



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr,
Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE

Standardisierte Massnahme KA-03

Betriebsoptimierungen von Kälteanlagen durch Senkung der Verflüssigungstemperatur

Dokumentation

Massnahmennummer

KA-03

Version

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 die Senkung der Kondensationstemperatur von Kälteanlagen durch diverse Massnahmen ausgelöst werden, pauschal schätzen zu können. Diese Massnahme ist nicht für CO₂-Kälteanlagen und Kaskadenanlagen geeignet.

3 Symbole, Begriffe und Einheiten

Lateinische Buchstaben

Symbol	Begriff	Einheit
E	Jährlicher Stromverbrauch	kWh/a
ΔE_{eco}	Anrechenbare Stromeinsparungen	MWh
f	Faktor	-
N_s	Standardwirkungsdauer	a
T	Temperatur	°C
\dot{Q}	Kühlleistung	kW
Q	Jährlicher Kältebedarf	kWh/a
t	Bin-Dauer	h/a
EER	Kälteleistungszahl	-

Griechische Buchstaben

Symbol	Begriff	Einheit
η	Nutzungsgrad	-

Indizes

x	Zustand (alt, neu)
i	Anwendungskategorie
j	Aussentemperatur



4 Beschreibung der Ex-ante-Berechnung

4.1 Anrechenbare Einsparungen

Die anrechenbaren Stromeinsparungen ΔE_{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.

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

ΔE_{eco}	Anrechenbare Stromeinsparungen, in MWh
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 ergibt sich aus der Summe der Quotienten der Jahreskühllast und der Anlageneffizienz, die beide wiederum von Anwendung und den jeweiligen Betriebsbedingungen abhängen.

$$E_x = \sum_{j=1}^n \left(\frac{Q_j}{EER_{x,j}} \right)$$

E_x	Jährlicher Stromverbrauch, in kWh/a
Q_j	Kälteenergie in Abhängigkeit der Aussentemperatur, in kWh/a
EER_j	Kälteleistungszahl in Abhängigkeit der Aussentemperatur

Die Kälteenergie ist abhängig von der Anzahl Stunden, an welcher die Aussentemperatur T_j auftritt und dem Kälteleistungsbedarf bei gegebener Aussentemperatur T_j .

$$Q_j = t_j \cdot \dot{Q}_j$$

Q_j	Kälteenergie in Abhängigkeit der Aussentemperatur, in kWh/a
t_j	Anzahl Stunden nach BIN, an welcher die Aussentemperatur auftritt, in h/a
\dot{Q}_j	Kälteleistungsbedarf bei Aussentemperatur, in kW

Die Anzahl Stunden pro Jahr, an welcher die Aussentemperatur T_j auftritt wird mittels der BIN-Methode in Anlehnung an die SN EN 14825 ermittelt. Der Kälteleistungsbedarf in Abhängigkeit der Aussentemperatur wird mittels einer Leistungsangabe bei gegebener Aussentemperatur und einem hinterlegtem Lastprofil in Abhängigkeit der Kühlanwendung gemäss Tabelle 1 berechnet.

Die Kälteleistungszahl wird aus dem Produkt der Carnot-Leistungszahl und dem Carnot-Gütegrad (Nutzungsgrad) berechnet. Die Carnot-Leistungszahl ist abhängig von der Verdampfungstemperatur T_0 und der Verflüssigungstemperatur T_C , welche je nach Massnahme optimiert werden kann.

$$EER_{x,j} = \frac{T_{0,i} + 273.15}{T_{C,x,j} - T_{0,i}} \cdot \eta_{CG}$$



$EER_{x,j}$	Kälteleistungszahl in Abhängigkeit der Aussentemperatur
η_{CG}	Carnot-Gütegrad, Einheitenlos
$T_{0,i}$	Verdampfungstemperatur (Abhängig von der Kühlanwendung), in °C
$T_{C,x,j}$	Verflüssigungstemperatur (Abhängig von der Aussentemperatur), in °C

Die Verflüssigungstemperatur $T_{C,j}$ ist abhängig von der jeweiligen Umgebungstemperatur T_j und der gesamten Temperaturdifferenz $\Delta T_{tot,c}$.

$$T_{C,x,j} = T_{x,j} + \Delta T_{tot,c,x}$$

Es muss beachtet werden, dass die Verflüssigungstemperatur keinesfalls tiefer als den Schwellenwert $T_{C,min,x}$ sein kann.

$$T_{C,x,j} = \begin{cases} T_{C,x,j}, & T_{C,x,j} \geq T_{C,min,x} \\ T_{C,min,x}, & T_{C,x,j} < T_{C,min,x} \end{cases}$$

Zudem darf die Temperaturspreizung von $T_{0,i}$ und $T_{C,j}$ nie kleiner als $\Delta T_{0,C,min}$ sein, auch wenn die Aussentemperatur und das $T_{C,min}$ dies zulassen würden.

$$T_{C,x,j} = \begin{cases} T_{C,j}, & T_{C,j} - T_{0,i} \geq \Delta T_{0,C,min} \\ T_{0,i} + \Delta T_{0,C,min}, & T_{C,j} - T_{0,i} < \Delta T_{0,C,min} \end{cases}$$

$T_{C,x,j}$	Verflüssigungstemperatur, in °C
$T_{x,j}$	Aussentemperatur, in °C
$\Delta T_{tot,c,x}$	Gesamte Temperaturdifferenz, in K
$T_{C,min}$	Minimale Verflüssigungstemperatur, in °C
$\Delta T_{0,C,min}$	Minimale Temperaturdifferenz, in K

Die gesamte Temperaturdifferenz $\Delta T_{tot,c,x}$ setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen. Erstmals muss unterschieden werden, ob es sich um eine Direktverflüssigung (Luft / Direktverflüssiger) oder Flüssigkeitsgekühlt (Rückkühler mit Sekundärkreislauf) handelt.

4.2.1 Direktverflüssigung (Luft / Direktverflüssiger)

Im Fall einer Direktverflüssigung (Luft) ergibt sich die totale Temperaturdifferenz aus dem ΔT der Verflüssigungstemperatur und der Aussentemperatur (ΔT_{c-j}). Zusätzlich dazu werden die Temperaturdifferenzen aufgrund von Verschmutzung an der Ausseneinheit ($\Delta T_{a,sch,x}$) oder aufgrund einer Fehlzirkulation, Luftkurzschluss oder Solarstrahlung an der Ausseneinheit aufgrund schlechter Positionierung ($\Delta T_{b,pos,x}$) addiert.

$$\Delta T_{tot,c,x} = \Delta T_{c-j} + \Delta T_{a,sch,x} + \Delta T_{b,pos,x}$$

$\Delta T_{tot,c,x}$	Gesamte Temperaturdifferenz, in K
ΔT_{c-j}	Temperaturdifferenz der Verflüssigungs- zur Aussentemperatur, in K
$\Delta T_{a,sch,x}$	Temperaturdifferenz aufgrund von Verschmutzung der Wärmeübertrager, in K
$\Delta T_{b,pos,x}$	Temperaturdifferenz der Ansaugluft zur Umgebungsluft, in K

A. Die zusätzliche Temperaturdifferenz aufgrund von der Verschmutzung der Wärmeübertrager wird durch einem Verschmutzungsfaktor F_S definiert. Somit kann das $\Delta T_{a,sch}$ wie folgt bestimmt werden:

- Bei Pluskühlung, Minuskühlung, IT-Server, Prozesskälte (Direktverflüssigung)



$$\Delta T_{a,sch,x,j} = \begin{cases} \left(0.6 + (1 - 0.6) \cdot \left(\frac{T_j - 5}{35 - 5} \right) \right) \cdot f_{sch,x} \cdot \Delta T_{c-j}, & T_j > 5^\circ\text{C} \\ 0.6 \cdot f_{sch,x} \cdot \Delta T_{c-j}, & T_j \leq 5^\circ\text{C} \end{cases}$$

- Bei Komfortklima Direktverdampfung und Komfortklima Kälteträger (Direktverflüssigung)

$$\Delta T_{a,sch,x,j} = \begin{cases} \left(\frac{T_j - 20}{35 - 20} \right) \cdot f_{sch,x} \cdot \Delta T_{c-j}, & T_j > 20^\circ\text{C} \\ 0, & T_j \leq 20^\circ\text{C} \end{cases}$$

$\Delta T_{a,sch,x,j}$	Temperaturdifferenz aufgrund von Verschmutzung der Wärmeübertrager, in K
T_j	Aussentemperatur, in °C
$f_{sch,x}$	Verschmutzungsfaktor
ΔT_{c-j}	Temperaturdifferenz der Verflüssigungs- zur Aussentemperatur, in K

- B. Durch Solareinstrahlung wie auch Fehlzirkulation der Luft kann die Ansaugtemperatur T_{ans} höher sein als die Aussentemperatur, welches in einer zusätzlichen Temperaturdifferenz $\Delta T_{b,pos,x}$ resultiert.

- Bei Pluskühlung, Minuskühlung, IT-Server, Prozesskälte (Direktverflüssigung)

$$\Delta T_{b,pos,x,j} = \begin{cases} \left(0.4 + (1 - 0.4) \cdot \left(\frac{T_j - 5}{35 - 5} \right) \right) \cdot \Delta T_{b,pos,max,x}, & T_j > 5^\circ\text{C} \\ 0.4 \cdot \Delta T_{b,pos,max,x}, & T_j \leq 5^\circ\text{C} \end{cases}$$

$$\Delta T_{b,pos,max,x} = \frac{\Delta T_{ans-j,mess,x}}{0.4 + 0.6 \cdot \left(\frac{T_{j,mess,x} - 5}{35 - 5} \right)}$$

- Bei Komfortklima Direktverdampfung und Komfortklima Kälteträger (Direktverflüssigung)

$$\Delta T_{b,pos,x,j} = \begin{cases} \left(0.7 + (1 - 0.7) \cdot \left(\frac{T_j - 20}{35 - 20} \right) \right) \cdot \Delta T_{b,pos,max,x}, & T_j > 20^\circ\text{C} \\ 0.7 \cdot \Delta T_{b,pos,max,x}, & T_j \leq 20^\circ\text{C} \end{cases}$$

$$\Delta T_{b,pos,max,x} = \frac{\Delta T_{ans-j,mess,x}}{0.7 + 0.3 \cdot \left(\frac{T_{j,mess,x} - 20}{35 - 20} \right)}$$

$\Delta T_{b,pos,x,j}$	Temperaturdifferenz der Ansaugluft zur Umgebungsluft, in K
$\Delta T_{b,pos,max,x}$	Temperaturdifferenz der Ansaugluft zur Umgebungsluft bei 35°C, in K
T_j	Aussentemperatur, in °C
$\Delta T_{ans-j,mess,x}$	Gemessene Temperaturdifferenz der Ansaugluft zur Umgebungsluft, in K
$T_{j,mess,x}$	Aussentemperatur, bei welcher die Messung durchgeführt wird, in °C

- C. Falls die Kältemaschine eine Hochhaltung der Verflüssigungstemperatur von mehr als $T_{C,min}$ hinterlegt hat, so kann diese reduziert werden. Die neue, optimierte minimale Verflüssigungstemperatur ist somit folgenden ausgedrückt:

$$T_{C,min,x} = T_{C,opt,x}$$



$T_{C,min,x}$	Minimale Verflüssigungstemperatur, in °C
$T_{C,opt,x}$	Optimierte Verflüssigungstemperatur, in °C

4.2.2 Flüssigkeitsgekühlt (Rückkühler mit Sekundärkreislauf)

Im Fall eines Rückkühlers mit Sekundärkreislauf ergibt sich die totale Temperaturdifferenz aus dem ΔT der Verflüssigungstemperatur und der Eintrittstemperatur des Sekundärkreislaufs Verflüssiger ($\Delta T_{c-sek,ein}$) und dem ΔT der Eintrittstemperatur des Sekundärkreislaufs Verflüssiger und der Umgebungstemperatur ($\Delta T_{sek,ein-j}$). Zusätzlich dazu werden die Temperaturdifferenzen aufgrund von Verschmutzung des Rückkühlers ($\Delta T_{a,sch}$) oder aufgrund einer Fehlzirkulation, Luftkurzschluss oder Solarstrahlung am Rückkühler aufgrund schlechter Positionierung ($\Delta T_{b,pos}$) addiert.

$$\Delta T_{tot,c,x} = \Delta T_{c-sek,ein} + \Delta T_{sek,ein-j} + \Delta T_{a,sch,x} + \Delta T_{b,pos,x}$$

$\Delta T_{tot,c,x}$	Gesamte Temperaturdifferenz, in K
$\Delta T_{c-sek,ein}$	Temperaturdifferenz der Verflüssigungs- zur Eintrittstemperatur, in K
$\Delta T_{sek,ein-j}$	Temperaturdifferenz der Eintritts- zur Umgebungstemperatur, in K
$\Delta T_{a,sch,x}$	Temperaturdifferenz aufgrund von Verschmutzung der Wärmeübertrager, in K
$\Delta T_{b,pos,x}$	Temperaturdifferenz der Ansaugluft zur Umgebungsluft, in K

A. Die zusätzliche Temperaturdifferenz aufgrund von der Verschmutzung der Wärmeübertrager wird durch einem Verschmutzungsfaktor F_s definiert. Somit kann das $\Delta T_{a,sch}$ wie folgt bestimmt werden:

- Bei Pluskühlung, Minuskühlung, IT-Server, Prozesskälte (Direktverflüssigung)

$$\Delta T_{a,sch,x,j} = \begin{cases} \left(0.6 + (1 - 0.6) \cdot \left(\frac{T_j - 5}{35 - 5} \right) \right) \cdot f_{sch,x} \cdot \Delta T_{sek,ein-j}, & T_j > 5^\circ\text{C} \\ 0.6 \cdot f_{sch,x} \cdot \Delta T_{sek,ein-j}, & T_j \leq 5^\circ\text{C} \end{cases}$$

- Bei Komfortklima Direktverdampfung und Komfortklima Kälteträger (Direktverflüssigung)

$$\Delta T_{a,sch,x,j} = \begin{cases} \left(\frac{T_j - 20}{35 - 20} \right) \cdot f_{sch,x} \cdot \Delta T_{sek,ein-j}, & T_j > 20^\circ\text{C} \\ 0, & T_j \leq 20^\circ\text{C} \end{cases}$$

$\Delta T_{a,sch,x,j}$	Temperaturdifferenz aufgrund von Verschmutzung der Wärmeübertrager, in K
T_j	Aussentemperatur, in °C
$f_{sch,x}$	Verschmutzungsfaktor
ΔT_{c-j}	Temperaturdifferenz der Verflüssigungs- zur Aussentemperatur, in K

B. Durch Solareinstrahlung wie auch Fehlzirkulation der Luft kann die Ansaugtemperatur T_{ans} höher sein als die Aussentemperatur, welches in einer zusätzlichen Temperaturdifferenz $\Delta T_{b,pos}$ resultiert.

- Bei Pluskühlung, Minuskühlung, IT-Server, Prozesskälte (Direktverflüssigung)

$$\Delta T_{b,pos,x,j} = \begin{cases} \left(0.4 + (1 - 0.4) \cdot \left(\frac{T_j - 5}{35 - 5} \right) \right) \cdot \Delta T_{b,pos,max,x}, & T_j > 5^\circ\text{C} \\ 0.4 \cdot \Delta T_{b,pos,max,x}, & T_j \leq 5^\circ\text{C} \end{cases}$$

$$\Delta T_{b,pos,max,x} = \frac{\Delta T_{ans-j,mess,x}}{0.4 + 0.6 \cdot \left(\frac{T_{j,mess,x} - 5}{35 - 5} \right)}$$



- Bei Komfortklima Direktverdampfung und Komfortklima Kälteträger (Direktverflüssigung)

$$\Delta T_{b,pos,x,j} = \begin{cases} \left(0.7 + (1 - 0.7) \cdot \left(\frac{T_j - 20}{35 - 20} \right) \right) \cdot \Delta T_{b,pos,max,x}, & T_j > 20^\circ\text{C} \\ 0.7 \cdot \Delta T_{b,pos,max,x}, & T_j \leq 20^\circ\text{C} \end{cases}$$

$$\Delta T_{b,pos,max,x} = \frac{\Delta T_{ans-j,mess,x}}{0.7 + 0.3 \cdot \left(\frac{T_{j,mess,x} - 20}{35 - 20} \right)}$$

$\Delta T_{b,pos,x,j}$	Temperaturdifferenz der Ansaugluft zur Umgebungsluft, in K
$\Delta T_{b,pos,max,x}$	Temperaturdifferenz der Ansaugluft zur Umgebungsluft bei 35°C, in K
T_j	Aussentemperatur, in °C
$\Delta T_{ans-j,mess,x}$	Gemessene Temperaturdifferenz der Ansaugluft zur Umgebungsluft, in K
$T_{j,mess,x}$	Aussentemperatur, bei welcher die Messung durchgeführt wird, in °C

- C. Falls die Kältemaschine eine Hochhaltung der Verflüssigungstemperatur von mehr als $T_{C,min}$ hinterlegt hat, so kann diese reduziert werden. Die neue, optimierte minimale Verflüssigungstemperatur ist somit folgenden ausgedrückt:

$$T_{C,min,x} = T_{c,opt,x}$$

$T_{C,min,x}$	Minimale Verflüssigungstemperatur, in °C
$T_{c,opt,x}$	Optimierte Verflüssigungstemperatur, in °C

4.2.3 Free-Cooling IT-Server

Falls Free-Cooling bei den Kühlanwendungen *IT-Server* vorhanden ist, entfällt ab einer gewissen (Feuchtkugel) Aussentemperatur die Kühllast. Dieser Schwellenwert ist von der Anwendungstemperatur abhängig.

$$\dot{Q}_j = \begin{cases} \dot{Q}_j, & T_j > T_{fc,min} \\ 0, & T_j \leq T_{fc,min} \end{cases}$$

\dot{Q}_j	Kälteleistungsbedarf, in kW
T_j	Aussentemperatur, in °C
$T_{fc,min}$	Schwellenwert für die Anwendung von Free-Cooling, in °C

4.2.4 Anzahl Betriebsstunden Prozesskühler

Da gewisse *Prozesskühler* keinen 24 Stunden pro Tag Betrieb haben, kann für diese Kühlanwendung die Anzahl Betriebsstunden $h_{pr.}$ pro Tag angepasst werden. Somit verkürzen sich die Betriebsstunden nach BIN.

$$t_j = \begin{cases} t_j, & h_{pr.} = 24 \\ t_j \cdot \frac{t_{pr.}}{24}, & h_{pr.} < 24 \end{cases}$$

t_j	Anzahl Stunden nach BIN, in h/a
$t_{pr.}$	Anzahl Betriebsstunden pro Tag bei Prozesskühlern.



5 Eingabevariablen

Allgemein

- Typ der Kälteanwendung (*Mehrfachauswahl*)
- Typ der Wärmeabgabe (*Zweifachauswahl*)
- Kälteleistungsbedarf, in kW (*Kommazahl*)

Nach Anwendung

- Das Vorhandensein von Free-Cooling, bei *IT-Server* (*Zweifachauswahl*)
- Anzahl Betriebsstunden pro Tag, bei *Prozesskühlung* (*ganze Zahl*)

Nach Massnahme

- Reinigung Verflüssiger (*Zweifachauswahl*)
- Gemessene Temperaturdifferenz der Ansaugluft zur Umgebungsluft, in °C (*Kommazahl*)
- Gemessene Umgebungstemperatur, in °C (*Kommazahl*)
- Regelungen der minimalen Verflüssigungstemperatur, in °C (*Kommazahl*)

6 Annahmen und Daten

Allgemein

- Aussentemperatur, bei welcher der Kälteleistungsbedarf definiert ist, beträgt 35 °C.
- Die minimale Verflüssigungstemperatur $T_{c,min}$ und Temperaturspreizung $\Delta T_{0,c,min}$ betragen 25 °C.
- Die BIN-dauern entsprechen den Standardwerten der Klimastation Zürich gemäss dem SIA-Merkblatt 2028 [2].
- Der Carnot-Gütegrad η_{CG} beträgt 0.45 [3,4].
- Die Temperaturdifferenzen ΔT_{c-j} , $\Delta T_{c-sek,ein}$ und $\Delta T_{sek,ein-j}$ werden in der Tabelle 1 definiert [1].
- Free-Cooling kommt zum Einsatz, wenn die Feuchtkugeltemperatur der Aussenluft um 15 K tiefer ist $T_{fc,min}$, als die Anwendungstemperatur (21 °C resp. 28 °C) [1]. Als Grenze für Free-Cooling wird dafür die entsprechende Aussentemperatur bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50 % angewendet.

Tabelle 1 Bestimmung des ΔT_{c-j} , $\Delta T_{c-sek,ein}$ und $\Delta T_{sek,ein-j}$

Verflüssiger / Rückkühler	ΔT -Berechnung	ΔT [K]
Luft (Direktverflüssiger): Minuskühlung-Anwendung	$\Delta T_{c-j} = T_c(\text{Verflüssigungstemperatur}) - T_{luft}(\text{Eintritt Verflüssiger})$	10
Luft (Direktverflüssiger): Restliche Anwendungen	$\Delta T_{c-j} = T_c(\text{Verflüssigungstemperatur}) - T_{luft}(\text{Eintritt Verflüssiger})$	13
Wasser (Rückkühler)	$\Delta T_{c-sek,ein} = T_c(\text{Verflüssigungstemp.}) - T_{Wärmeträger}(\text{Eintritt Verflüssiger})$	9
Wasser (Rückkühler)	$\Delta T_{sek,ein-j} = T_{Wärmeträger}(\text{Eintritt Verflüssiger}) - T_j(\text{Aussentemp.})$	6

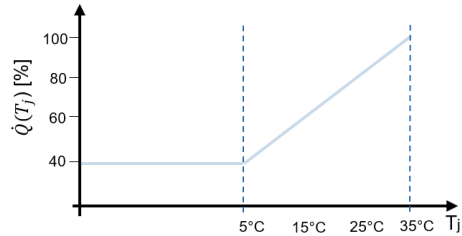
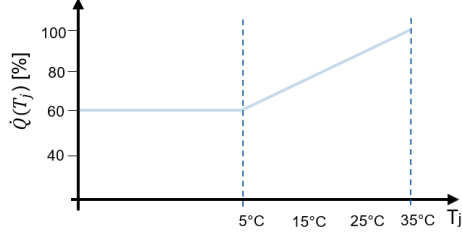
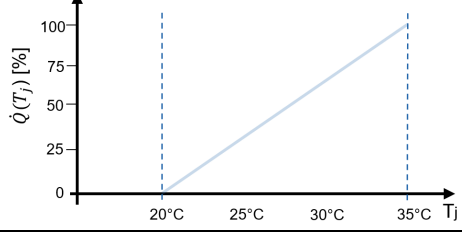
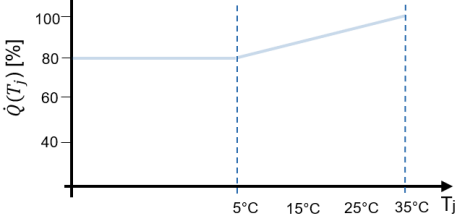
Nach Anwendung

- Die Verdampfungstemperatur $T_{0,i}$ ist abhängig von der Anwendung gemäss Tabelle 1. Dadurch wird ebenfalls das Lastprofil definiert [1].



- viii. Die beschriebene Methode ist, abhängig von der Anwendung, nur bis zu einem gewissen Kälteleistungsbedarf \dot{Q}_{max} gültig. Die jeweiligen Werte sind in der Tabelle 2 definiert.

Tabelle 2 Verdampfungstemperatur und Lastprofil nach Anwendung

Kühlanwendung	\dot{Q}_{max} [kWh]	$T_{0,i}$ [°C]	Lastprofil
Pluskühlung	40	-10	
Minuskühlung	30	-30	
Komfortklima (Direktverdampfung)	80	7	
Komfortklima (Kälteträger)	200	3	
IT-Server (28°C)	200	20	
IT-Server (21°C)	200	13	
Prozesskälte	200	8	

Nach Massnahme

- ix. Die Standardnutzungsdauer N_s der Massnahme für die Reinigung der Verflüssiger (A) beträgt 1 Jahr.
- x. Die Standardnutzungsdauern N_s der Massnahmen für die Reduktion der Luftkurzschlüssen (B) und der minimalen Verflüssigungstemperatur (C) betragen 5 Jahre.
- xi. Der Verschmutzungsfaktor f_{sch} bei schmutzigen Wärmeübertrager beträgt 0.35, bei sauberen Wärmeübertrager 0 [1].
- xii. Für die Massnahmen Reduktion der (B) Luftkurzschlüssen und (C) minimalen Verflüssigungstemperatur ist der Verschmutzungsfaktor f_{sch} für den Wärmeübertrager 0 (als gereinigt angenommen).



7 Resultate

Angesichts der präsentierten Annahmen und Daten werden die anrechenbaren Stromeinsparungen für jede Kälteanlage in Bezug auf die festgelegten Eingabevariablen ermittelt. Dafür wird die öffentliche zugängliche Monitoringliste KA-01a benutzt.

8 Beispiel

Szenario A: Eine bessere Positionierung und/oder eine verbesserte Luftführung des Verflüssigers einer Kälteanlage für Komfortklimatisierung mit einem Kälteträgernetz. Die Kühlleistung am Auslegungspunkt (35 °C) beträgt 100 kW. Vor der Optimierungsmassnahme wird eine Temperaturdifferenz von Umgebungstemperatur zu Lufteintrittstemperatur am Verflüssiger von 7.6 K gemessen, bei 21 °C Umgebungstemperatur. Nach der Massnahme beträgt dieselbe Temperaturdifferenz 3.2 K, bei einer Umgebungstemperatur von 24 °C.

Anwendung	Eingabevariablen	Werte		Anrechenbare Stromeinsparung
		<i>alt</i>	<i>neu</i>	[MWh]
Komfortklima (Kälteträger)	Hochhaltung der VL, °C	-		
	Auslegungskühlbedarf, kW	75		
	Wärmeabgabe	Luft (direkt)		
	$\Delta T_{\text{pos}} (T_{\text{ein}} - T_{\text{amb}})$, K	7.6	3.2	
	T_{amb} bei Messung, °C	21	24	
Summe				2.4

Szenario B: Reinigung des Rückkühlers einer Kälteanlage für IT-Server (21 °C). Die Kühlleistung am Auslegungspunkt (35 °C) beträgt 160 kW und Free-Cooling ist vorhanden.

Anwendung	Eingabevariablen	Werte		Anrechenbare Stromeinsparung
		alt	neu	[MWh]
IT-Server (21°C)	Hochhaltung der VL, °C	-		
	Auslegungskühlbedarf, kW	160		
	Wärmeabgabe	Wasser (RK)		
	Free-Cooling	Ja		
	Verschmutzung Rückkühler	verschmutzt	sauber	
Summe				1.4

9 Quellen

- [1] Experten-Workshop, Erfahrungswerte.
- [2] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, *Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik*, SIA 2028, 2010.
- [3] BITZER Kühlmaschinenbau GmbH, *Online-Programm zur Auswahl von Bitzer-Kompressoren - Bitzer Software Version 6.5.0*, <https://www.bitzer.de/websoftware/Default.aspx>, zuletzt besucht am 12. August 2024.
- [4] Tecumseh Products Company LLC, *Online-Programm zur Auswahl von Tecumseh-Kompressoren - Version 4.0*, http://www.tecumseh.com/de/Europe/Sel_Soft_V4_0, zuletzt besucht am 12. August 2024.