



***Pragmatische Lösungen für Betriebe, die klima-freundliche
Kältetechnologien nutzen wollen.***

Fachtagung am LfU in Augsburg,
den 1.12.2015

Anwendung natürlicher Kältemittel bei
Klima- und Kälteanlagen

Dr.- Ing. Rainer M. Jakobs, Mitglied im Vorstand des DKV e.V.

und IZW e.V.

Prof. Dr.- Ing. Ullrich Hesse, Vorsitzender des DKV e.V.

und Technische Universität Dresden

Agenda

- Vorstellung
- Einführung
- Definition und Eingrenzung
- Was bedeutet die F-Gas Verordnung für die Betriebe?
- Lösungen
- Empfehlungen Hinweise
- Quo vadis ?

Wer ist der DKV?

- Der einzige deutsche technisch-wissenschaftliche Verein für die Bereiche der Kälte-, Klima- und Wärmepumpentechnik.
- 1909 in Berlin gegründet.
- förderndes Mitglied des International Institute of Refrigeration (IIR), Paris und
- Vertretung der Bundesrepublik Deutschland im IIR.
- assoziiertes Mitglied der American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta.

Zweck des Vereins

- Förderung wissenschaftlicher und technischer Arbeit
- Netzworkebildung seiner Mitglieder und dessen Pflege durch:
 - wiss. Veranstaltungen und Forschungsvorhaben
 - Nachwuchsförderung
 - Veröffentlichungen und Vereinsmitteilungen
 - internationale Beziehungen
 - Ehrungen und Auszeichnungen

Die Arbeitsabteilungen des DKV

Arbeitsabteilung I:
Kryotechnik

Arbeitsabteilung II.1:
**Grundlagen und Stoffe
der Kälte- und
Wärmepumpentechnik**

Arbeitsabteilung II.2:
**Anlagen und Komponenten
der Kälte- und
Wärmepumpentechnik**

Arbeitsabteilung III:
Kälteanwendung

Arbeitsabteilung IV:
**Klimatechnik und
Wärmepumpenanwendung**



Agenda

- Vorstellung
- **Einführung**
- Definition und Eingrenzung
- Was bedeutet die F-Gas Verordnung für die Betriebe?
- Lösungen
- Empfehlungen Hinweise
- Quo vadis ?

Kältetechnik

**Technik zur Erzeugung, Aufrechterhaltung
und Ausnutzung einer tiefen Temperatur in
einem begrenzten Bereich im Vergleich zur
Umgebungstemperatur.**

Kälteerzeugung

Kälteanwendung

Kälteanwendung

Im Wesentlichen sind zwei Hauptgebiete zu unterscheiden:

Der Einsatz der Kältetechnik zur Verbesserung der menschlichen Lebens- und Umweltbedingungen

und zur

Verbesserung gewerblicher und industrieller Herstellungsverfahren.

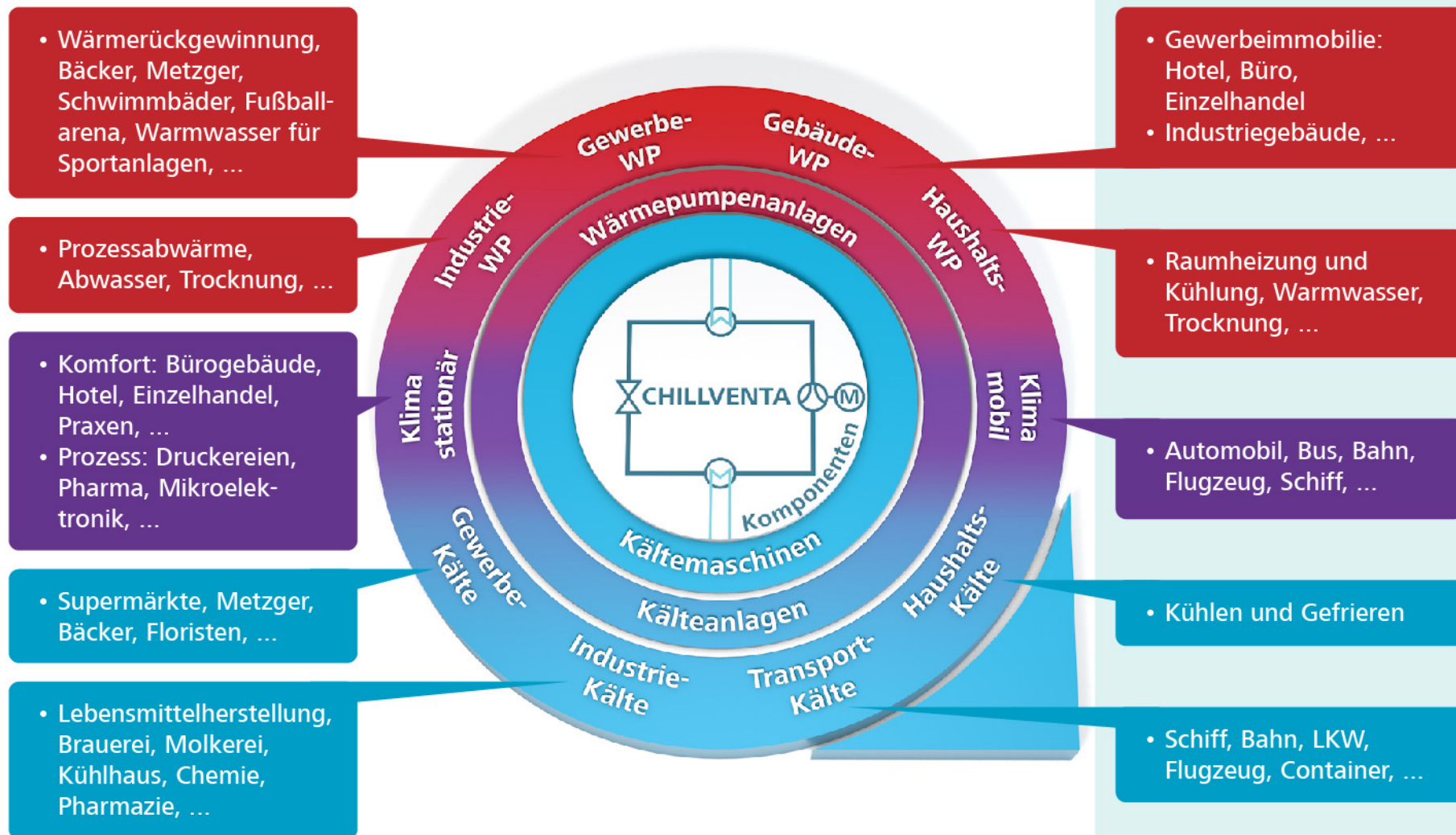
Anwendungen in der Kältetechnik

Gewerbe				Gewerbe			Gewerbe	"Leisure" Gewerbe Industrie	Privat- haushalt
Industrie						Super- markt	Dienstleister		
Herstellung Lagerung Transport Verkauf	Transport	Herstellung	Lagerung	Herstellung Lagerung	Lagerung Verkauf	Lagerung Verkauf	Herstellung Lagerung Verkauf	Eisbahnen	Lagerung Herstellung
Landwirtschaft	Schiff	Nahrungs- u.	Kühlhäuser	Bäcker	Bäcker	SB-Markt	Restaurant	Eisbahnen	Kühlen
Forsten	Bahn	Genußmittel	Container	Fleischer	Fleischer	Kaufhaus	Hotel	Bobbahnen	Gefrieren
Viehzucht	Lkw	Schlachthöfe	Kühlschiffe	Konditor	Konditor	Hypermarkt	Kantine	...	
Geflügel	Flugzeug	Fabrikschiffe	Kühlzellen	...	Floristen	Getränke- handel	Catering	Schwimm- bäder	
Eier	Container	EiSerzeug.	...				Fastfood		
Getreide	EiSerzeug.	Tiefkühlkost			Restaurants		...		
Wein		Fertiggerichte			Hotels				
Obst Gemüse		Speiseeis			Kantinen				
		Brauereien			Fischwagen				
Fischerei		Milchwirtschaft			Eiserzeugung				
		Mineralwasser							
Samen		Backwaren							
Jungpflanzen		Chemie							
		Petrochemie							
		Pharmazie							
		Werkzeugbau							
		Kunststoff							
		Automobil							
		Beton							
		Elektronik							

Sonderbereiche:
 Kryotechnik Laboratorien
 Kryomedizin Windkanäle
 Kryobiologie Testräume
 Erzeugung technischer Gase

Vielfältige Anwendungen der Kältemaschine für Kälte, Klima und Wärme

CHILLVENTA[★]



Vielfältige Anwendungen der Kältemaschine für Kälte, Klima und Wärme

CHILLVENTA[★]

- Wärmerückgewinnung: Bäckereien, Metzgereien, Schwimmbäder, Fußballarena, Warmwasser, Sportanlagen, ...

- Prozessabwärme, Abwasser, Trocknung, ...

- Komfort: Bürogebäude, Hotel, Einzelhandel, Praxen, ...
- Prozess: Druckereien, Pharma, Mikroelektronik, ...

- Supermärkte, Metzgereien, Bäckereien, Floristen, ...

- Lebensmittelherstellung: Brauerei, Molkerei, Kühlhaus, Chemie, Pharmazie, ...

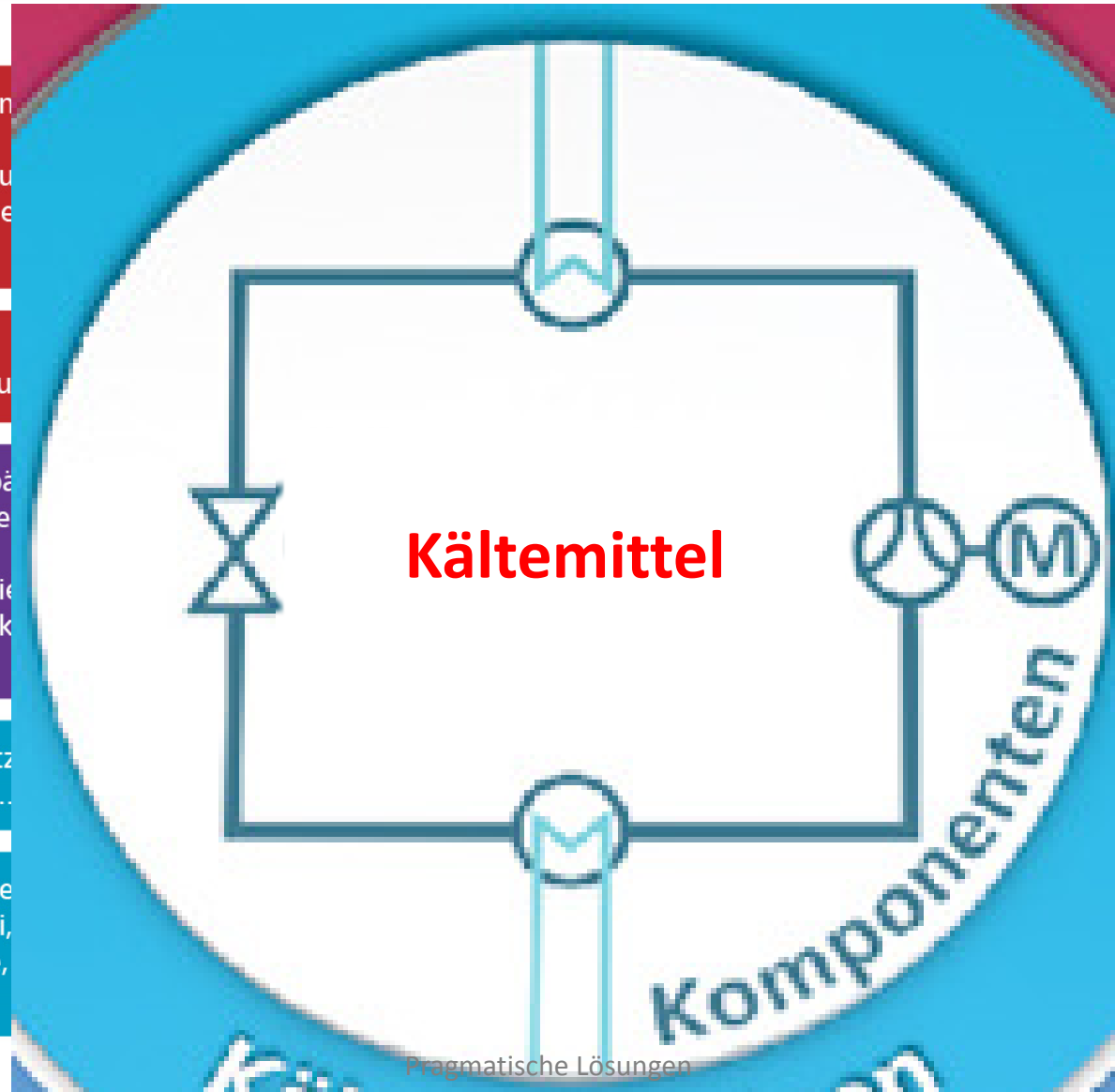
Wohnimmobilie:
Büro,
Handel
Lagergebäude, ...

Heizung und
Kühlung, Warmwasser,
Klimaanlage, ...

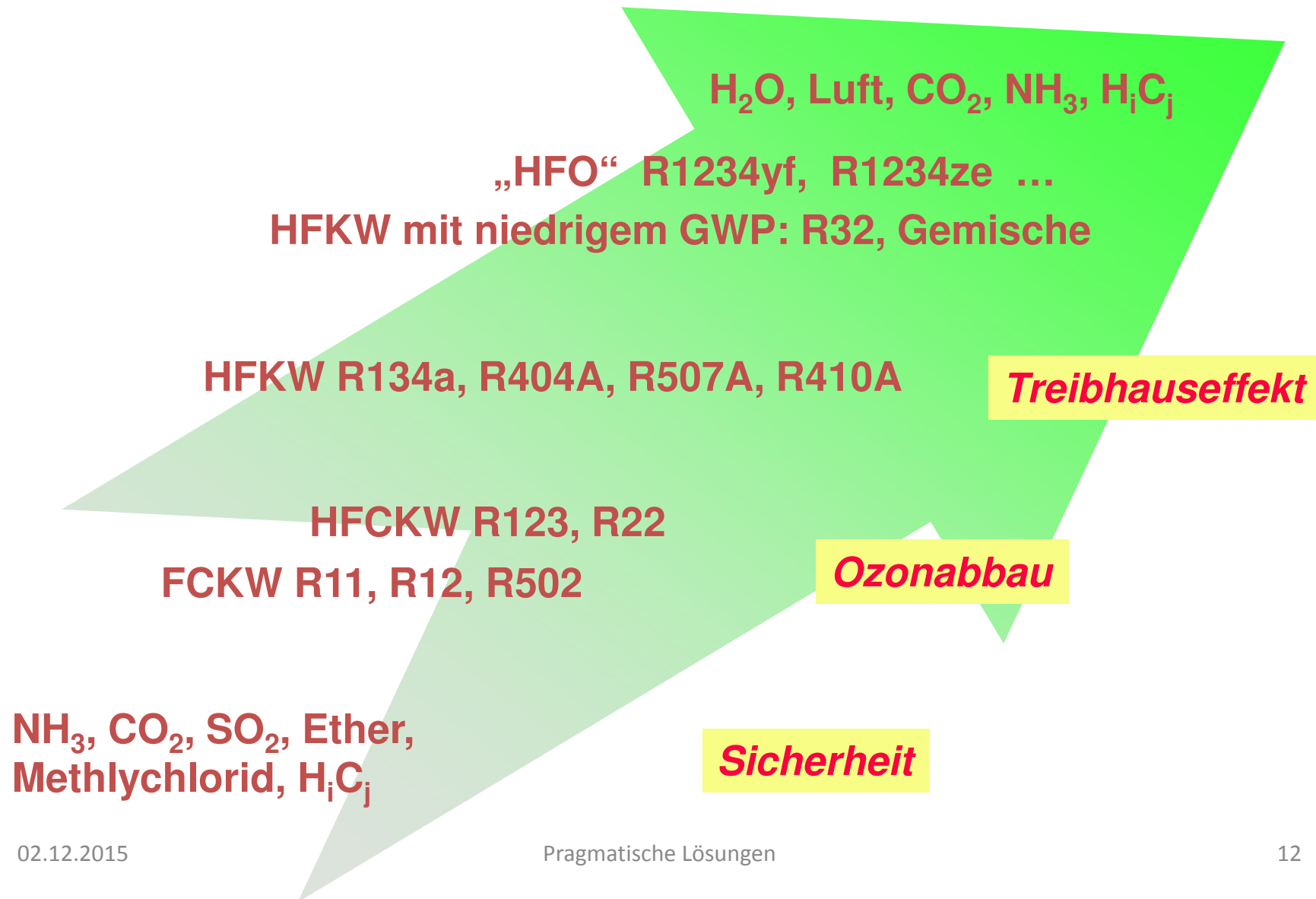
Automobil, Bus, Bahn,
Zug, Schiff, ...

Kühlung und Gefrieren

Refrigeration, Bahn, LKW,
Zug, Container, ...



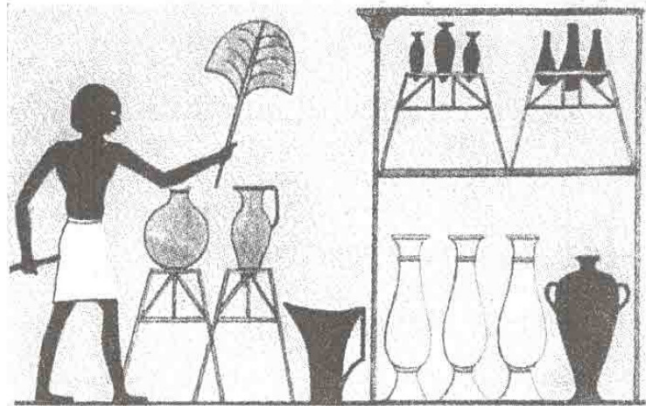
Road Map Kältemittel



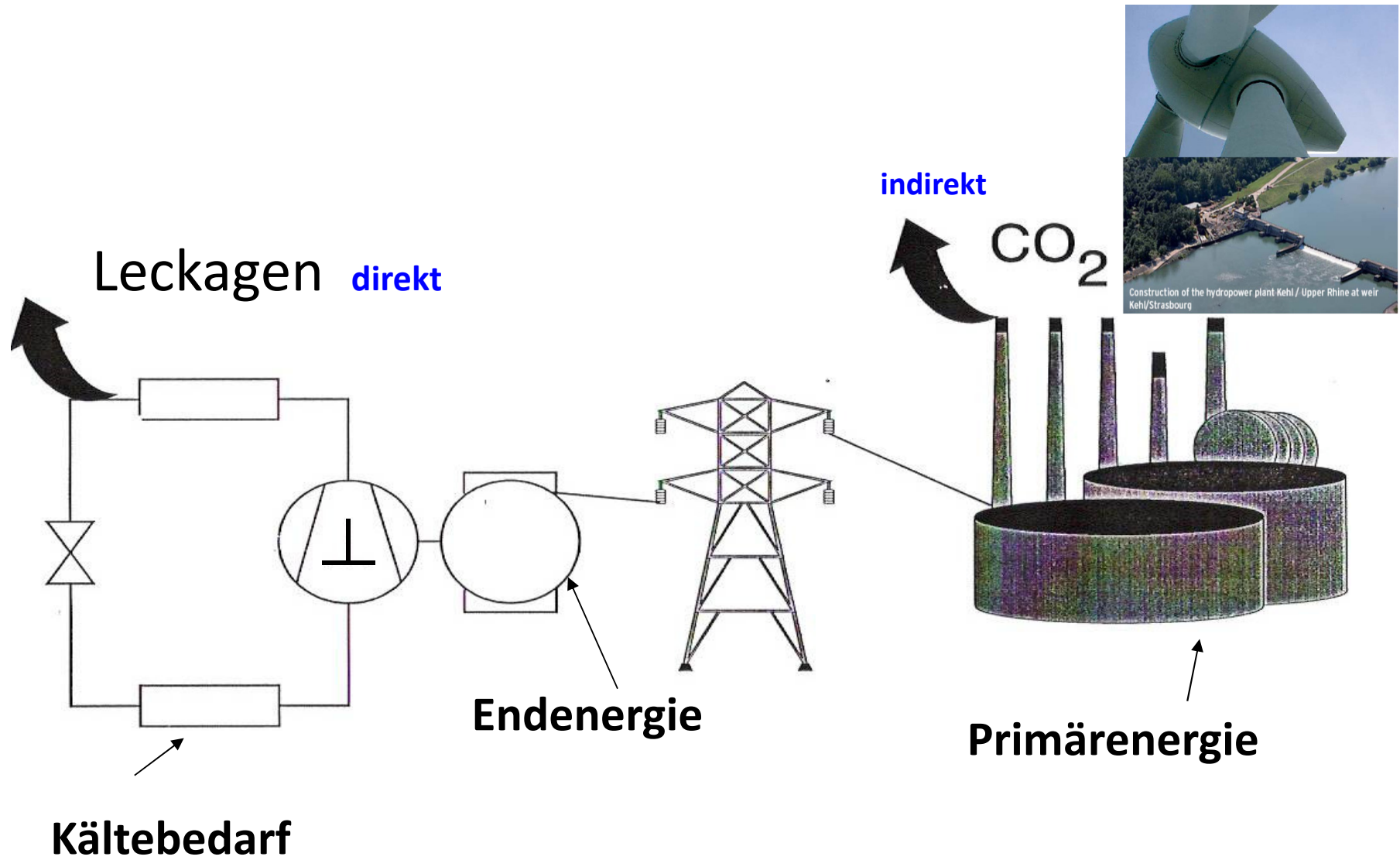
Agenda

- Vorstellung
- Einführung
- Definition und Eingrenzung
 - **Was bedeutet klimafreundlich?**
 - Welche Betriebe? Hier: gewerbliche Betriebe
 - Welche Systeme und Anlagen?
 - Was bedeutet „pragmatisch“?
- Was bedeutet die F-Gas Verordnung für die Betriebe?
- Lösungen
- Empfehlungen Hinweise
- Quo vadis ?

Nachhaltige Kälteerzeugung



Globale Erwärmung Total Equivalent Warming Impact (TEWI)



Nationale Treibhausgas-Emissionen (D)

Datenquellen: Umweltbundesamt, eigene Berechnungen

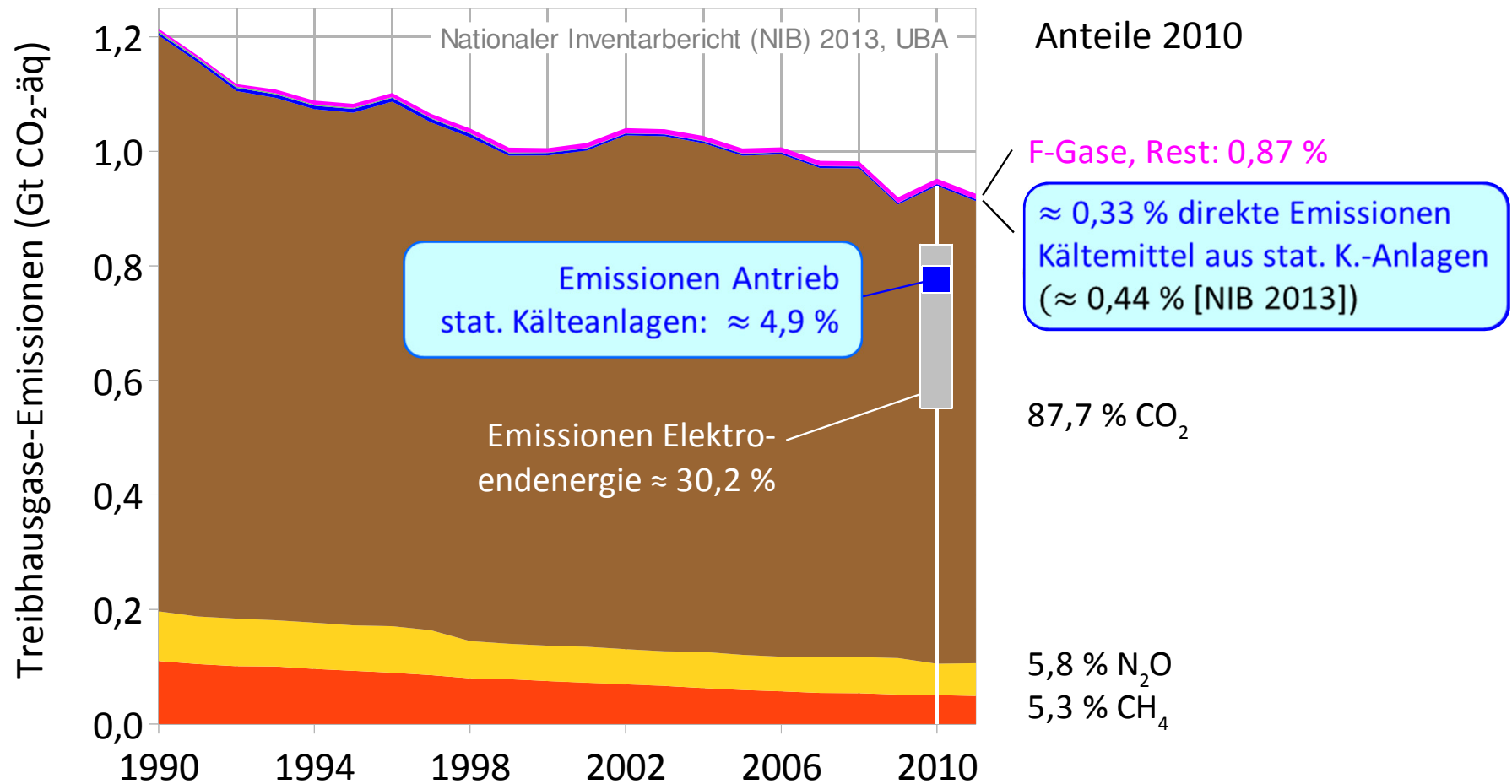
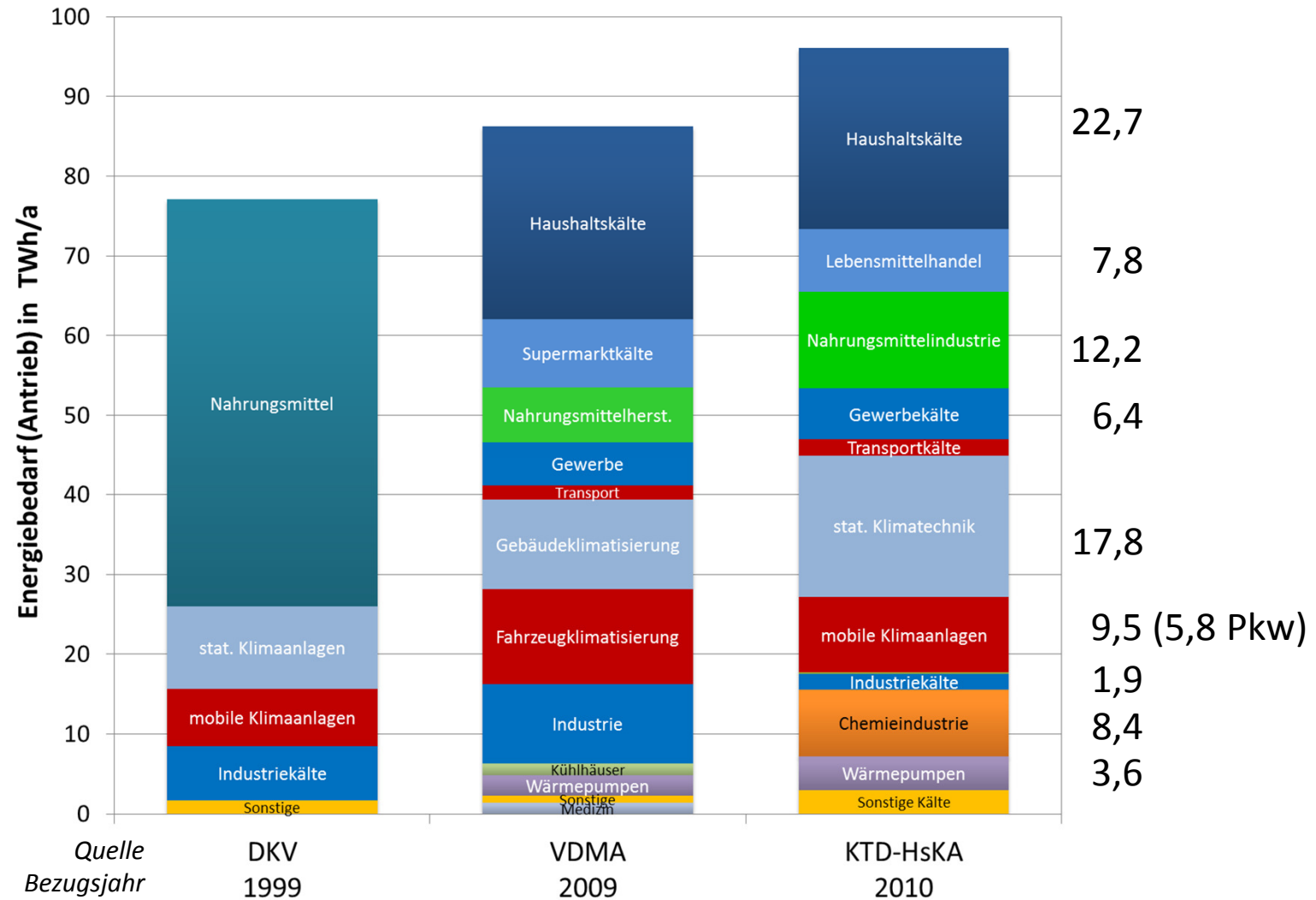
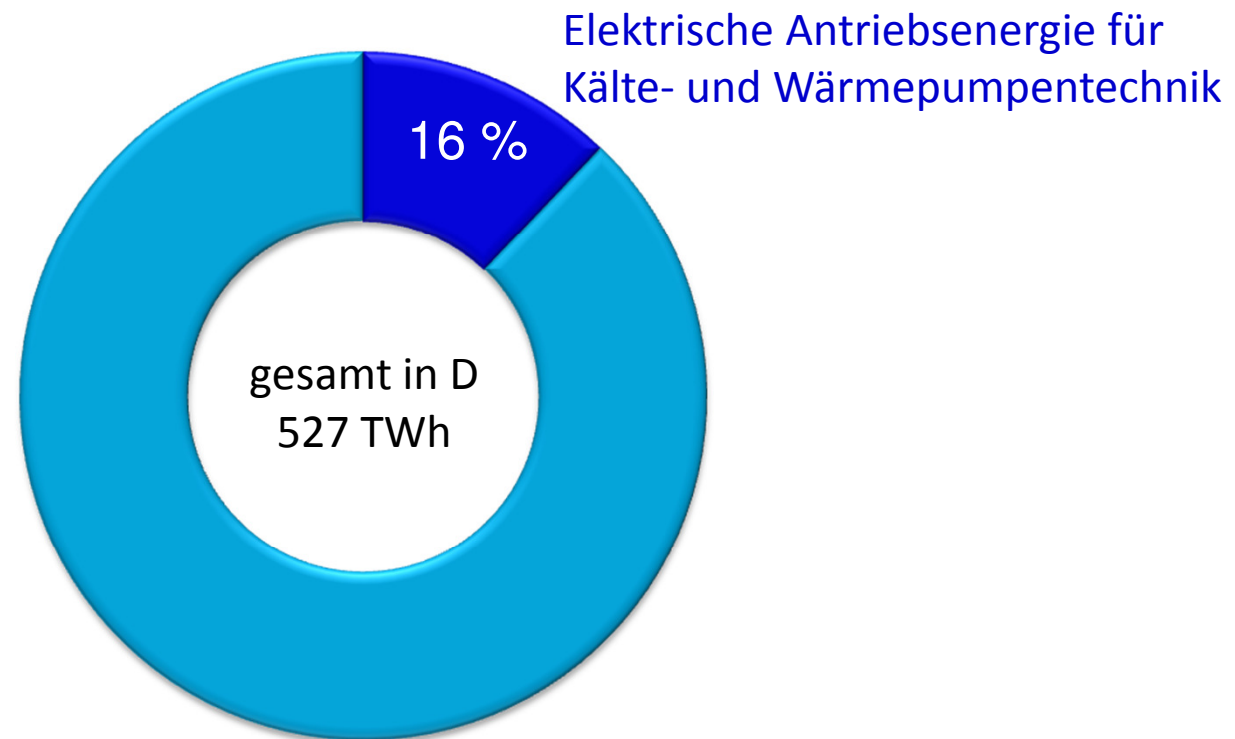


Bild: ICE-TEX, Emissionen für Antrieb von Kälteanlagen ergänzt, Prof. Arnemann, Hochschule Karlsruhe

Gesamter Antriebs-Energiebedarf

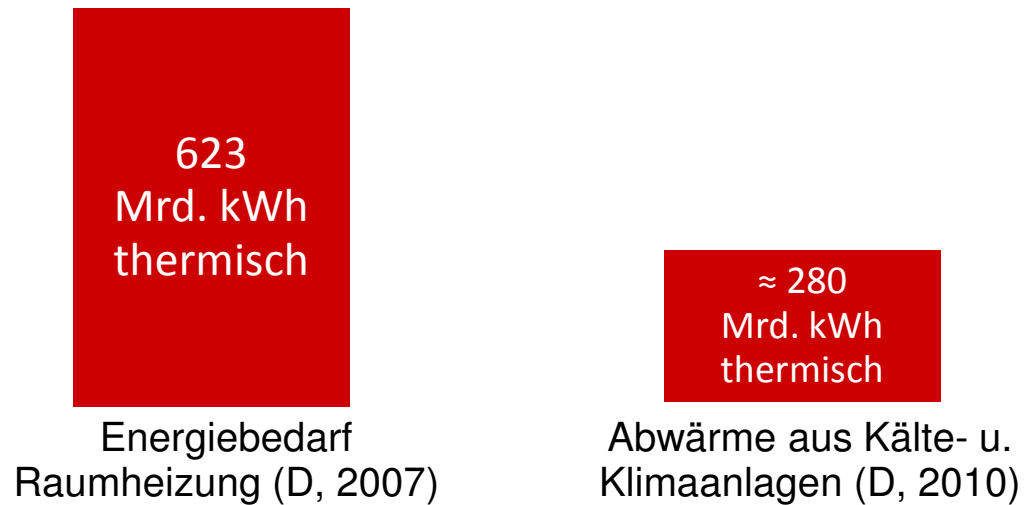


Nutzung von Elektro(end)energie in Deutschland 2010



Quellen:
BMWi, 2013
KTD-HsKA, 2013

Potenzial Abwärme Kälte/Klima



Klimafreundlich

- Vermeidung / Reduzierung von Treibhausgasen
 - Indirekten Emissionen bei fossilen Energieträgern
 - Direkte Kältemittel-Emissionen
 - Leckage vermeiden
 - Dichtheit kontrollieren
 - Schützen vor
 - Korrosion
 - Unfall „Gabelstapler“
 - Hohe Rückgewinnung bei EoL (End of Life)
 - Kältemittel mit keinem oder äußerst geringem Treibhauspotential, aber hoher Effizienz einsetzen

Agenda

- Vorstellung
- Einführung
- Definition und Eingrenzung
 - Was bedeutet klimafreundlich?
 - **Welche Betriebe? Hier: gewerbliche Betriebe**
 - Welche Systeme und Anlagen?
 - Was bedeutet „pragmatisch“?
- Was bedeutet die F-Gas Verordnung für die Betriebe?
- Lösungen
- Empfehlungen Hinweise
- Quo vadis ?

Definitionen Artikel 2

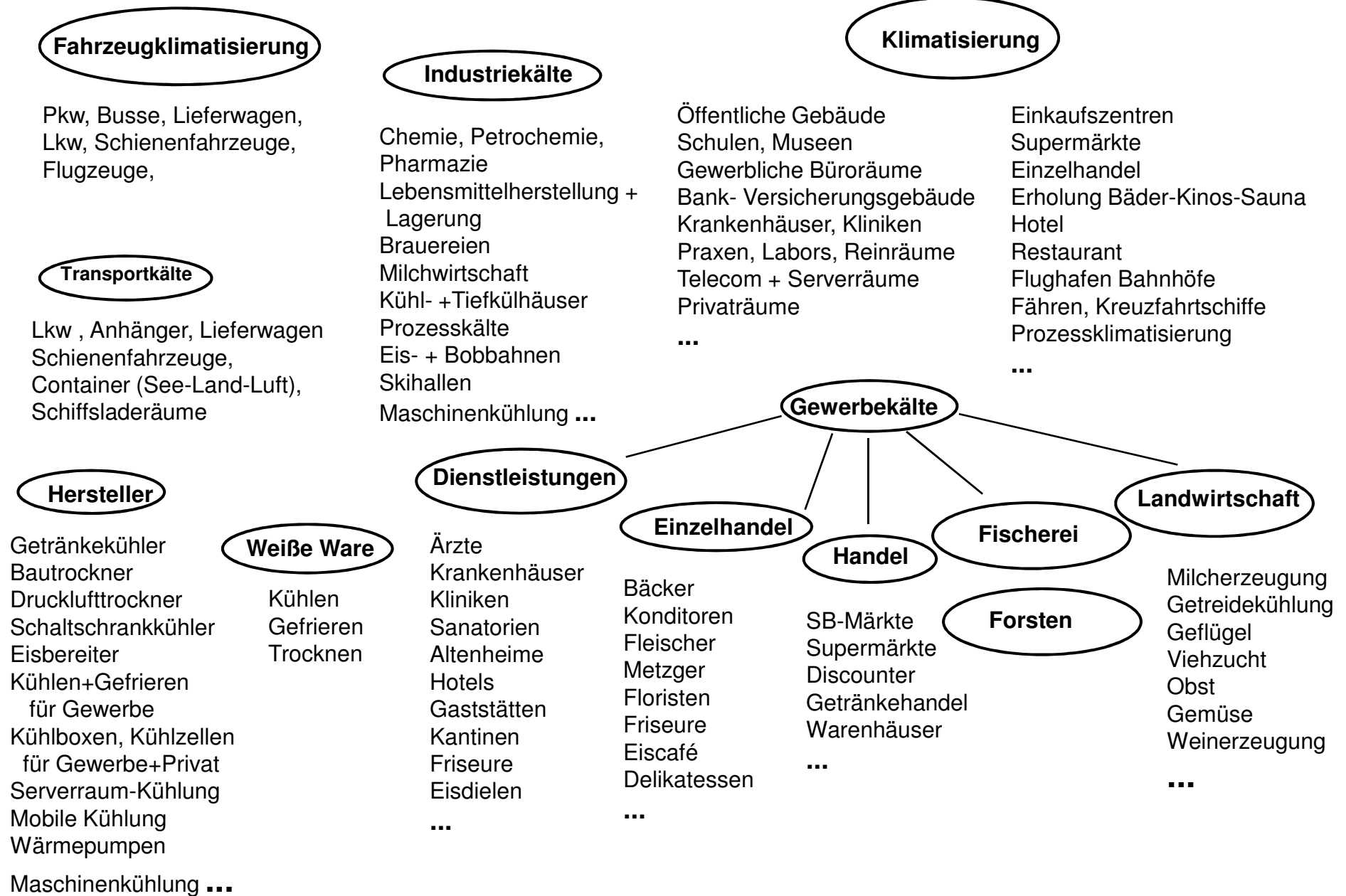
Artikel 2 Begriffsbestimmungen

Im Sinne dieser Verordnung bezeichnet der Ausdruck:

32. "gewerbliche Verwendung" die Verwendung für die Lagerung, Präsentation oder Abgabe von Erzeugnissen zum Verkauf an Endverbraucher, im Einzelhandel und in der Gastronomie;

Unterschied zum allgemeinen Begriff Gewerbe

Segmente der Kälte- und Klimatechnik Anwendungen



Gewerbebetriebe im Sinne der F-Gase Verordnung

Beispiele:

- Bäcker
- Metzger
- Lebensmitteleinzelhandel
- Eisdielen
- Restaurants
- Kantinen
- Kühllager für Lebensmittel

Agenda

- Vorstellung
- Einführung
- Definition und Eingrenzung
 - Was bedeutet klimafreundlich?
 - Welche Betriebe? Hier: gewerbliche Betriebe
 - **Welche Systeme und Anlagen?**
 - Was bedeutet „pragmatisch“?
- Was bedeutet die F-Gas Verordnung für die Betriebe?
- Lösungen
- Empfehlungen Hinweise
- Quo vadis ?

Gewerbekälte

- Beispiele für steckerfertige Geräte:



- Technik ähnlich wie Haushaltskälte (Kühlschrank)

/Quelle: UNEP Ozone Secretariat, Workshop on HFC management: technical issues, Bangkok, 20 and 21 April 2015 /

Gewerbekälte

- Beispiel für Verflüssigungssatz:



- für ein oder zwei Kühlstellen (ein oder zwei Verdampfer)
- industriell gefertigt
- Leitungsinstallation vor Ort

/Quelle: UNEP Ozone Secretariat, Workshop on HFC management: technical issues, Bangkok, 20 and 21 April 2015 /

Gewerbekälte

- Beispiel für Verdichter einer Verbundanlage:

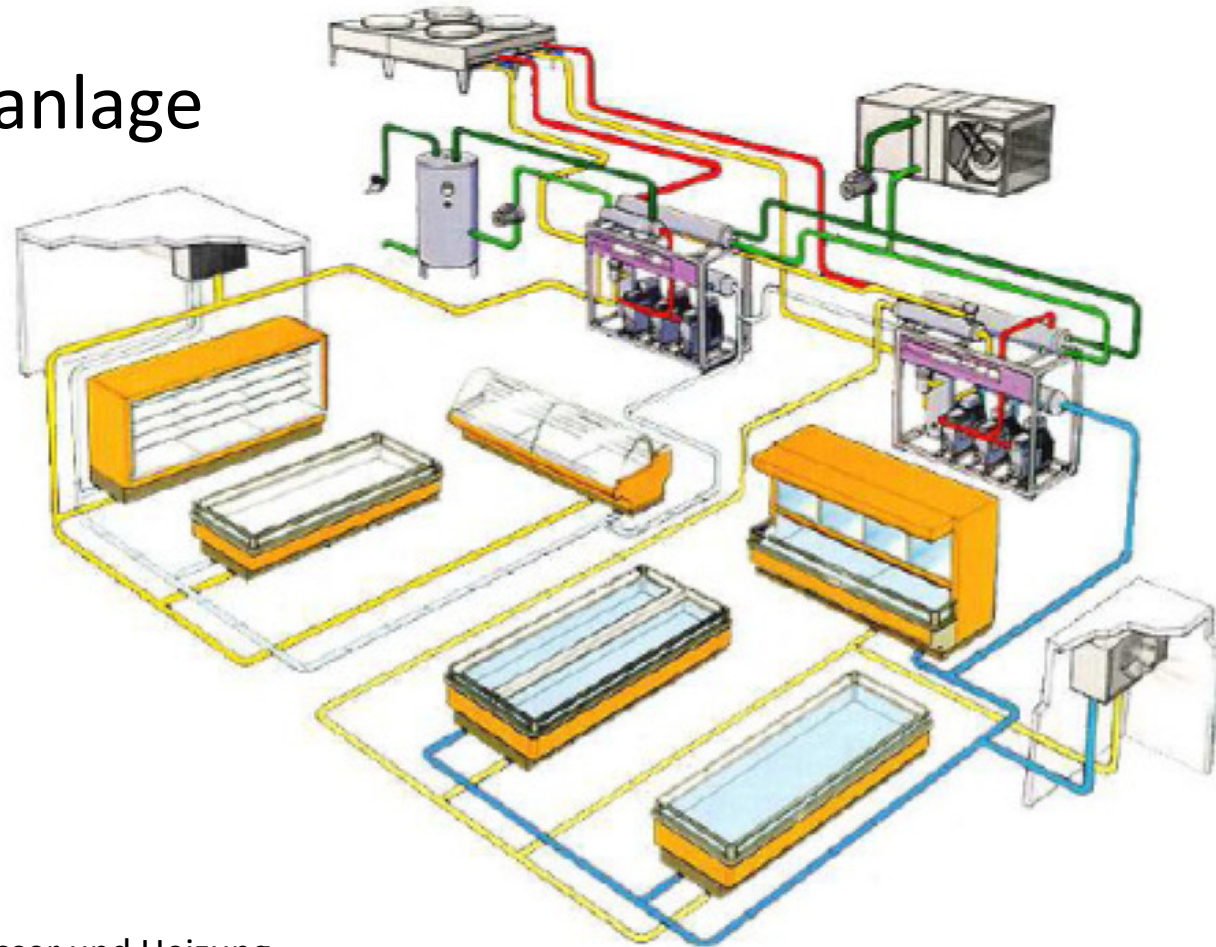


- für viele Kühlstellen (Verdampfer)
- Verzweigtes System mit Installation vor Ort

/Quelle: UNEP Ozone Secretariat, Workshop on HFC management: technical issues, Bangkok, 20 and 21 April 2015 /

Gewerbekälte

- Verbundkälteanlage (Supermarkt)



- Gelb: Flüssigkeit
- Blau: Saugleitung TK
- Weiß: Saugleitung NK
- Grün: Brauchwarmwasser und Heizung

/Quelle: Goeller J., United Technologies, Bangkok, 20 and 21 April 2015 /

Agenda

- Vorstellung
- Einführung
- Definition und Eingrenzung
 - Was bedeutet klimafreundlich?
 - Welche Betriebe? Hier: gewerbliche Betriebe
 - Welche Systeme und Anlagen?
 - **Was bedeutet „pragmatisch“?**
- Was bedeutet die F-Gas Verordnung für die Betriebe?
- Lösungen
- Empfehlungen Hinweise
- Quo vadis ?

Was bedeutet „pragmatisch“?

- pragmatisch stammt vom griechischen Wort “Pragma” ab und bedeutet, Sache oder Handlung.
- Eine pragmatische Vorgehensweise kann als nüchterne Vorgehensweise bezeichnet werden.
- Ein Pragmatiker überlegt nüchtern und wird versuchen eine vernünftige Lösung zu finden.
- Er versucht das Nützliche in den Vordergrund zu stellen.

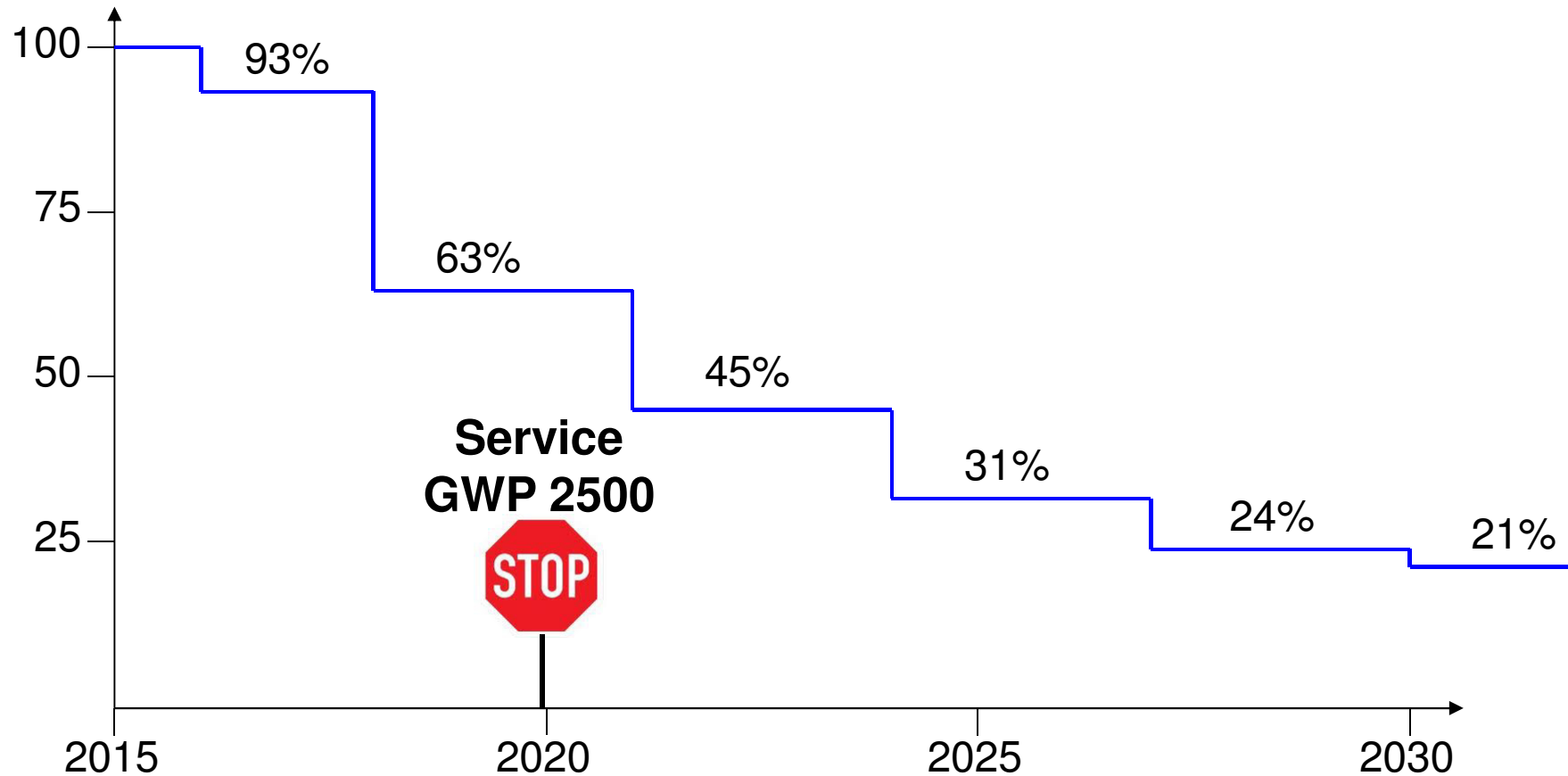
Agenda

- Vorstellung
- Einführung
- Definition und Eingrenzung
- **Was bedeutet die F-Gas Verordnung für die Betriebe?**
 - Allgemein
 - Pflichten der Betreiber
 - Konkret für „gewerbliche Verwendung“

CO₂ Äquivalentes Phase Down (Art.15 + Annex V)

Inverkehrbringen GWP >2500 ab 2020 (Art.11 (1)+ Annex III(12))

Serviceverbot GWP >2500 ab 2020 Art. 13 (3)



Auswahl betroffener Kältemittel durch **Artikel 13** (Service-Ban)

Kältemittel		NSP [°C]	GWP
R14	A1	-128	7.390
R23	A1	-82	14.800
R404A	A1	-46.2	3.920
R422A	A1	-46.5	3.140
R422D	A1	-43.2	2.730
R507A	A1	-46.7	3.990

Mögliche Reinstoffe als Ersatz

Kältemittel		NSP [°C]	GWP	
Methan	A3	-161	25	
Ethan	A3	-89	6	
CO ₂	A1	-78.8* (-56.6)	1	* fest
R32	A2L	-51.7	675	
Propylen	A3	-47.6	2	
Propan	A3	-42.1	3	
NH ₃	B2L	-33.3	0	
R1234yf/ze	A2L	-29 / -19	4 / 7	

Verschiedenes

- **JEDER (Person oder Firma) muss sicherstellen, dass nur qualifiziertes Personal eingesetzt wird.**

A3 (4)

- **Erweiterte Betreiberpflichten**

- Dichtheitskontrolle,
- Aufzeichnung,
- Abgabe,
- Sachkunde,
- ...

Definitionen Artikel 2

Artikel 2 Begriffsbestimmungen

Im Sinne dieser Verordnung bezeichnet der Ausdruck:

32. "gewerbliche Verwendung" die Verwendung für die Lagerung, Präsentation oder Abgabe von Erzeugnissen zum Verkauf an Endverbraucher, im Einzelhandel und in der Gastronomie;

Unterschied zum allgemeinen Begriff Gewerbe

Erzeugnisse und Datum des Verbots

siehe A11 + ANHANG III

10. Haushaltskühl- und -gefriergeräte mit HFKW mit einem GWP von 150 oder mehr werden verboten ab dem 1.1.2015.

11. Kühlgeräte und Gefriergeräte für die *gewerbliche* Verwendung (hermetisch geschlossene Einrichtungen) werden *verboten* ab **1.1.2020 für HFKW mit einem GWP von 2.500 oder mehr und ab dem **1.1.2022** für HFKW mit einem GWP von 150 oder mehr.**

12. Ortsfeste Kälteanlagen, die HFKW mit einem GWP von 2.500 oder mehr enthalten oder zu ihrem Funktionieren benötigen, außer Einrichtungen, die für Anwendungen zur Kühlung von Produkten auf unter –50 °C bestimmt sind, werden *verboten* ab dem **1.1.2020.**

Erzeugnisse und Datum des Verbots

siehe A11 + ANHANG III

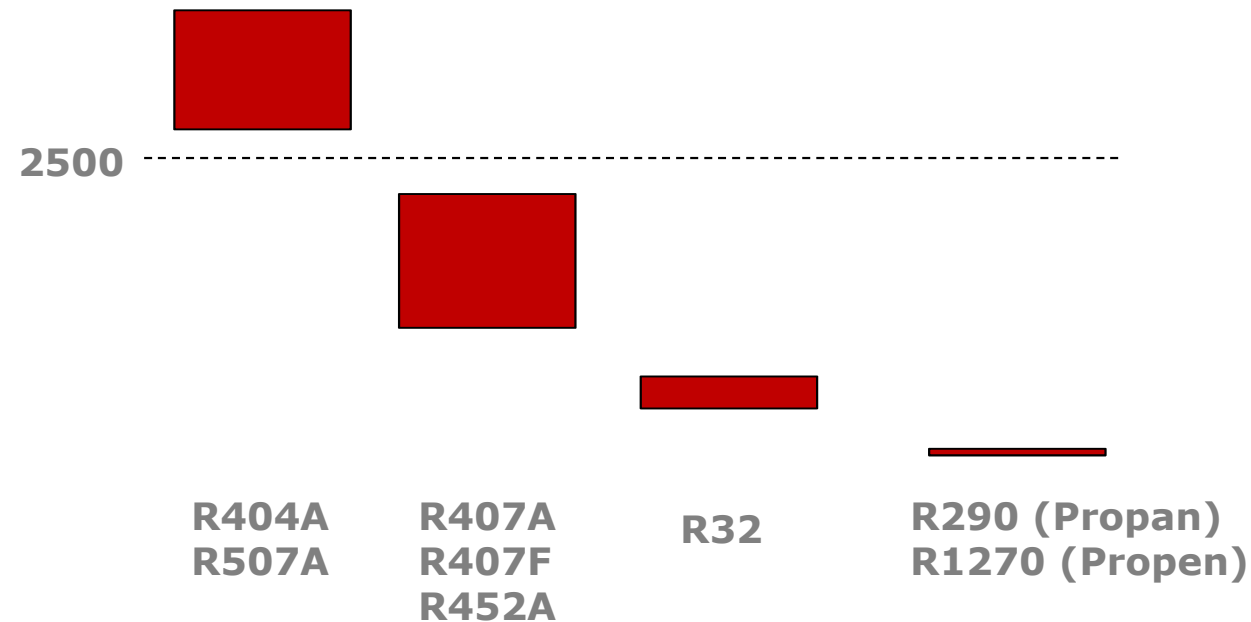
- 13. Mehrteilige zentralisierte Kälteanlagen für die gewerbliche Verwendung mit einer Nennleistung von 40 kW oder mehr, die fluorierte Treibhausgase mit einem GWP von 150 oder mehr enthalten oder zu ihrem Funktionieren benötigen, außer im primären Kältemittelkreislauf in Kaskadensystemen, in dem fluorierte Treibhausgase mit einem GWP von weniger als 1500 verwendet werden dürfen, werden **verboten** ab dem **1.1.2022**.**
- 14. Bewegliche Raumklimaanlagen (hermetisch geschlossene Systeme, die der Endnutzer von einem Raum in einen anderen bringen kann), die HFKW mit einem GWP von 150 oder mehr enthalten, werden verboten ab dem 1.1.2020.*
- 15. Mono-Splitklimageräte mit weniger als 3 kg fluorierte Treibhausgase, die fluorierte Treibhausgase mit einem GWP von 750 oder mehr enthalten oder zu ihrem Funktionieren benötigen, werden verboten ab dem 1.1.2025.*

Agenda

- Vorstellung
- Einführung
- Definition und Eingrenzung
- Was bedeutet die F-Gas Verordnung für die Betriebe?
- **Lösungen**
 - Bestehende Anlagen
 - Ersatz einzelner Geräte
 - Planung neuer Projekte
- Empfehlungen Hinweise
- Quo vadis ?

Kältemittel

- Vorrangig: Ersatz für R404A / R507A
 - Treibhauspotential (GWP)



Agenda

- Vorstellung
- Einführung
- Definition und Eingrenzung
- Was bedeutet die F-Gas Verordnung für die Betriebe?
- **Lösungen**
 - **Bestehende Anlagen**
 - Ersatz einzelner Geräte
 - Planung neuer Projekte
- Empfehlungen Hinweise
- Quo vadis ?

Bestehende Anlagen

Drop-in oder Retrofit zum Ersatz von R404A und R507A nicht pauschal möglich oder sinnvoll:

- **Nicht brennbare HFO- und HFKW-Gemische wie R407A, R407F, R452A ...:**
 - i.d.R. höhere Verdichtungsendtemperaturen als R404A
 - Temperatur-Glide beim Phasenübergang
 - Anpassung Expansionsorgan
 - Ölverhalten
 - Garantie Verdichterhersteller meist nicht gegeben
- **R32: keine Option**
- **R290 (Propan), R1270(Propen): keine Option**
 - Brennbarkeit / Sicherheit
 - Anpassung Expansionsorgan
 - Ölverhalten
 - Garantie Verdichterhersteller meist nicht gegeben
- **R744 (CO₂), R717 (Ammoniak): keine Option**

Bestehende Anlagen

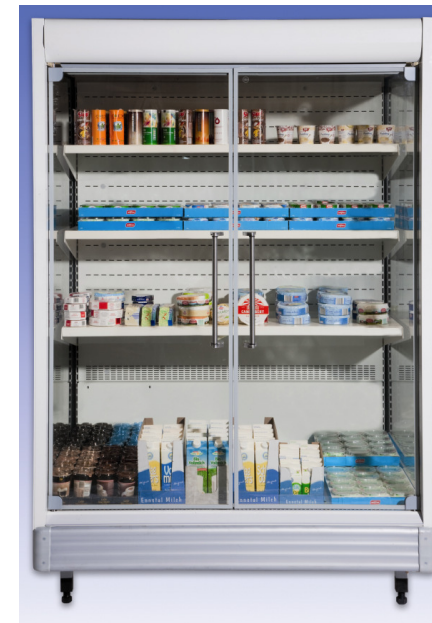
- **Leckagen vermeiden / erkennen und abdichten**
- **Steckerfertige Geräte:**
 - Geringes Leckage-Risiko
 - Meist voll hermetisch
(gelötete bzw. geschweißte Verbindungen und Gehäuse)
 - Pragmatisch:
 - Weiterbetreiben solange keine Undichtheit zu erwarten und Effizienz ausreichend
 - Dann Ersatz durch Neugerät
- **Split-Systeme (Verflüssigungssatz) und Verbundanlagen:**
 - Höheres Leckagerisiko
 - Ersatz für R404A durch Retrofit auf nicht brennbare HFO- und HFKW-Gemische ist meist nicht praktikabel und im Einzelfall zu prüfen

Agenda

- Vorstellung
- Einführung
- Definition und Eingrenzung
- Was bedeutet die F-Gas Verordnung für die Betriebe?
- **Lösungen**
 - Bestehende Anlagen
 - **Ersatz einzelner Geräte**
 - Planung neuer Projekte
- Empfehlungen Hinweise
- Quo vadis ?

Ersatz einzelner Geräte

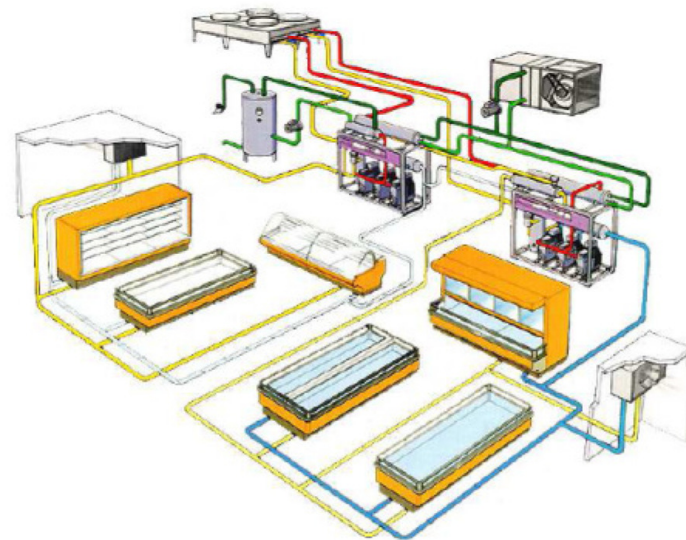
- Steckerfertige Geräte:
 - Bis 150g Kältemittel und teilweise auch darüber: Kohlenwasserstoffe (A3-Kältemittel): R290, R1270, R600a
 - Risikoanalysen durch Hersteller



/Resch: Innovationstag Kältetechnik, Chillventa 2014/

Ersatz einzelner Geräte

- Split-Systeme (Verflüssigungssatz) und Verbundanlagen:
 - Steckerfertige Geräte
 - Ersatz Verflüssigungssatz oder Verdichterverbund: mit Umstellung auf HFKW- und HFO-Gemische



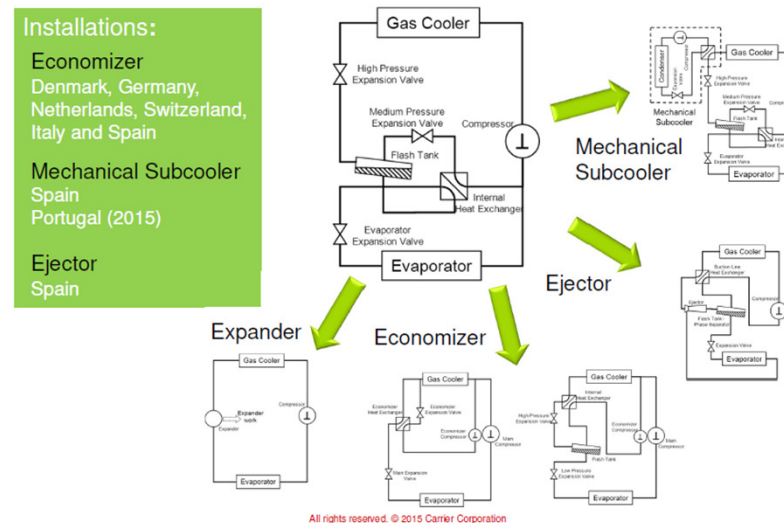
Agenda

- Vorstellung
- Einführung
- Definition und Eingrenzung
- Was bedeutet die F-Gas Verordnung für die Betriebe?
- **Lösungen**
 - Bestehende Anlagen
 - Ersatz einzelner Geräte
 - **Planung neuer Projekte**
- Empfehlungen Hinweise
- Quo vadis ?

Planung neuer Projekte

- Kaskade R134a / R744 subkritisch
- R744 (CO₂) transkritisch
 - Warme Regionen (Süd-EU) erfordern Maßnahme zur Effizienzverbesserung
 - Parallelverdichtung,
 - Ejektor,
 - Expander, oder
 - mechanische Unterkühlung

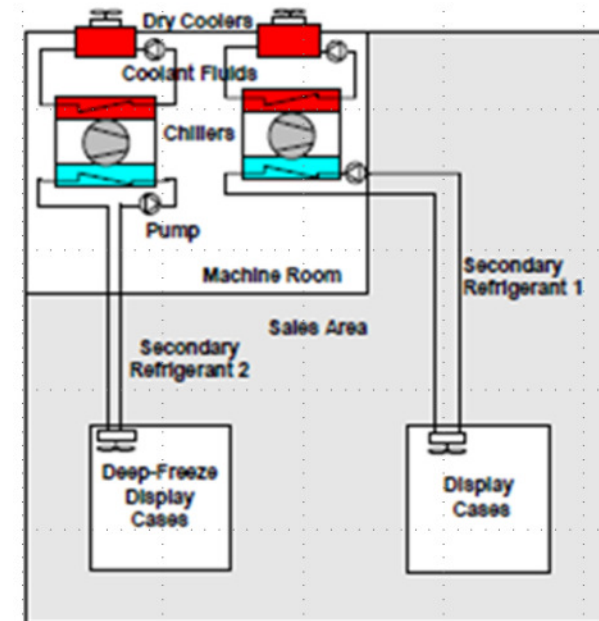
CO₂ trans-critical solutions for warm climates



/Quelle: Goeller J., United Technologies, Bangkok, 20 and 21 April 2015 /

Planung neuer Projekte

- R717 (NH₃) oder brennbare Kältemittel als indirektes System mit Kälteträger
 - Normalkühlung (NK) und Tiefkühlung (TK)
 - TK: Viskosität beachten (Wärmeübertragung und Pumpenleistung)



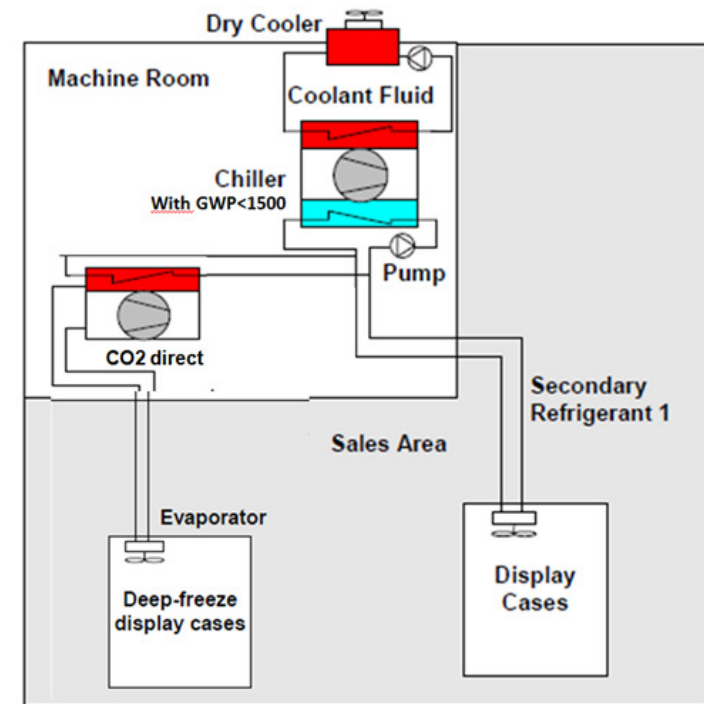
/Quellen: de Larminat P., Johnson Controls; Singh R., ArcticStar; Bangkok, 20 and 21 April 2015 /

Planung neuer Projekte

- R717 (NH₃) oder brennbare Kältemittel als indirektes System mit Kälteträger
 - Nur NK mit Kälteträger
 - TK mit R744 subkritisch



/Quelle: Futron /



/Quellen: de Larminat P., Johnson Controls; Singh R., ArcticStar; Bangkok, 20 and 21 April 2015 /

Planung neuer Projekte

- Dezentrale steckerfertige Geräte
 - Optionen:
 - luftgekühlt
 - mit flüssigkeitsgekühltem Kondensator (Kalt- oder Kühlwassernetz)



/Quellen: de Larminat P., Johnson Controls; Singh R., ArcticStar; Bangkok, 20 and 21 April 2015 /

Planung neuer Projekte

- **Hybride Nutzung Kälte-Wärme-Klima**
- **Energieeffizienz**
- **Kältemittel mit geringem GWP**
- **Temperaturen optimieren**
 - Kondensationstemperatur t_c niedrig
 - Verdampfungstemperatur t_0 hoch
 - zwei oder drei Temperaturniveaus bei t_0 , wenn möglich

Agenda

- Vorstellung
- Einführung
- Definition und Eingrenzung
- Was bedeutet die F-Gas Verordnung für die Betriebe?
- Lösungen
- **Empfehlungen Hinweise**
- Quo vadis ?

Empfehlungen Hinweise

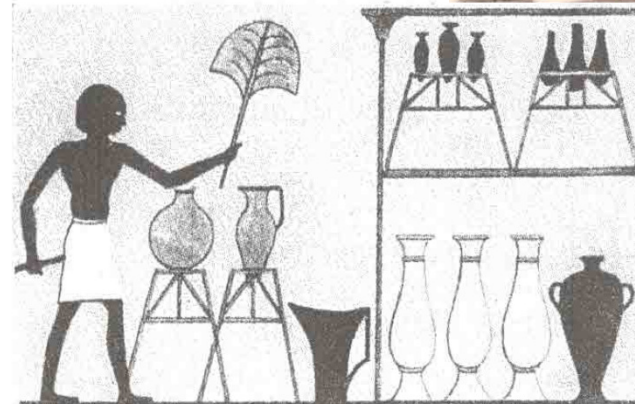
- Energieverbrauch ist wichtigstes Kriterium
- Hybride Nutzung von Kälte und Wärme
- Kältemittel sind ein sehr wertvolles Gut
- Hermetische Anlagen bevorzugen
- Kältemittelfüllung soll möglichst klein sein
- Kältemittel mit niedrigem GWP verwenden
- Kontrolle und Service:
Energieverbrauch und Dichtigkeit

Agenda

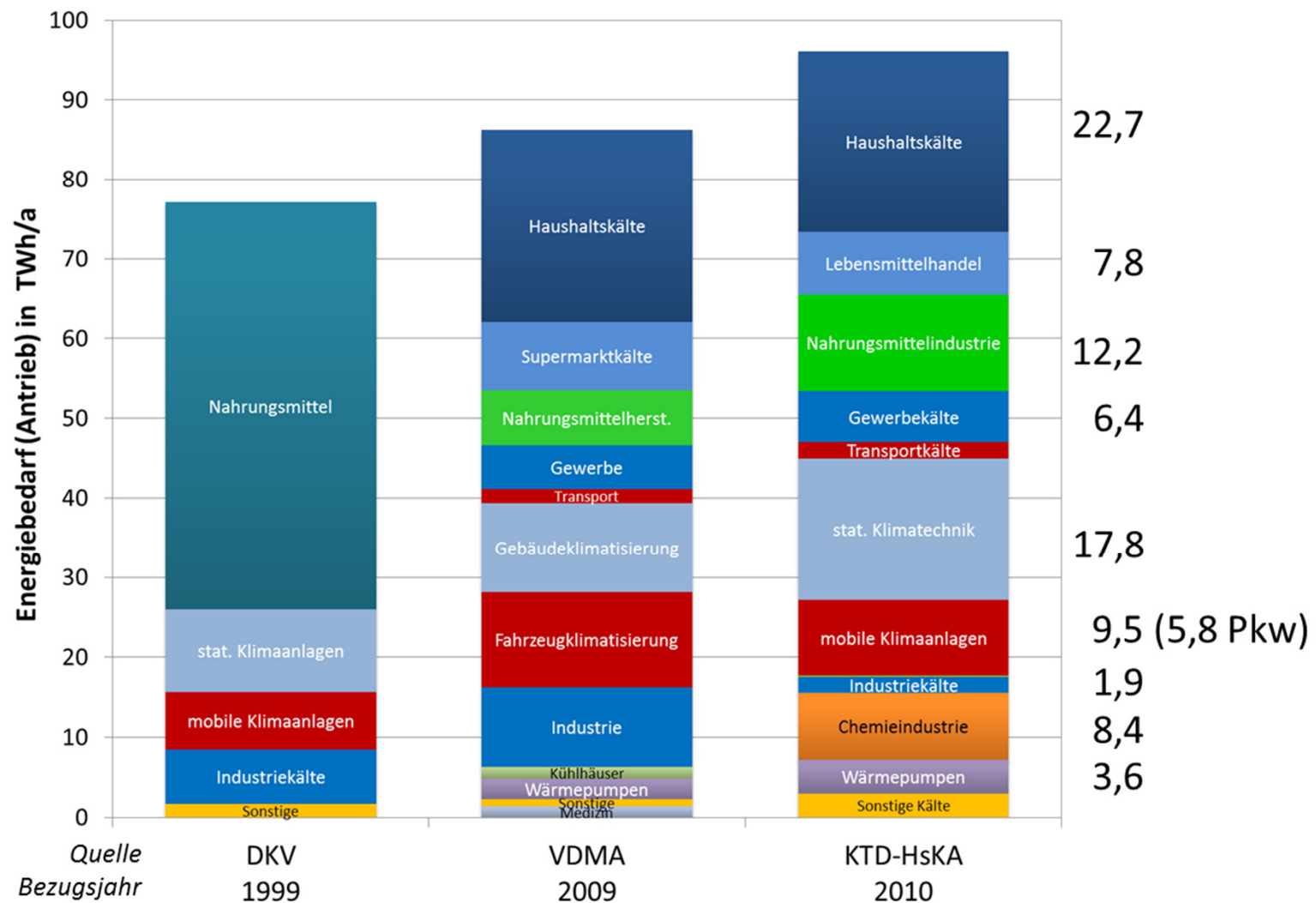
- Vorstellung
- Einführung
- Definition und Eingrenzung
- Was bedeutet die F-Gas Verordnung für die Betriebe?
- Lösungen
- Empfehlungen Hinweise
- **Quo vadis ?**

Quo vadis ?

- Absorption
- Adsorption
- Dampfstrahl-Kältemaschinen
- Ettingshausen-Effekt
- Ferroic Cooling Effekt
- Joule Prozess
- Kaltdampfprozess
- Magnetokalorischer-Effekt
- Peltier-Kühlung
- Philips-Stirling
- Pulsationsrohr
- Wirbelrohr
- Kältemittel: Wasser, Luft, CO_2 (transkritisch), ..

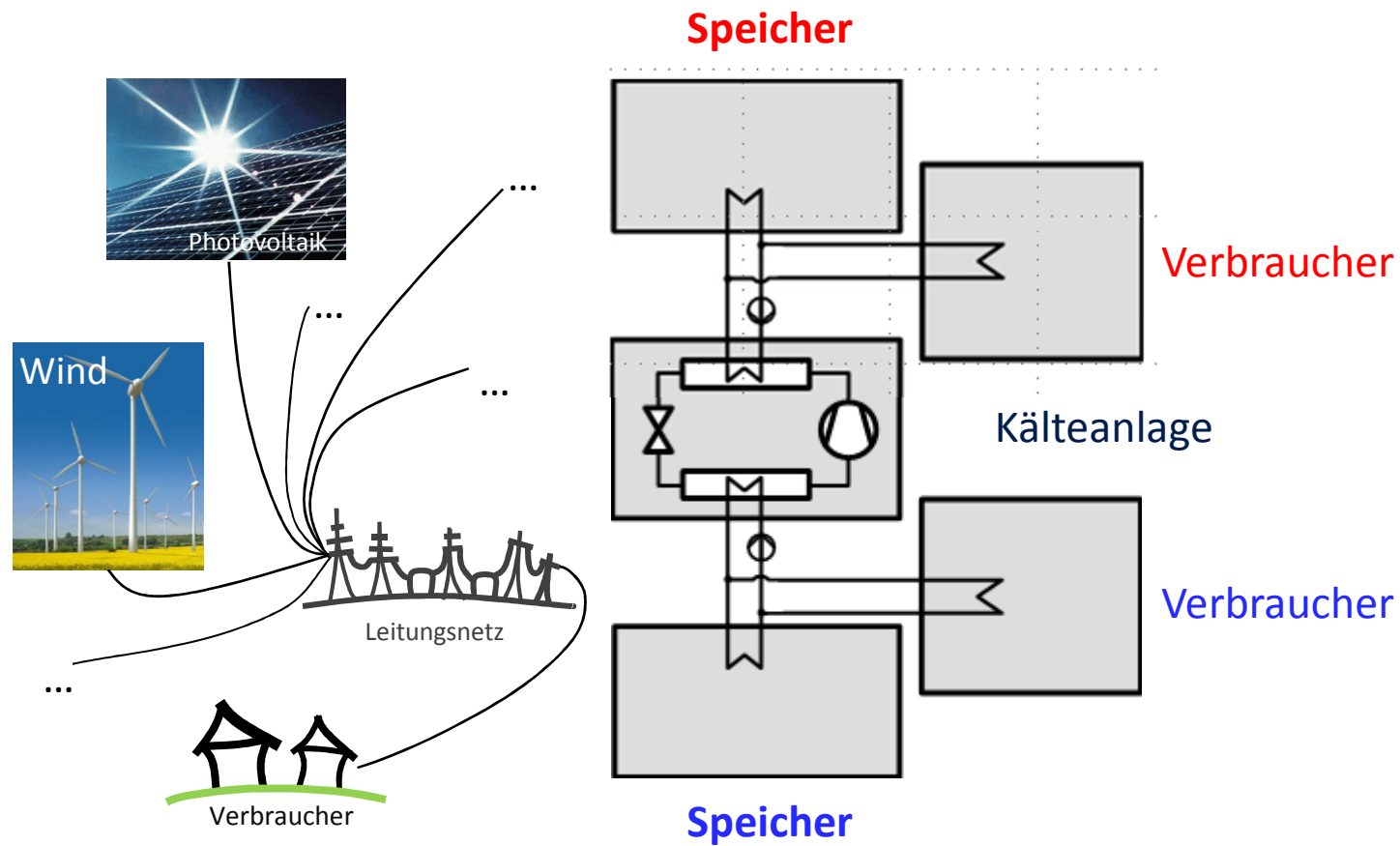


Gesamter Antriebs-Energiebedarf



Energiespeicherung

Energiespeicher – Kältetechnik



Weitere Erkenntnisse

Energiewende ist die große Chance für die Kälte-Klima-Wärmepumpen (K-K-WP) Branche

- K-K-WP kann sinnvolle Abwärmenutzung anbieten
Die Zukunft der Kälte liegt in der "hybriden" Anwendung von Kälte-Klima-Wärme. Diese Kombination ist energetisch unschlagbar.
- K-K-WP hat installierte Systeme = Speicher
keine großen Investitionen notwendig
- K-K-WP muss ihre Systeme nur „smart“ ins Netz einbinden
- K-K-WP kann im „Haus“ Produktion und Verbrauch sinnvoll verbinden;
nZEB ist nur mit K-K-WP möglich.
Die "Kältebranche" könnte alles abdecken.
- K-K-WP kann „kalte“ Nahwärmenetze sinnvoll nutzen
→ dezentrale Wärmeversorgung
- K-K-WP ist die ideale Ergänzung zur dezentralen Stromerzeugung (KWK)



Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Gerne beantworte ich Ihre Fragen