

Die Zukunft des Kühlens: Synergien und zukunftsstaugliche Kältemittel

FACHVEREINIGUNG
KRANKENHAUSTECHNIK E. V.

INGENIEURBÜRO AHRENS
GMBH



Einleitung

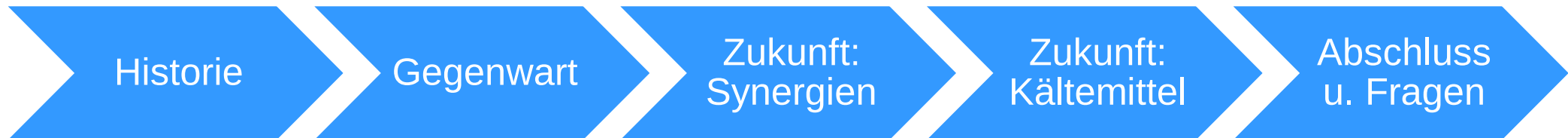
Zur Person

Oliver Sugden M.Eng

Ich bin vom Ingenieurbüro Ahrens Gmbh, einem Planungsbüro für technische Gebäudeausrüstung mit Sitz in Oldenburg, Niedersachsen.

Dort bin ich seit 2016 tätig, mit den Schwerpunkten Klima- und Kältetechnik sowie Gebäudeautomation.

Heutigen Ablauf





Historie des Kühlens

Historie des Kühlens

- Kühlung für Komfort- und Prozesszwecke gibt es schon seit Hunderten von Jahren. Die frühesten Formen nutzten sehr einfache, aber auch kluge Methoden, um einen Kühleffekt zu erzeugen.



Bild: "Building in Yazd, Iran" von Diego Delso, Lizenziert unter CC-BY-SA-4.0



Bild: „Eiskeller in Fehrbellin-Wustrau“ von Doris Antony, Lizenziert unter CC-BY-SA-2.5

Historie des Kühlens

- Zu **Beginn des 19. Jahrhunderts** änderte sich dies jedoch. Wissenschaftler hatten **erkannt**, dass die **latente Wärme der Phasenumwandlung** genutzt werden konnte, um starke Kühleffekte zu erzeugen, und dass dieser **Effekt bei bestimmten Chemikalien** besonders **stark** war und **kontrollierbar**.
- Um die **Mitte des 19. Jahrhunderts** waren Wissenschaft und Technik so weit fortgeschritten, dass **die erste praktische Geräte** auf der Grundlage von Kompressionskälte und Absorption entstanden.
- Dies war die **Geburtsstunde der modernen Kältetechnik**, die heute die am weitesten verbreitete Methode der Kühlung ist.

Historie des Kühlens

- Rechts ist ein Bild des ersten praktischen Kompressionskältesystems auf der Grundlage von Äther als Kältemittel zu sehen.
- Diese Maschine wurde für die Eisherstellung, das Bierbrauen und das Einfrieren von Lebensmitteln verwendet.
- Wie bei mechanischen Geräten der damaligen Zeit üblich, wurde sie durch einfache Formen mechanischer Kraft wie Wasser, Pferde oder Dampfmaschinen angetrieben.

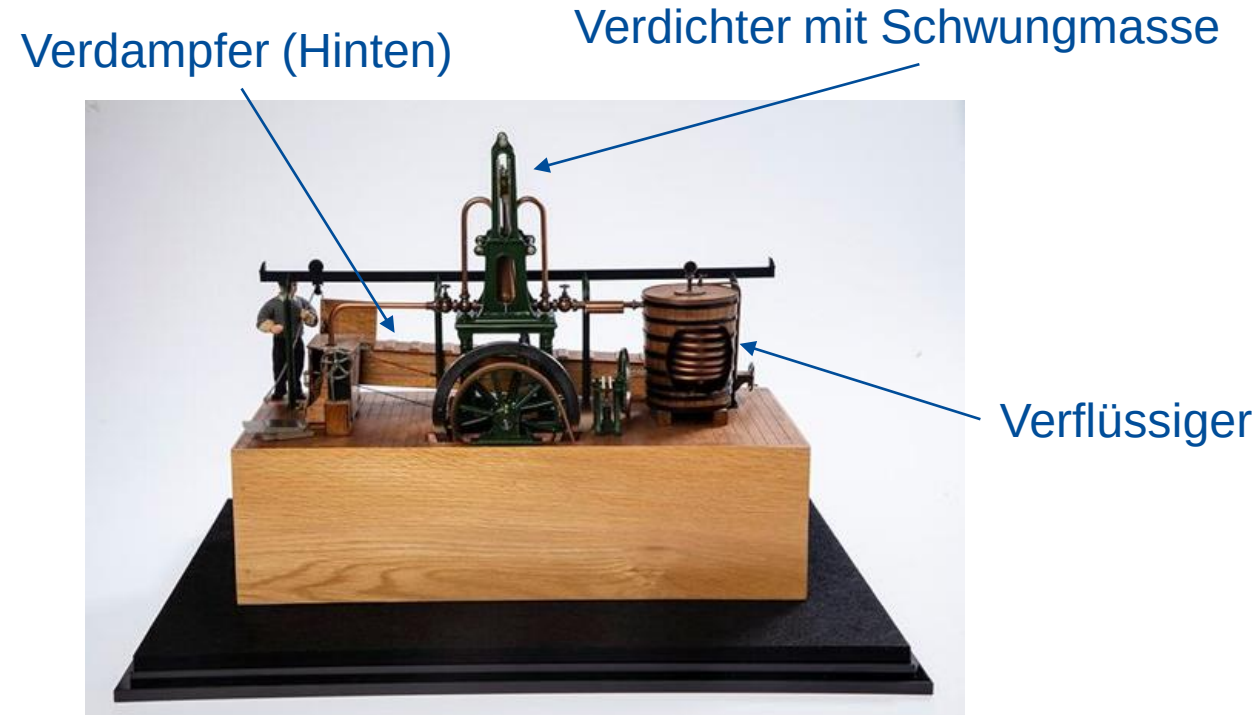


Bild: „Model - Harrison-Siebe Ether Vapour Compression Refrigeration Machine“ von Rodney Start, Museums Victoria, , Lizenziert unter CC-BY

Historie des Kühlens

- Abgebildet ist nun die erste praktische Absorptionskälteanlage auf der Basis von Ammoniak als Kältemittel.
- Ähnlich wie die Vorgängermaschine wurde sie zur Eisproduktion eingesetzt.
- Die Maschine wurde jedoch nicht mechanisch, sondern thermisch angetrieben. Dies ist möglich durch die Verwendung des Absorptionsprozesses anstelle des Kompressionsprozesses.

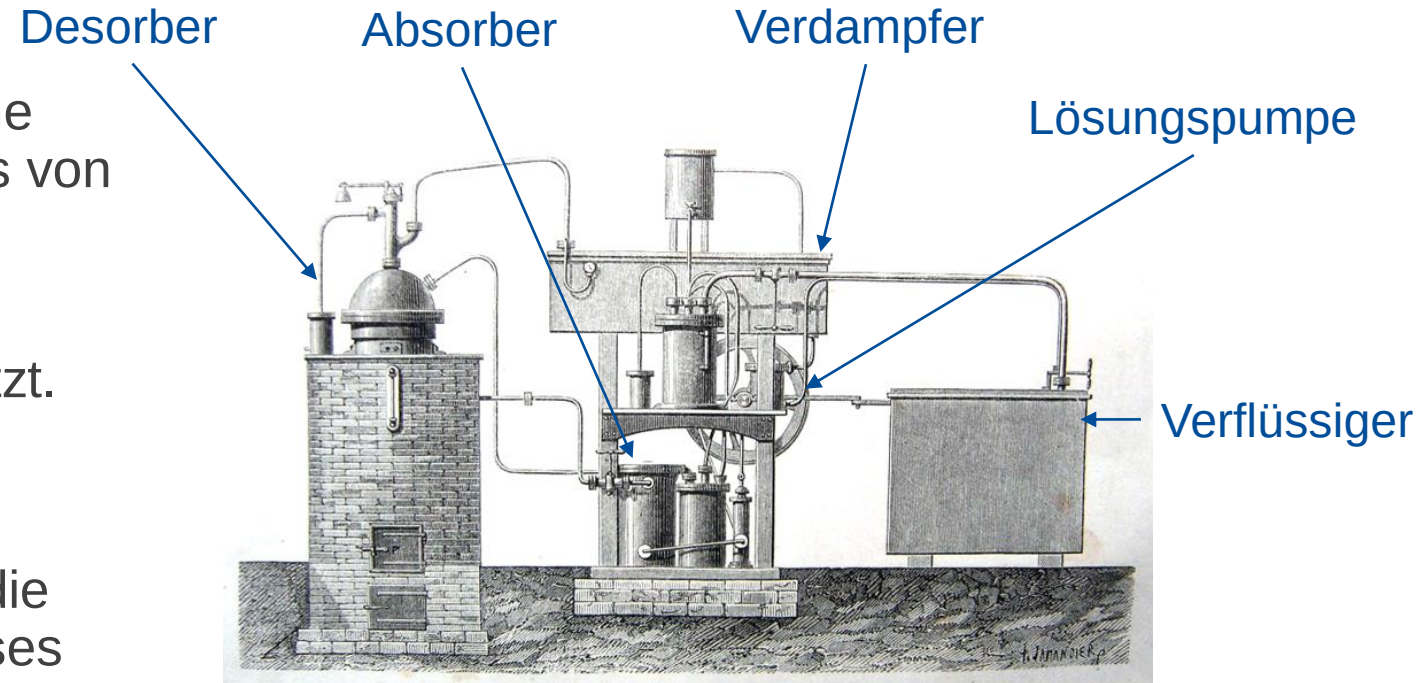


Bild: „Illustration from book "Water" by Gaston Tissandier 4th Edition (1878)
- Librairie Hachette", Lizenziert unter CC0 1.0

Historie des Kühlens

- In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts führt Carl von Linde, ein Professor der TuM, in Deutschland das Kompressionskältesystem ein. In der Folgezeit verfeinerte er seine Verfahren und Maschinen, schuf ein breiteres Spektrum an Einsatzmöglichkeiten und nutzte eine immer größere Vielfalt an Kältemitteln, darunter auch solche wie:
 - Ammoniak
 - Schwefeldioxid
 - Chlormethan



Bild: EWE Forum, Alte Fleiwa, Oldenburg

Historie des Kühlens

- Bisher lag der Schwerpunkt auf dem Einsatz von Kühlung direkt im Prozess.
- Zu Beginn der 1900er Jahre wurde erkannt, dass auch die Atmosphäre um den Produktionsprozess herum die Produktqualität beeinflussen kann.
- Um diesen Effekt zu kontrollieren, wurden die verschiedenen psychometrischen Eigenschaften der Luft mit Hilfe von Kühlsystemen eingestellt.
- Es wurde jedoch auch schnell festgestellt, dass die Regulierung der Atmosphäre nicht nur die Produktivität der Prozesse, sondern auch die der Menschen steigerte.

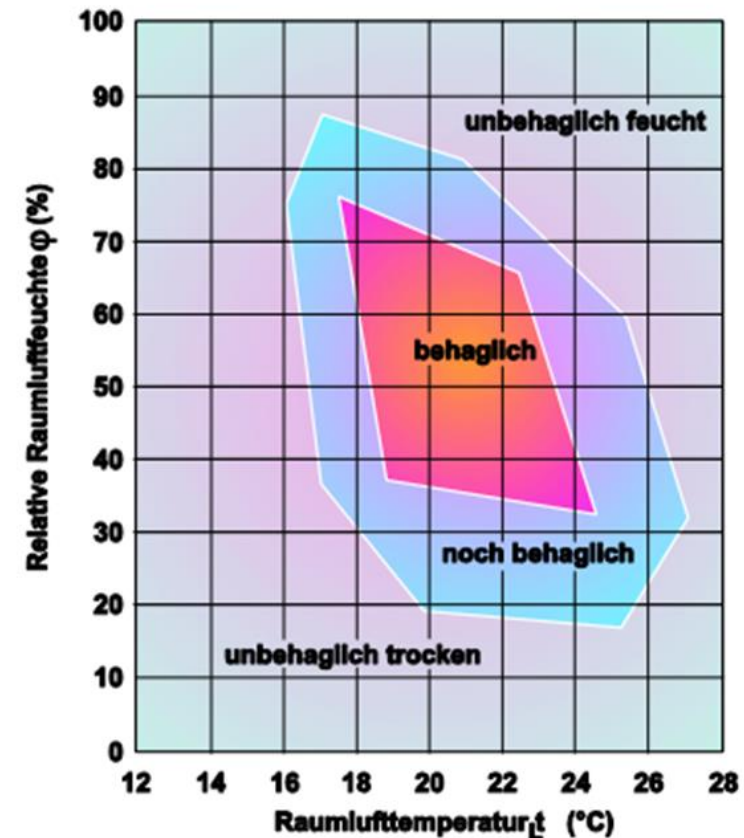
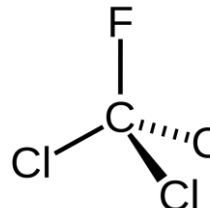
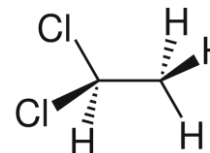
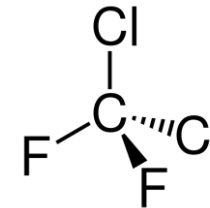
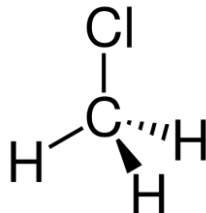
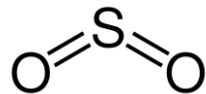
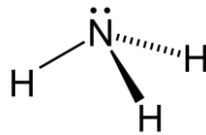
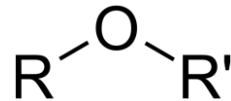


Bild: "Gefühlte Behaglichkeit", Haustechnik.de, Lizenziert unter CC 1.0

Historie des Kühlens

- Die verwendeten Kältemittel wurden jedoch geändert, um den Erfordernissen der Komfortkühlung gerecht zu werden (unterschiedliche Temperaturniveaus, erhöhte Sicherheit aufgrund des nahen Kontakts mit nicht fachkundigem Personal).

Natürlich,
aber Toxisch



Nicht Toxisch,
aber künstlich
Hergestellt



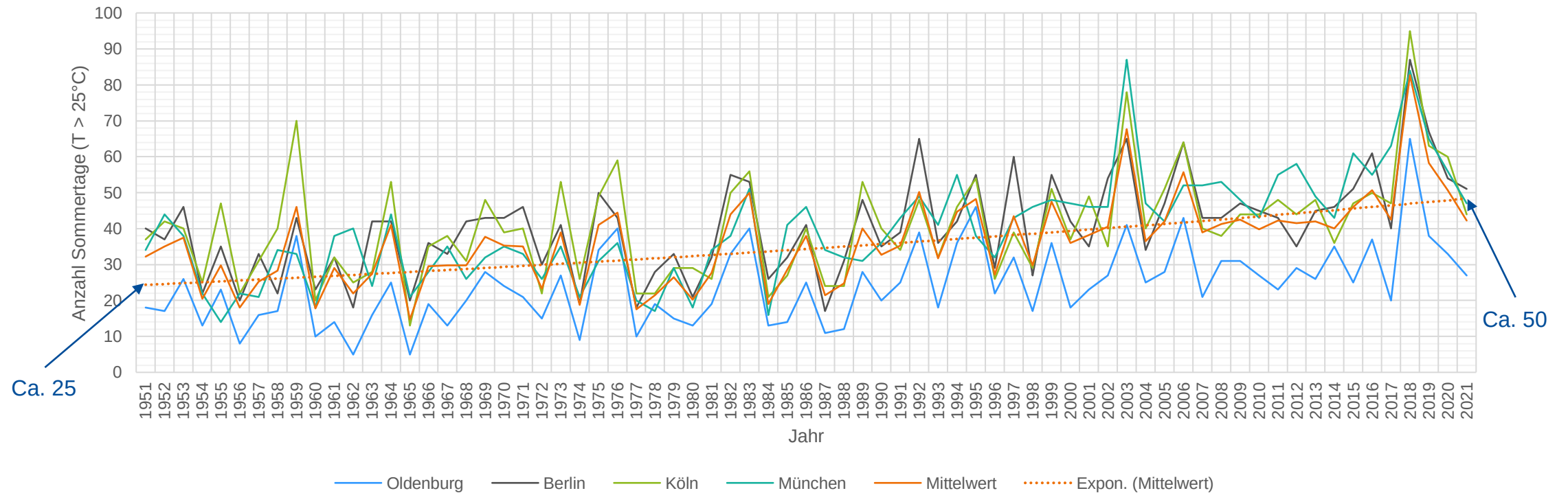
Kühlen in der Gegenwart

Kühlen in der Gegenwart

- **Durch den Einsatz neuer Schlüsseltechnologien** wie Inverterantriebe, elektronische Expansionsventile, Mikrokanal-Wärmetauscher, geflutete Wärmetauscher usw. sind Kühlanlagen erfreulicherweise immer **effizienter geworden**
- Jedoch **steigt der absolute Bedarf** an Kühlung jedes Jahr, was auf mehrere Faktoren zurückzuführen ist.

Kühlen in der Gegenwart

- Durch den Klimawandel in Deutschland hat die Zahl der Sommertage deutlich zugenommen. Dies erfordert einen immer stärkeren Einsatz von Kühlung.



Kühlen in der Gegenwart

- Durch die zunehmende Bebauung und die Verdrängung des Grünraums in unseren Städten treten mikroklimatische Bedingungen immer mehr in Erscheinung.

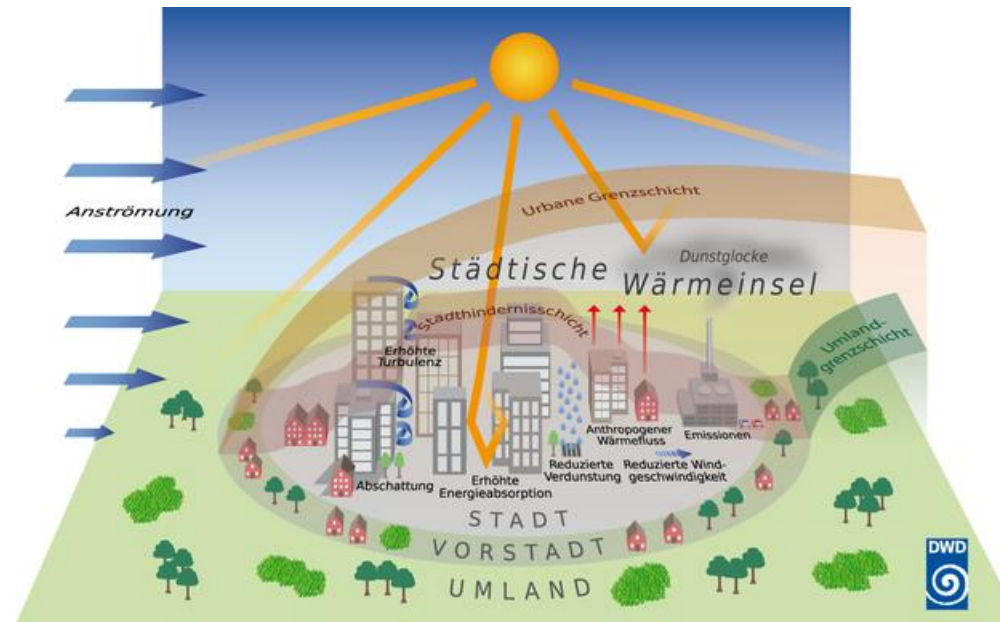


Bild: „Städtische Wärmeinsel“ – Deutsche Wetterdienst,
Lizenziert unter CC-BY, [Weitere Information](#)

Kühlen in der Gegenwart

- Wir haben auch immer mehr Abwärme produzierende Geräte, die gekühlt werden müssen:
Kühlräume für Lebensmittel oder Proben, Server, medizinische Geräte usw.



Bild: „MRI“

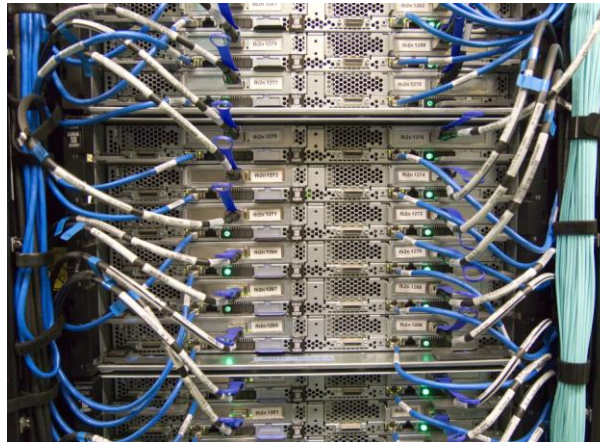


Bild: „Server“



Bild: „Autoklav“

Kühlen in der Gegenwart

- Eine Zeit lang gab es auch eine recht **schädliche Auswirkung** auf das Klima durch Kühlsysteme **aufgrund** der verwendeten **ozonabbauenden Kältemittel**. Diese haben wir **inzwischen** auslaufen lassen und **ersetzt**.
- Es gibt jedoch noch ein **weiteres Problem**, das wir lösen müssen: die **Treibhausgaswirkung** der derzeitigen Kältemittel.
- Auf der folgenden Seite findet sich eine einfache (und keineswegs vollständige) Übersicht über gängige Kältemittel und meine Einschätzung zu deren Zukunftssicherheit auf Basis der aktuellen Verordnung (EU) Nr. 517/2014 (F-Gase Verordnung)

Kühlen in der Gegenwart

Übersicht gängige Kältemittel für Kühlzwecken

Hochdruck	Mitteldruck	Niederdruck
R410a HFC	R134a HFC	R245fa HFC
R407c HFC	R513a HFC/HFO	R1233zd HFO
R466a HFC	R515b HFC/HFO	R1336mz HFO
R32 HFC	R1234ze HFO	R718 (Wasser) Natürlich
R454b HFC/HFO	R1234yf HFO	
R290 (Propan) Natürlich	R717 (Ammoniak) Natürlich	
R744 (Kohlendioxid) Natürlich		

Zukunftssicherheit gegeben (GWP unter dem Zielwert der F-Gase-Verordnung, GWP < 500)

Zukunftssicherheit nur ggfls. gegeben (GWP leicht über Zielwert der F-Gase-Verordnung, GWP < 750)

Zukunftssicherheit nicht gegeben (GWP weit über Zielwert der F-Gase-Verordnung, GWP > 750)

Kühlen in der Gegenwart

- Aus den vorgenannten Faktoren ergeben sich zwei Kernfragen

Wie können wir
diese Faktoren
kompensieren oder
damit arbeiten?



Wenn wir
reagieren, wie wirkt
sich das auf die
Kühlanlagen aus,
wie werden sie in
Zukunft aussehen?



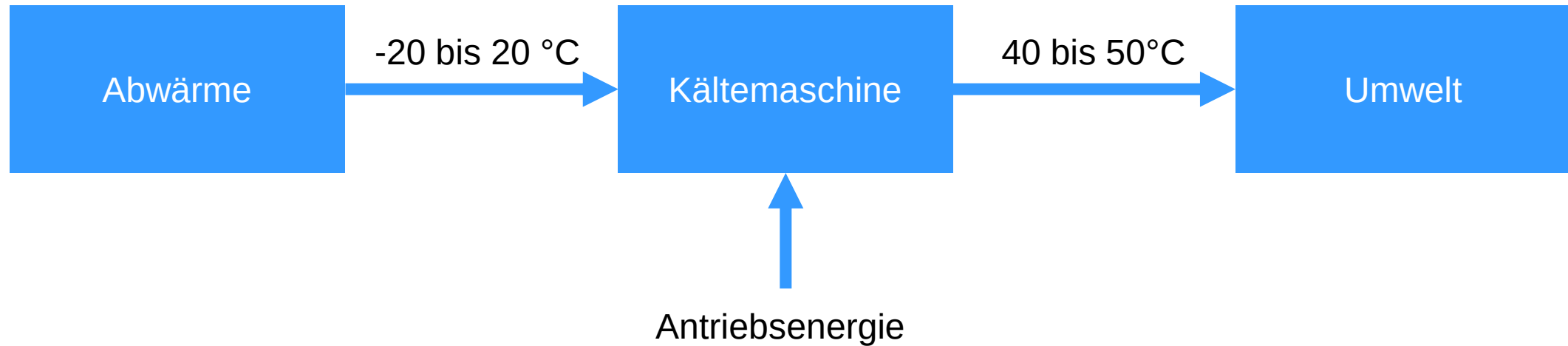
Die Zukunft des Kühlens: Synergien

Die Zukunft des Kühlens: Synergien

- Synergieeffekten zwischen Kälte and Wärme können ein erheblichen Menge and Energie und Materialien einsparen.
- In der erste Linie muss aber erkannt werden wo Synergieeffekten möglich sind.
- Um dies zugänglich zu machen fokussieren wir uns erstmal auf die Erkennung von Synergiepotential anhand von ausgewählten Flussdiagramme und beispielhaften Lastgänge.

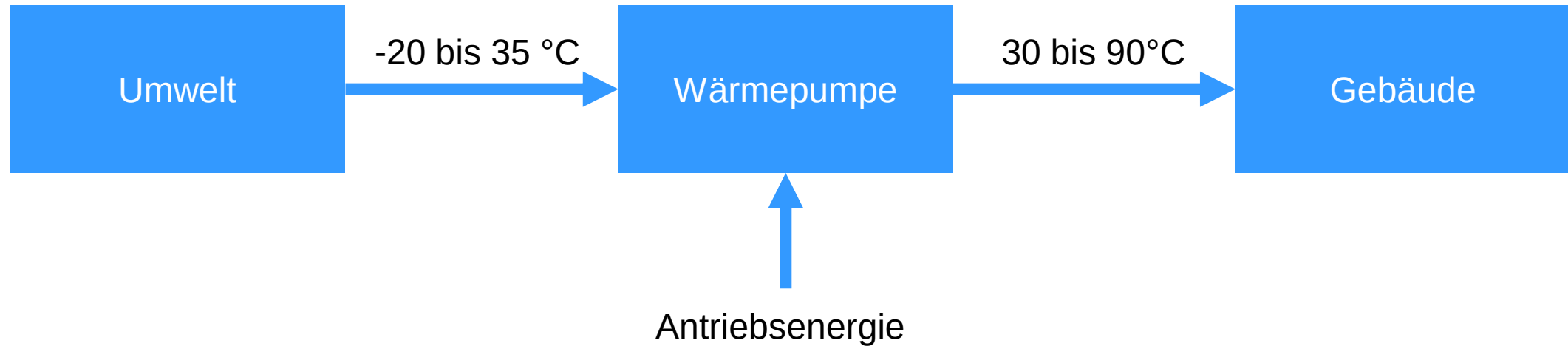
Die Zukunft des Kühlens: Synergien

Klassische Kühlprozess

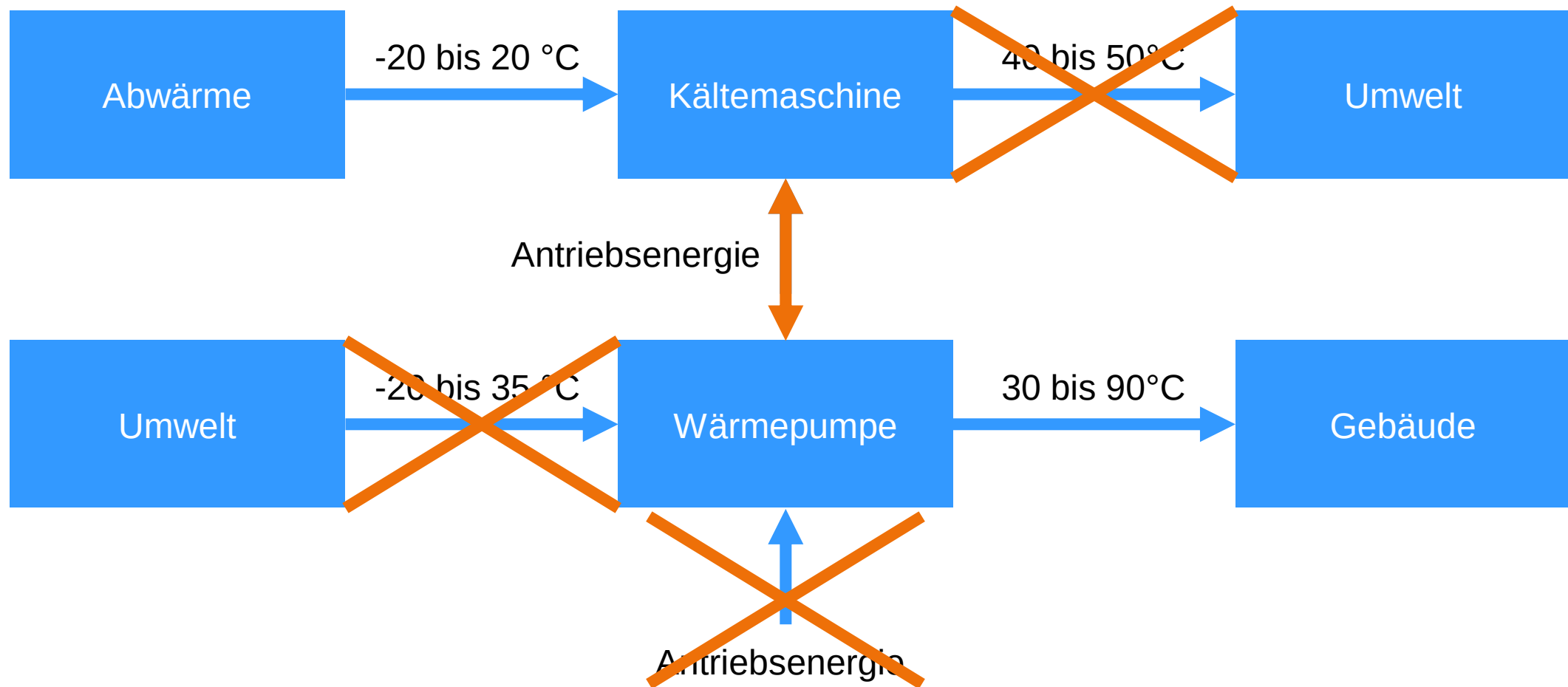


Die Zukunft des Kühlens: Synergien

Wärmeversorgung per Wärmepumpe

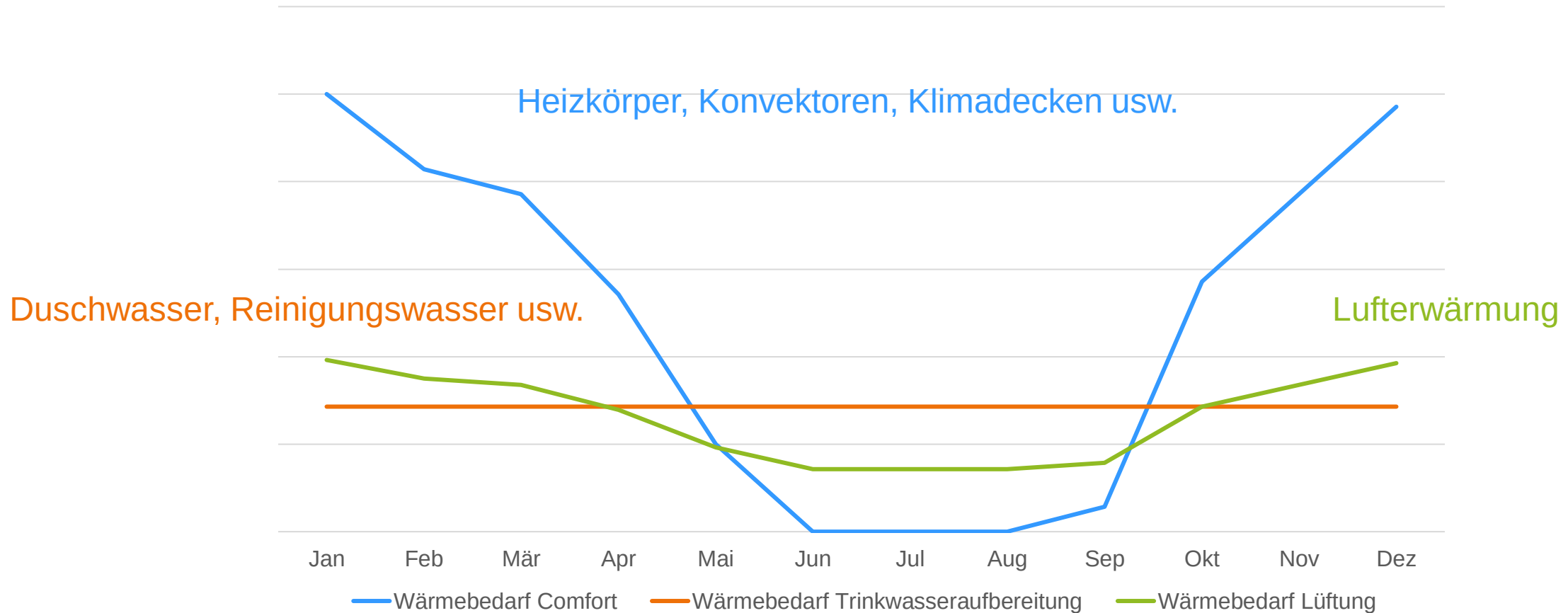


Die Zukunft des Kühlens: Synergien



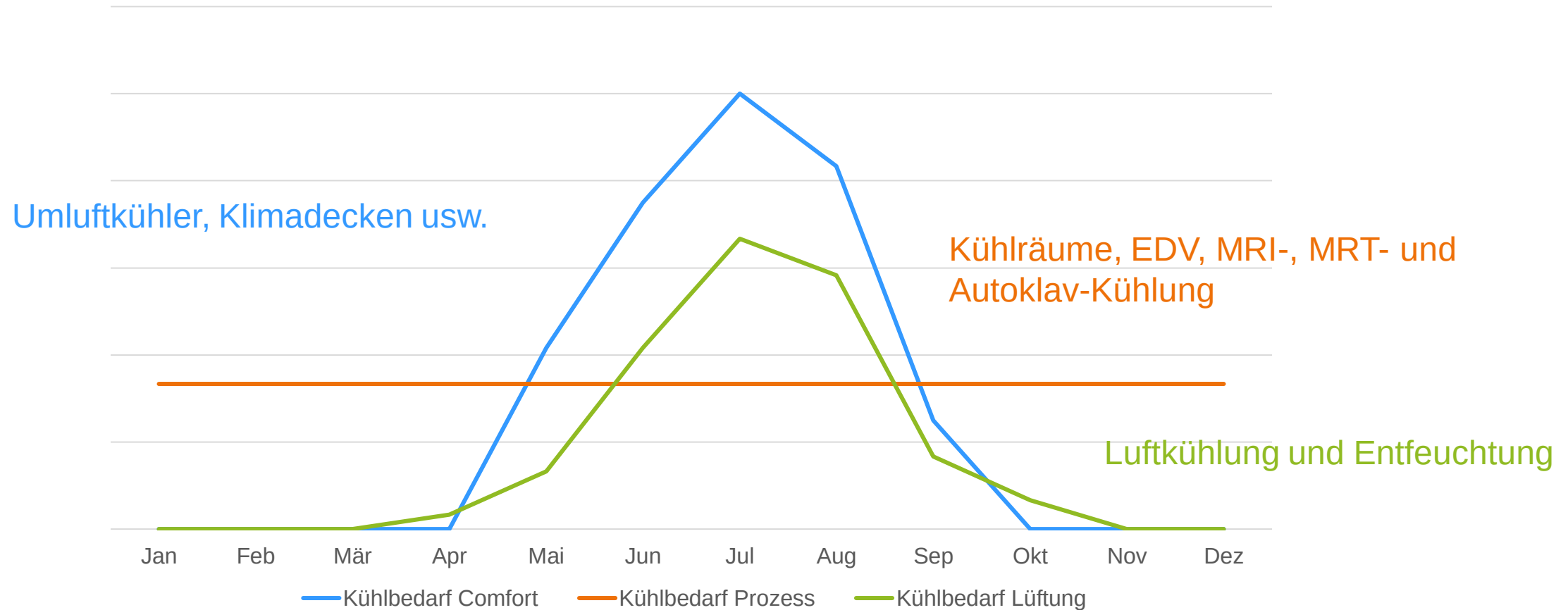
Die Zukunft des Kühlens: Synergien

Kurzer Überblick über den typischen Wärmebedarf einer medizinischen Einrichtung auf Monatsbasis.



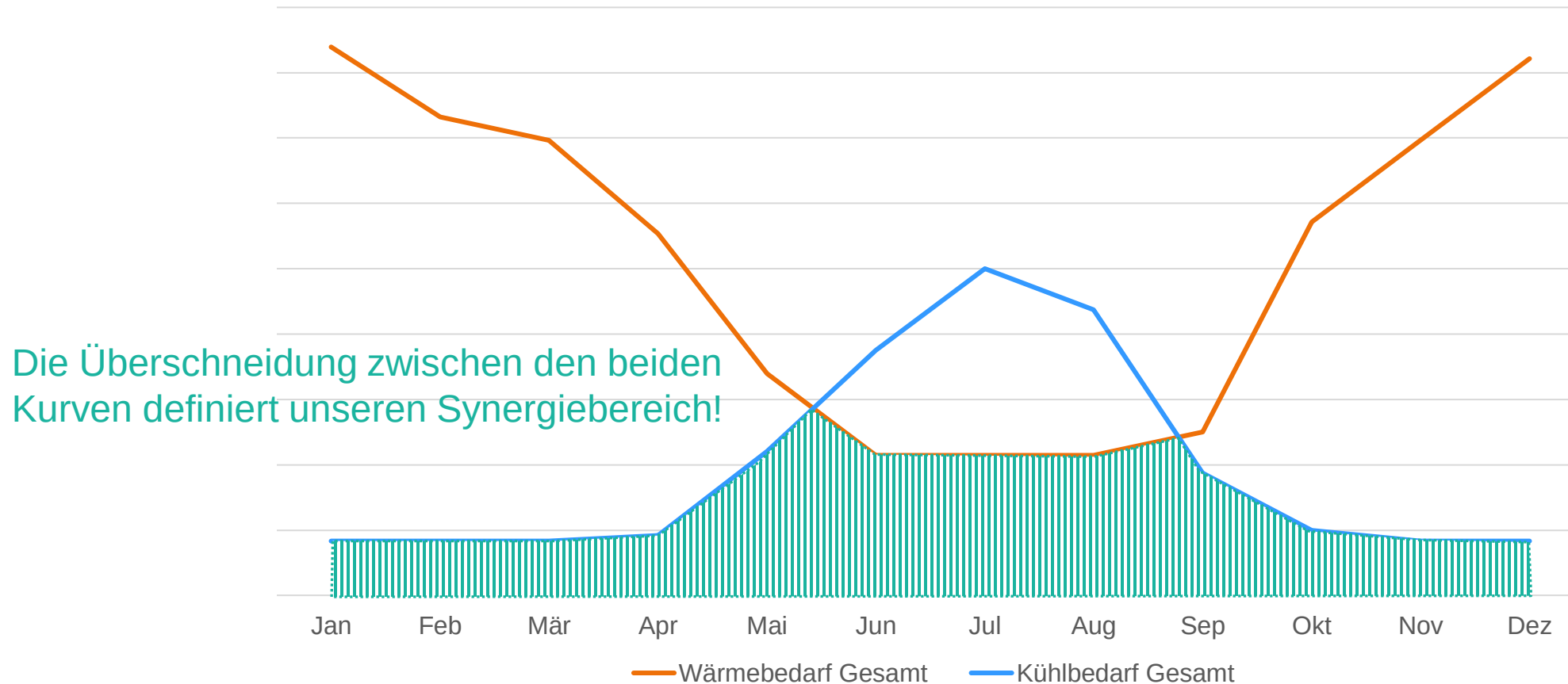
Die Zukunft des Kühlens: Synergien

Kurzer Überblick über den typischen Kühlbedarf einer medizinischen Einrichtung auf Monatsbasis.



Die Zukunft des Kühlens: Synergien

Durch die Zusammenführung der einzelnen Heiz- und Kühlbedarfe ergibt sich das folgende Diagramm.

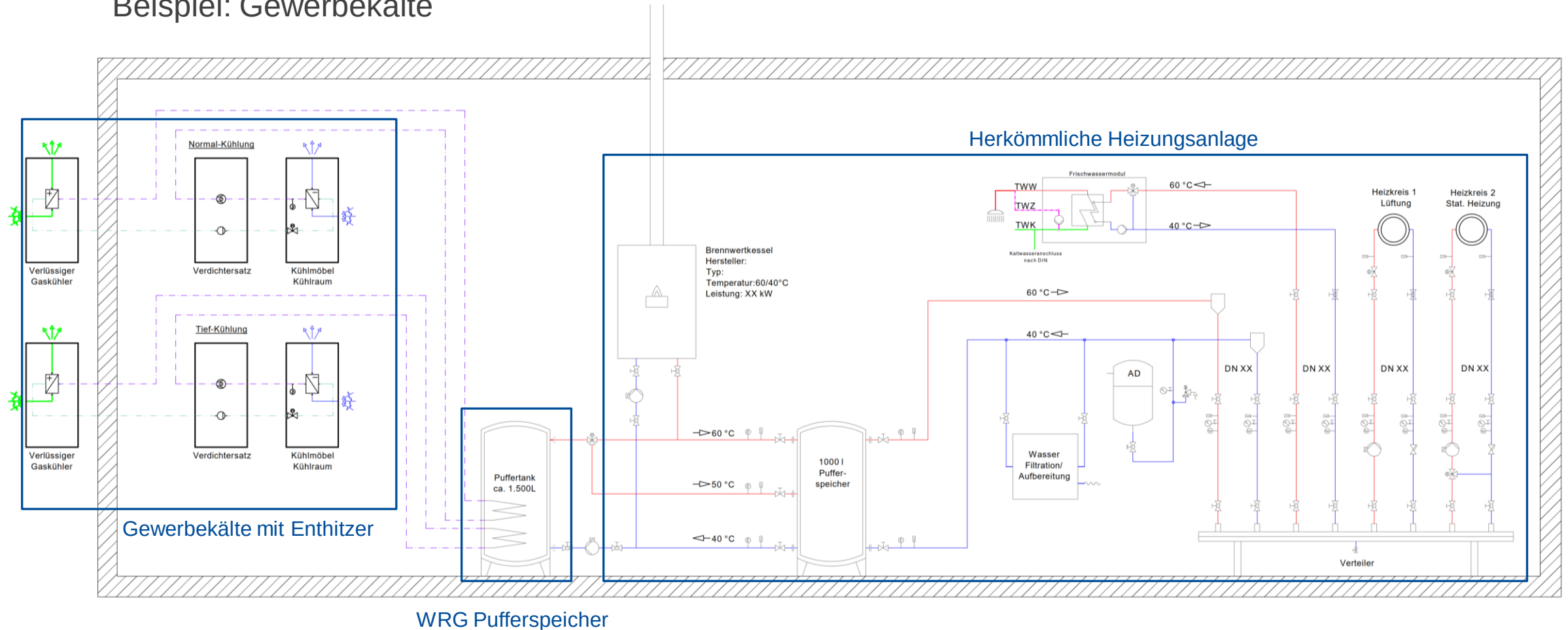


Die Zukunft des Kühlens: Synergien

- Wenn wir festgestellt haben, dass es zunächst möglich ist, die Synergieeffekte zu nutzen, können nun die Prozesse Heizen und Kühlen gekoppelt werden
- **Warum** ist diese überhaupt interessant?
- Im Optimalfall wird **Wärme oder Kälte sehr kostengünstig** erzeugt. Hinzu kommen weitere Vorteile wie **geringere Investitionskosten** für neue Anlagen (die dann verkleinert oder sogar weggelassen werden können) und eine **verbesserte Ökobilanz** des Gebäudes.
- Praktisch haben wir nun zwei Möglichkeiten: Entweder koppeln wir die Kühlung mit der Wärmeerzeugung, oder wir koppeln die Wärmeerzeugung mit der Kühlung (Ja, das sind zwei verschiedene Möglichkeiten!).

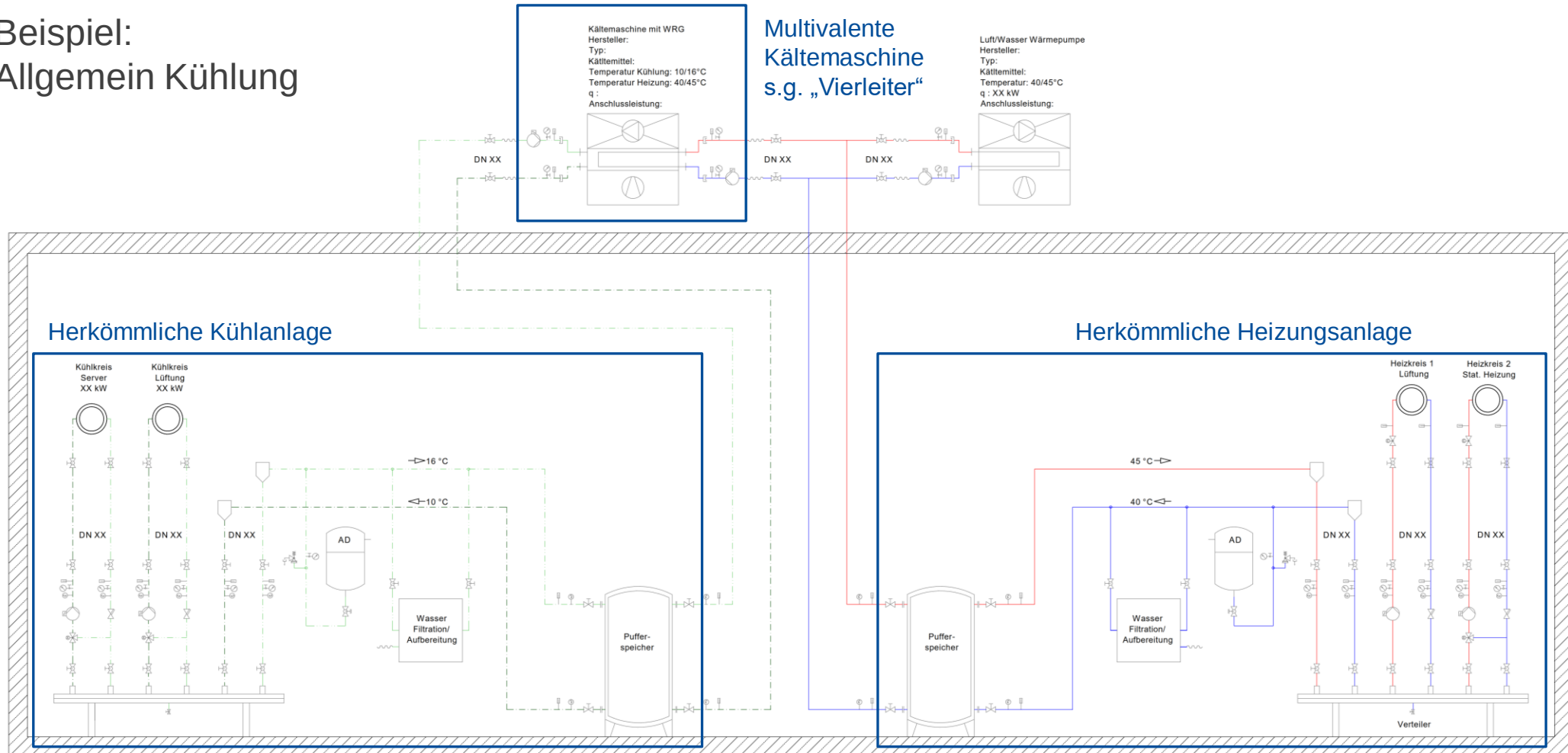
Die Zukunft des Kühlens: Synergien

Beispiel: Gewerbekälte



Die Zukunft des Kühlens: Synergien

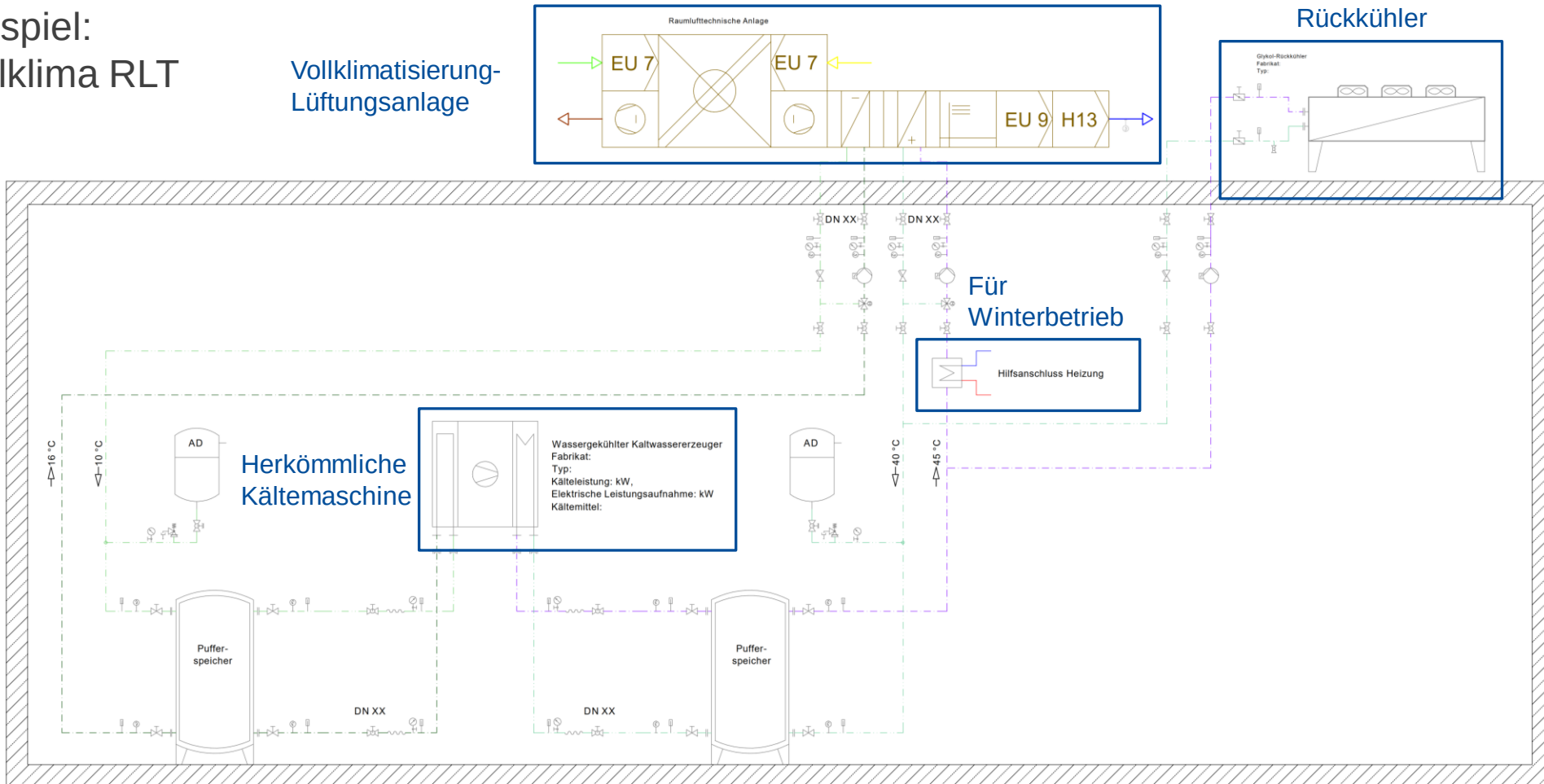
Beispiel:
Allgemein Kühlung



Die Zukunft des Kühlens: Synergien

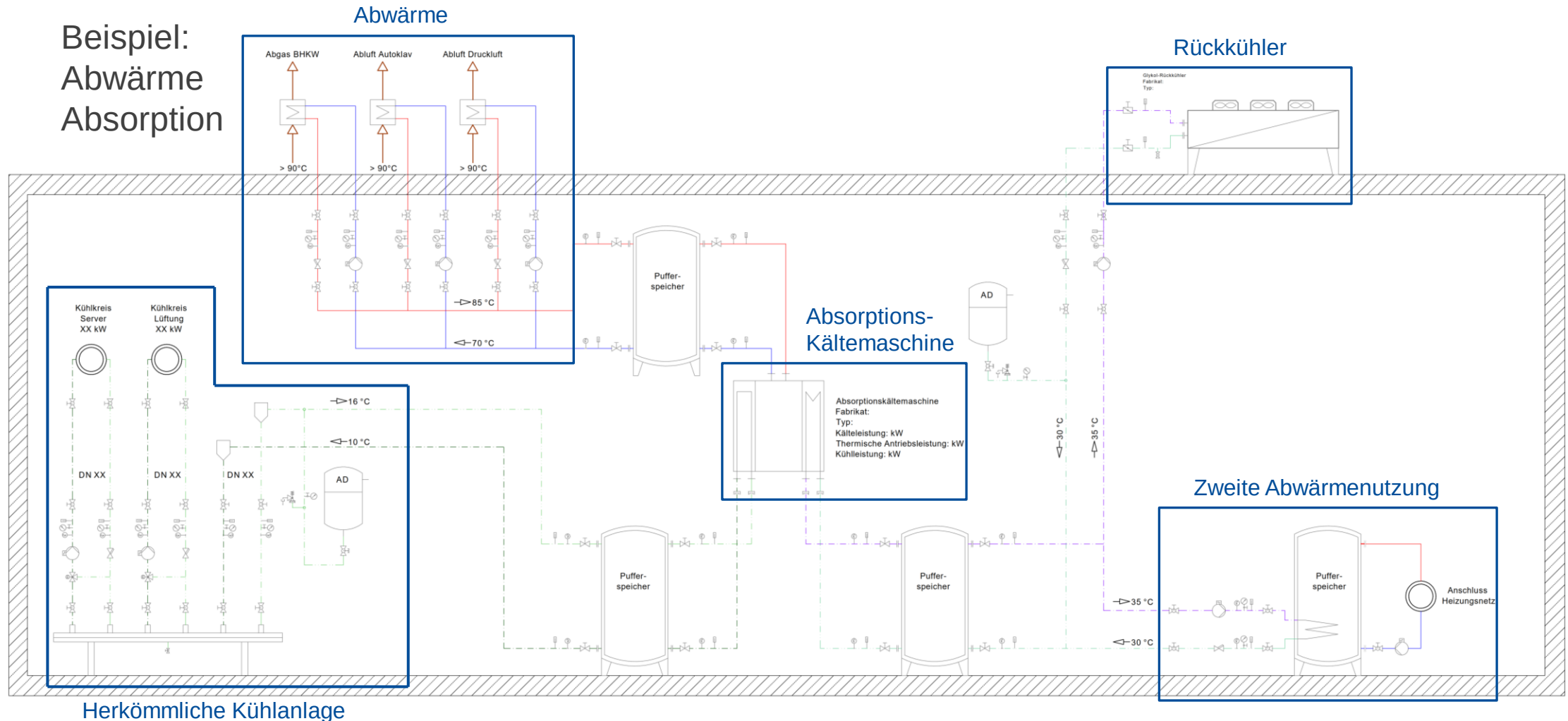
Beispiel:
Vollklima RLT

Vollklimatisierung-
Lüftungsanlage



Die Zukunft des Kühlens: Synergien

Beispiel:
Abwärme
Absorption





Die Zukunft des Kühlens: zukunftsstaugliche
Kältemittel

Die Zukunft des Kühlens: zukunftstaugliche Kältemittel

- Warum umweltfreundlicher Kältemittel?
- Wir können die TEWI-Methode anwenden, um einen Eindruck davon zu gewinnen, wie sich die Wahl des Kältemittels auf die Umweltbilanz insgesamt auswirkt

$$TEWI = (GWP \cdot L \cdot \eta) + (GWP \cdot m (1 - \alpha)) + (\eta \cdot E \cdot \beta)$$

GWP = GWP Wert (kg/kg)

L = Leckrate pro Jahr (kg)

n = Nutzungsdauer der Kältemaschine / Wärmepumpe (Jahren)

m = Kältemittelgewicht (kg)

α = Recyclingverlust

E = Energiebedarf Jährlich Strom (kW/h)

β = CO₂ Emission pro kWh (kg)

Leckageraten Verschiedene Anlagenarten

Splitklima	Gewerbekälte	Industriekälte	Zentralklima	VRF	Sonderanlagen
1,53 %	3,83 %	2,07 %	1,32 %	1,75 %	2,92 %

Quelle: Leckageraten von Kältemitteln: Sind Klimaanlagen Klimakiller. (2021). TGA Fachplaner.

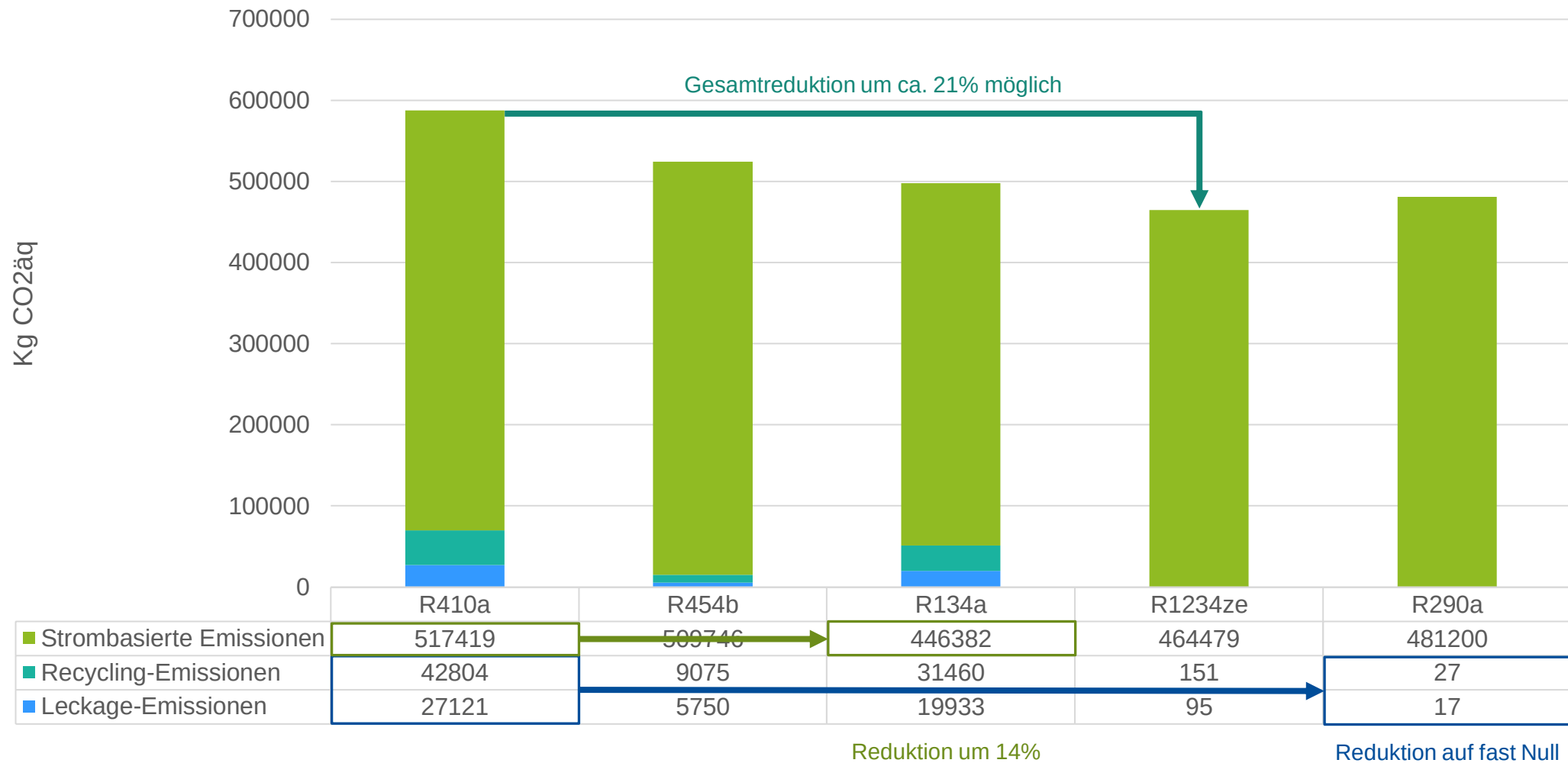
Die Zukunft des Kühlens: zukunftstaugliche Kältemittel

- Beispiel für einen luftgekühlte Kaltwassersatz ca. 500 kW Leistung, ca. 500.000 KWh Kühlenergiebedarf ins Jahr, Nutzungsdauer 12 Jahre, Netzstrom CO₂äq 0,401 Kg/KWh, Daten basieren auf marktverfügbaren Anlagen

TEWI-Basis Kennzahlen

Kältemittel	R410a	R454b	R134a	R1234ze	R290
GWP	2088	466	1430	7	3
Kältemittelgewicht	82	77,9	88	86	36
Saisonaler Energieeffizienz (SEER)	4,65	4,72	5,39	5,18	5,00

Die Zukunft des Kühlens: zukunftstaugliche Kältemittel



Die Zukunft des Kühlens: zukunftsstaugliche Kältemittel

- Im letzten Zeitraum wurde mehr Priorität gesetzt auf die Abbau-Produkte von Kältemitteln nach dem Gelagen in der Atmosphäre.
- Wenn die Kältemittel R134a, R1234yf, R1234ze, R1233zd und R1336mzz in die Atmosphäre austreten, werden durch Strahlung und Kontakt mit Regen verschiedene Stoffe freigesetzt.
- Das problematischste dieser Stoffe ist die Trifluoressigsäure (TFA), die nicht abbaubar ist und eine dauerhafte Umweltbelastung darstellt.

Stoffname	Molare TFA-Ausbeute	Quelle
HFKW-245fa	<10 %	WMO (2010)
HFKW-134a	7-20 %	Wallington et al. (1996)
HFKW-143a	<10 %	Eigene Schätzung
HFKW-365mfc	<10 %	WMO (2010)
HFKW-227ea	100 %	WMO (2010)
u-HFKW-1234yf	100 %	Hurley et al. (2008)
u-HFKW-1234ze(E)	<10 %	WMO (2010)
u-HFKW-1336mzz(Z)	<20 % ⁹⁷	Qing et al. (2018)
u-HFKW-1225ye(E und Z)	100 %	Eigene Schätzung
u-HFKW-1233zd(E)	2 %	Sulbaek Andersen et al. (2018)
u-HFKW-1224yd(Z)	100 %	Eigene Schätzung

Quelle: Persistente Abbauprodukte halogener Kälte- und Treibmittel in der Umwelt, (2021). *Umweltbundesamt*

Die Zukunft des Kühlens: zukunftstaugliche Kältemittel

- Mehrere Autoren haben jedoch festgestellt, dass die Gesamtmenge an freigesetztem TFA als nicht gefährlich anzusehen ist. (M. S. Javadi, 2008) (the Norwegian Environment Agency, 2017).
- Aber es gibt immer noch eine **Lücke im Gesetz**, und **mehrere Gruppen wollen** sie mit einem **pauschalen Verbot** schließen. [Link](#) [Link](#)
- Der **Gegenvorschlag der Industrie** sieht vor, HFO-Kältemittel in die F-Gase-Verordnung aufzunehmen und ihre **Verwendung durch Quoten zu regeln**. [Link](#) [Link](#)
- Wie im Leben üblich, ist zu erwarten, dass sich beide Seiten in der Mitte treffen werden. Es kann also mit Sicherheit gesagt werden, dass die **HFO-Kältemittel in Zukunft zumindest stärker kontrolliert werden**. Dies ist ein Anreiz, natürliche Kältemittel zu verwenden, wo immer es sinnvoll und möglich ist.

Die Zukunft des Kühlens: zukunftstaugliche Kältemittel

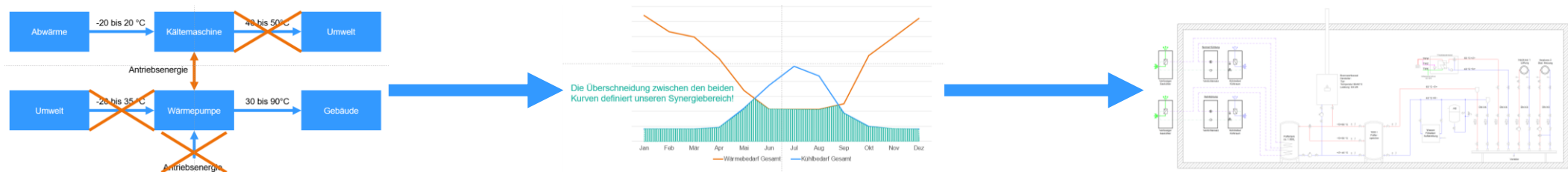
- Erinnern Sie sich an den Abschnitt Historie des Kühlens?
- Natürliche Kältemittel wie Ammoniak und Äther waren einige der ersten Kältemittel, die verwendet wurden. Damit **schließt sich der Kreis**: Wir bewegen uns weg von synthetischen Kältemitteln und **zurück zu** den ursprünglichen **natürlichen** Varianten.
- **Was anders ist**, Sicherheit! Wir haben inzwischen ein viel **besseres Kenntnis** über die Gefahren dieser Kältemittel und haben **bessere Lösungen**, um ihnen entgegenzuwirken. Das heißt aber nicht, dass die Gefahren nicht mehr vorhanden sind. Eine bessere und detailliertere Planung und Ausführung von Kälteanlagen ist erforderlich.



Fragen und Abschluss

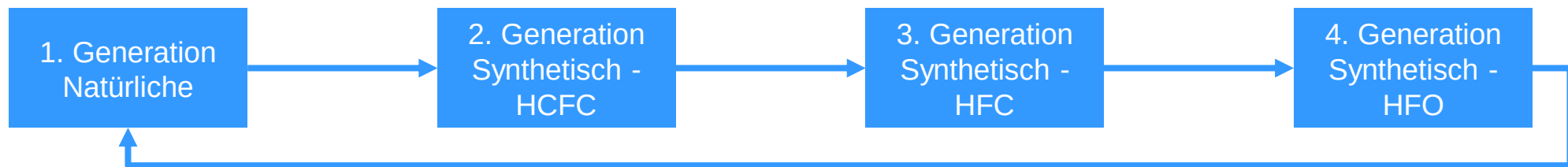
Abschluss

- Die **Synergieeffekte** müssen ermittelt werden.
- Zunächst muss das **Grundprinzip** überprüft werden.
- Zweitens muss auch die **zeitliche Komponente** der Synergie geprüft werden.
- Wenn beide Prüfungen positiv ausfallen, gibt es **mehrere Konzepte**, die zur Nutzung des Synergieeffekts verwendet werden können.



Abschluss

- Mit Hilfe der **TEWI-Methode** können wir die Umweltbilanz verschiedener Kältesysteme bestimmen.
- Achten Sie auf andere Faktoren wie **atmosphärische Abbauprodukte**.
- Konzentrieren Sie sich auf die Verwendung **natürlicher Kältemittel**, soweit dies sinnvoll und möglich ist.



Fragen



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Fachvereinigung Krankenhaustechnik e. V. (FKT)

Ingenieurbüro Ahrens GmbH

Plauener Straße 12

Cloppenburger Str. 273

44139 Dortmund

26133 Oldenburg

Telefon: +49 (0)231 534 02 25

Telefon: +49 (0)441 233 507 0

E-Mail: fkt@fkt.de

E-Mail: o.sugden@ib-ahrens-gmbh.de

Internet: www.fkt.de

Internet: www.ib-ahrens-gmbh.de