



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr,  
Energie und Kommunikation UVEK

**Bundesamt für Energie BFE**

---

# Standardisierte Massnahme KA-02

## **Ersatz von Kühlprodukten**

### Dokumentation

Massnahmennummer  
Version

KA-02  
1.0 (11.2024)



## 1 Vorwort

Mit dem Bundesgesetz über eine sichere Stromversorgung mit erneuerbaren Energien hat das Parlament in der Herbstsession 2023 eine neue Verpflichtung der Elektrizitätslieferanten zur Umsetzung von Stromeffizienzmassnahmen festgeschrieben. Gemäss Artikel 46b des Energiegesetzes (EnG; SR 730.0) müssen Elektrizitätslieferanten Massnahmen für Effizienzsteigerungen an bestehenden elektrisch betriebenen Geräten, Anlagen und Fahrzeugen bei schweizerischen Endverbraucherinnen und Endverbrauchern umsetzen oder entsprechende Nachweise erwerben, wenn Dritte die Massnahmen umsetzen. Das Bundesamt für Energie (BFE) bezeichnet jährlich eine Liste von standardisierten Massnahmen und deren anrechenbare Stromeinsparungen. Massnahmen, die nicht im Katalog der standardisierten Massnahmen enthalten sind, können dem BFE als sogenannte nicht standardisierte Massnahmen zur Zulassung vorgelegt werden.

Für jede standardisierte Massnahme stellt das BFE ein Einsparprotokoll zur Verfügung, mit dem Elektrizitätslieferanten die umgesetzten Massnahmen melden können. In der begleitenden Dokumentation wird die Methodik zur Bestimmung der anrechenbaren Stromeinsparungen nachvollziehbar erläutert. Die vorliegende Methodik schätzt pauschal die kumulierten Stromeinsparungen (Endenergie), welche durch die Umsetzung der entsprechenden Stromeffizienzmassnahme über die Wirkungsdauer ausgelöst werden können. Sie beruht auf einer Ex-ante-Berechnung und verwendet Annahmen und Faktoren, die durch geltende Normen, Marktstudien, die wissenschaftliche Literatur und Expertenbeiträge definiert werden konnten.

Die Dokumentation richtet sich an Elektrizitätslieferanten, Umsetzerinnen von Stromsparmassnahmen sowie an alle anderen Personen, die sich für die Stromeinsparungen im Rahmen der Effizienzsteigerungen nach Artikel 46b EnG interessieren.

## 2 Ziel

Das Ziel des vorliegenden Dokuments ist es, die Stromeinsparungen, welche durch den Ersatz von ein oder mehreren Raumklimageräten, Komfortkühlern oder Prozesskühlern (nachfolgend Kühlprodukten) durch eine oder mehrere effizientere Anlagen ausgelöst werden zu schätzen.

## 3 Symbole, Begriffe und Einheiten

### *Lateinische Buchstaben*

| Symbol           | Begriff                        | Einheit |
|------------------|--------------------------------|---------|
| $\dot{E}$        | Elektrische Leistung           | kW      |
| $E$              | Stromverbrauch                 | kWh     |
| $\Delta E_{eco}$ | Anrechenbare Stromeinsparungen | MWh     |
| $b$              | Bin-Faktor                     | -       |
| $f$              | Faktor                         | -       |
| JAZ              | Jahresarbeitszahl              | -       |
| $N_s$            | Standardwirkungsdauer          | a       |
| $\dot{Q}$        | Kühlleistung                   | kW      |
| $t$              | Bin-Dauer                      | h/a     |
| UA               | UA-Wert                        | kW/K    |

### *Griechische Buchstaben*

| Symbol   | Begriff                    | Einheit |
|----------|----------------------------|---------|
| $\eta$   | Exergetischer Wirkungsgrad | -       |
| $\tau$   | Bin-Belastungsrate         | -       |
| $\theta$ | Bin-Temperatur             | °C      |



## Indizes

|                |                                     |
|----------------|-------------------------------------|
| <i>x</i>       | Zustand (alt, neu)                  |
| <i>i</i>       | Bin                                 |
| <i>comp</i>    | Kompressor                          |
| <i>cond</i>    | Verflüssiger                        |
| <i>evap</i>    | Verdampfer                          |
| <i>ac</i>      | Rückkühler                          |
| <i>aux</i>     | Hilfsaggregate (Ventilatoren, usw.) |
| <i>fc</i>      | Free-Cooling                        |
| <i>defrost</i> | Abtauung                            |

## 4 Beschreibung der Ex-ante-Berechnung

### 4.1 Anrechenbare Einsparungen

Die anrechenbaren Stromeinsparungen  $\Delta E_{eco}$  der Massnahme berechnen sich aus der Differenz zwischen dem aktuellen (bestehender Zustand)  $E_{alt}$  und dem neuen (sanierter Zustand) Stromverbrauch  $E_{neu}$  über die Standardwirkungsdauer  $N_s$ .

Um die natürliche Erneuerungs- und Optimierungsrate von Geräten und Anlagen zu berücksichtigen, die ohne gesetzliche Verpflichtungen zu einer Senkung des Energieverbrauchs führt, werden die anrechenbaren Stromeinsparungen mit Hilfe eines Reduktionsfaktors  $f_{eco}$  von 0.75 reduziert.

$$\Delta E_{eco} = 0.001 \cdot (E_{alt} - E_{neu}) \cdot f_{eco} \cdot N_s$$

|                  |   |
|------------------|---|
| $\Delta E_{eco}$ | Anrechenbare Stromeinsparungen, in kWh                  |
| $E_{alt}$        | Jährlicher Stromverbrauch des alten Zustandes, in kWh/a |
| $E_{neu}$        | Jährlicher Stromverbrauch des neuen Zustandes, in kWh/a |
| $f_{eco}$        | Reduktionsfaktor  |
| $N_s$            | Standardwirkungsdauer, in Jahren                        |

### 4.2 Jährlicher Stromverbrauch

Der jährliche Stromverbrauch für die aktuelle und die verbesserte Kälteproduktion basiert auf einer Bin-Methode und wird als Summe des Stromverbrauchs der Kompressoren (*comp*) und Ventilatoren (*aux*) sowie der Abtauung der Verdampfer (*defrost*) bei Luftkühlern für jeden BIN berechnet. Die Indizes *i* und *x* bezeichnen unabhängig voneinander die Nummerierung der jeweiligen Bins, beziehungsweise den bestehenden (*alt*) oder den sanierten (*neu*) Zustand. Der jährliche Stromverbrauch wird somit wie folgt ausgedrückt:

$$E_x = \sum_i E_{comp,x,i} + E_{aux,x,i} + E_{defrost,x,i}$$

|           |                                     |
|-----------|-------------------------------------|
| $E_x$     | Jährlicher Stromverbrauch, in kWh/a |
| $E_{x,i}$ | Stromverbrauch des Bins, in kWh     |

Für Kälteproduktionen ohne Free-Cooling wird der Stromverbrauch der Kompressoren für jeden Bin wie folgt ausgedrückt:

$$E_{comp,x,i} = \frac{(\dot{Q}_x \cdot \tau_{x,i} - \dot{Q}_{fc,x,i}) \cdot t_i}{\eta_x \cdot \left( \frac{\theta_{cond,x,i} + 273.15}{\theta_{cond,x,i} - \theta_{evap,x,i}} - 1 \right)}$$

|           |                                 |
|-----------|---------------------------------|
| $E_{x,i}$ | Stromverbrauch des Bins, in kWh |
|-----------|---------------------------------|



|                     |                                      |
|---------------------|--------------------------------------|
| $\dot{Q}_x$         | Installierte Nennkühlleistung, in kW |
| $t_i$               | Bin-dauer, in Stunden                |
| $\eta_x$            | Exergetischer Wirkungsgrad           |
| $\tau_{x,i}$        | Bin-Belastungsrate                   |
| $\theta_{cond,x,i}$ | Kondensationstemperatur, in °C       |
| $\theta_{evap,x,i}$ | Verdampfungstemperatur, in °C        |

Der Kühlbedarf welcher über die Free-Cooling abgedeckt ist hängt von der Aufstellung der Anlage ab und wird wie folgend berechnet:

$$\dot{Q}_{fc,x,i}^{max} = UA_{fc,x} \cdot \frac{(\theta_{0,x} - \theta_{sink,x,i}) - (\theta_{0,x} + \Delta\theta_{0,x} - \theta_{sink,x,i} - \Delta\theta_{sink,x})}{\ln(\theta_{0,x} - \theta_{sink,x,i}) - \ln(\theta_{0,x} + \Delta\theta_{0,x} - \theta_{sink,x,i} - \Delta\theta_{sink,x})}$$

$$\text{Parallel} \quad \dot{Q}_{fc,x,i} = \begin{cases} \dot{Q}_x \cdot \tau_{x,i}, & \dot{Q}_{fc,x,i}^{max} \geq \dot{Q}_x \cdot \tau_{x,i} \\ 0, & \dot{Q}_{fc,x,i}^{max} < \dot{Q}_x \cdot \tau_{x,i} \end{cases}$$

$$\text{Serie} \quad \dot{Q}_{fc,x,i} = \begin{cases} \min(\dot{Q}_{fc,x,i}^{max}; \dot{Q}_x \cdot \tau_{x,i}), & \dot{Q}_{fc,x,i}^{max} \geq 0 \\ 0, & \dot{Q}_{fc,x,i}^{max} < 0 \end{cases}$$

|                          |  |
|--------------------------|--|
| $UA_{fc,x}$              | Free-Cooling - UA-Werte, kW/K                        |
| $\dot{Q}_x$              | Installierte Nennkühlleistung, in kW                 |
| $\dot{Q}_{fc,x,i}$       | Free-Cooling - Kühlleistung des Bins, in kW          |
| $\dot{Q}_{fc,x,i}^{max}$ | Free-Cooling – maximale Kühlleistung des Bins, in kW |
| $\tau_{x,i}$             | Bin-Belastungsrate                                   |
| $\theta_{0,x}$           | Temperatur des Kälteträgers (Austritt), in °C        |
| $\Delta\theta_{0,x}$     | Temperaturdifferenz des Kälteträgers, in °C          |
| $\theta_{sink,x,i}$      | Bin-Temperatur der Wärmesenke, in °C                 |
| $\Delta\theta_{sink,x}$  | Temperaturdifferenz der Wärmesenke, in °C            |

Falls die Kälte über eine Direktverdampfung an den Raum übertragen wird, wird statt der Temperatur des Kälteträgers  $\theta_{0,x}$  die Verdampfungstemperatur  $\theta_{evap,x}$  benutzt.

Die Bin-Belastungsrate der Anlage wird wie folgt berechnet:

$$\tau_{x,i} = \frac{1}{\dot{Q}_x} \cdot (\dot{Q}_0 - \dot{Q}_{b,0}) \cdot \underbrace{\max\left(0; \frac{\theta_{amb,i} + \Delta\theta_{solar} - \theta_{amb,str}}{\theta_{amb,0} - \theta_{amb,str}}\right)}_{\tau_{net,x,i}} + \frac{\dot{Q}_{b,0}}{\dot{Q}_x} + \frac{f_{defrost,th,x}}{24} \cdot b_{x,i}$$

$$b_{x,i} = \begin{cases} 0, & \tau_{net,x,i} = 0 \\ 1, & \tau_{net,x,i} > 0 \end{cases}$$

|                        |   |
|------------------------|---|
| $b_{x,i}$              | Bin-Bedarfsfaktor   |
| $f_{defrost,th,x}$     | Kälteproduktionsfaktor (täglich) für Enteisung            |
| $\dot{Q}_0$            | Kühlleistung bei Auslegungsbedingungen, in kW             |
| $\dot{Q}_0$            | Kühlleistung bei Auslegungsbedingungen, in kW             |
| $\tau_{x,i}$           | Bin-Belastungsrate  |
| $\Delta\theta_{solar}$ | Temperaturkorrektur, in °C                                |
| $\theta_{amb,i}$       | Aussenlufttemperatur des Bins, in °C                      |
| $\theta_{amb,str}$     | Aussenlufttemperatur ab welcher Kühlbedarf besteht, in °C |



$\theta_{amb,0}$  Aussenlufttemperatur bei Auslegungsbedingungen, in °C

Die Temperaturkorrektur  $\Delta\theta_{solar}$  wird verwendet, um unter anderem den Einfluss der Solare Wärmeeinträge zu berücksichtigen da die Komfortkühlung vor allem während dieses Zeitraums verwendet wird. Der Faktor  $f_{defrost,x}$  stellt die zusätzliche Kühlbedarf dar, um die Wärmezufuhr aufgrund der Abtauung der Verdampfer während dem Anlagenbetrieb zu kompensieren; der Faktorwert hängt von der Art des Abtauungsverfahrens ab.

Die Verdampfungstemperatur  $\theta_{evap}$  wird wie folgt berechnet:

$$\theta_{evap,min,x,i} = \theta_{0,x} + \Delta\theta_{evap,min,x}$$

$\theta_{0,x}$  Temperatur des Kälteträgers (Austritt), in °C  
 $\Delta\theta_{evap,min,x}$  Minimale Temperaturdifferenz im Verdampfer<sup>1</sup>, in °C  
 $\theta_{evap,x}$  Verdampfungstemperatur, in °C

Die Kondensationstemperatur wird je nach Art des verwendeten Druckreglers wie folgt berechnet:

Thermostatisch  $\theta_{cond,x,i} = \max(\theta_{th,min}; \theta_{sink,x,i} + \Delta\theta'_{cond,min,x})$

Elektronisch  $\theta_{cond,x,i} = \max(\theta_{evap,x} + \theta_{el,min}; \theta_{sink,x,i} + \Delta\theta'_{cond,min,x})$

$\theta_{min,x}$  Temperaturanstieg, in °C  
 $\theta_{sink,x,i}$  Bin-Temperatur der Wärmesenke, in °C  
 $\Delta\theta'_{cond,min,x}$  Minimale Temperaturdifferenz im Wärmeabgabesystem, in °C  
 $\theta_{evap,x}$  Verdampfungstemperatur, in °C

Dabei ist  $\theta_{th,min}$  die mindestens erforderliche Kondensationstemperatur bei einem thermostatischen Druckregler,  $\theta_{src,i}$  die Bin-Temperatur des Kälteträgers und  $\theta_{el,min}$  die mindestens erforderliche Temperaturdifferenz zwischen Kondensation und Verdampfung bei einem elektronischen Druckregler. Bei Anlage mit flüssigen Wärmeträger welche die Wärme über Rückkühler an die Aussenluft abgeben, beinhaltet die minimale Temperaturdifferenz  $\Delta\theta_{cond,min,x}$  die zusätzlichen Temperaturdifferenzen des Rückkühlers:

Mit Rückkühler  $\Delta\theta'_{cond,min,x} = \Delta\theta_{cond,min,x} + \Delta\theta_{ac,min,x} + \Delta\theta_{ac,x}$

Andere  $\Delta\theta'_{cond,min,x} = \Delta\theta_{cond,min,x}$

$\Delta\theta'_{cond,min,x}$  Minimale Temperaturdifferenz im Wärmeabgabesystem, in °C  
 $\Delta\theta_{cond,min,x}$  Minimale Temperaturdifferenz im Verflüssiger<sup>2</sup>, in °C  
 $\Delta\theta_{ac,min,x}$  Minimale Temperaturdifferenz im Rückkühler<sup>3</sup>, in °C  
 $\Delta\theta_{ac,x}$  Temperaturdifferenz des Wärmeträgers im Rückkühler<sup>4</sup>, in °C

Der Bin-Stromverbrauch der Ventilatoren wird je nach Betriebsart der Geräte angegeben:

On/Off  $E_{aux,x,i} = \dot{E}_{aux,x} \cdot \tau_{x,i} \cdot t_i$

<sup>1</sup> Austrittstemperatur des Kälteträgers minus Verdampfungstemperatur

<sup>2</sup> Kondensationstemperatur minus Eintrittstemperatur des Wärmeträgers

<sup>3</sup> Lufteintrittstemperatur minus Austrittstemperatur des Wärmeträgers

<sup>4</sup> Eintrittstemperatur minus Austrittstemperatur des Wärmeträgers



$$\text{Modulierend} \quad E_{aux,x,i} = \begin{cases} 0, & \tau_{x,i} = 0 \\ \dot{E}_{aux,x} \cdot \max(0.3; \tau_{x,i})^3 \cdot t_i, & \tau_{x,i} > 0 \end{cases}$$

|                   |  |
|-------------------|--|
| $t_i$             | Bin-dauer, in Stunden                            |
| $\tau_{x,i}$      | Bin-Belastungsrate                               |
| $\dot{E}_{aux,x}$ | Elektrische Nennleistung der Ventilatoren, in kW |
| $E_{aux,x,i}$     | Bin-Stromverbrauch, in kWh                       |

Dabei ist  $\dot{E}_{aux,cond,x}$  und  $\dot{E}_{aux,evap,x}$  die von den Ventilatoren des Verdampfers bzw. Verflüssigers aufgenommene elektrische Nennleistung (bei Vollast) und wird wie folgt berechnet:

$$\text{Verdampfer} \quad \dot{E}_{aux,evap,x} = \dot{Q}_{evap,x} \cdot f_{aux,x} = \dot{Q}_x \cdot f_{aux,x}$$

$$\text{Verflüssiger} \quad \dot{E}_{aux,cond,x} = \dot{Q}_{cond,x} \cdot f_{aux,x}$$

|                     |   |
|---------------------|---|
| $\dot{Q}_x$         | Installierte Nennkühlleistung, in kW                      |
| $\dot{Q}_{cond,x}$  | Installierter Rückkühlbedarf, in kW                       |
| $f_{aux,x}$         | Spezifische elektrische Aufnahmeleistung der Ventilatoren |
| $\dot{E}_{aux,x,i}$ | Elektrische Nennleistung der Ventilatoren, in kW          |

Die Leistung  $\dot{Q}_{cond,x}$  wird wie folgt berechnet:

$$\dot{Q}_{cond,x} = \dot{Q}_x + \frac{\dot{Q}_x}{\eta_x \cdot \left( \frac{\theta_{sink,x,0} + \Delta\theta_{cond,x} + 273.15}{\theta_{sink,x,0} + \Delta\theta_{cond,x} - \theta_{evap,x}} - 1 \right)}$$

|                         |  |
|-------------------------|--|
| $\dot{Q}_{cond,x}$      | Installierter Rückkühlbedarf, in kW                          |
| $\dot{Q}_x$             | Installierte Nennkühlleistung, in kW                         |
| $\eta_x$                | Exergetischer Wirkungsgrad                                   |
| $\theta_{sink,x,0}$     | Temperatur des Wärmeträgers bei Auslegungsbedingungen, in °C |
| $\Delta\theta_{cond,x}$ | Temperaturdifferenz im Wärmetauscher <sup>5</sup> , in °C    |
| $\theta_{evap,x}$       | Verdampfungstemperatur, in °C                                |

Der direkte monatliche Stromverbrauch für die Abtauung der Verdampfer wird wie folgt angegeben:

$$E_{defrost,x,i} = \dot{Q}_x \cdot \frac{f_{defrost,el,x}}{24} \cdot b_{x,i} \cdot t_i$$

|                    |   |
|--------------------|---|
| $b_{x,i}$          | Bin-Bedarfsfaktor   |
| $E_{defrost,x,i}$  | Bin-Stromverbrauch für die Abtauung, in kWh                           |
| $f_{defrost,el,x}$ | Spezifischer (täglicher) elektrischer Stromverbrauch für die Abtauung |
| $\dot{Q}_x$        | Installierte Nennkühlleistung, in kW                                  |

Die jährliche Brutto-Kälteproduktion wird wie folgt ermittelt:

$$Q_x = \dot{Q}_x \cdot \sum_i \tau_{x,i} \cdot t_i$$

|       |  |
|-------|--|
| $Q_x$ | Jährliche Brutto-Kälteproduktion, in kWh/a |
|-------|--|

<sup>5</sup> Kondensationstemperatur minus Eintrittstemperatur des Wärmeträgers



|              |                                      |
|--------------|--------------------------------------|
| $\dot{Q}_x$  | Installierte Nennkühlleistung, in kW |
| $t_i$        | Bin-dauer, in Stunden                |
| $\tau_{x,i}$ | Bin-Belastungsrate                   |

Es handelt sich um eine Brutto-Produktion, weil sie den Produktionsüberschuss, der für die Kompensation der thermischen Energiezufuhr aus der Abtauung erforderlich ist, enthält. Der Jahresarbeitszahl der Anlage wird wie folgt angegeben:

$$\text{JAZ}_x = \frac{Q_x}{E_x}$$

|                |  |
|----------------|--|
| $E_x$          | Jährlicher Stromverbrauch, in kWh/a        |
| $Q_x$          | Jährliche Brutto-Kälteproduktion, in kWh/a |
| $\text{JAZ}_x$ | Jahresarbeitszahl                          |

## 5 Eingabevariablen

### Allgemein

- Die Klima- und hydrologische Stationen (*Mehrfachauswahl*)
- Die Auslegeaussenlufttemperatur, in °C (*ganze Zahl*)

### Anlage

- Die Nennkühlleistung, in kW (*Kommazahl*)
- Das Baujahr der Anlage (*Mehrfachauswahl*)
- Das Vorhandensein von Free-Cooling (*Mehrfachauswahl*)
- Der Typ von Expansionsventil-en (*Optional, Mehrfachauswahl*)
- Der Typ von Verdichter-n (*Optional, Mehrfachauswahl*)
- Der Typ von Verdampfer-n (*Optional, Mehrfachauswahl*)
- Der Typ von Verflüssigern-n (*Optional, Mehrfachauswahl*)
- Der Typ von Rückkühlern-n (*Optional, Mehrfachauswahl*)

### Kältebedarf

- Das Bedarfsprofil (*Mehrfachauswahl*)
- Die Auslegungskühlleistung, in kW (*Kommazahl*)
- Die täglichen Betriebsstunden, in Stunden (*ganze Zahl*)
- Die Anwendungstemperatur, in °C (*Kommazahl*)

## 6 Annahmen und Daten

### Allgemein

- Die Standardnutzungsdauer der Massnahme  $N_s$  beträgt 15 Jahre.
- Der Standardwert für die Auslegetemperatur (Aussenluft)  $\theta_{amb,0}$  beträgt 35°C.
- Die BIN-dauern der jeweiligen Klimastationen entsprechen den Standardwerten des SIA-Merkblatts 2028:2010 [1]. Die jeweiligen hydrologischen Bin-temperaturen sind in der Tabelle 1 aufgezeigt [2].

**Tabelle 1** Hydrologische Bin-Werte [2, 4]

| Hydrologische Station   | Bin-Temperatur $\theta_{sink}$<br>[°C] |
|-------------------------|--|
| Seewasser (> 45m Tiefe) | 7.5                                    |



|                      |   |
|----------------------|---|
| Fluss (Durchschnitt) | $\min (\max (4.71 + 0.76 \cdot \theta_{\text{amb},i} ; 22.0) ; 3.0) ^*$ |
|----------------------|---|

\*  $\theta_{\text{amb},i}$  entspricht der Aussenlufttemperatur des Bins, in °C

#### Anlage

- iv. Die Standardwerte für den Expansionsventiltyp sind in der Tabelle 2 zusammengefasst.

**Tabelle 2** Expansionsventiltypen [2]

| Expansionsventil | Baujahr der Anlage<br>[-] |
|------------------|---------------------------|
| Thermostatisch   | < 1995                    |
| Elektronisch     | ≥ 1995                    |

- v. Die Exergetischen Wirkungsgrade  $\eta$  je nach Kompressortyp sind in der Tabelle 3 aufgezeigt (der Standardwert beträgt 0.45).

**Tabelle 3** Wirkungsgrad nach Kompressortyp [2]

| Kompressortyp                        | Wirkungsgrad $\eta$<br>[-] |
|--------------------------------------|----------------------------|
| Hubkolbenverdichter (hermetisch)     | 0.37                       |
| Hubkolbenverdichter (halbhermetisch) | 0.45                       |
| Scrollverdichter                     | 0.45                       |
| Schraubenverdichter                  | 0.49                       |
| Turboverdichter                      | 0.54                       |

- vi. Die Standardwerte für die Temperaturdifferenzen  $\Delta\theta_{\text{evap},\min}$  in den Verdampfern je nach Typ und Kälteübertragungsmedium sind in der Tabelle 4 abgebildet.

**Tabelle 4** Temperaturdifferenzen der Verdampfer [3]

| Verdampfer                | Kälteübertragungsmedium | $\Delta\theta_{\text{evap},\min}$<br>[°C] |
|---------------------------|-------------------------|---|
| Lamellen (trocken)        | Direktverdampfung       | 10.0 *                                    |
| Lamellen (überflutet)     | Direktverdampfung       | 5.5 *                                     |
| Platten                   | Flüssigkeitskühlung     | 4.5 **                                    |
| Rohrbündel                | Flüssigkeitskühlung     | 4.0 **                                    |
| Nicht bekannt (gasförmig) | Direktverdampfung       | 8.0 *                                     |
| Nicht bekannt (flüssig)   | Flüssigkeitskühlung     | 4.5 **                                    |

\* Eintrittstemperatur der Aussenluft minus Verdampfungstemperatur (am Austritt)

\*\* Austrittstemperatur des Kälteübertragungsmediums minus Verdampfungstemperatur (am Austritt)

- vii. Die Standardwerte für die Temperaturdifferenzen  $\Delta\theta_{\text{cond},\min}$  in den Verflüssigern je nach Typ und Wärmeträgermedium sind in der Tabelle 5 abgebildet.

**Tabelle 5** Temperaturdifferenzen der Verflüssiger [3]

| Verflüssiger                   | Wärmeträger         | $\Delta\theta_{\text{cond},\min}$<br>[°C] |
|--------------------------------|---------------------|---|
| Lamellen (Direktverflüssigung) | Direktverflüssigung | 8.5 *                                     |
| Platten                        | Wasser              | 3.5 **                                    |
| Rohrbündel                     | Wasser              | 2.5 **                                    |





|                           |                     |        |
|---------------------------|---------------------|--------|
| Nicht bekannt (gasförmig) | Direktverflüssigung | 12.5 * |
| Nicht bekannt (flüssig)   | Wasser              | 3.5 ** |

\* Eintrittstemperatur der Kühlluft minus Verflüssigungstemperatur (am Eintritt)

\*\* Austrittstemperatur des Wärmeträgers minus Verflüssigungstemperatur (am Eintritt)

- viii. Die Standardwerte für die Temperaturdifferenzen  $\Delta\theta_{ac,min}$  und  $\Delta\theta_{ac}$  in den Rückkühlern je nach Typ sind in der Tabelle 6 abgebildet.

**Tabelle 6** Temperaturdifferenzen der Verflüssiger [3]

| Verflüssiger           | $\Delta\theta_{ac}$<br>[°C] | $\Delta\theta_{ac,min}$<br>[°C] |
|------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Trocken                | 2.0                         | 7.0 *                           |
| Nicht bekannt / Andere | 2.0                         | 8.0 *                           |
| Kein Rückkühler        | 0.0                         | 0.0                             |

\* Lufteintritts- minus Wärmeträgertemperatur (am Austritt)

- ix. Die Standardwerte für die Regelung und die spezifische elektrische Aufnahmeleistung der Ventilatoren von Verdampfern und Verflüssigern (inkl. Rückkühlern) nach Bauperiode sind in der Tabelle 7 zusammengefasst. Für Free-Cooling Luft-Wärmetauschern wird als Standardwert das Baujahr > 2005 angenommen.

**Tabelle 7** Regulierung und elektrische Leistung der Ventilatoren [2]

| Baujahr der Anlage | Regelung    | Spez. elektrische Leistung<br>[kW/kW] |
|--------------------|-------------|---------------------------------------|
| < 1995             | On/Off      | 0.050                                 |
| 1995 – 2005        | On/Off      | 0.035                                 |
| > 2005             | Modulierend | 0.020                                 |

- x. Die spezifischen Standardwerte für den zusätzlichen täglichen Stromverbrauch  $f_{defrost,el}$  sowie den zusätzlichen täglichen Kältebedarf  $f_{defrost,th}$  nach Abtauungsverfahren sind in der Tabelle 8 abgebildet.

**Tabelle 8** Zusätzlicher Kältebedarf und Stromverbrauch für die Abtauung der Luftkühler [2]

| Abtauungsverfahren     | Temperatur des<br>Kälteträgers<br>[°C] | Spez. thermische<br>Leistung<br>[kW/kW] | Spez. elektrische<br>Leistung<br>[kW/kW] |
|------------------------|--|---|--|
| Enteisung mit Heissgas | < 0                                    | 0.5                                     | 0.250                                    |
| Fremdbelüftung         | 0 – 8                                  | 0.5                                     | 0.125                                    |
| Keines                 | > 8                                    | 0.0                                     | 0.000                                    |

- xi. Die Kühlleistung des zusätzlichen Free-Cooling-Wärmetauschers bei Auslegungsbedingungen ist gleich der installierten Rückkühlleistung  $\dot{Q}_{cond,x}$ .
- xii. Bei Luft-Verflüssiger oder Rückkühler sind die Auslegungstemperaturen für die Wärmesenke-, bzw für die Wärmeträgerseite 35°C / 39°C und 46°C / 42°C.
- xiii. Bei Wasser-Verflüssiger sind die Auslegungstemperaturen für die Wärmesenke-, bzw für die Wärmeträgerseite 10°C / 14°C und 15°C / 19°C.
- xiv. Der UA-Wert des zusätzlichen Free-Cooling-Wärmetauschers wird anhand der Auslegungsbedingungen berechnet (siehe Punkt xi.-xiii.).

### Kältebedarf



- xv. Die Aussenlufttemperatur ab welcher Raumklimabedarf besteht beträgt 20°C. Für die anderen Anwendungen beträgt dieser Wert 5°C (mit Ausnahme von der Grundlast welche immer anfällt).
- xvi. Die täglichen Betriebsstunden betragen standardmässig 24 h/a.
- xvii. Der Grundlastanteil (d. h. der durchschnittliche Kältebedarf während dem kältesten Monat des Jahres) wird an Hand der Anwendungskategorie definiert. Die Standwerte sind in der Tabelle 9 abgebildet.

**Tabelle 9** Grundlastanteil nach Anwendung

| Anwendung                | Grundlastanteil<br>[%] |
|--------------------------|------------------------|
| Raumklima                | 0                      |
| Gewerbe Plus-Kälte       | 40                     |
| Gewerbe Plus-Minus       | 60                     |
| Prozesskälte / IT-Server | 80                     |

## 7 Resultate

Angesichts der präsentierten Annahmen und Daten werden die anrechenbaren Stromeinsparungen für jede Kühlanlage in Bezug auf die festgelegten Eingabevariablen ermittelt. Dafür wird das öffentlich zugänglich Excel-Tool *CalcuCool* benutzt.

## 8 Beispiele

Szenario A: Ersatz einer 120 kW Luft-Wasser Klimaanlage (inkl. Rückkühler und ohne Free-Cooling) aus dem Jahr 2002 in einem Bürogebäude (Zürich, ZH). Die Auslegungskühlleistung beträgt 100 kW und Bedarfstemperatur von 16°C. Die Rückkühler werden nicht ersetzt.

| Anwendung              | Eingabevariablen           | Werte       |            | Anrechenbare<br>Stromeinsparung |
|------------------------|----------------------------|-------------|------------|---------------------------------|
|                        |                            | <i>alt</i>  | <i>neu</i> | [MWh]                           |
| Raumklima (< 2000 h/a) | Nennkälteleistung, kW      | 120         | 120        |                                 |
|                        | Auslegungskühlleistung, kW | 100         | 100        |                                 |
|                        | Betriebsstunden, h/d       | 24          | 24         |                                 |
|                        | Bedarfstemperatur, °C      | 16          | 16         |                                 |
|                        | Baujahr                    | 1995 - 2005 | > 2005     |                                 |
|                        | Verdampfer                 | k. A.       | Platten    |                                 |
|                        | Verflüssiger               | k. A.       | Platten    |                                 |
| <b>Summe</b>           |                            |             |            | <b>33.7</b>                     |

## 9 Quellen

- [1] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, *Klimadaten für Bauphysik Energie- und Gebäudetechnik*, SIA 2028, 2010.
- [2] *Ersatz der Kälteproduktion*, Programm PEIK, Bern, 2019.
- [3] *Optimierung von Kälteanlagen: Massnahmen und Potenziale*, EnergieSchweiz, Bern, 2020.
- [4] Bundesamt für Umwelt (BAFU), *Messnetze Wassertemperatur*, [Messnetze Wassertemperatur \(admin.ch\)](https://www.admin.ch), zuletzt besucht am 12. August 2024.