



5. Jahresveranstaltung Initiative Energieeffizienz- und Klimaschutz- Netzwerke

Online

22. September 2021



Ihre Fachberaterin

- **Schwerpunkte und Referenzen**
 - Energieanalysen
 - Konzepte & Umsetzungsbegleitung
 - Netzwerke Energieeffizienz
 - Energiemanagement gem. DIN EN ISO 50001
 - Schulung & Beratung
- **Weitere (Energie-) Qualifizierungen**
 - BAFA-registrierter Berater „Energieberatung Mittelstand“
 - BAFA-registrierter Energie-Auditor EDL-G
 - Auditor für interne Audits DIN EN ISO 50001
- **Berufserfahrung**
 - Berufserfahrung seit 1988
 - Seit 2013 bei ÖKOTEC



Sylvia Jacobi

Senior Consultant
*Diplom-Ingenieurin
(Maschinenbau)*

ÖKOTEC – Ihre Effizienzexperten

- Beratungs- und Softwareunternehmen für Energie- und Ressourceneffizienz seit 1999
- Ein Unternehmen von Veolia seit 2016
- CO₂-Einsparung und Steigerung der Energieeffizienz durch technische und organisatorische Maßnahmen
- Erfahrung in allen relevanten Industriebranchen, Gewerbe und Gebäuden



Über
2.000
Projekte



Projekte
in über
30 Ländern



50 Personen
im Team

Unsere Leistungen im Überblick

Technische Beratung

Analysen, Energieaudits,
Konzepte, Einsparnachweise,
Fördermittel

Klimaschutz & Energiewende

Strategie, Szenarien,
PCF & CCF,
CO2-neutrale Versorgung

EnEffCo®

Software & Dienstleistungen
für Energieeffizienz-
Controlling

Energiemanagement

Einführung und
Aufrechterhaltung
ISO 50001

Netzwerke

Erfahrungsaustausch für
Energieeffizienz &
Klimaschutz

EnEffFlex

Nutzung Marktchancen, E-Mobility

EnEffReg®

Automatisierte Anlagenregelung

CO2-Footprint

Produktspezifisch & Realtime

F&E-Projekte

Anwendungsorientierte Forschung mit
Industrie- und Forschungspartnern

Projekte mit Ministerien

Themenfokus
Energieeffizienz & Klimaschutz



5. Jahresveranstaltung IEEKN Einsatz nachhaltiger und energieeffizienter Kältemittel

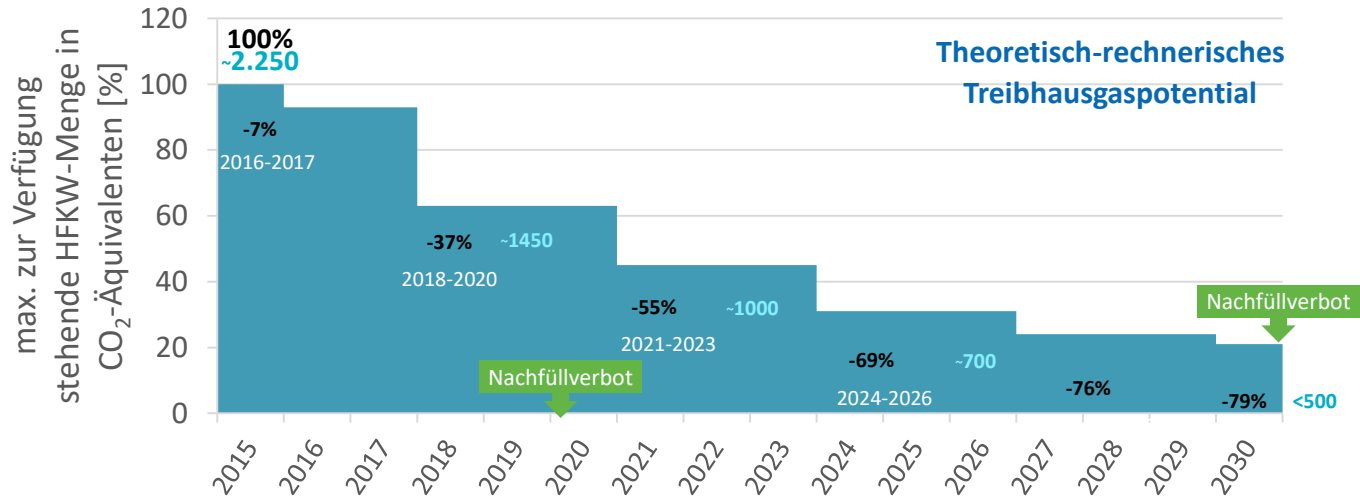
Online

22. September 2021



F-Gase Verordnung – Phase down

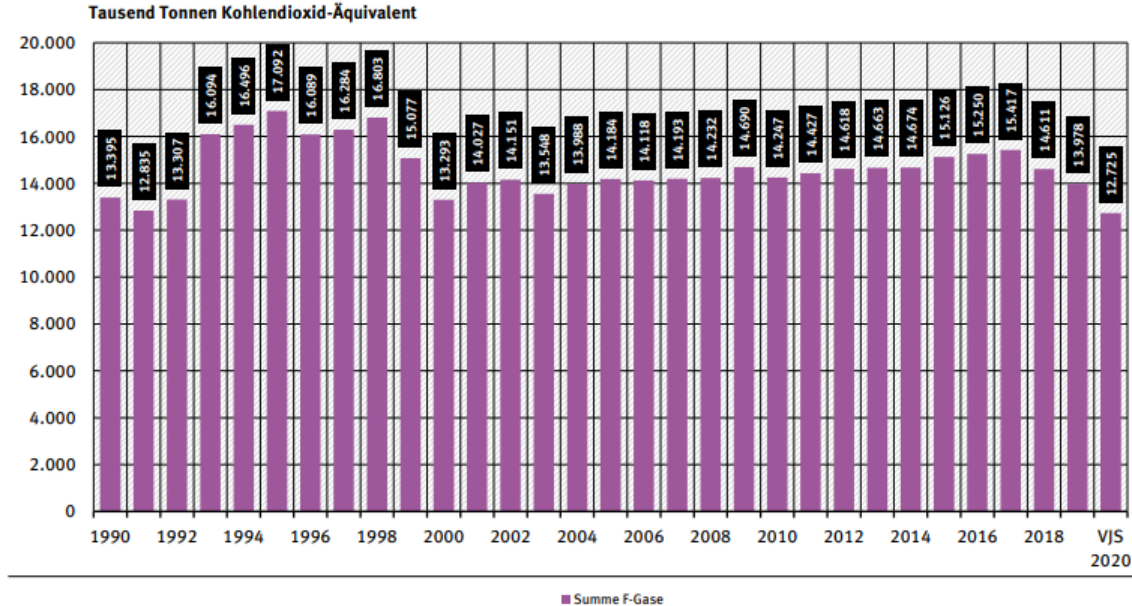
- Regelt seit 2015 Handel und Verwendung von F-Gasen in der EU.
- Der Verbrauch klimaschädlicher teilfluorierter Kohlenwasserstoffe (HFKW) soll bis 2030 um 80% sinken.



Quelle: Umweltbundesamt, 2015

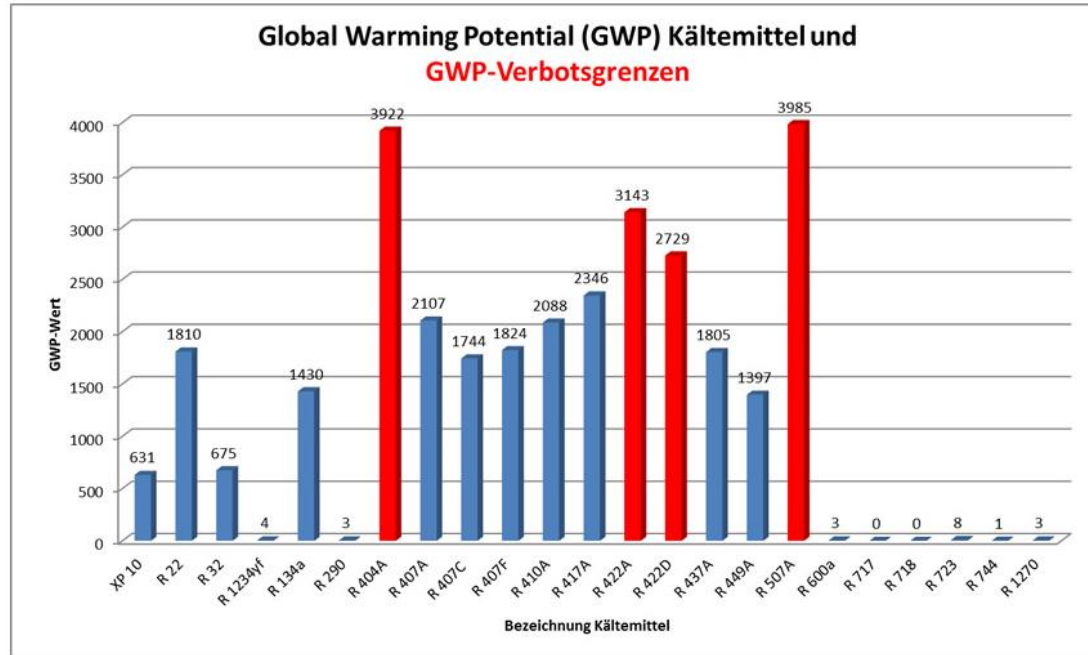
Erfolge der Gesetzgebung

Emissionen fluorierter Treibhausgase ("F-Gase")



Quelle: Umweltbundesamt, Nationale Treibhausgas-Inventare 1990 bis 2019 (Stand 12/2020) sowie Vorjahresschätzung (VJS) für das Jahr 2020 (PI 07/2021 vom 15.03.2021)

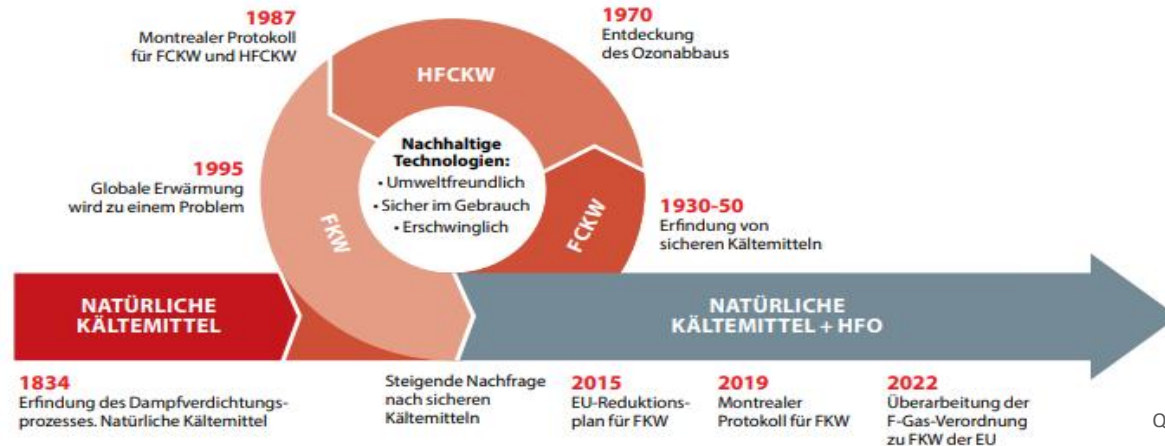
Global Warming Potential von Kältemitteln



Quelle: VDKF e.V.

Wahl geeigneter Kältemittel

- Mit der Kältemittelwahl werden erste Effizienzentscheidungen getroffen.
- Synthetische Alternativkältemittel in großer Zahl angeboten. Keines davon kann ausnahmslos überzeugen, oder ist eine echte Langzeitlösung



Quelle: Danfoss Kältemittel – jetzt und in Zukunft

→ Alternative: Rückbesinnung auf natürliche Kältemittel

Anforderungen an Kältemittel

Kältemittel sollten weder brennbar, noch giftig oder korrosiv sein, sollen klimaneutral sein und folgende Eigenschaften besitzen:

- gute Mischbarkeit mit Öl,
- thermische und chemische Stabilität,
- hohe Kälte- und Wärmeleistung bei geringem Energieaufwand,
- günstiges Druckverhältnis,
- niedrige Verdichtungsendtemperatur,
- gutes Preis-Leistungs-Verhältnis.

	GWP	brennbar	giftig	Kosten für KM	Kosten Anlage	Verdichter- hubvolumen	theoretische Kälte- leistungszahl
HFKW	hoch	nein	nein	moderat	niedrig	mittel	gut
HFO	niedrig	moderat	nicht akut	hoch	mittel	mittel	gut
Kohlen- wasserstoffe	niedrig	ja	nein	niedrig	mittel	mittel	gut
Kohlendioxid	niedrig	nein	ab 10 %	niedrig	mittel	klein	mittel
Ammoniak	keins	entflamm- bar	ja	niedrig	höher	mittel	sehr gut
Wasser	keins	nein	nein	niedrig	mittel	sehr groß	gut

Quelle: Michael Kauffeld, Vergleich der natürlichen Kältemittel untereinander für eine Vorauswahl

Eigenschaften von Kältemitteln

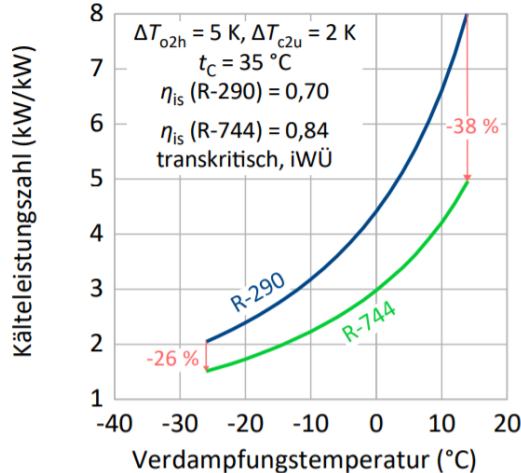
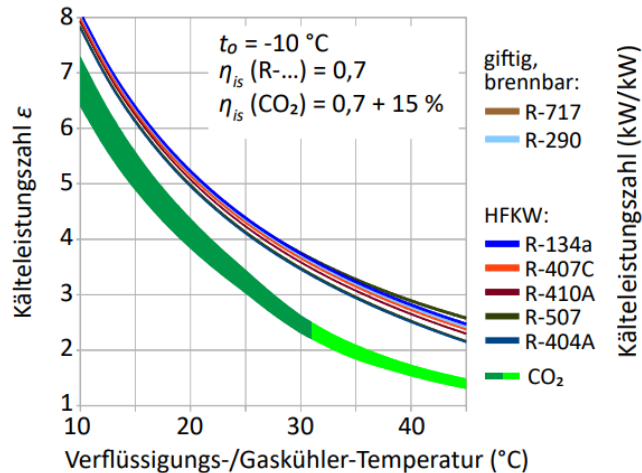
Eigenschaft	Isobutan (R600a) Propan (R290)	R744 (CO ₂)	R717(NH ₃)	HFKW-R32 / HFKW R41/HFKW R152/152a	R1234 yf / R1234ze
GWP	3	1	0	675 /92/43/125	4/7
Sicherheitsklasse	A3	A1	B2L	A2L	A2L
Thermodynamische Eigenschaften	niedrigerer Verflüssigungspunkt, günstige thermodynamische Eigenschaften	hohe volumetrische Kälteleistung, relativ ungünstigen thermodynamische Eigenschaften, Drucklage hoch, kritische Temperatur mit 31°C (74 bar) sehr niedrig, guter Wärmeübergang	Gute thermodynamische Eigenschaften, sehr guter Wärmeübergang, hoher Adiabaten-exponent hohe Druckgastemperatur (NH ₃ = 1,31),	niedrige Dichte	Siedepunkt -18°C, Geringe volumetrische Kälteleistung
Sicherheitsaspekte	schwerer als Luft, in hohen Konzentrationen narkotisierend und erstickend	in hohen Konzentrationen erstickend, Nicht brennbar, nicht toxisch	Explosionsgrenze unten/ Oben mit Luft 15% /30% aber Warnwirkung 5-10 ppm, Wassergefähr- dungsklasse 2	Brennbar Explosionsgrenze unten/ Oben mit Luft 14% /33,4%	Brennbar (60°C) Mindestflammpunkt 30°C Bildet Zersetzungsprodukte
Effizienz	Hohe Effizienz / Leistungszahl	Geringere Effizienz	Höchste Energie- effizienz/ Leistungszahl	Gute Effizienz	

Eigenschaften von Kältemitteln

Eigenschaft	Isobutan (R600a) Propan (R290)	R744 (CO2)	R717(NH3)	HFKW-R32 / HFKW R41/HFKW R152/152a	R1234 yf / R1234ze
GWP	3	1	0	675 /92/43/125	4/7
Sicherheitsklasse	A3	A1	B2L	A2L	A2L
Investive Anforderungen	Öl- und Komponenten- verträglichkeit preisgünstig	Kleinere Leitungen geringe Druckverluste Hohe Schmierstoff- anforderungen, preisgünstig keine Rückgewinnung/ Entsorgung	Materialunverträglichke- it Kupfer und Messing, geschweißte Leitungen erforderlich, Prüfpflicht Höhere Anforderungen an Öl- und Schmier- stoffe sowie Ölab- scheidung preisgünstig	Öl- und Komponenten- verträglichkeit preisgünstig	Öl- und Komponenten- verträglichkeit preisgünstig
	Gewerbekühlgeräte, Wärmepumpen, Klimageräte	subkritisch betriebene Kaskadenanlagen (Brauereien, Supermarktanlagen), transkritische Systeme (Wärmepumpen) Zuk. KFZ- Klimaanlagen	Prozesskälte, Industrielle Klima- tisierung, Gewerbe- kälte, Kaltwassersätze, (Großhandelskühl- räume, Tiefkühltunnel, Brauereien, Lebens- mittelverarbeitungsbe- triebe, Fangschiffe)	Klimaanwendungen, Gewerbekälte Kaltwassersätze industrielle Klimatisierung	Gewerbekälte,Chiller, Kaltwassersätze Wärmepumpen, Klimatisierung industrielle Klimatisierung

Wahl geeigneter Kältemittel

- CO₂- Höchstdruckkältemittel → zusätzliche technische Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz erforderlich
- R290 brennbar, aber höhere Effizienz



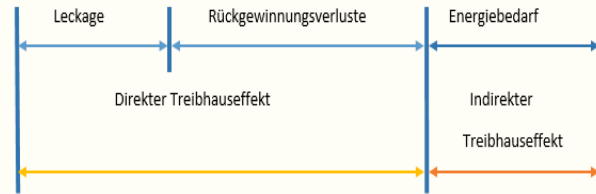
Stoffdaten-Vergleich, in Abhängigkeit von der Verflüssigungs-/Gaskühler-Temperatur bzw. der Verdampfungstemperatur

Quelle: Jörn Schwarz, Effizient Kälte einsetzen
Bremen – 21. Juni 2018

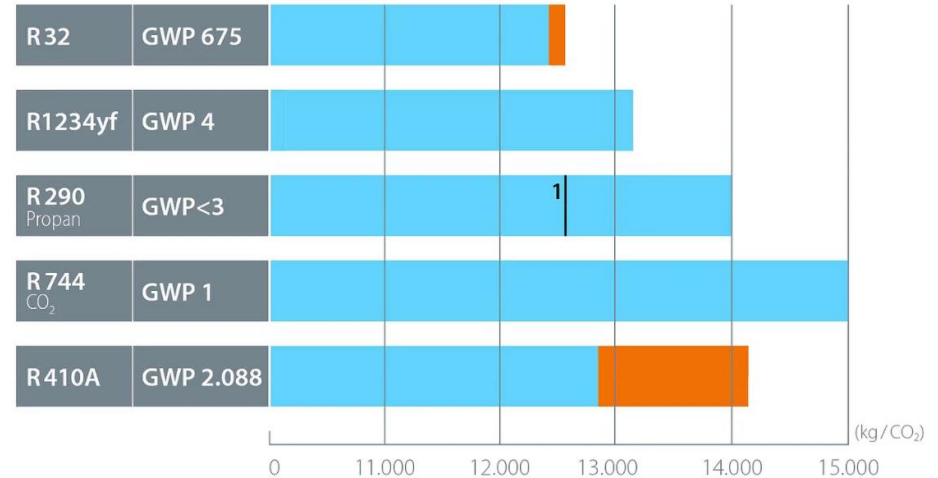
Ganzheitliche Bewertung über den Lebenszyklus

TEWI - TOTAL EQUIVALENT WARMING IMPACT

$$\text{TEWI} = (\text{GWP} \times L \times n) + (\text{GWP} \times m [1 - \alpha_{\text{recovery}}]) + (n \times E_{\text{annual}} \times \beta)$$



GWP		Treibhauspotenzial	[CO ₂ – Äquivalent nach IPCC IV]
L	-	Leckrate pro Jahr	[kg/a]
n	-	Betriebszeit der Anlage	[Jahre]
m	-	Anlagenfüllgewicht	[kg]
α_{recovery}	-	Recycling- Faktor	
E_{annual}	-	Energiebedarf pro Jahr	[kWh/a]
β	-	CO ₂ - Emission Energieeinsatz pro kWh	[kg CO ₂ – Äquivalent / kWh]



Beispiel: 3,5-kW-Klimaanlage in Europa, Ecodesign SEER-Kalkulation
(EU-Durchschnittsemissionen Elektrizität = 0,43 kg/kWh)

¹ **Anmerkung:** Weitere Zugabe von R290 hat die gleichen Auswirkungen wie die von R32, wird aber als unsicher bzgl. IEC-Standards eingestuft.

Indirekte Emissionen (blau), direkte Emissionen (orange) über gesamte Lebensdauer

Grafik: DAIKIN Airconditioning Germany

Trends

Kaltwassersätze

- Bei Nieder-/ Mitteldruck-Kaltwassersätzen Verwendung von reinen HFO (R1233zd und R1234ze)
- Diese Systeme werden kurz- bis mittelfristig für Kältemittel mit sehr niedrigem GWP modifiziert.
- Mittel-/ Hochdruck-Kaltwassersätze nutzen Alternativen mit GWP 125 bis 750 auf (A2L).

VRF-Systeme (hohe Kältemittelfüllmengen)

- Reduzierung der Rohrleitungsgröße durch Kältemittel mit mittlerer bis hoher Dichte: R32 oder DR55
- Lokale Brandschutzbestimmungen schränken die Verwendung von A2L-Kältemittel erheblich ein.

Industriekälte

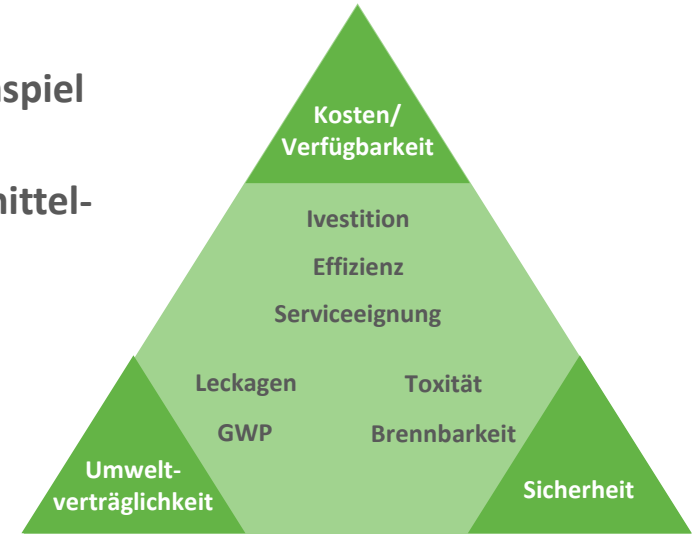
- Ammoniak (NH₃) ist und bleibt die erste Wahl für Anwendungen der Industriekältetechnik ggf. in Kombination mit CO₂.
- Durch die Reduzierung der Füllmengen wird Sicherheitsbedenken entgegengesteuert.

Gewerbekälte und Lebensmitteleinzelhandel

- Hermetisch dichte Anwendungen: Kohlenwasserstoffe wie R600a und R290
- Verflüssigungssätze: langfristiger Übergang zu Lösungen mit geringerem Treibhauspotential (CO₂, R290 oder HFO-Gemische)
- Zentralisierte Direktexpansionssysteme: transkritische Systeme und Kaskadenanlagen mit CO₂ (hohes Entwicklungspotential)

Fazit

- Klimaverträglichkeit ist nur ein Aspekt von mehreren.
- Für die Effizienz der Anlage sind das richtige Zusammenspiel zwischen Kältemittel und Systemdesign entscheidend.
- Abhängig vom Anlagentyp sind unterschiedliche Kältemiteleigenschaften gefragt.
- Sicherheitsaspekte müssen berücksichtigt werden.
- Investitions-, Installations- sowie Betriebskosten sind mitentscheidend
- Für eine Bewertung ist die gesamte Klimabilanz im Lebenszyklus der Produkte zu berücksichtigen.



Intelligente Lösungen, mit hoher Energieeffizienz und Kältemittel mit niedrigem Treibhauspotential sind der richtige Weg zu einer nachhaltigen Kälte- und Klimatechnik.



5. Jahresveranstaltung IEEKN Energieeinsparpotentiale in der Kältetechnik

Online

22. September 2021



Energieeinsparpotentiale Kältetechnik

Durch den Einsatz effizienter Technik in Kälteanlagen können in Deutschland knapp 32.000 GWh pro Jahr eingespart werden.

■ Energieeinsparpotentiale

- Reduzierung der treibenden Temperaturdifferenzen an Wärmetauschern ca. 12%
- Effiziente Regelung ca. 10%
- Einsparung des Kältebedarfs ca. 7%
- Einsatz von hocheffizienten Antriebsmaschinen ca. 3%
- Weitere Anlagenoptimierung ca. 8%

Quelle: Forschungsrat Kältetechnik, 2008

Kennzahlen für Effizienz

Kälteerzeugungseffizienz η_{KC} :

Einfluss von Verlusten bei der Kälteerzeugung.

Wärmetransporteffizienz η_{WT} :

Einfluss von Temperaturdifferenzen, die für den Wärmetransport erforderlich sind z.B. durch Vereisungen, Verschmutzungen.

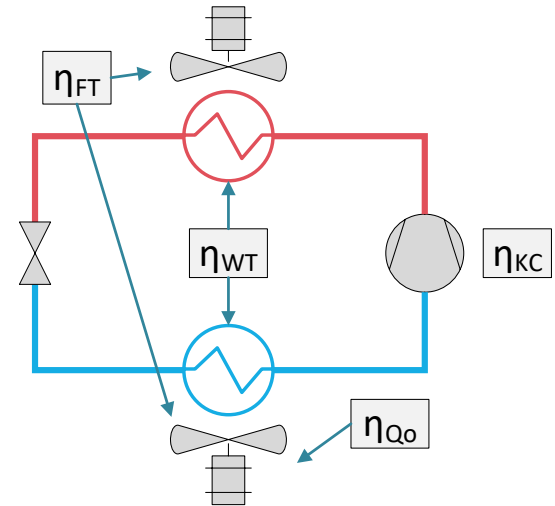
Fluidtransporteffizienz η_{FT} :

Einfluss der Leistungsaufnahme von Nebenaggregaten, z.B. Pumpen, Ventilatoren, Abtauheizungen.

Kältenutzungseffizienz η_{Q_0} :

Einfluss auf Nutzkälteleistung durch unerwünschte Wärmezufuhr auf der kalten Seite, z.B. durch Nebenaggregate

$$\eta_{ges} = \eta_{KC} \cdot \eta_{WT} \cdot \eta_{FT} \cdot \eta_{Q_0}$$



Quelle: VDMA 24247-2, 2018

Anhebung der Verdampfungstemperatur / des Verdampfungsdrucks

Anhebung der Verdampfungstemperatur

- Die Leistung des Verdichters sinkt.
- Die Leistung des Verdampfers steigt.
- Die Leistung (EER) steigt.

$$EER = \frac{\text{Kälteleistung}}{\text{Verdichterleistung}} = \frac{\dot{Q}_0}{P_{el}}$$

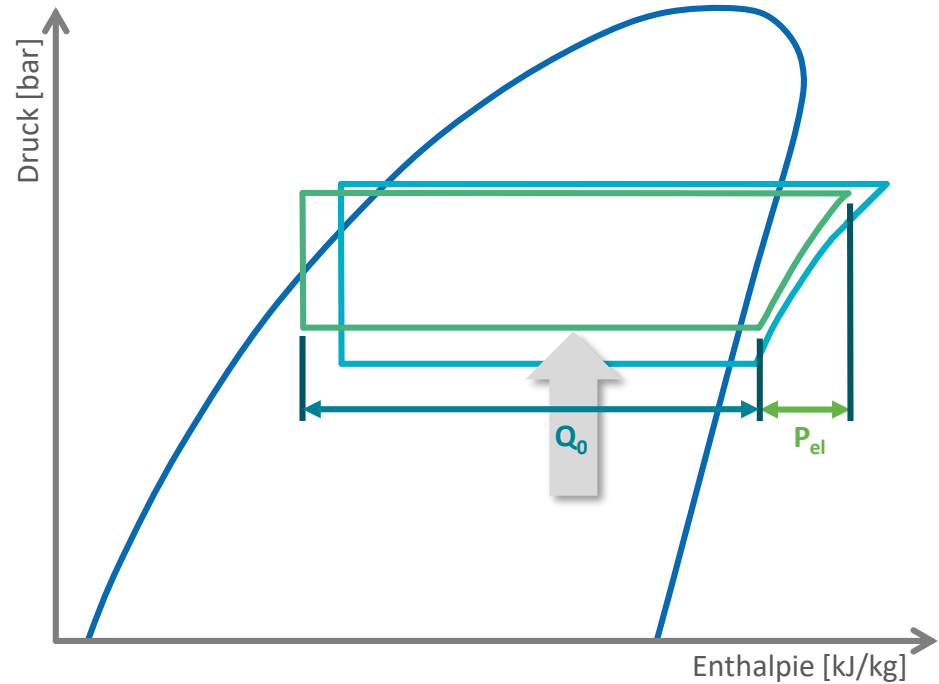


Abbildung: ÖKOTEC

Absenkung der Kondensationstemperatur / des Kondensationsdrucks

Absenkung der Kühlwassertemperatur

- Die Leistung des Verdichters sinkt.
- Die Leistung des Verdampfers steigt.
- Die Leistung (EER) steigt.

$$EER = \frac{\text{Kälteleistung}}{\text{Verdichterleistung}} = \frac{\dot{Q}_0}{P_{el}}$$

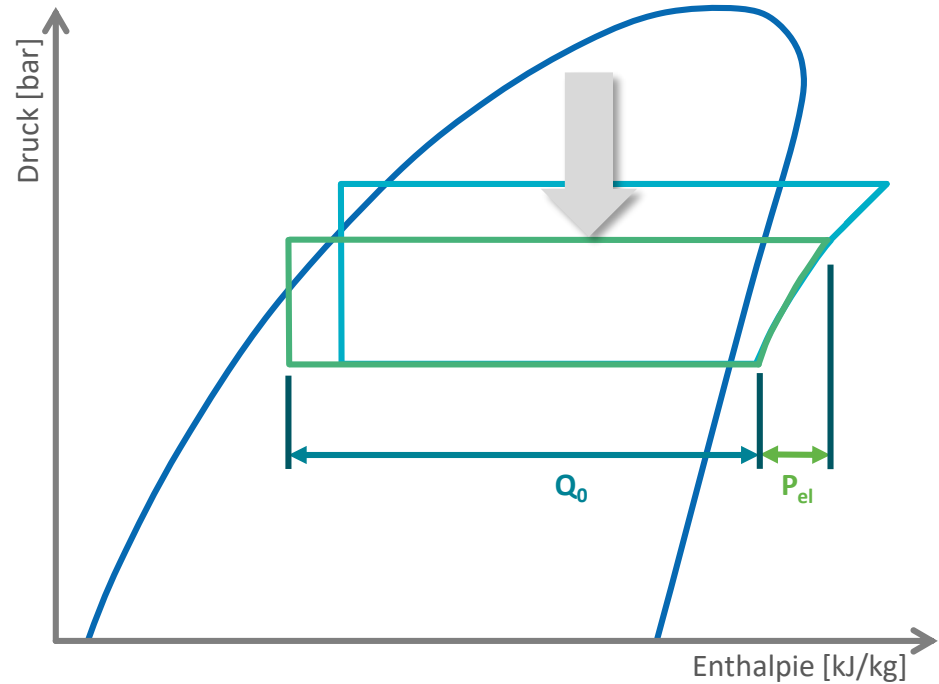
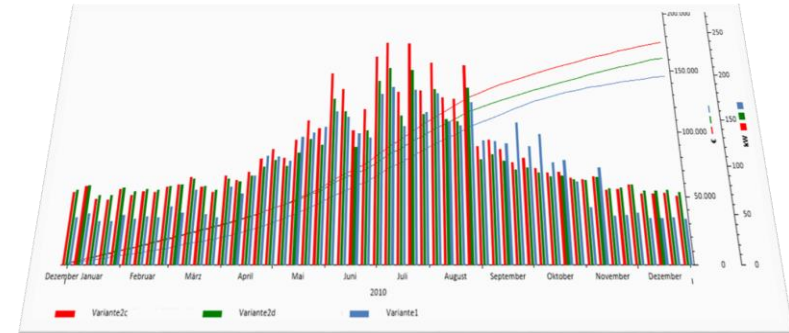


Abbildung: ÖKOTEC

Teillasteffizienz

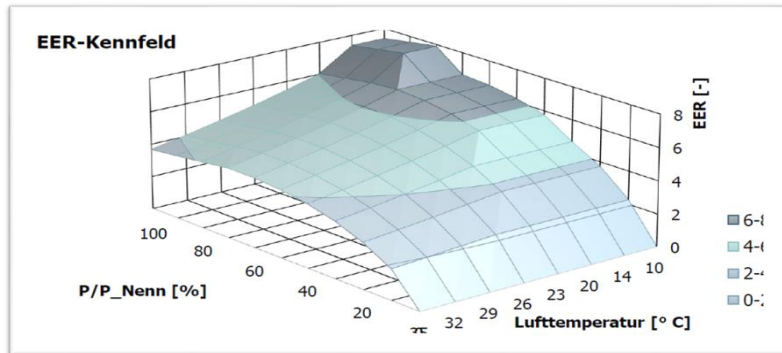
Bedarfsgerechte Regelung

Regelung in Abhängigkeit vom Bedarf
Anpassung der Leistungsgrößen
/Betriebsparameter an die
Lastanforderungen der Verbraucher

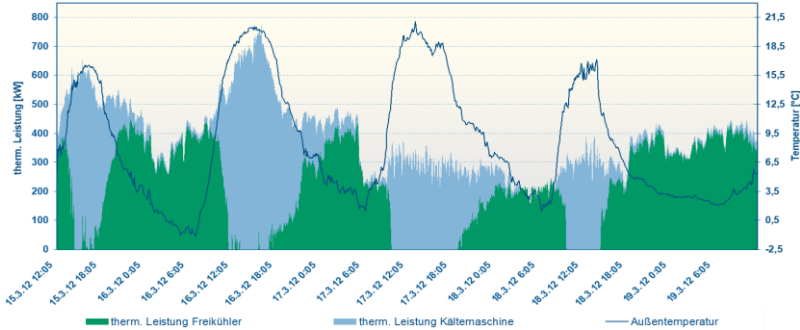


Auswahl der Kältemaschine nach Effizienz in den Hauptlastfällen

Bewertung auf Basis von Lastanalysen und
Teillasteffizienzen unter Beachtung variabler
Einflussgrößen



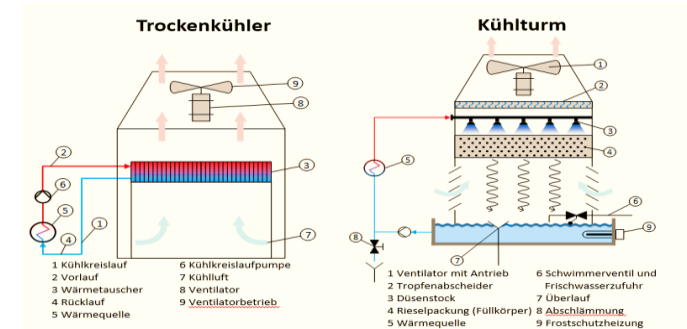
Einsparmaßnahmen - Freie Kühlung



Freie Kühlung

Kälterzeugung über Rückkühler / Kühltürme in Tieftemperaturperioden oder Schwachlastzeiten, zur Vorkühlung

Großzügige Dimensionierung der Wärmeübertragerflächen
Maximierung der Temperaturniveaus
Kälterückgewinnung und sorbtive Kühlung



Einsparmaßnahmen - Rückkühlung

**Maximierung der Temperaturspreizung
und hydraulischer Abgleich der Systeme**
Prüfung der tatsächlichen Anforderungen
der Verbraucher

**Auswahl günstiger Standorte für
Rückkühler**
niedrige Umgebungstemperatur, freie
Zirkulation der Umgebungsluft

Regelmäßige Reinigung der Rückkühler
geringere Verschmutzung durch Pollen
und Sporen im Frühling

Einsatz drehzahl geregelter Ventilatoren
effiziente (stufenlose) Regelung

Einsparmaßnahmen - Kälteverteilung

Durchführung eines hydraulischen Abgleichs

optimale Kälteverteilung im Teilnetz, in Strängen und an Einzelanlagen mit minimalen Volumenströmen



Rückbau von Umlenkschaltungen und Massenstromabgleich zwischen Erzeugung und Verteilung

Reduktion der Pumpenergiekosten und Vermeidung von Temperaturverlusten

Vermeidung von Druckverlusten

Überprüfung Einsatz Drosselventile versus Einsatz dezentraler Hocheffizienzpumpen, Rohrleitungsführung und -dimensionierung

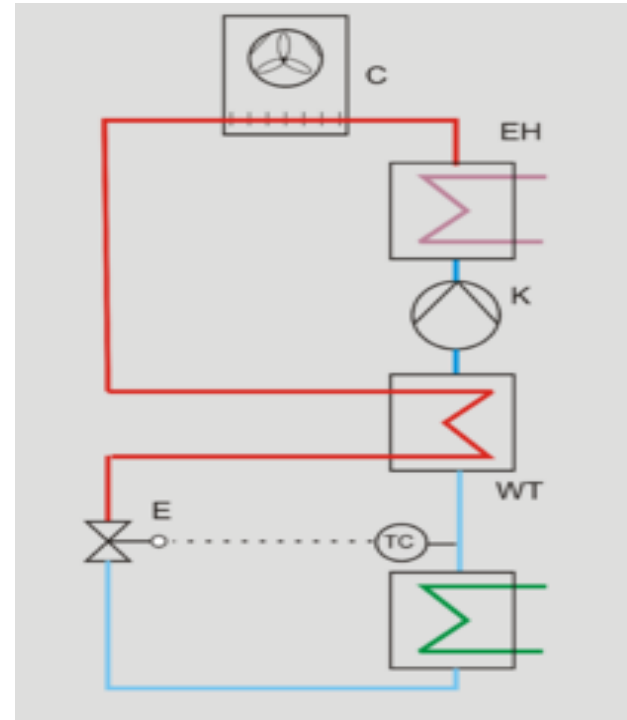
Einsparmaßnahmen - Verbraucher

Bedarfsgerechte Abtauregelung

- Beginn Abtauvorgang in Abhängigkeit von tatsächlichen Vereisungen am Verbraucher
- Abtaudauer geregelt nach Abtauerfolg
- Nutzung verfügbarer Abwärme

Wärmerückgewinnung

- Nutzung der Rückkühlwärme der Kältemaschinen z.B. zur Luftvorwärmung in Lüftungsanlagen
- Nutzung der Ölkühlerwärme und Enthitzung zur Wärmebedarfsdeckung



Systematik Vorgehen Systemoptimierung

Nutzenergieverbrauch Kälteverbrauch

- Reduzierung Nutztemperaturniveau
- Bedarfsgerechte Regelung des Kälteeinsatzes
- Kälterückgewinnung

Energieverteilung Kälteverteilung

- Minimierung Kälteverluste
- Reduzierung der Grädigkeit im Systems
- Minimierung der Volumenströme

Nutzenergieerzeugung Kälteerzeugung

- Bedarfsgerechte, hocheffiziente Kältemaschinen mit Wärmerückgewinnung
- Effiziente Regelung
- Maximale Nutzung „Freie Kühlung“

Empfehlung

- Gesamtsystembetrachtung
- Effizienzbewertung auf Basis von Lastgangauswertungen
- Einsatz effizienter natürlicher Kältemittel
- Betriebsabhängige Maximierung der Kühltemperaturniveaus und Minimierung der Grädigkeiten und Kondensationstemperaturen (wenn keine Abwärmenutzung erfolgt) unter Nutzung der Freien Kühlung
- Kälterückgewinnung prüfen, Abwärmenutzung prüfen
- Optimierung am Verbraucher beginnen
- Effizienzerhalt durch Monitoring sicherstellen
- Effizienzerhalt durch angepasste Wartung sicherstellen



Vielen Dank.

ÖKOTEC Energiemanagement GmbH

EUREF-Campus, Haus 13
Torgauer Straße 12-15
10829 Berlin

Tel. +49 (30) 536397 – 0
Fax +49 (30) 536397 – 90
energie@oekotec.de

www.oekotec.de