++
PLUSPLUS
PRINZIP

# HERZLICH WILLKOMMEN!

## EFFIZIENTE PROZESSKÄLTE TEIL 2

**Online-Seminar mit Sylvia Jacobi**

Das PlusPlus-Prinzip – Eine Klimaschutzkampagne der deutschen Ernährungsindustrie

BVE

Gemeinsam mit unseren Partner-unternehmen

ÖKOTEC ENERGIEMANAGEMENT GMBH

enersuma Energy & Sustainability Management Consulting GmbH

ifeu INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTFORSCHUNG HEIDELBERG

Gefördert durch:

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

# VORSTELLUNG

++ PLUSPLUS PRINZIP

ÖKOTEC ENERGIEMANAGEMENT GMBH

- Beratungs- und Softwareunternehmen für Energie- und Ressourceneffizienz seit 1999
- Ein Unternehmen von Veolia seit 2016
- $CO_2$-Vermeidung und -Reduzierung durch technische und organisatorische Maßnahmen
- Erfahrung in allen relevanten Industriebranchen, Gewerbe und Gebäuden
- Interdisziplinäres Team mit 50 Mitarbeitern

**Sylvia Jacobi**

*Senior Consultant*

ÖKOTEC Energiemanagement GmbH

# AGENDA – TEIL 2

1. Kälte in der Ernährungsindustrie
2. Effizienzerhöhung Kälteerzeugung
3. Energieeinsparmaßnahmen Kälteverteilung
4. Energieeinsparmaßnahmen Kühlräume
5. Systematik bei der Umsetzung Einsparmaßnahmen

PLUSPLUS
PRINZIP

# KÄLTE
# IN DER ERNÄHRUNGSINDUSTRIE

# TYPISCHE ANWENDUNGSGEBIETE VON KÄLTE IN DER ERNÄHRUNGSINDUSTRIE

## Abkühlen von Produkten

Abkühlen von Produkten auf Temperaturen oberhalb von 0°C

## Gefrieren von Produkten

Abkühlen von Produkten mit Umwandlung des Aggregatzustands

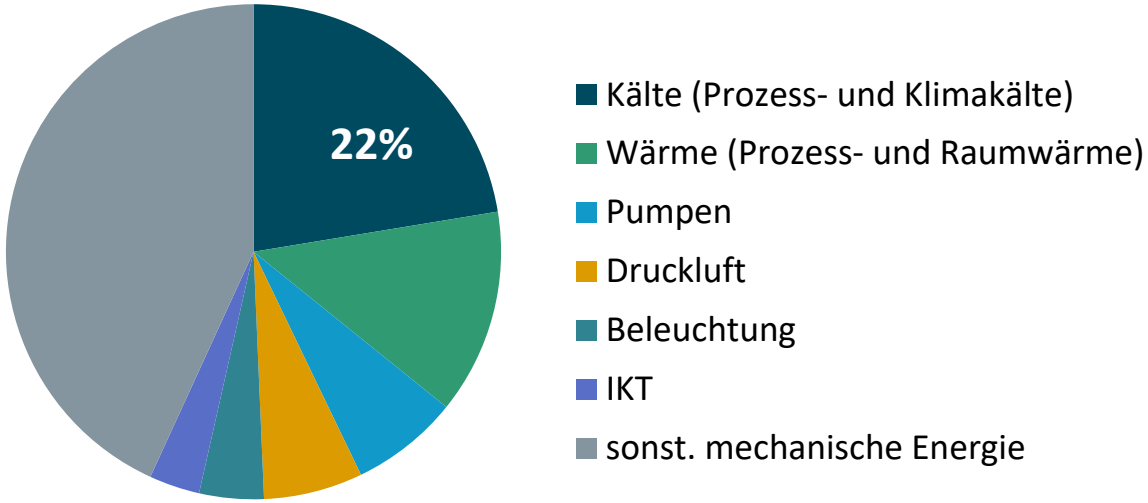
## Kühlen von Räumen

Absenkung der Raumtemperatur unter die Umgebungs-temperatur

# RELEVANZ VON KÄLTE IN DER ERNÄHRUNGSINDUSTRIE

- **$CO_2$-Emissionen aus Strom zur Kälteerzeugung** **3,2 Mio. t $CO_2$**
  - davon Prozesskälte 81%
  - davon Klimakälte 19%

**$CO_2$-Emissionen Strom in der Ernährungsindustrie 2018**




Quellen: AG Energiebilanzen e.V., 2018; UBA, 2014

# 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

PLUSPLUS
PRINZIP

# BEWERTUNG DER ENERGIEEFFIZIENZ

# KENNZAHLEN FÜR EFFIZIENZ

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

**Kälteerzeugungseffizienz $\eta_{KC}$:**

Einfluss von Verlusten bei der Kälteerzeugung.

**Wärmetransporteffizienz $\eta_{WT}$:**

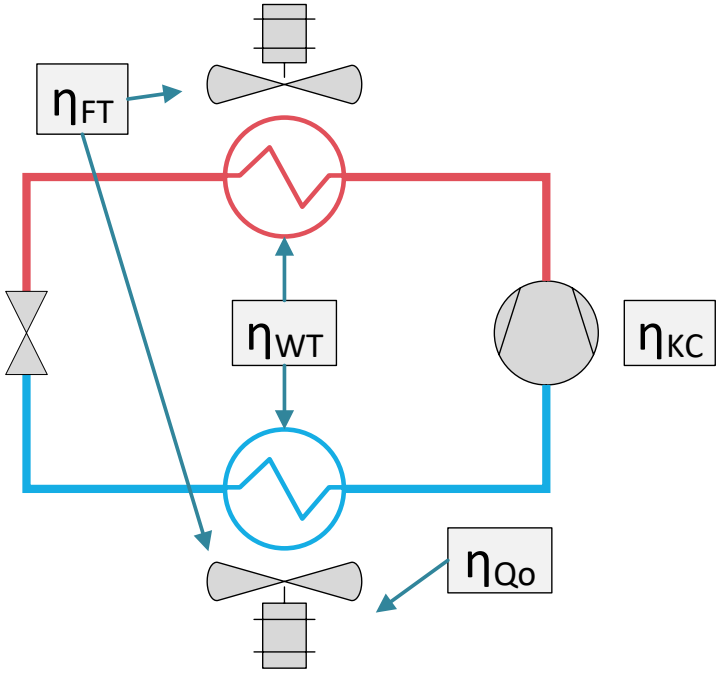
Einfluss von Temperaturdifferenzen, die für den Wärmetransport erforderlich sind z.B. durch Vereisungen, Verschmutzungen.

**Fluidtransporteffizienz $\eta_{FT}$:**

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

**Kältenutzungseffizienz $\eta_{Qo}$:**

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




Quelle: VDMA 24247-2, 2018

PLUSPLUS
PRINZIP

# EFFIZIENZSTEIGERUNG DURCH SYSTEMOPTIMIERUNG

# ANHEBUNG DER VERDAMPFUNGSTEMPERATUR / DES VERDAMPFUNGSDRUCKS

**Anhebung der Verdampfungstemperatur**

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

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

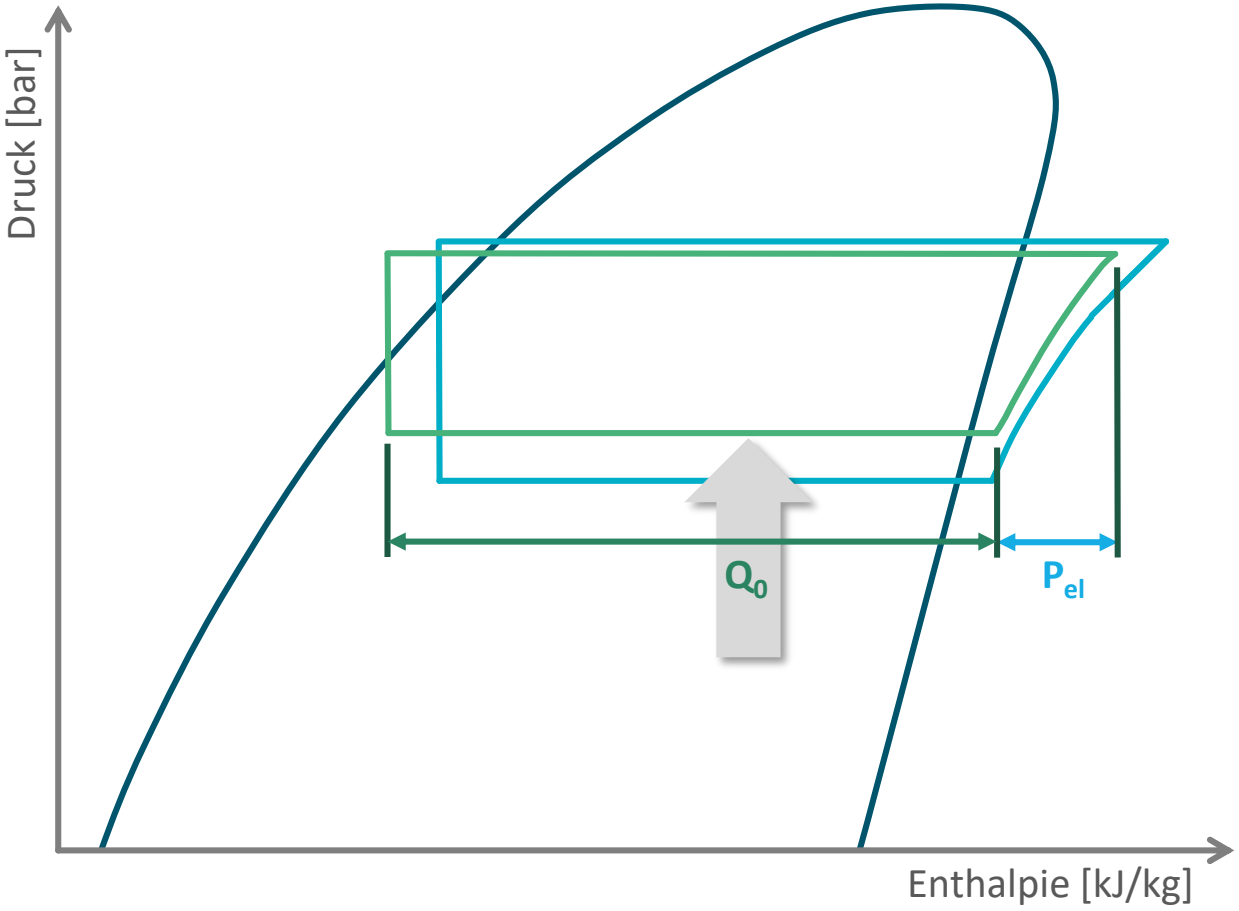



Abbildung: ÖKOTEC

# ABSENKUNG DER KONDENSATIONSTEMPERATUR / DES KONDENSATIONSDRUCKS

**Absenkung der Kühlwassertemperatur**

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

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

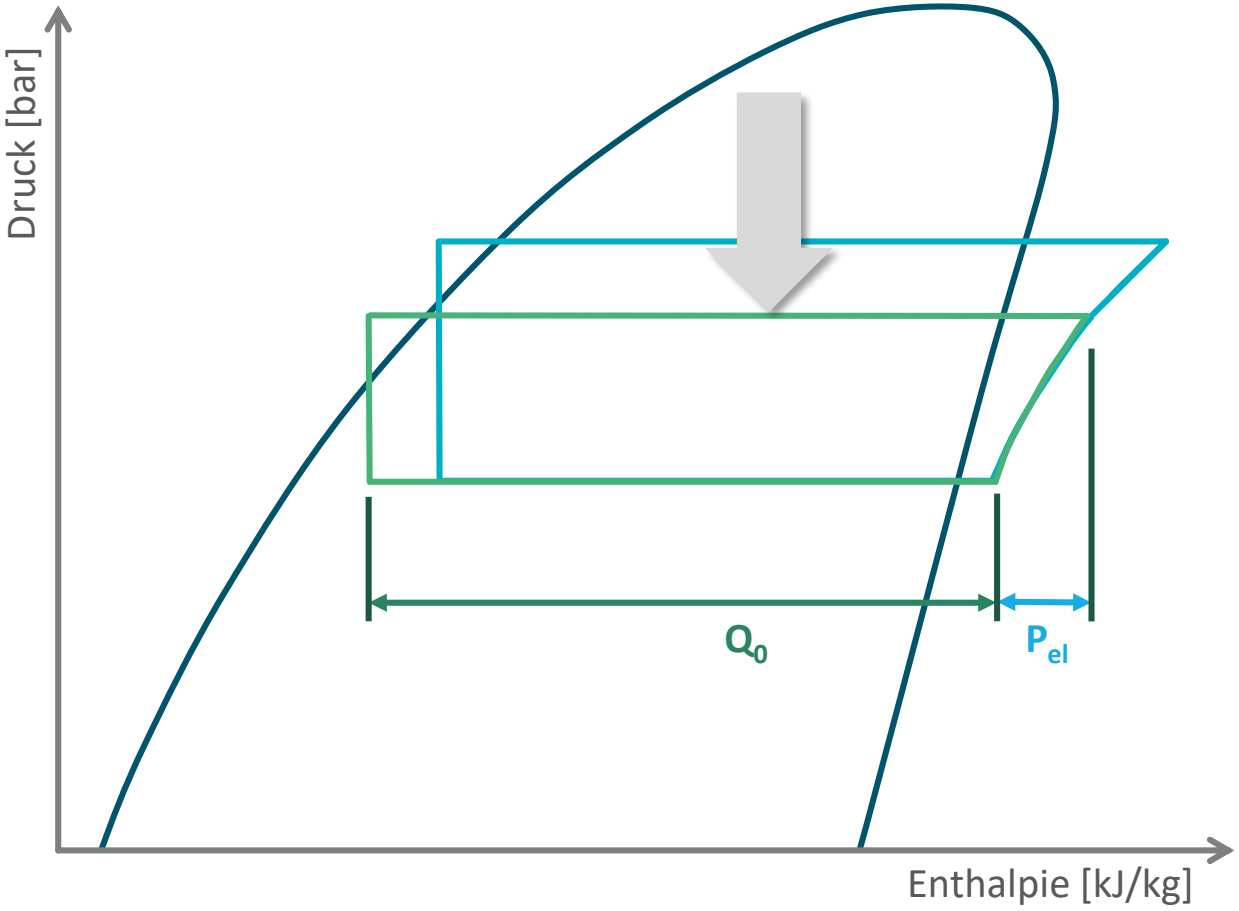



Abbildung: ÖKOTEC

# FOLIENSATZ EFFIZIENTE PROZESSKÄLTE TEIL 1

++ PLUSPLUS PRINZIP

**https://pluspluspprinzip.de/aktiv-werden/co2-einsparen/#prozesskaelte**

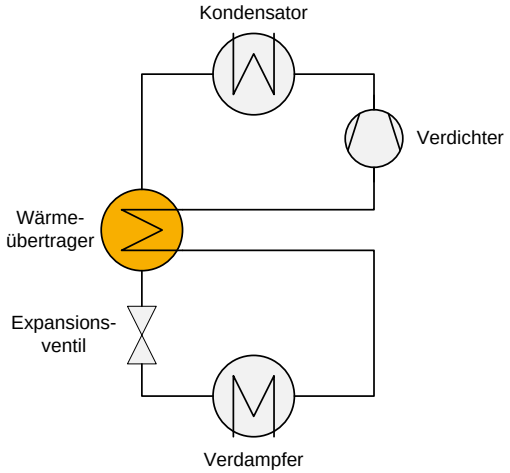
PLUSPLUS
PRINZIP

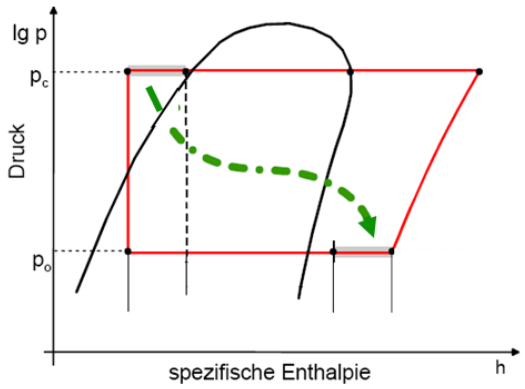
# EFFIZIENZERHÖHUNG
# KÄLTEERZEUGUNG

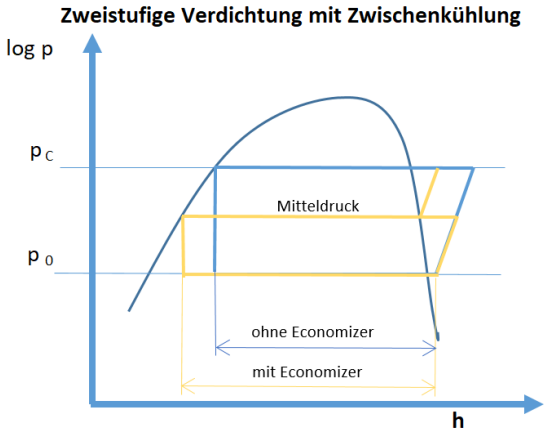
## Kompressionskältemaschinen

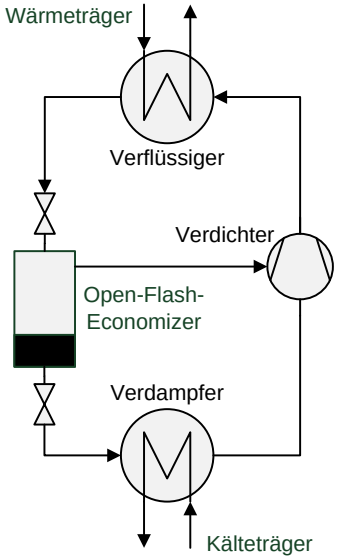
# EFFIZIENZERHÖHUNG KÄLTEMASCHINEN

- **Drehzahl geregelte, hocheffiziente Kältemittelverdichter mit Direktantrieb**
- **Bei Mehr-Verdichter-Anlagen:**
  - Übergeordnete Verdichtersteuerung
  - Bedarfsgerechter modularer Aufbau
- **Unterkühlung Interne Wärmerückgewinnung**
- **Zwischenkühlung durch Open Flash- ECO bei hohen Druckverhältnissen oder Unterkühlungswärmeübertrager**
- **Überhitzungsregelung (trockene Verdampfung) Elektronische statt thermostatischer Expansionsventile mit lastabhängiger Überhitzungsregelung (Überhitzungsverhältniss ca. 0,65)**




Abbildungen: ÖKOTEC

# UNTERKÜHLUNG

- **Unterkühlung ist immer erforderlich!**
  **Gründe:**
  - Basenfreies Kältemittel vor Expansionsorgan (nach Ventilauslegungsleistung, keine Kavitation)
  - Vergrößerung der Verdampfungsenthalpie
  - Verdichterschutz (interner WÜ)
- **Unterkühlung im Verflüssiger begrenzt (≤1K /1-2%), ungeregelt**
- **Ausführung für Unterkühlung in Rohrleitung entscheidend (fallende und waagerechte Leitungsführung)**
- **Unterkühlung im separaten Rückkühler größer (bis zu 10K), regelbar**
- **Unterkühlung über internen WÜ geregelt**
  **Effizienz abhängig vom Kältemittel**

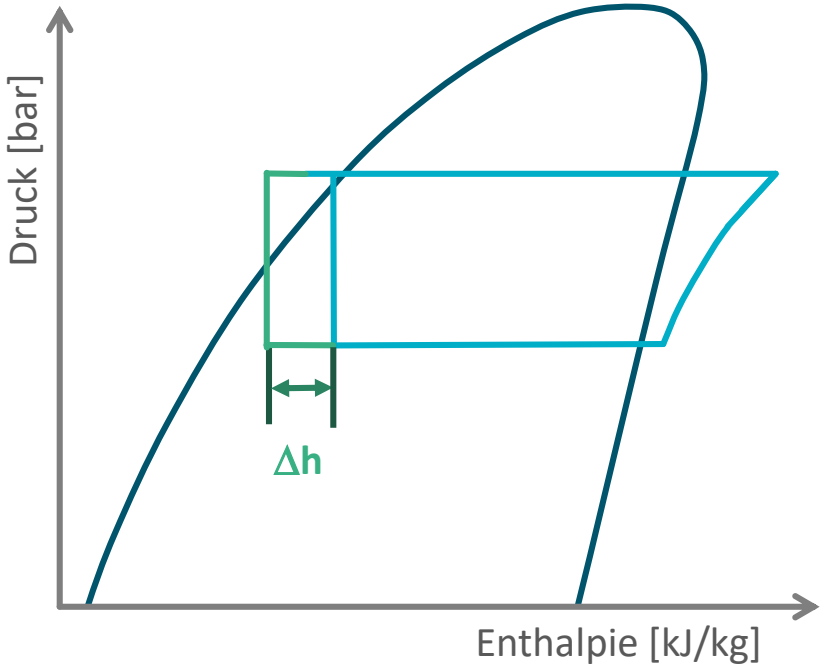
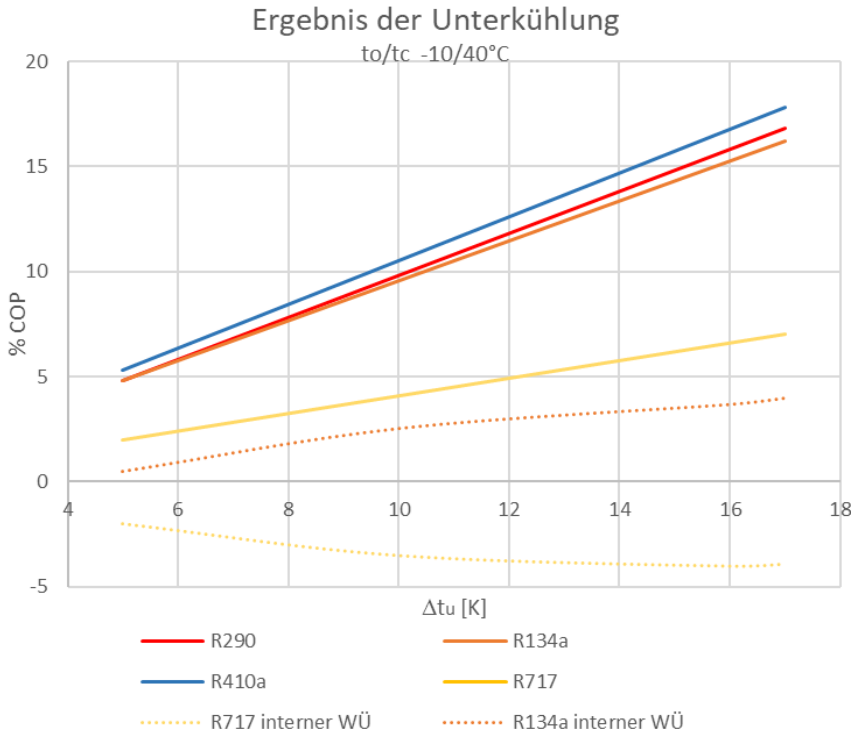


Abbildung: ÖKOTEC

# UNTERKÜHLUNG

- **Unterkühlung ist immer erforderlich!**
  **Gründe:**
  - Basenfreies Kältemittel vor Expansionsorgan (nach Ventilauslegungsleistung, keine Kavitation)
  - Vergrößerung der Verdampfungsenthalpie
  - Verdichterschutz (interner WÜ)
- **Unterkühlung im Verflüssiger begrenzt (≤1K /1-2%), ungeregelt**
- **Ausführung für Unterkühlung in Rohrleitung entscheidend (fallende und waagerechte Leitungsführung)**
- **Unterkühlung im separaten Rückkühler größer (bis zu 10K), regelbar**
- **Unterkühlung über internen WÜ geregelt**
  **Effizienz abhängig vom Kältemittel**




Datenbasis: Güntner AG &Co. KG, Fachveröffentlichung 2010

# KÄLTEERZEUGUNG - EINSATZ HOCHEFFIZIENTE KÄLTEMASCHINE

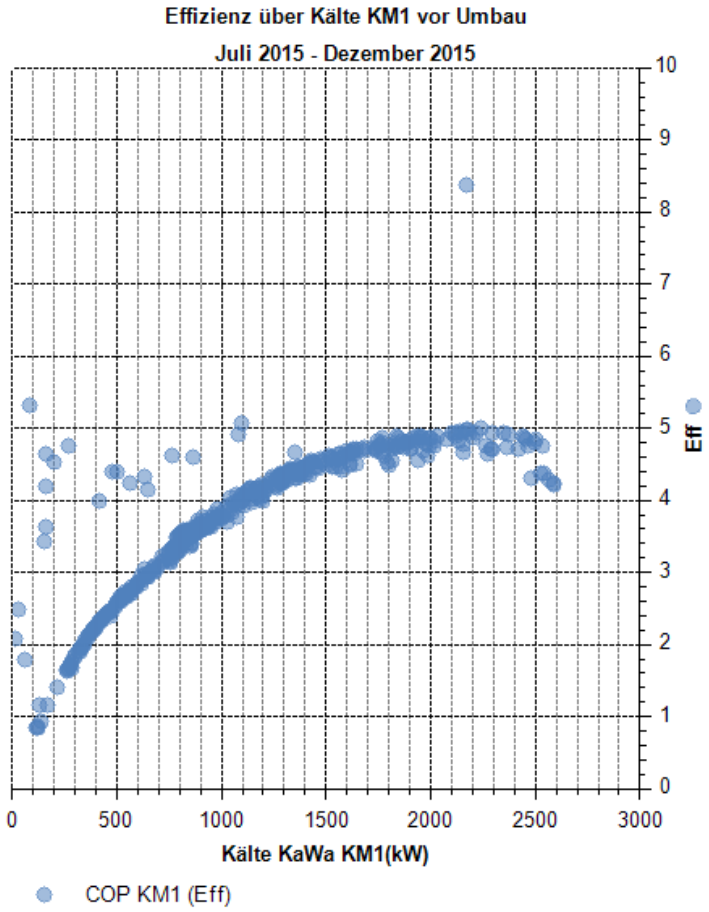
**Hocheffiziente Kältemaschine**

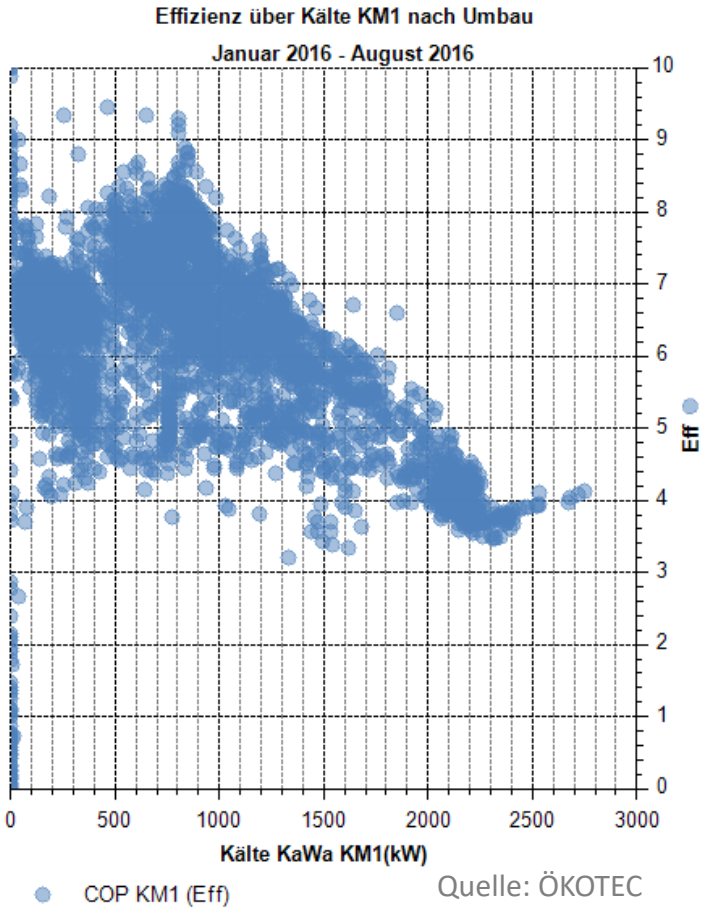
- **Turbokompressor mit Drehzahlregelung**
- **Große Wärmetauscherflächen am Kondensator und Verdampfer**
- **Witterungsgeführte Kühlwassertemperatur**
- **Elektronisches Expansionsventil**

| | | Anlage 1 | Anlage 2 |
|---|---|---|---|
| Verdampferleistung | $kW_{th}$ | 163 | 163 |
| Verdichterleistung | $kW_{el}$ | 48 | 27 |
| **EER** | | **3,4** | **6,0** |
| Betriebsstunden | h/a | 6.600 | 6.600 |
| Effekt. Betriebsstunden | h/a | 3.883 | 3.883 |
| Auslastung Kälteanlage | % | 70 | 70 |
| **Jahresarbeit Kälteanlage** | **$MWh_{el}/a$** | **131** | **74** |

Effizienzunterschiede durch die Kältemittelwahl bis 10%!

# ERNEUERUNG EINER KÄLTEANLAGE




Quelle: ÖKOTEC

PLUSPLUS
PRINZIP

# EFFIZIENZERHÖHUNG
# KÄLTEERZEUGUNG

## Absorptionskältemaschinen

# EINSATZ ABSORPTIONSKÄLTEANLAGE

| Absorptionsmittel | Kältemittel |
|---|---|
| Schwefelsäure $H_2SO_4$ | Wasser $H_2O$ |
| Natronlauge NaOH | Wasser $H_2O$ |
| Kalilauge KOH | Wasser $H_2O$ |
| **Lithiumbromid LiBr** | **Wasser $H_2O$** |
| Kalziumchlorid $CaCl_2$ | Wasser $H_2O$ |
| Aminoverbindungen / andere organische Stoffe | Wasser $H_2O$ |
| **Wasser $H_2O$** | **Ammoniak $NH_3$** |
| Wasser $H_2O$ | Methylamin $CK_3NH_2$ |
| Dimethyläther | R21 CHFCl2 |
| Dimethyläther | R21 CHFCl2 |

- **Lithiumbromid – $H_2O$**
  - **Kaltwasser Erzeugung bei 4-8°C (handelsüblich)**
  - **Unterdrücke von 8- 95 mbar**
  - **Keine Umweltgefährdung**
  - **mit Sauerstoff aggressive Lösung**

- **$H_2O$ - Ammoniak**
  - **Kälteerzeugung ab -60°C**
  - **Hohe Verdampfungswärme des Ammoniak als Kältemittel**
  - **Höhere Drücke**
  - **$NH_3$- gasförmig, giftig**

# BEISPIELE ABSORPTIONSKÄLTEANLAGE

| Anlagentyp | $\zeta$ [Kälteenergie/Heiz- bzw. Primärenergie] | Antriebsmittel |
|---|---|---|
| Single Effect – $H_2O$/LiBr-AKM | 0,75 | Heizwasser, Dampf |
| Double Multi Effect – $H_2O$/LiBr-AKM | 0,90 - 1,15 | Abwärme auf zwei Temperaturniveaus |
| Double Multi Effect – $NH_3$/$H_2O$-Resorber | 0,82 | |
| Double Effect – $H_2O$/LiBr-AKM | 1,25 | Gas, direkt befeuert / Abwärme |
| Triple Effect – $H_2O$/LiBr-AKM | 1,65 | |
| Gax-Cycle – AKM | 0,7 - 0,9 | |
| Gasmotorische Kompr.-Kälteanlage | 1,5 - 1,9 | Gas |

# EINSATZ ABSORPTIONSKÄLTEANLAGE

**Kompressionsmaschine**

$$EER = EER_c \times \upsilon_c$$

$$\upsilon_c = exergetischer\ Gütegrad$$

$$\upsilon_{c,K} = 0{,}52$$

$$EER = 5$$

**Absorptionsmaschine**

$$EER = \zeta_c \times \upsilon_{abs}$$

$$\upsilon_{c,A} = 0{,}52$$

$$\zeta = 0{,}8$$

**Leistungszahl (Effizienz)**

$$EER = \frac{Nutzen}{Aufwand}$$

Ziel: Maximierung des EER*!

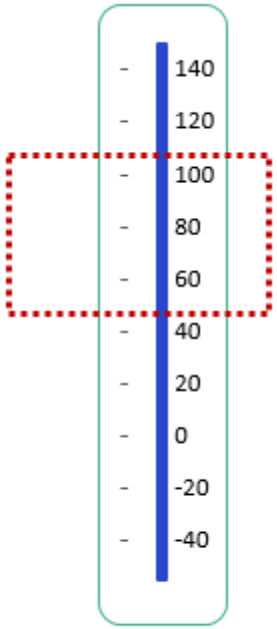
*hier: EER (Energy Efficiency Ratio)
= Leistungszahl

**EER/ζ = 6,25 → Wärmekosten << 0,16 x Stromkosten**

# EINSATZ ABSORPTIONSKÄLTEANLAGE

## Anforderungen

- **Je höher die Abwärmetemperatur, um so effizienter der Anlagenbetrieb**
- **Je niedriger das geforderte Kältetemperaturniveau, um so höher das Antriebstemperaturniveau**
- **Mindesttemperaturniveau für Klimakälte / Kühlwasser >15°C : 55°C**
- **Die ideale Abwärme Temperatur beträgt 70 bis 95°C (Standardauslegung)**
- **Abwärmequellen in diesen Temperaturbereichen gibt es in fast allen Betrieben der Industrie**



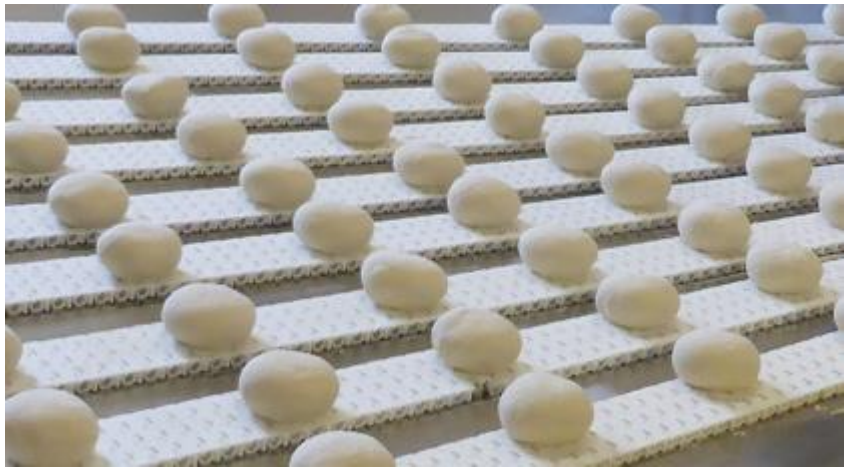

## Abwärmequellen

- Abgase von Verbrennungsprozessen
- BHKW
- Abluft thermischer Prozesse, von Öfen
- Abdampf aus Prozessen
- Maschinenkühlung
- Ölkühler von Druckluftanlagen ggf. Enthitzer von Kälteanlagen
- Kühlwasser aus Rechenzentren

# EINSATZ ABSORPTIONSKÄLTEANLAGE

## Beispiel: Nahrungsmittelindustrie

- $NH_3$-Kälteanlagen erzeugen Kaltwasser mit 6 °C Vorlauftemperatur zur Vorkühlung von Teig (12°C Rücklauftemperatur)
- Ungenutzte Abwärme aus Öfen mit einer Temperatur von ca. 200°C



Quelle: ÖKOTEC

## Maßnahme

- Austausch der $NH_3$-Kälteanlagen durch Absorptionskältemaschinen, welche mit der Abwärme der Öfen betrieben wird

→ Einsparung von bis zu 110.000 Euro pro Jahr

Amortisationszeit: 2 - 4 Jahre

# EINSATZ ABSORPTIONSKÄLTEANLAGE

**Beispiel: Nahrungsmittelindustrie**

- **Hohe und kontinuierliche Erzeugung von Abwärme durch die thermische Nachverbrennungsanlage einer Rösterei**

**Maßnahme**

- **Nutzung der Abwärme in einer Absorptionskälteanlage und Ablösung der $NH_3$-Kompressionskälteanlage**

**→ Einsparung von bis zu 190.000 Euro pro Jahr**

Quelle: ÖKOTEC

**Amortisationszeit: 3,5 - 6 Jahre**

# PROZESSANWENDUNG WÄRMEPUMPE

- **Wärmerückgewinnung**
  - aus der feuchtwarmen Abluft von Trocknungsprozessen
  - Aus der Haubenabluft oder Vakuumpumpen von Papiermaschinen
  - bei der Gipstrocknung
  - bei der Lebensmitteltrocknung
  - bei der Zuckerkristallisation
  - Weitere Auskühlung des Fernwärmerücklaufs
  - Weitere Auskühlung von Geothermiewasser

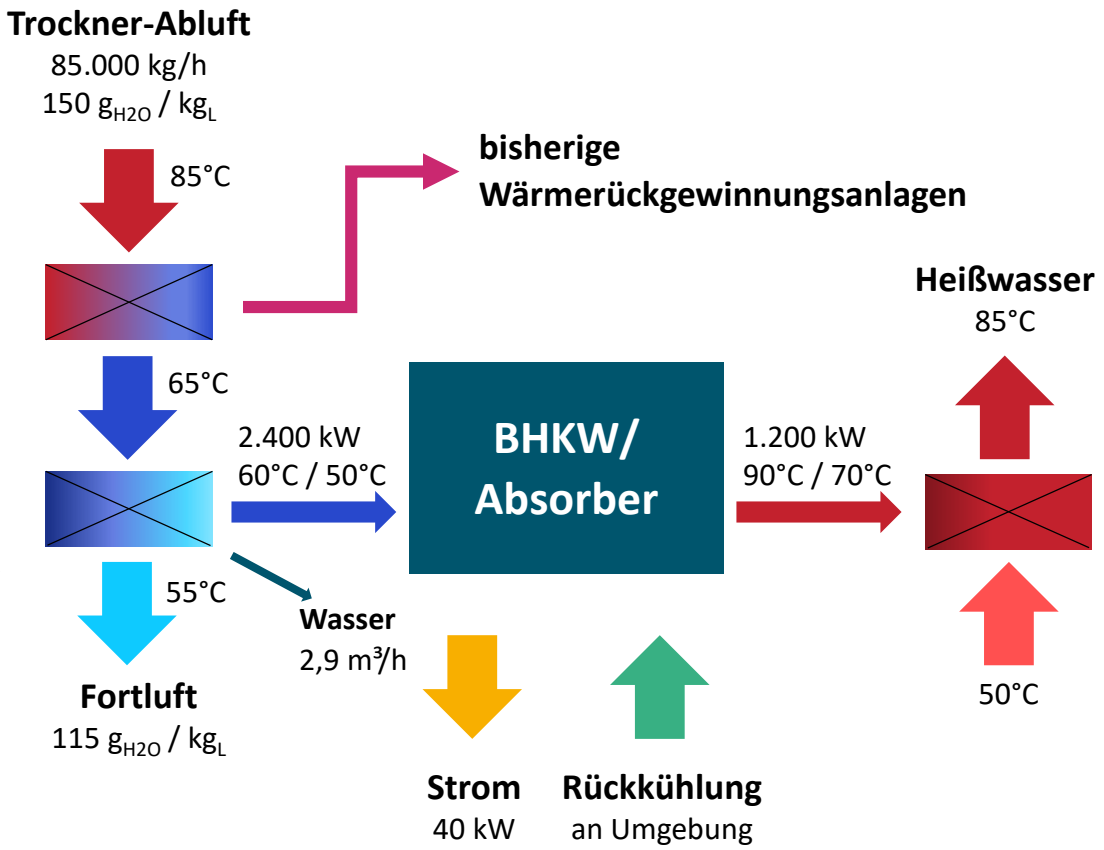



Abbildung in Anlehnung an: https://www.ago.ag/ago-calforma-fields-of-application.html

PLUSPLUS
PRINZIP

# EFFIZIENZERHÖHUNG
# KÄLTEERZEUGUNG

## „Freie Kühlung“ und Rückkühlung

# EINSPARMAßNAHMEN - FREIE KÜHLUNG / RÜCKKÜHLUNG

**Anhebung der Wassereintritts- und Wasseraustrittstemperatur und hydraulischer Abgleich der Systeme**
Berücksichtigung der 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 drehzahlgeregelter Ventilatoren**
effiziente (stufenlose) Regelung

# EINSATZ DREHZAHLGEREGELTER VENTILATOREN

## Beispiel: Brauerei

- Verdunstungskühler sind mit ein- bzw. zweistufigen Ventilatoren ausgestattet, sodass keine bedarfsgerechte Rückkühlung möglich ist

## Maßnahme

- Bedarfsgerechte Leistungsregelung der Ventilatoren mittels Frequenzumformer (FU)

→ Reduktion des Energiebedarfs der Ventilatoren um bis zu 50%

→ Einsparungen von bis zu 6.000 Euro pro Jahr

Quelle: ÖKOTEC

## Amortisation: 2 - 3,5 Jahre

# EINSPARMAßNAHMEN - VERBUNDSYSTEM

## Kombination von Kompressionskälte-anlagen mit Anlagen freier Kühlung

- Entlastung der Kompressionskälteanlagen bei kühlen Außentemperaturen (vor allem nachts und im Winter)
- Umsetzung muss im Einzelfall geprüft werden

## Einsatz einer Übergeordneten Steuerung

- Zusammenfassung von Einzelsystemen in einem Verbund
- Bevorzugung der freien Kühlung zur Entlastung der Kompressionskältemaschinen
- Effizienteste Kälteerzeuger werden vorrangig betrieben

# KOMBINATION KOMPRESSIONSKÄLTEANLAGEN MIT ANLAGEN FREIER KÜHLUNG

## Vorkühlen / Kühlen des Kaltwassers durch Freikühler

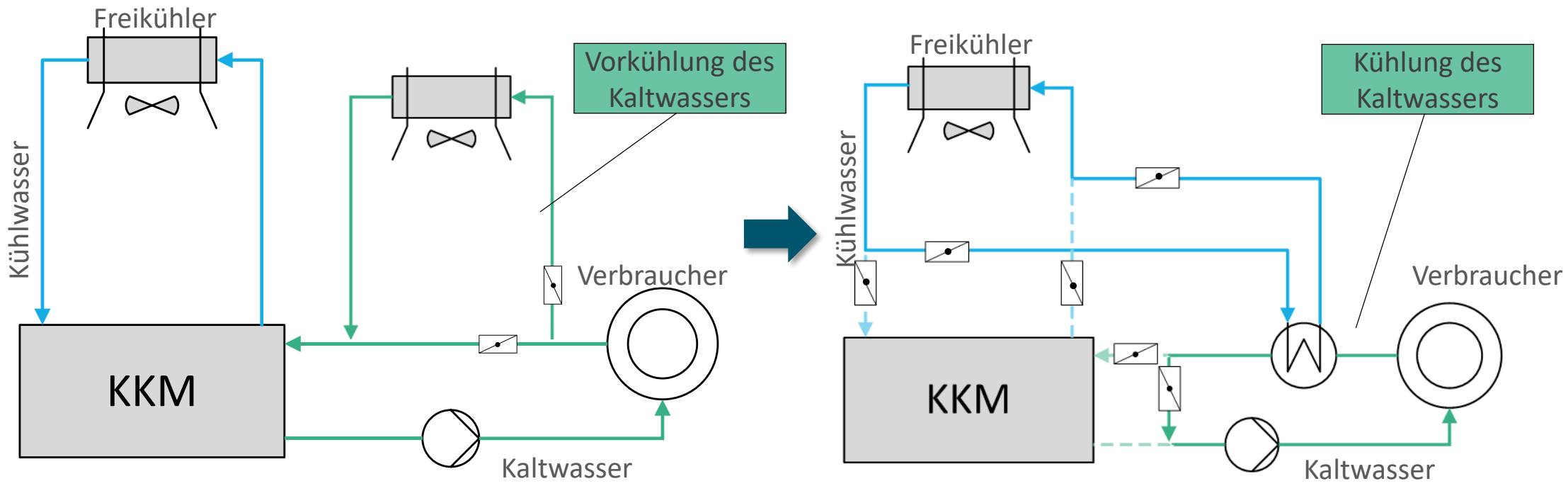



Abbildung: ÖKOTEC

# FREIE KÜHLUNG ÜBER VORHANDENEN KÜHLTURM

## Maßnahme

- Versorgung der Kühlung über bestehenden Kühlturm
- Nutzung der bestehenden KKM, wenn Außentemperaturen zu hoch

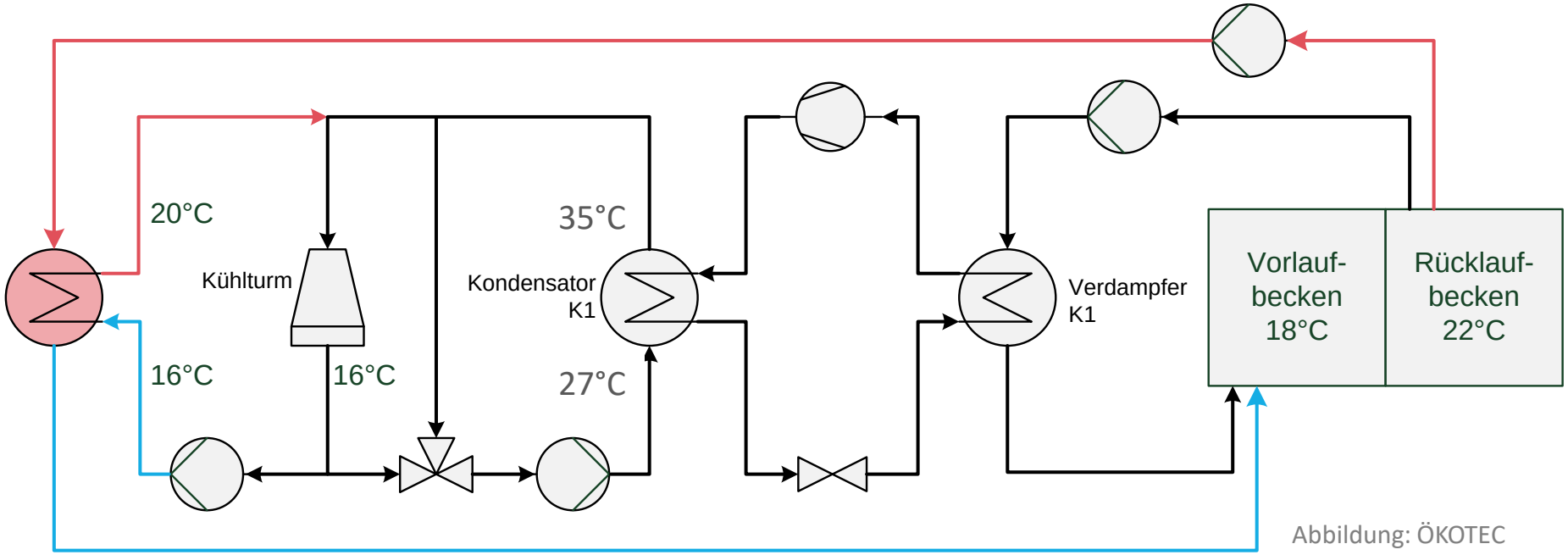
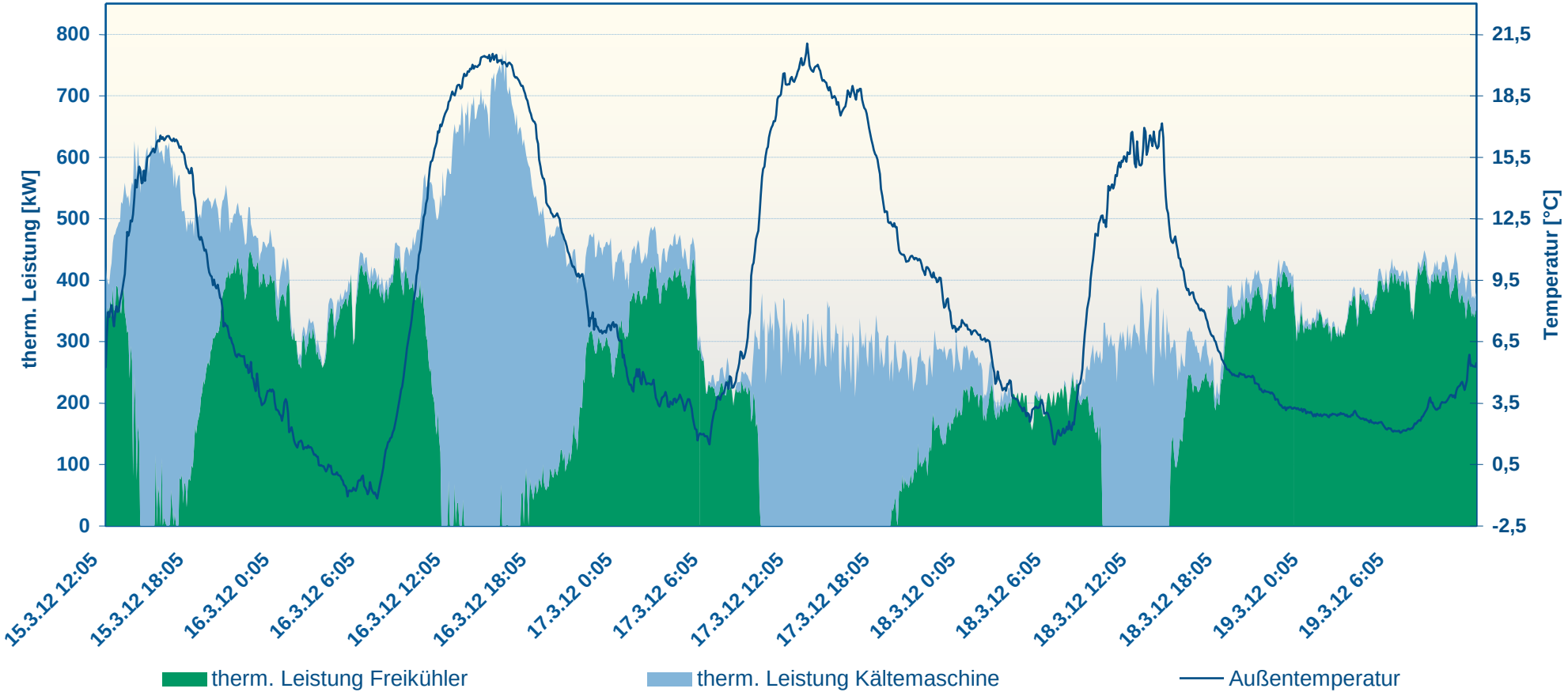



Abbildung: ÖKOTEC

# KOMBINATION VON KOMPRESSIONSKÄLTEMASCHINE MIT FREIKÜHLER




Quelle: ÖKOTEC

# UMSTELLUNG AUF „FREIE KÜHLUNG“

**Beispiel: Nahrungsmittelindustrie**

- **Vorlauftemperatur des Kaltwassers zur Maschinenkühlung beträgt 20°C und wird durch Kompressionskältemaschinen bereitgestellt**

**Maßnahme**

- **Umstellung auf „freie Kühlung“, wodurch Kaltwasser mit einer Temperatur von 15°C zur Verfügung steht (> 80% des Jahres)**

**→ Einsparung von bis zu 47.000 Euro pro Jahr**

**Amortisationszeit: 1 - 2 Jahre**

PLUSPLUS
PRINZIP

# ENERGIEEINSPARMAßNAHMEN
## KÄLTEVERTEILUNG

# EINSPARMAßNAHMEN - KÄLTEVERTEILUNG

**Durchführung eines hydraulischen Abgleichs**

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

**Reinigung der Filter im Verteilsystem**

Reinigung bei Verschmutzung und Ersatz nach Bedarf

**Rückbau von Umlenkschaltungen und Massenstromabgleich zwischen Erzeugung und Verteilung**

Reduktion der Pumpenergiekosten und Vermeidung von Temperaturverlusten

**Überprüfung Einsatz Drosselventile versus Einsatz dezentraler Pumpen**

Vorrangig durch Anpassung der Pumpenleistung regeln

# VERMEIDUNG DER VERMISCHUNG VON VOR- UND RÜCKLAUF

## Beispiel: Getränkeindustrie

- Kühlwasser wird aus dem gleichen Becken entnommen, in das auch der warme Rücklauf der Verbraucher einströmt → Mischtemperatur

## Maßnahme

- Nachrüstung einer Trennung im Kühlwasserbecken

→ Die Verdampfungstemperatur kann angehoben werden, wodurch die Effizienz der Kältemaschine steigt

→ Kosteneinsprung von bis zu 6.000 Euro pro Jahr

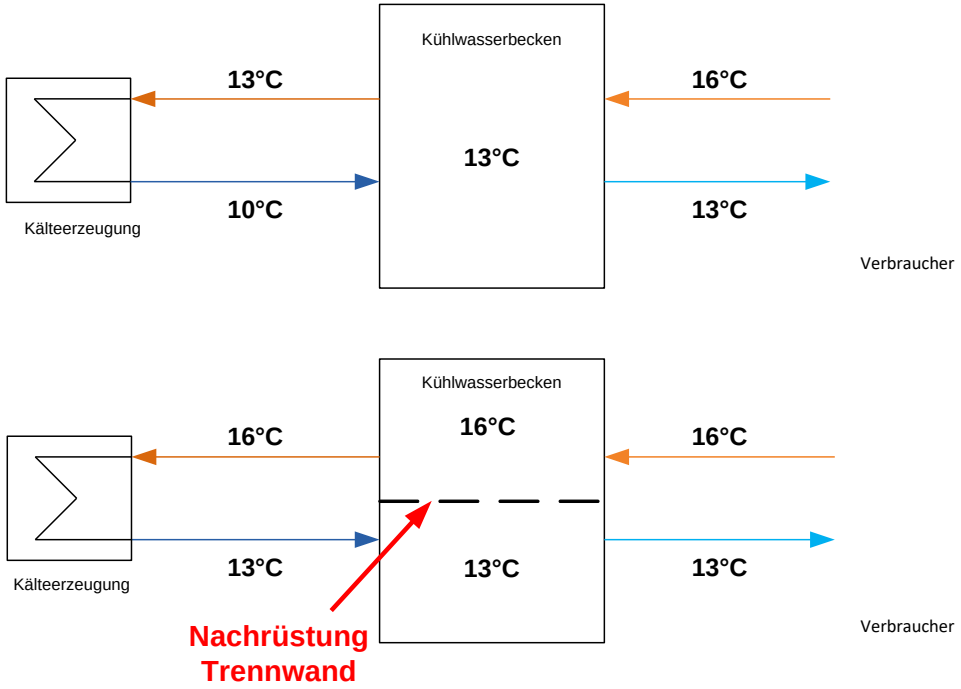



Abbildung: ÖKOTEC

## Amortisation: 2,5 - 3,5 Jahre

# EINSPARMAßNAHMEN - PUMPEN

**Bedarfsgerechte Regelung der Pumpen**

- Regelung in Abhängigkeit von den Druckverhältnisse am geregelten Verbraucher bzw. Verteiler
- Anpassung des Volumenstromes an die Temperaturanforderungen der Verbraucher

**Einsatz von Hocheffizienzpumpen und Austausch von Pumpen mit Verschleiß**

- Vermeidung überdimensionierter Pumpen und / oder Antriebe
- Effiziente Regelung durch stufenlose Drehzahlregelung

**Eliminierung von ungeregelten Bypässen und Umlenkschaltungen sowie Verbraucher-abschaltung bei fehlendem Bedarf**

z. B. bei Batch-Prozessen

**Maximierung der Temperaturspreizung zur Minimierung der Volumenströme**

# ERHÖHUNG DER TEMPERATURSPREIZUNG

**Beispiel: Kaffeeherstellung**

- **Niedrige Temperaturspreizung zeigt, dass Kaltwasser gefördert wird, ohne dass ein Bedarf bei den Verbrauchern besteht**

**Maßnahme**

- **Regelung der Verbraucher**
- **Einsatz einer Frequenzregelung der Pumpen**

**→ Erhöhung der Temperaturspreizung → Reduktion des Volumenstroms → Reduktion des Strombedarfs der Pumpen**

**Amortisation: 1 - 1,5 Jahre**

# ERHÖHUNG DER TEMPERATURSPREIZUNG

## Beispiel: Prozesskühlung Lebensmittelindustrie

- Das Produkt ist prozessstufenabhängig in einem Batch-Prozess zu kühlen. Die Kälte wird indirekt über einen sekundären Kaltwasserkreislauf auf den Produktstrom übertragen. Eine Leistungsregelung des Wärmeübertragers fehlt.

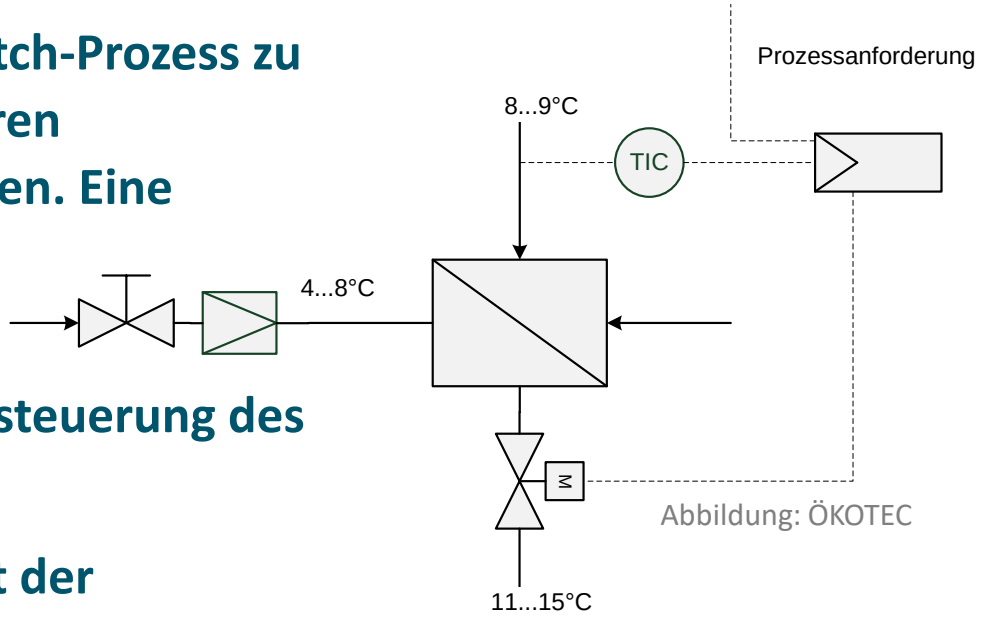


Abbildung: ÖKOTEC

## Maßnahme

- Einbau eines schnell öffnenden Regelventils mit Ansteuerung des Öffnens aus der Prozessebene.

→ Reduktion des Strombedarfs der Pumpen und Erhalt der Temperaturspreizung im Primärnetz

## Amortisation: 3 - 3,5 Jahre

# DÄMMUNG DER KÄLTEVERTEILUNG

Quelle: ÖKOTEC

## Beispiel: Getränkeindustrie

- Beschädigte Dämmung der Kaltwasserleitungen führt zur Erwärmung des Kaltwassers und damit zu Energieverlusten
- Es entsteht Schwitzwasser, was zu weiteren Schäden (Korrosion) führen kann

## Maßnahme

- Erneuerung der beschädigten Dämmung

→ Energieverlust durch beschädigt Dämmung wird unterbunden

→ Kosteneinsparung von ca. 2.000 Euro pro Jahr

## Amortisation: 2,5 - 3,5 Jahre

# KÄLTETRÄGER $NH_3$

| Vorteile | Nachteile |
|---|---|
| umweltfreundlich ohne Ozonabbau- oder Treibhauspotenzial | Toxisch und stark riechend (selbstwarnend), panikerzeugend |
| Ausgezeichnete thermodynamische Eigenschaften (Wärmeübertragung, Kapazität) | hohe Anforderungen an Werkstoffe und Komponenten der Kältetechnik, spezielle Kältemittelschmieröle |
| Hohe Effizienz und niedrige Energiekosten | Hohe Anforderungen an Planung, Errichtung und Betrieb |
| Geringe Kältemittelpreise und hohe Verfügbarkeit | Höhere Investition für Sicherheitseinrichtungen / Anlagentechnik |
| Für viele Einsatzbereiche geeignet | Betriebskosten für Anlagenüberwachung |

- **1t $NH_3$ speichert ~360 $kWh_{therm}$**
- **1m³ Glykolwasser mit $\Delta t$=4K speichert ~4$kWh_{therm}$**
- **1 t Eis speichert ~90 $kWh_{therm}$**

# SICHERHEITSTECHNISCHE ANFORDERUNGEN $NH_3$ KÄLTEANLAGEN

## TRAS 110 Sicherheitstechnische Anforderungen an Ammoniak-Kälteanlagen 06.01.2015

- Vorgaben zum sicheren Betrieb, der Ausführung von Komponenten und der Gestaltung von Maschinenräumen, in Bezug auf Explosionsschutz und Überwachung
- Verpflichtend für Anlagen mit Füllmengen >3 t (Genehmigungspflicht nach 4. BImSchV) bzw. >300kg in Schutzgebieten, Empfehlung der Anwendung auch auf Kälteanlagen ab 300 kg Gesamtfüllmenge
- Vorab Gefährdungsbeurteilung und eine sicherheitstechnische Bewertung der Kälteanlage gemäß § 3 der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) und § 6 der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) durchführen u.a. mit Bewertung der Raumvolumina und Aufenthaltsbereiche von Personen in Bezug $NH_3$-Füllmengen
- Unterteilung des Kältesystems in funktionell sinnvolle, fernbetätigbar einzeln absperrbare Baugruppen
- Netzunabhängige Gaswarnanlagen/Meldeeinrichtungen für Gasgefahr, Technische Entlüftungen, Überwachung angeschlossener Systeme (PH-Wert Überwachung ionenselektive Erkennung)
- betrieblicher Alarm- und Gefahrenabwehrplan, Unterweisungen, persönliche Schutzausrüstung
- jährliche sicherheitstechnische Prüfungen durch Sachkundige
- Anforderungen an den Aufstellungsraum von Apparaten mit aktiv bewegten flexiblen Kältemittelleitungen (z.B. Plattenfroster) entsprechen denen an einen Maschinenraum!

# REDUKTION DER $NH_3$-FÜLLMENGEN

**Überflutete Verdampfer**

- dauerhaft mit flüssigem Kältemittel gefüllt, mit einem Abscheider verbunden
- flüssiges Ammoniak strömt in den Abscheider und verdampft in den Abscheider hinein
- Es entsteht nahezu keine Überhitzung und die gesamte Verdampferfläche ist nutzbar
- Nachteil: hohe Kältemittelfüllmenge (1 - 3 kg $NH_3$/kW)

**Trockenexpansion mit angepasster Regelung**

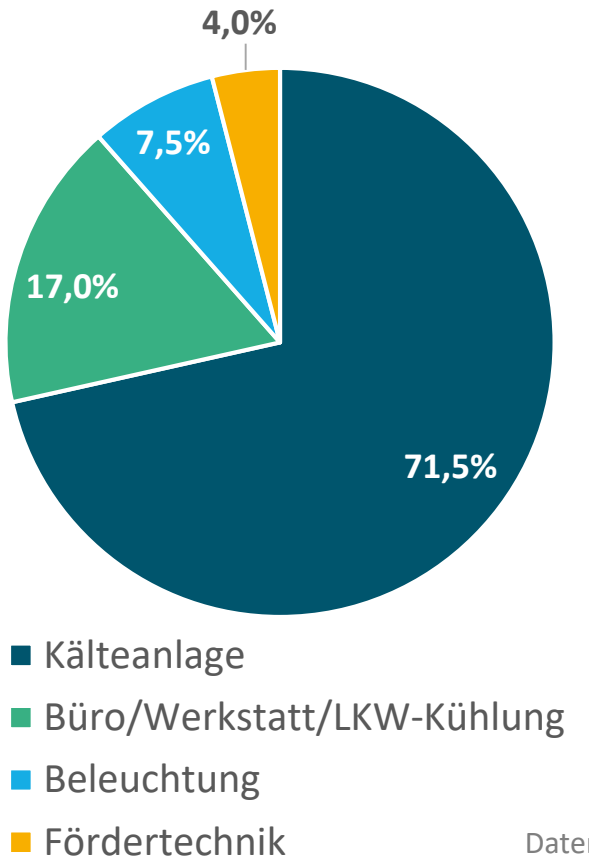
- mit Ammoniak mischbare Schmieröle, ausgereifte Sensoren und neue Verdampferkonstruktionen ermöglichen Betrieb mit Trockenexpansion
- Kältemittel verdampft direkt im Wärmeübertrager
- um 70% reduzierte Kältemittelmenge
- Effizienz ist noch hoch

PLUSPLUS
PRINZIP

# ENERGIEEINSPARMAßNAHMEN
# KÜHLRÄUME

# ENERGIEVERBRAUCH KÜHLHÄUSER

## Mittlerer Stromverbrauch Kühlhäuser




Datenquelle: VDKL

## Einflussgrößen auf den Energieverbrauch

- Kühlraumtemperatur
- Wärmelast und Feuchtelast durch Türöffnungen
- Wareneinlagerungstemperatur
- Wärmeeintrag durch Beleuchtung und Ventilatorenantriebe
- Transmissionswärmeströme
- Unterfrierschutz und Stützenheizung
- Faktor Mensch

# KÜHLRÄUME

**Türen geschlossen halten**
Vermeidung von Wärme- und Feuchteeinträgen und Eisbildung

**Installation von Kälteschleusen**
Minimierung des Wärmeeintrags und Vorkühlung von Ware

**Prüfung des Einsatzes von Schnelllauftoren, Streifenvorhängen und Luftschleiern vor Öffnungen**

**Minimierung der Öffnungsflächen**
Nutzung von Horizontalförderern
Reduzierung der Tür- und Tordurchgangsbreiten bzw. Höhen

# KÜHLRÄUME

**Einsatz von LED- Leuchtsystemen**
Vermeidung von Wärmeeinträgen durch Beleuchtung, Abschaltung bei Nichtnutzung

**Anpassung der Kühlraumtemperatur**
Vermeidung von zu niedrigen Temperaturen

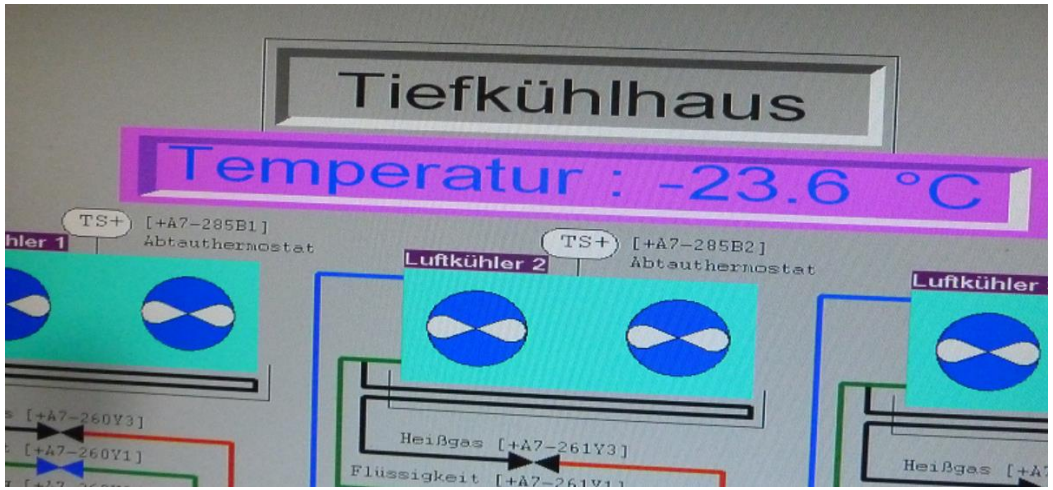
**Ausschalten von leeren Kühlräumen**
Temperatur in Tiefkühlräumen auf -5°C anheben, damit keine Schäden auftreten

**Optimierung der Abtauung**
bedarfsgerechte Abtauung und Anpassung der Abtauzeiten bei festgelegten Abtauintervallen

# ANHEBUNG DER KÜHLRAUMTEMPERATUR

## Beispiel: Bäckerei

- **In den Tiefkühllagern eines Backwarenherstellers waren bis zu 5K niedrigere Temperaturen als gefordert eingestellt.**




Quelle: ÖKOTEC

## Maßnahme

- **Anhebung des Soll- Temperaturniveaus**

**→ Einsparung Strom 4% bis 9%**

# OPTIMIERUNG DER ABTAUREGELUNG

- **Bedarfsabtauung:**
  - Regelung der Abtaueinleitung,
  - Regelung der Abtaudauer,
  - Regelung der Wiedereinschaltung der Kühlung,
  - Temperaturbegrenzung
- **Vermeidung zusätzlicher Druckverluste durch Abtaueinrichtungen**
- **Richtige Platzierung des Abtaufühlers**
- **Kalibrierung des Fühlers**
- **Bei Erneuerung von Rückkühlern:**
  **Prüfung auf Energieträgerumstellung von elektrischer Abtauung zu Heißgas- oder Abwärmeeinsatz für die Abtauung.**
- **In Räumen über 4 °C mit Umluft abtauen.**

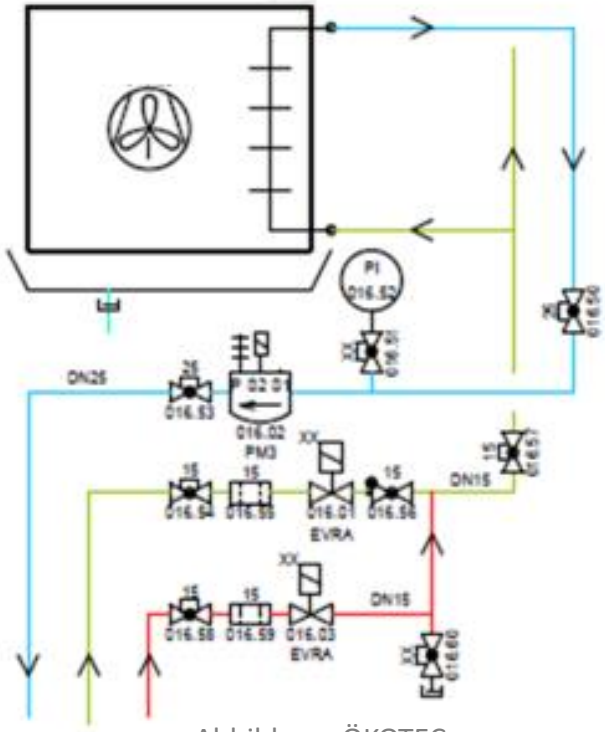



Abbildung: ÖKOTEC

# WARENKÜHLUNG

**Luftanströmung quer zum Kühlgut und quer zum Raum**
niedrigere Luftseitige Druckverluste, intensiver Wärmeübergang

**Trennlagen zwischen Palettenschichten und horizontales Auseinanderziehen**
Erhöhung der Oberflächen

**Einsatz energieeffizienter geregelter Ventilatoren**

**Vermeidung von Folienwicklungen und Kartonwaren**
Behinderung der Wärmeübergangs

# MINIMIERUNG ENERGIEEINSATZ FROSTUNG

**Beispiel: Bäckerei**

- **In einem Froster sind 24 Gebläse installiert**

**Maßnahme**

- **Austausch der Gebläse durch effiziente Gebläse ErP- Richtlinien konform bei Ausfall**

**→ Reduktion des Strombedarfs der Gebläse um 2,75 MWh/a**

PLUSPLUS
PRINZIP

# ENERGIEEINSPARMAßNAHMEN
## SYSTEMATIK

# SYSTEMATIK VORGEHEN SYSTEMOPTIMIERUNG

**Nutzenergieverbrauch**
**Kälteverbrauch**

- Reduzierung Nutztemperaturniveau
- Bedarfsgerechte Regelung des Kälteeinsatzes
- Kälterückgewinnung

**Energieverteilung**
**Kälteverteilung**

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

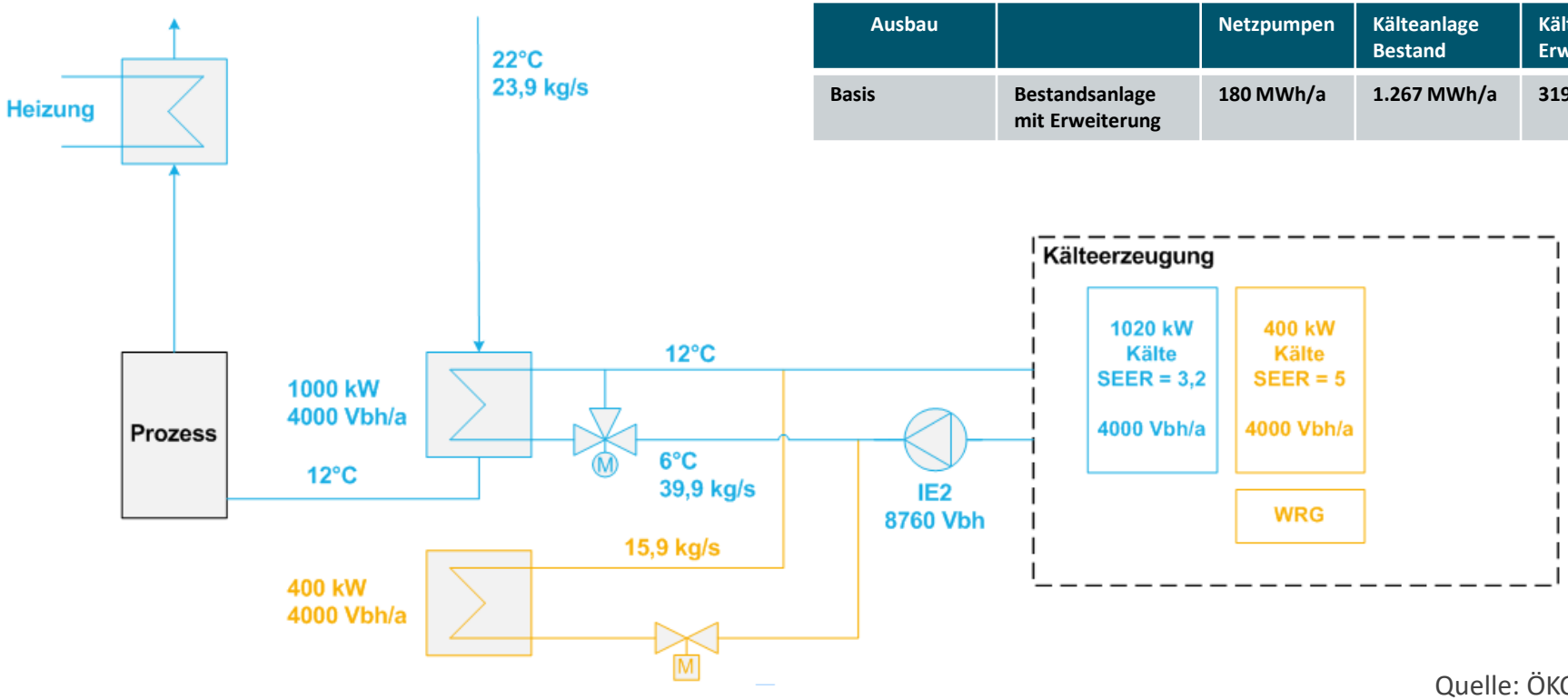
**Nutzenergieerzeugung**
**Kälteerzeugung**

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

# SYSTEMATIK VORGEHEN SYSTEMOPTIMIERUNG

## Ausgangssituation:
## Es ist ein neuer Prozessbedarf hinzugekommen, die Kälteversorgung ist anzupassen.

| Ausbau | | Netzpumpen | Kälteanlage Bestand | Kälteanlage Erweiterung | Gesamt-verbrauch |
|---|---|---|---|---|---|
| Basis | Bestandsanlage mit Erweiterung | 180 MWh/a | 1.267 MWh/a | 319 MWh/a | 1.766 MWh/a |

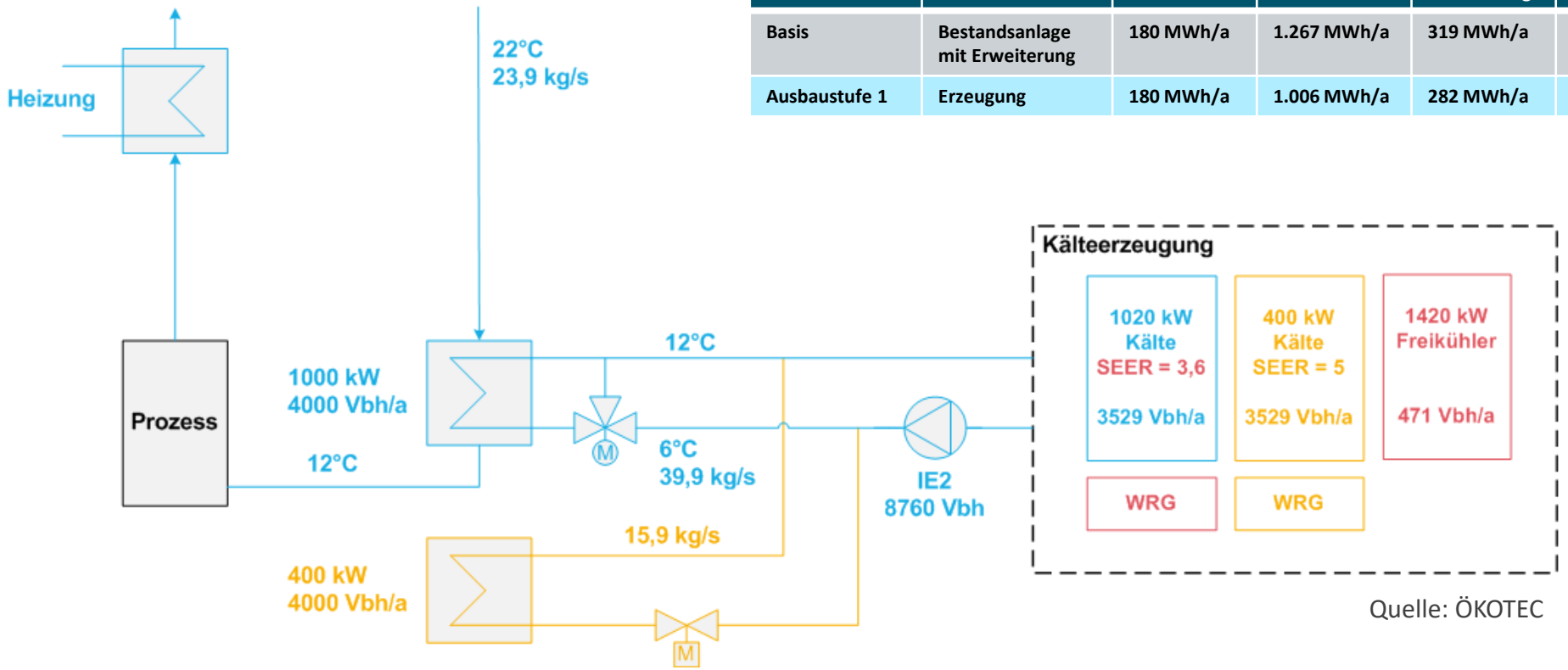



Quelle: ÖKOTEC

# SYSTEMATIK VORGEHEN SYSTEMOPTIMIERUNG

## Sanierungsschritte ohne Beachtung der Systematik
## Schritt 1: Umsetzung von Einsparmaßnahmen in der Erzeugung

| Ausbau | | Netzpumpen | Kälteanlage Bestand | Kälteanlage Erweiterung | Gesamt-verbrauch |
|---|---|---|---|---|---|
| Basis | Bestandsanlage mit Erweiterung | 180 MWh/a | 1.267 MWh/a | 319 MWh/a | 1.766 MWh/a |
| Ausbaustufe 1 | Erzeugung | 180 MWh/a | 1.006 MWh/a | 282 MWh/a | 1.489 MWh/a |

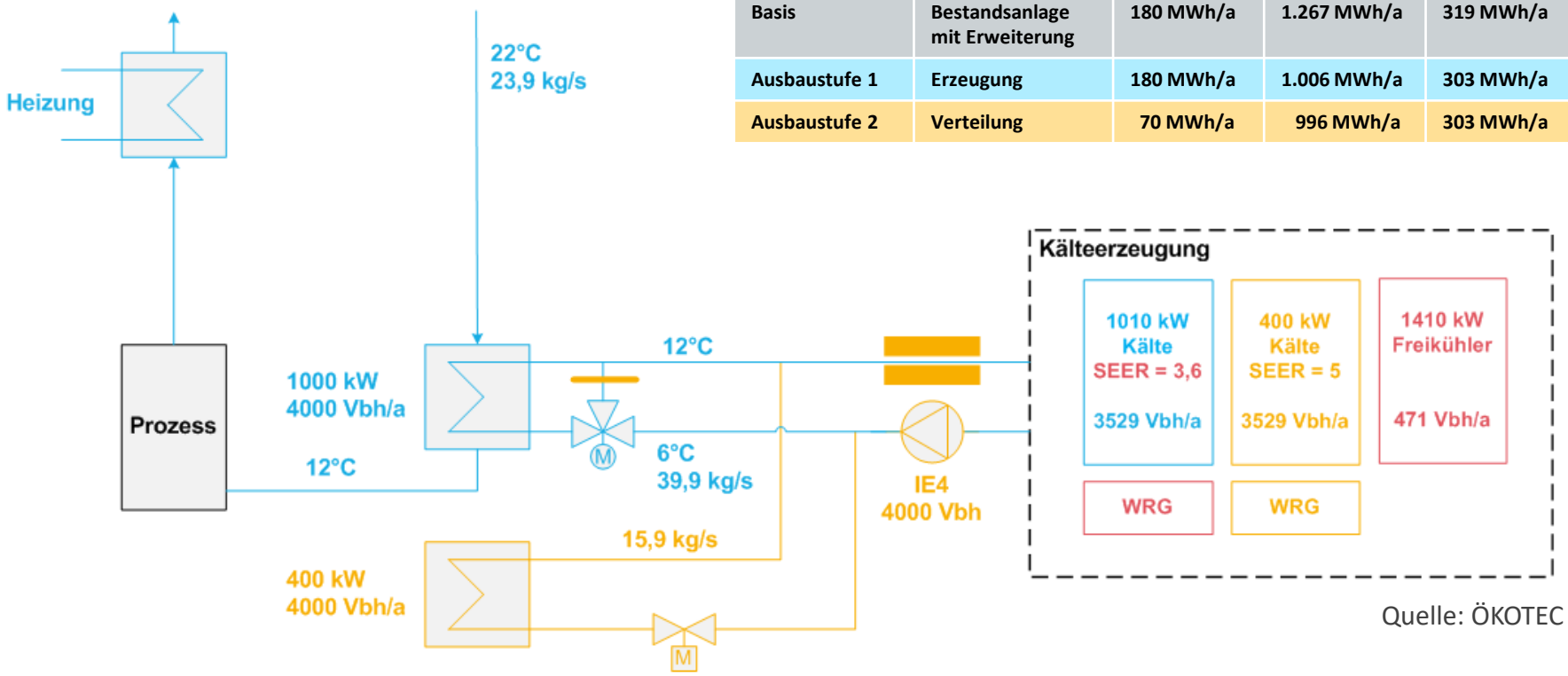



Quelle: ÖKOTEC

# SYSTEMATIK VORGEHEN SYSTEMOPTIMIERUNG

## Sanierungsschritte ohne Beachtung der Systematik
## Schritt 2: Umsetzung von Einsparmaßnahmen in der Verteilung

| Ausbau | | Netzpumpen | Kälteanlage Bestand | Kälteanlage Erweiterung | Gesamt-verbrauch |
|---|---|---|---|---|---|
| Basis | Bestandsanlage mit Erweiterung | 180 MWh/a | 1.267 MWh/a | 319 MWh/a | 1.766 MWh/a |
| Ausbaustufe 1 | Erzeugung | 180 MWh/a | 1.006 MWh/a | 303 MWh/a | 1.489 MWh/a |
| Ausbaustufe 2 | Verteilung | 70 MWh/a | 996 MWh/a | 303 MWh/a | 1.368 MWh/a |

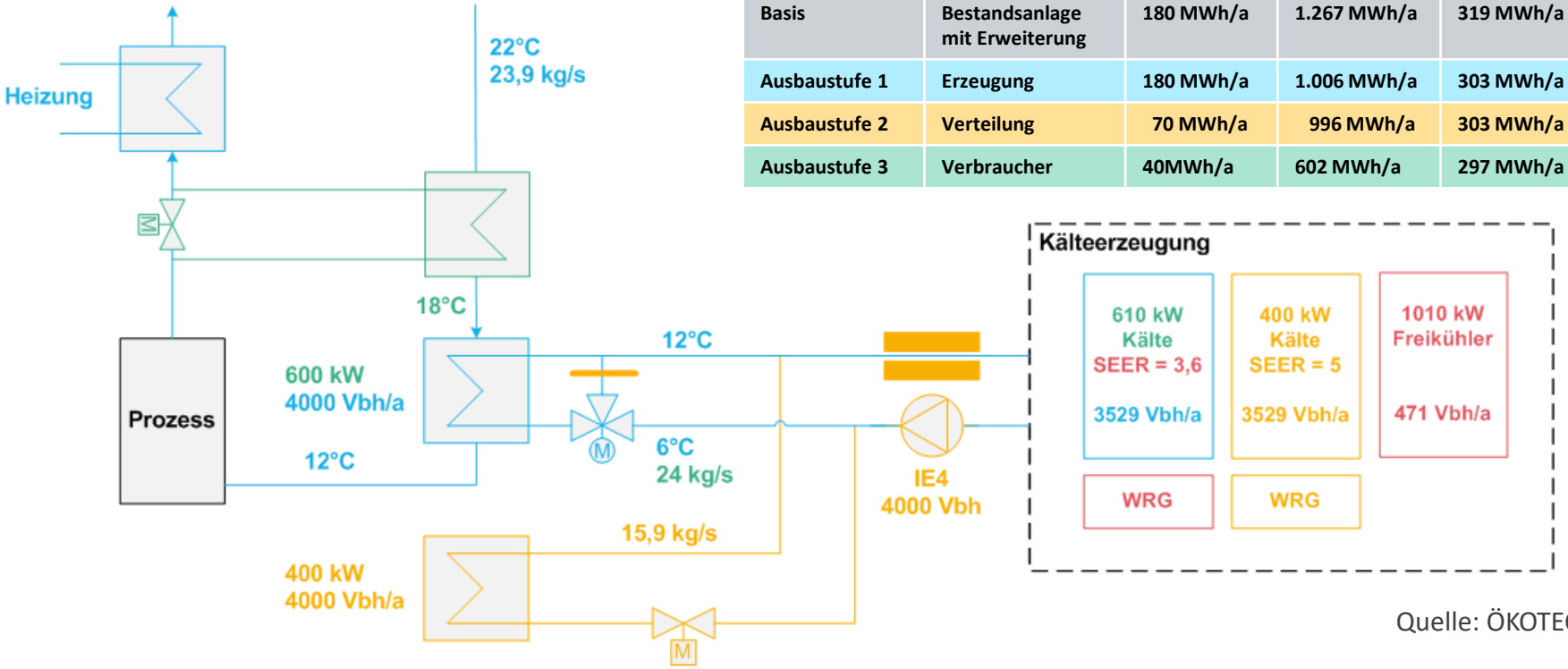



Quelle: ÖKOTEC

# SYSTEMATIK VORGEHEN SYSTEMOPTIMIERUNG

## Sanierungsschritte ohne Beachtung der Systematik
## Schritt 3: Umsetzung von Einsparmaßnahmen beim Verbraucher

| Ausbau | | Netzpumpen | Kälteanlage Bestand | Kälteanlage Erweiterung | Gesamt-verbrauch |
|---|---|---|---|---|---|
| Basis | Bestandsanlage mit Erweiterung | 180 MWh/a | 1.267 MWh/a | 319 MWh/a | 1.766 MWh/a |
| Ausbaustufe 1 | Erzeugung | 180 MWh/a | 1.006 MWh/a | 303 MWh/a | 1.489 MWh/a |
| Ausbaustufe 2 | Verteilung | 70 MWh/a | 996 MWh/a | 303 MWh/a | 1.368 MWh/a |
| Ausbaustufe 3 | Verbraucher | 40MWh/a | 602 MWh/a | 297 MWh/a | 938 MWh/a |

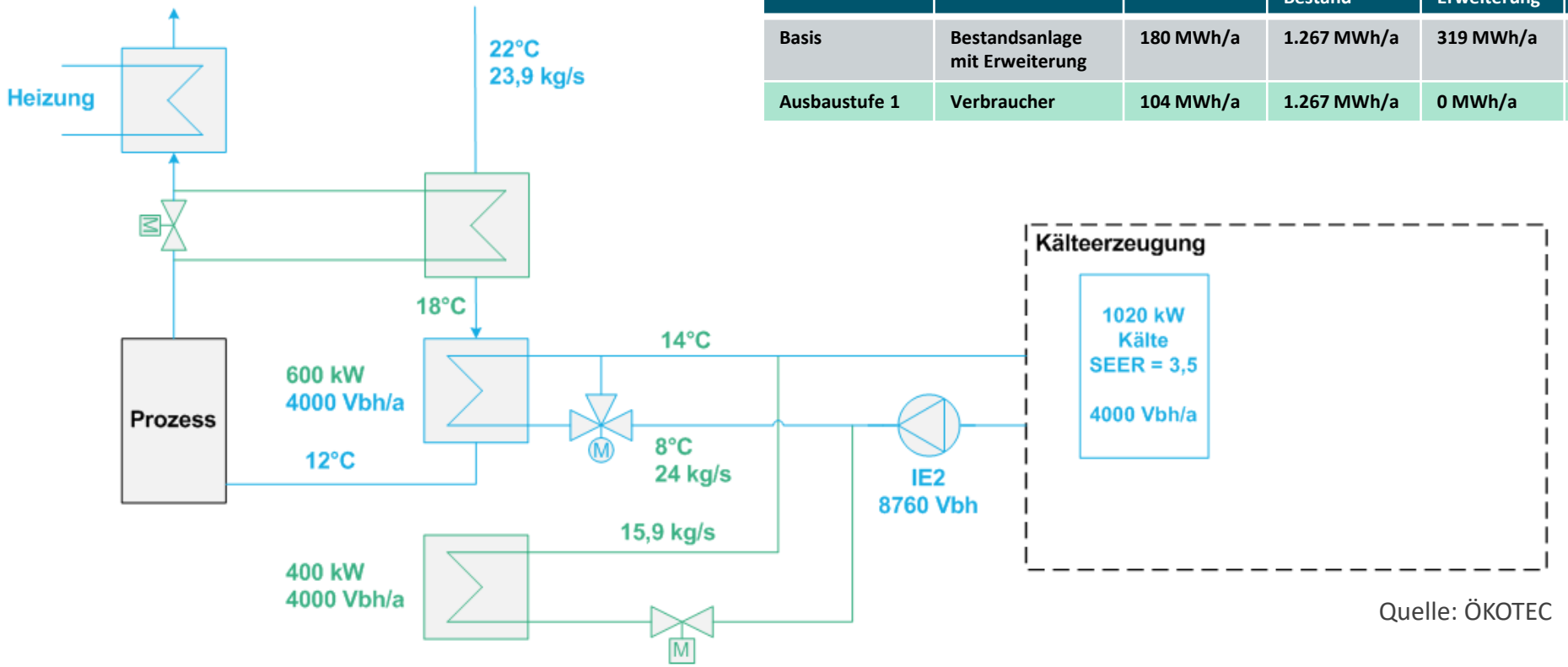



Quelle: ÖKOTEC

# SYSTEMATIK VORGEHEN SYSTEMOPTIMIERUNG

## Sanierungsschritte mit Beachtung der Systematik
## Schritt 1: Umsetzung von Einsparmaßnahmen beim Verbraucher

| Ausbau | | Netzpumpen | Kälteanlage Bestand | Kälteanlage Erweiterung | Gesamt-verbrauch |
|---|---|---|---|---|---|
| Basis | Bestandsanlage mit Erweiterung | 180 MWh/a | 1.267 MWh/a | 319 MWh/a | 1.766 MWh/a |
| Ausbaustufe 1 | Verbraucher | 104 MWh/a | 1.267 MWh/a | 0 MWh/a | 1.364 MWh/a |

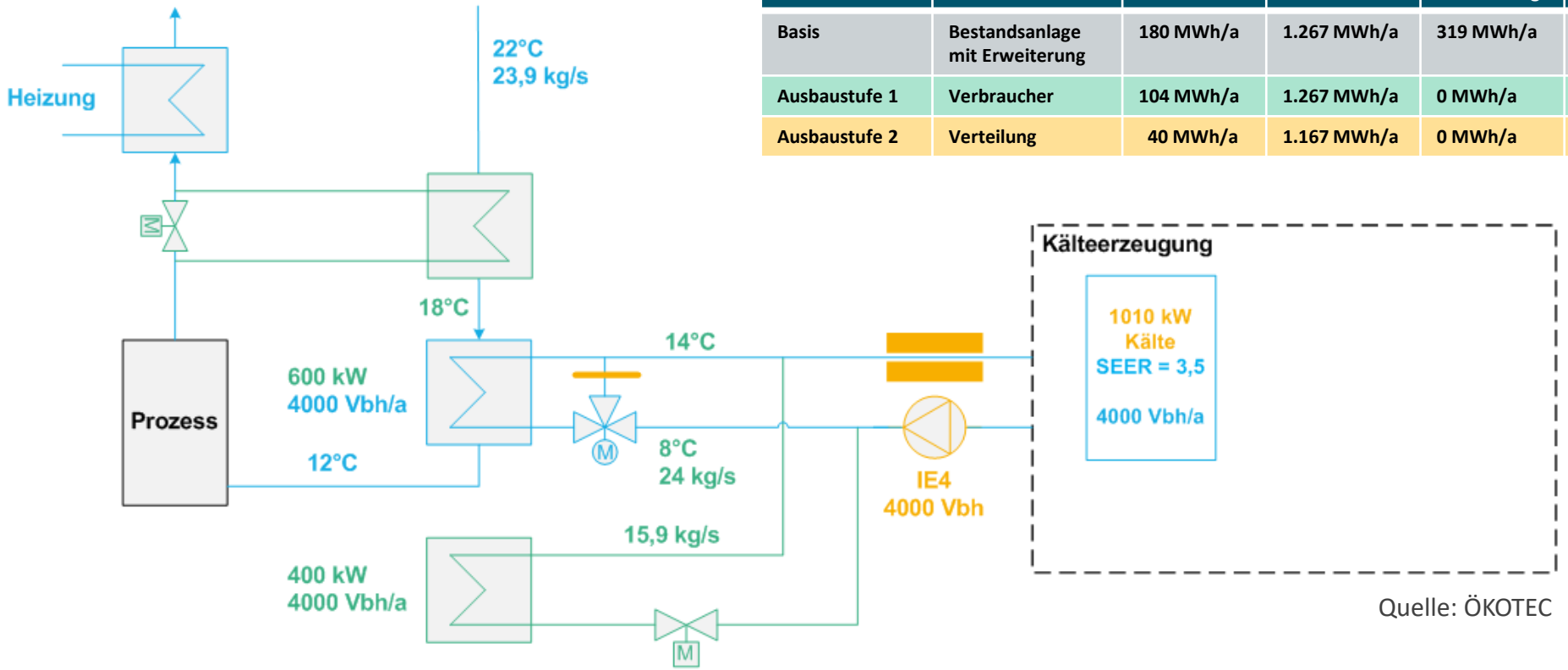



Quelle: ÖKOTEC

# SYSTEMATIK VORGEHEN SYSTEMOPTIMIERUNG

## Sanierungsschritte mit Beachtung der Systematik
## Schritt 2: Umsetzung von Einsparmaßnahmen Verteilung

| Ausbau | | Netzpumpen | Kälteanlage Bestand | Kälteanlage Erweiterung | Gesamt-verbrauch |
|---|---|---|---|---|---|
| Basis | Bestandsanlage mit Erweiterung | 180 MWh/a | 1.267 MWh/a | 319 MWh/a | 1.766 MWh/a |
| Ausbaustufe 1 | Verbraucher | 104 MWh/a | 1.267 MWh/a | 0 MWh/a | 1.364 MWh/a |
| Ausbaustufe 2 | Verteilung | 40 MWh/a | 1.167 MWh/a | 0 MWh/a | 1.207 MWh/a |

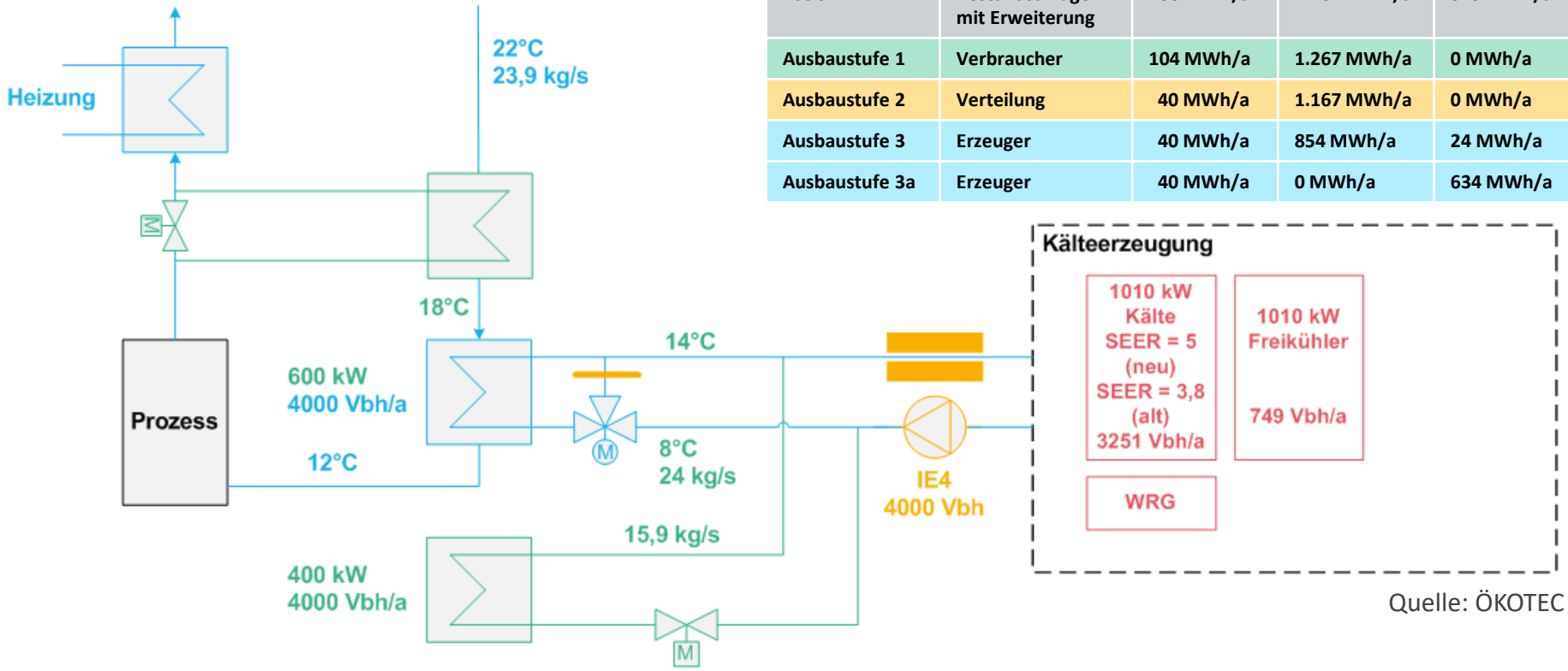



Quelle: ÖKOTEC

# SYSTEMATIK VORGEHEN SYSTEMOPTIMIERUNG

## Sanierungsschritte mit Beachtung der Systematik
## Schritt 3: Umsetzung von Einsparmaßnahmen Erzeugung

| Ausbau | | Netzpumpen | Kälteanlage Bestand | Kälteanlage Erweiterung | Gesamt-verbrauch |
|---|---|---|---|---|---|
| Basis | Bestandsanlage mit Erweiterung | 180 MWh/a | 1.267 MWh/a | 319 MWh/a | 1.766 MWh/a |
| Ausbaustufe 1 | Verbraucher | 104 MWh/a | 1.267 MWh/a | 0 MWh/a | 1.364 MWh/a |
| Ausbaustufe 2 | Verteilung | 40 MWh/a | 1.167 MWh/a | 0 MWh/a | 1.207 MWh/a |
| Ausbaustufe 3 | Erzeuger | 40 MWh/a | 854 MWh/a | 24 MWh/a | 917 MWh/a |
| Ausbaustufe 3a | Erzeuger | 40 MWh/a | 0 MWh/a | 634 MWh/a | 674 MWh/a |




Quelle: ÖKOTEC

# SYSTEMATIK VORGEHEN SYSTEMOPTIMIERUNG

## Nachteile der Herangehensweise ohne Beachtung der Systematik:

- Keine Temperaturanhebung mehr möglich auf Grund der Auslegung des Prozess-Wärmeübertragers
  → Einsparpotenziale können nicht voll ausgenutzt werden
- Größere Umwälzpumpe ggf. schlechterer Nutzungsgrad
- Zusätzliche Investition in neue Kälteanlage und erhöhte Investition in größeren Freikühler
  → besser Investition in neue effizientere Kälteanlage mit zusätzlichem Einsparpotenzial

| Ausbau | Gesamt-verbrauch Strom ohne Systematik | Gesamt-verbrauch Strom mit Systematik |
|---|---|---|
| Basis | 1.766 MWh/a | 1.766 MWh/a |
| Ausbaustufe 1 | 1.489 MWh/a | 1.364 MWh/a |
| Ausbaustufe 2 | 1.368 MWh/a | 1.207 MWh/a |
| Ausbaustufe 3 | 938 MWh/a | 917 MWh/a |
| Ausbaustufe 3a | | 674 MWh/a |
| ungenutztes Einsparpotential | 265 MWh/a | |
| Verbrauch | Verteilung | Erzeugung |

# ANSATZPUNKTE FÜR DIE EFFIZIENZSTEIGERUNG IN KÄLTESYSTEMEN

- Systematische Herangehensweise in Optimierung vom Verbraucher zum Erzeuger
- Maximierung der Kälteversorgungstemperaturniveaus
- Minimierung der treibenden Temperaturdifferenzen an den Wärmeübertragern
- Bedarfsgerechte Regelung der Kälteerzeugung und des Transportes
- Einsatz effizienter Kältemaschinen, Rückkühler und Nutzung der Freien Kühlung
- Nutzung der Abwärme der Kälteerzeugung

++ PLUSPLUS PRINZIP

# VIELEN DANK

Das PlusPlus-Prinzip –
Eine Klimaschutzkampagne
der deutschen Ernährungsindustrie

**www.pluspluspprinzip.de**

**ÖKOTEC Energiemanagement GmbH**
EUREF-Campus, Haus 13
Torgauer Straße 12-15
10829 Berlin
**www.oekotec.de**

Das PlusPlus-Prinzip – Eine Klimaschutzkampagne der deutschen Ernährungsindustrie

BVE

Gemeinsam mit unseren Partner-unternehmen

ÖKOTEC ENERGIEMANAGEMENT GMBH

enersuma Energy & Sustainability Management Consulting GmbH

ifeu INSTITUT FÜR ENERGIE- UND UMWELTFORSCHUNG HEIDELBERG

Gefördert durch:

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages