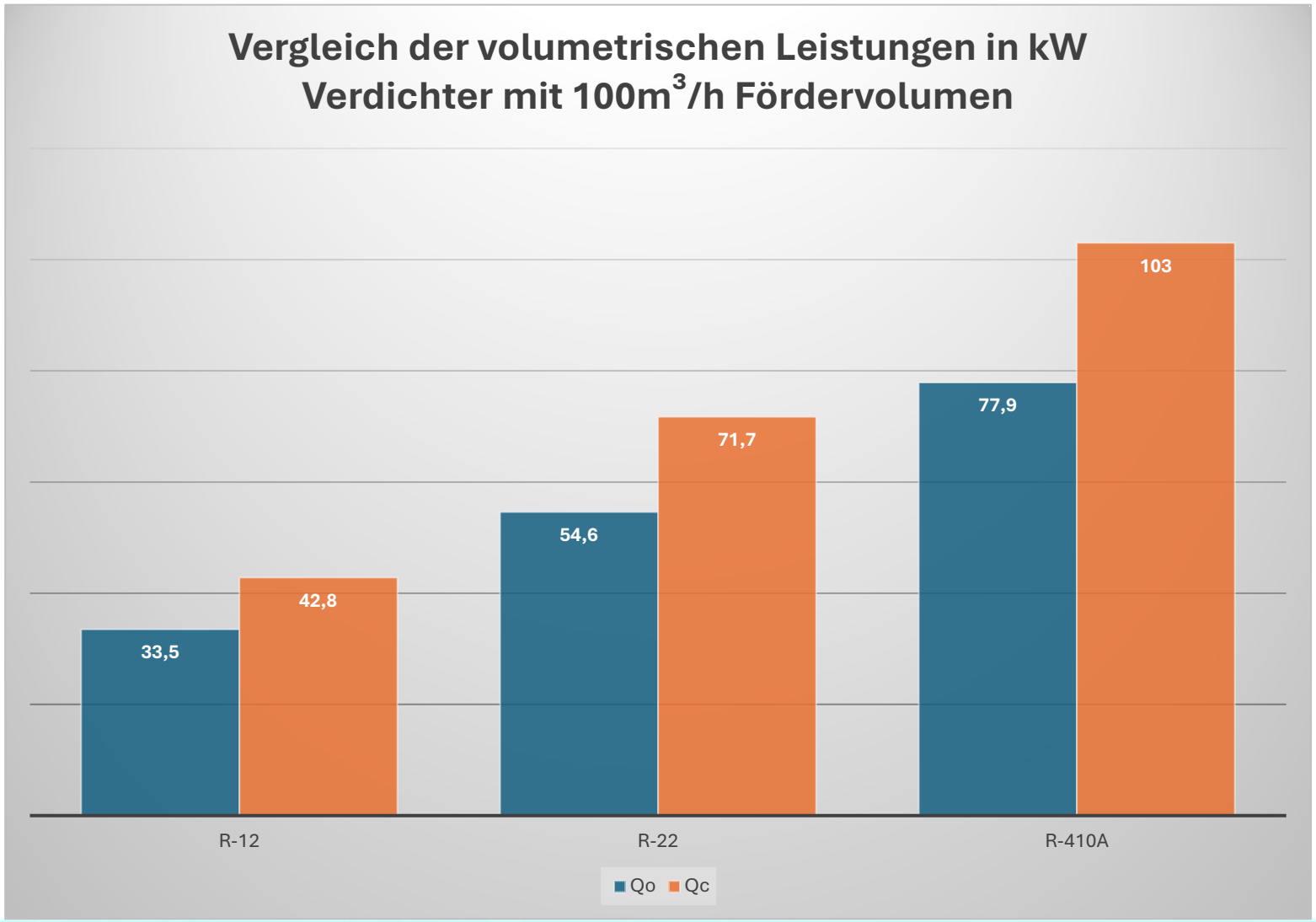
Quelle: Eigene Berechnungen und Messungen

Beispielrechnung NK-Kühlzelle

- Kälteleistung: 17 kW
- Verdampfer: Küba SGB 92
- Verfl. Satz: Bitzer LH124E/ 4CES-9.2Y-40S
- theor. Hubv.: 32,48 m^3/h

- Saugleitung: 28 x 1
- Heißgasleitung: 18 x 1
- Flüssigk. Leitung: 16 x 1
  - ➢ Keine Einstufung DGRL über Kat. 1
- NK-Anwendung, IWÜ zwischen Saug- und Flüssigkeitsleitung
- Bestimmung SEPR durch BAFA-EffizienzCheck

Umrüstung von Bestandsanlagen auf Kohlenwasserstoffe



Ersatzkältemittel müssen an die thermodynamischen Gegebenheiten des ursprünglichen Kältemittels angepasst werden:

- gleiche oder etwas niedrigere Drücke
- möglichst ähnliche volumetrische Kälteleistung



Umrüstung von Bestandsanlagen auf Kohlenwasserstoffe

Niedrige „Volumetrische Kälteleistung“:

Leistung Verdichter mit 100 m^3/h Fördervolumen	**Qo = 33,5 kW** (to = -8°C, tc = 42°C) **Qc = 42,8 kW**
Historisch	**R12**
Aktuell	**R-134a, R124ZE, R1234YF, R-513A, R-450A, etc.**
Umrüstung auf	**40% R-290, 60% R-600a**

Umrüstung von Bestandsanlagen auf Kohlenwasserstoffe

Mittlere „Volumetrische Kälteleistung“:

Leistung Verdichter mit 100 m^3/h Fördervolumen	**Qo = 54,6 kW** (to = -8°C, tc = 42°C) **Qc = 71,7 kW**
Historisch	**R22, R502**
Aktuell	**R-404A, R-507, R-417A, R-422D, R-407A, R-407C, R-407F, R-407H, R-449A, R-448A, R-452A, R-454A, R-454C, R-455A, etc.**
Umrüstung auf	**100% R-290, 100% R-1270**



Umrüstung von Bestandsanlagen auf Kohlenwasserstoffe

Hohe „Volumetrische Kälteleistung“:

Leistung Verdichter mit 100 m^3/h Fördervolumen	**Qo = 77,9 kW** (to = -8°C, tc = 42°C) **Qc = 103 kW**
Historisch	**- -**
Aktuell	**R-410A, R-32, R-454B, etc.**
Umrüstung auf	**100% R-487B, (83% R-1270, 17% R-170)**



Umrüstung von Bestandsanlagen auf Kohlenwasserstoffe

Tiefe Verdampfungstemperaturen:

Leistung Verdichter mit 100 m^3/h Fördervolumen	**Qo = 35,5 kW** (to = -60°C, tc = -10°C) **Qc = 50,6 kW**
Historisch	**R-23**
Aktuell	**R-508A, R-508B, etc.**
Umrüstung auf	**100% R-170, 100% R-1150**



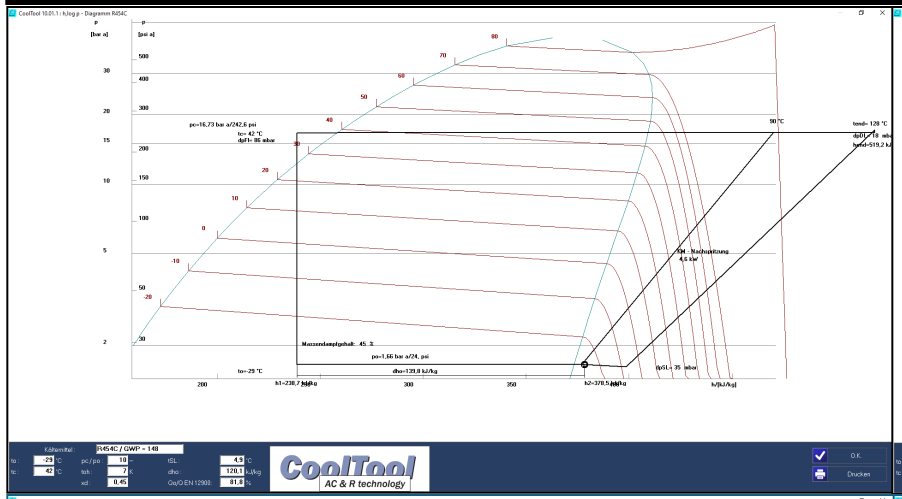
Umrüstung von Bestandsanlagen auf Kohlenwasserstoffe

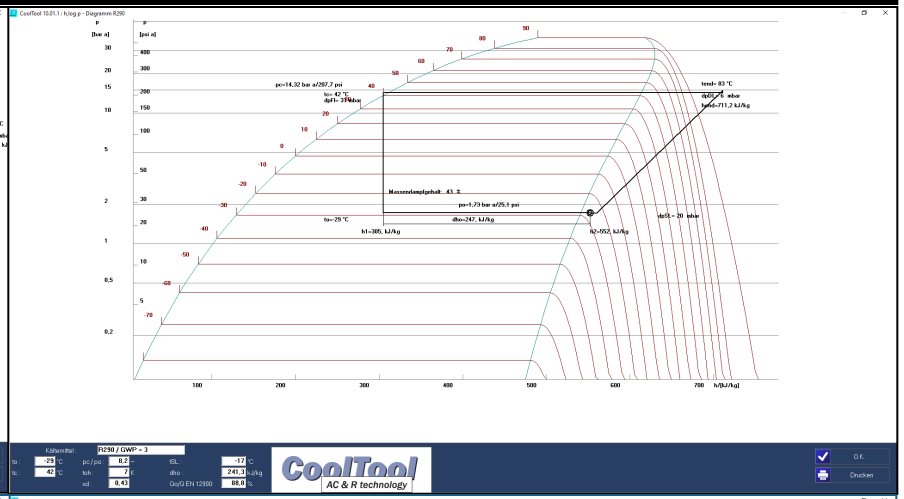
Sehr tiefe Verdampfungstemperaturen:

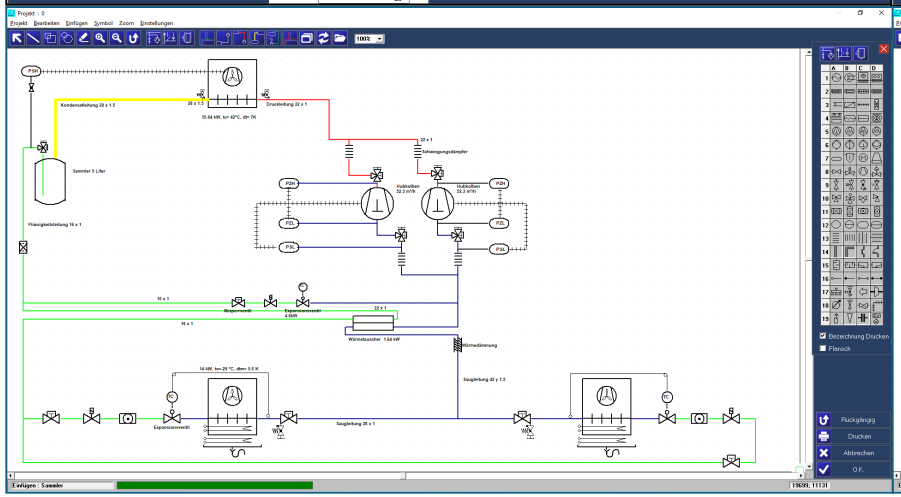
Leistung Verdichter mit 100 m^3/h Fördervolumen	**Qo = 36,9 kW** (to = -110°C, tc = -70°C) **Qc = 56,6 kW**
Historisch	**R-14**
Aktuell	*aufgrund von extremen Anforderung kein einfaches DropIN*
Umrüstung auf	**15% R-50, 85% R-1150**

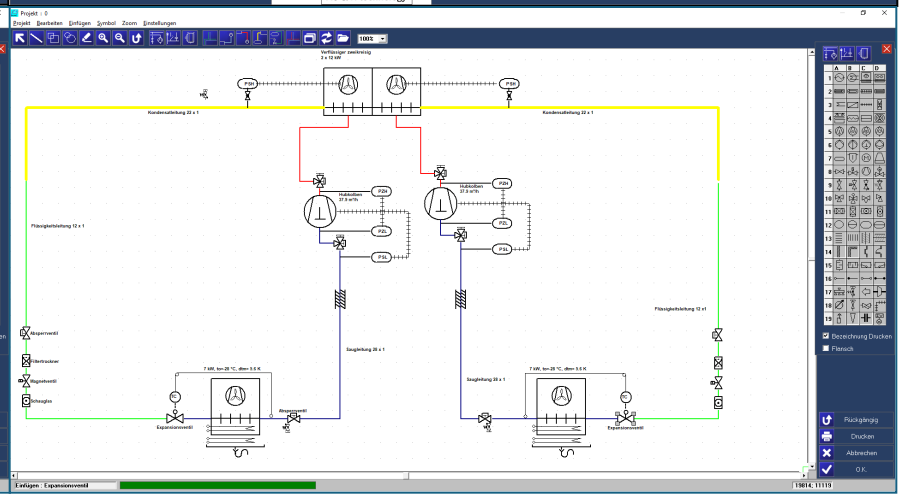
Umrüstung von Bestandsanlagen auf Kohlenwasserstoffe

Q_o = 14 kW, t_o = -28°C, t_c = 42°C, t_R = -20°C











Umrüstung von Bestandsanlagen auf Kohlenwasserstoffe

Beispiel: 14 kW TK-Zelle, Als Neubau im Vergleich R454C zu R290

Q_o = 14 kW, t_o = -28°C, t_c = 42°C, t_R = -20°C

	R454C	R290
Sicherheitskategorie	**A2L**	**A3**
Kreise	**1**	**2**
Glide bei t_o = -28°C	**7,8 K**	**--**
Verdichtungsendtemperatur ohne/mit IWÜ	109°C/**131°C**	**87°C**/103°C
IWÜ nötig	**Ja**	Nein
Nacheinspritzventil nötig	**Ja**	Nein
EER ohne/mit IWÜ und Nacheinspritzventil	1,16/**0,64**	**1,61**/1,63
Hubvolumen Verdichter	**2 x 52,3 m³/h**	**2 x 37,9 m³/h**
Verflüssiger	**36 kW**	**23 kW**
Saugleitung	**1 x 42 x 1,5**	**2 x 28 x 1,5**
Sammler / Anlage DGRL relevant	**> 5 Liter / ja**	Nein / nein
Füllmenge	**1 x 13,0 kg**	**2 x 1,7 kg**
DGUV 100-500 / EN 378 konform	**Ja**	**Ja**
Erstellungskosten/Angebotspreis	**Ca. 36.000,-**	**Ca. 27.000,-**
Fördersumme Bafa	**0,-**	**7770,-**
Kosten für den Kunden	**36.000,-**	**19.270,-**