



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr,  
Energie und Kommunikation UVEK

**Bundesamt für Energie BFE**

---

# Standardisierte Massnahme KA-05

## **Betriebsoptimierungen von Kälteanlagen**

### Dokumentation

Massnahmennummer

KA-05

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 Reduktion der Betriebszeiten von Kälteanlagen ausgelöst werden, pauschal schätzen zu können. Die Reduktion der Betriebszeiten kann durch das Abschalten der Kälteanlage, entweder an bestimmten Wochentagen (z.B. samstags und sonntags) oder während ganzen betriebsfreien Wochen (z.B. Semesterferien, Betriebsferien), erfolgen. Diese Massnahme kann nur bei Kälteanlagen für Komfortklimatisierung angewendet werden.

## 3 Symbole, Begriffe und Einheiten

### *Lateinische Buchstaben*

Symbol	Begriff	Einheit
$E$	Jährlicher Stromverbrauch	kWh/a
$\Delta E_{eco}$	Anrechenbare Stromeinsparungen	MWh
$f$	Faktor	-
$n$	Anzahl	
$N_s$	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
$\eta$	Nutzungsgrad	-



#### Indizes

$x$	Zustand (alt, neu)
$i$	Anwendungskategorie
$j$	Aussentemperatur
$k$	Gebäudekategorie

## 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 des alten Zustands

Wenn der jährliche Stromverbrauch des alten Zustands  $E_{alt}$  bekannt ist (z.B. anhand einer Verbrauchsangabe aus dem Vorjahr), kann dieser direkt angegeben. Ist der jährliche Stromverbrauch der Kälteanlage nicht bekannt, so wird dieser berechnet aus der Summe der Quotienten der Jahreskühllast und der Anlageneffizienz, die beide wiederum von Anwendung und den jeweiligen Betriebsbedingungen abhängen.

$$E_{alt} = \sum_{j=1}^n \left( \frac{Q_j}{EER_j} \right)$$

$Q_j$	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
$T_j$	Aussentemperatur, in °C
$\dot{Q}_j$	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 2 berechnet.



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

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

$EER_j$	Kälteleistungszahl in Abhängigkeit der Aussentemperatur
$\eta_{CG}$	Carnot-Gütegrad
$T_{0,i}$	Verdampfungstemperatur (Abhängig von der Kühlanwendung), in °C
$T_{C,j}$	Verflüssigungstemperatur (Abhängig von der Aussentemperatur), in °C

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

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

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

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

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.

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

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

Die gesamte Temperaturdifferenz  $\Delta T_{tot,c}$  setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen. Es 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  $\Delta T$  der Verflüssigungstemperatur und der Aussentemperatur ( $\Delta T_{c-j}$ ).

$$\Delta T_{tot,c} = \Delta T_{c-j}$$

$\Delta T_{tot,c}$	Gesamte Temperaturdifferenz, in K
$\Delta T_{c-j}$	Temperaturdifferenz der Verflüssigungs- zur Aussentemperatur, in K

#### 4.2.2 Flüssigkeitsgekühlt (Rückkühler mit Sekundärkreislauf)

Im Fall eines Rückkühlers mit Sekundärkreislauf ergibt sich die totale Temperaturdifferenz aus dem  $\Delta T$  der Verflüssigungstemperatur und der Eintrittstemperatur des Sekundärkreislaufs Verflüssiger



( $\Delta T_{c-sek, ein}$ ) und dem  $\Delta T$  der Eintrittstemperatur des Sekundärkreislaufs Verflüssiger und der Umgebungstemperatur ( $\Delta T_{sek, ein-j}$ ).

$$\Delta T_{tot, c} = \Delta T_{c-sek, ein} + \Delta T_{sek, ein-j}$$

$\Delta T_{tot, c}$	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

#### 4.3 Jährlicher Stromverbrauch des neuen Zustands

Der jährliche Stromverbrauch des neuen Zustands  $E_{neu}$  wird berechnet, indem die Einsparung durch die Reduktion der Betriebszeiten anhand des alten Stromverbrauchs  $E_{alt}$  berechnet wird. Die Reduktion der Betriebszeiten kann durch das Abschalten der Kälteanlage, entweder an bestimmten Wochentagen oder während ganzen betriebsfreien Wochen, erfolgen.

- A. Wenn die Kälteanlage an bestimmten Wochentagen während der ganzen Kühlperiode immer ausgeschaltet werden kann, wird der jährliche Stromverbrauch des neuen Zustands  $E_{neu}$  anhand der betriebsfreien Wochentage  $n_d$  und eines Reduktionsfaktors  $f_{a, k}$  berechnet.

$$E_{neu} = E_{alt} - E_{alt} \cdot \frac{n_d}{7} \cdot f_{a, k}$$

$n_d$	Anzahl betriebsfreie Wochentage, in Tagen
$f_{a, k}$	Jährlicher Reduktionsfaktor (abhängig von der Gebäudekategorie)

Mit dem Reduktionsfaktor wird berücksichtigt, dass die Kühllast an den betriebsfreien Tagen geringer ist als an Tagen mit üblichem Betrieb (aufgrund der anwesenden Personen und den internen Lasten).

- B. Wenn die Kälteanlage für eine oder mehrere Wochen während der Kühlperiode ausgeschaltet werden kann (z.B. aufgrund von Betriebsferien), wird der jährliche Stromverbrauch des neuen Zustands  $E_{neu}$  berechnet, indem die Kühllast während den Ferienwochen dem alten Stromverbrauch abgezogen werden.

$$E_{neu} = E_{alt} - E_{alt} \cdot (\eta_{w, m, k} \cdot n_w \cdot f_{m, k})$$

$\eta_{w, m, k}$	Wöchentlicher Kühlanteil (abhängig von Monat und Gebäudekategorie)
$n_w$	Anzahl Wochen ohne Betrieb, in Wochen
$f_{m, k}$	Monatlicher Reduktionsfaktor (abhängig von Monat und Gebäudekategorie)

Der wöchentliche Kühlanteil  $\eta_{w, m, k}$  sagt aus, wie viel Anteil an der jährlichen Kühllast in einer Woche eines bestimmten Monats ist. Der Wert ist abhängig vom Monat und der Gebäudekategorie. Der monatliche Reduktionsfaktor  $f_{m, k}$  berücksichtigt, dass die Kühllast während den betriebsfreien Wochen geringer ist als während üblichen Wochen. Der Reduktionsfaktor ist ebenfalls abhängig vom Monat und der Gebäudekategorie.

## 5 Eingabevariablen

### Allgemein

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

### Nach Massnahme

- Art der Betriebsreduktion (*Zweifachauswahl*)
- Gebäudekategorie (*Mehrfachauswahl*)



- Anzahl betriebsfreie Wochentage (*ganze Zahl*)
- Anzahl Wochen ohne Betrieb (*ganze Zahl*)
- Monat der betriebsfreien Wochen (*Mehrfachauswahl*)

## 6 Annahmen und Daten

### Allgemein

- Die Standardnutzungsdauer  $N_S$  der Massnahmen beträgt jeweils 1 Jahr.
- Die 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 [1].
- Der Carnot-Gütegrad  $\eta_{CG}$  beträgt 0.45 [2,3].
- Die Temperaturdifferenzen  $\Delta T_{C-j}$ ,  $\Delta T_{C-sek,ein}$  und  $\Delta T_{sek,ein-j}$  werden in der Tabelle 1 definiert [4].

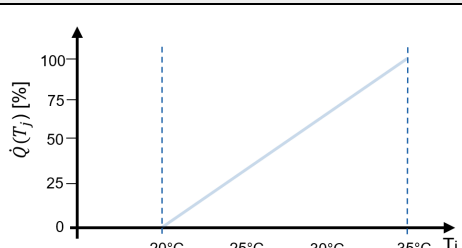
**Tabelle 1** Bestimmung des  $\Delta T_{C-j}$ ,  $\Delta T_{C-sek,ein}$  und  $\Delta T_{sek,ein-j}$

Verflüssiger / Rückkühler	$\Delta T$ -Berechnung	$\Delta T$ [K]
Luft (Direktverflüssiger)	$\Delta T_{C-j} = T_C(\text{Verflüssigungstemperatur}) - T_{luft}(\text{Eintritt Verflüssiger})$	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 2. Dadurch wird ebenfalls das Lastprofil definiert [2].
- 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	$\dot{Q}_{max}$ [kW]	$T_{0,i}$ [°C]	Lastprofil
Komfortklima (Direktverdampfung)	80	7	
Komfortklima (Kälteträger)	200	3	



- ix. Die monatlichen Reduktionsfaktoren und der jährliche Reduktionsfaktor sind abhängig von der Gebäudekategorie. Der jährliche Reduktionsfaktor  $f_{a,k}$  ist der gewichtete Mittelwert aus den monatlichen Reduktionsfaktoren, gewichtet nach ihrem Anteil an der jährlichen Kühllast.

Die Reduktionsfaktoren werden auf der Grundlage der SIA 2024 Raumdatenblätter [5] berechnet. Dafür wird in einem ersten Schritt für alle Räumlichkeiten, welche Klimatisiert werden, der monatliche Kältebedarf (mit 100% der Solarstrahlung) abzüglich der internen Lasten durch Personen, Geräte und Beleuchtung berechnet. Der monatliche Reduktionsfaktor  $f_{w,m,k}$  ist das Verhältnis von der Kältelast ohne die internen Lasten zur Kältelast inkl. der internen Lasten. Dies kann für jeden Monat variieren.

Im nächsten Schritt werden die Reduktionsfaktoren der Räumlichkeiten für die ausgewählten Gebäudekategorien harmonisiert. Die Gebäudekategorien setzen sich aus mehreren Räumlichkeiten zusammen. Für jede Gebäudekategorie wird der gewichtete Mittelwert der Reduktionsfaktoren berechnet, gewichtet nach dem typischen Flächenanteil der Räumlichkeiten pro Gebäudekategorie, gem. SIA 2024 (Anhang F) [5].

**Tabelle 3** Monatliche und jährliche Reduktionsfaktoren, nach der jeweiligen Gebäudekategorie

Gebäudekategorie	$f_{w,mai,k}$	$f_{w,jun,k}$	$f_{w,jul,k}$	$f_{w,aug,k}$	$f_{w,sep,k}$	$f_{a,k}$
Büro	0.045	0.464	0.672	0.630	0.040	0.498
Schule	0.000	0.044	0.241	0.198	0.000	0.159
Verkauf (Fachgeschäft)	0.000	0.192	0.426	0.422	0.000	0.248
Restaurant (mit Küche)	0.000	0.042	0.119	0.104	0.000	0.087
Versammlungslokal	0.000	0.051	0.129	0.120	0.000	0.079
Industrie	0.000	0.162	0.669	0.629	0.000	0.547

- x. Der wöchentliche Kühlanteil  $\eta_{w,m,k}$  beschreibt den durchschnittlichen Anteil an der jährlichen Kühllast und ist abhängig vom Monat und von der Gebäudekategorie. Dafür wird berechnet, wie gross der Anteil der Kühllast eines Monats im Verhältnis zur jährlichen Kühllast ist, gemäss SIA 2024 [5]. Dieser Wert wird multipliziert mit dem Anteil von 7 Tagen im jeweiligen Monat, als 7/30 oder 7/31.

**Tabelle 4** Wöchentlicher Kühlanteil, nach Monat und Gebäudekategorie

Gebäudekategorie	$\eta_{w,mai,k}$	$\eta_{w,jun,k}$	$\eta_{w,jul,k}$	$\eta_{w,aug,k}$	$\eta_{w,sep,k}$
Büro	0.022	0.050	0.071	0.066	0.019
Schule	0.010	0.049	0.085	0.078	0.006
Verkauf (Fachgeschäft)	0.035	0.046	0.055	0.055	0.037
Restaurant (mit Küche)	0.002	0.012	0.020	0.018	0.001
Versammlungslokal	0.012	0.018	0.023	0.022	0.012
Industrie	0.002	0.046	0.094	0.084	0.001

## 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-05 benutzt.



## 8 Beispiel

Szenario A: Ein Bürogebäude in Locarno kann die Komfortklimatisierung während der gesamten Kühlperiode über das Wochenende ausschalten. Somit ist die Kälteanlage an zwei Tagen die Woche ausgeschaltet.

Anwendung	Eingabevariablen	Werte		Anrechenbare Stromeinsparung
		<i>alt</i>	<i>neu</i>	[MWh]
Komfortklima (Direkt- verdampfung)	Standort	Locarno		
	Auslegungskühlbedarf, kW	50		
	Wärmeabgabe	Luft (direkt)		
	Gebäudekategorie	Büro		
	Anzahl betriebsfreie Wochentage*	0	2	
Summe				0.7

\* Kälteanlage aus

Szenario B: Eine Schule in Zürich schaltet in den Sommerferien die Kälteanlage aus. Die letzte Woche der Schulferien wird von dem Lehrpersonal zur Vorbereitung und Weiterbildung genutzt, in dieser Woche muss die Klimatisierung wieder in Betrieb sein. Während den ersten 4 Wochen im Juli kann die Kälteanlage ausgeschaltet werden.

Anwendung	Eingabevariablen	Werte		Anrechenbare Stromeinsparung
		<i>alt</i>	<i>neu</i>	[MWh]
Komfortklima (Kälteträger)	Standort	Zürich		
	Auslegungskühlbedarf, kW	130		
	Wärmeabgabe	Wasser (Rückkühler)		
	Gebäudekategorie	Schule		
	Anzahl Wochen ohne Betrieb*	0	4	
	Monat der betriebsfreien Wochen	-	Juli	
Summe				0.5

\* Kälteanlage aus

## 9 Quellen

- [1] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, *Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik*, SIA 2028, 2010.
- [2] 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.
- [3] Tecumseh Products Company LLC, *Online-Programm zur Auswahl von Tecumseh-Kompressoren - Version 4.0*, [http://www.tecumseh.com/de/Europe/Sel\\_Soft\\_V4\\_0](http://www.tecumseh.com/de/Europe/Sel_Soft_V4_0), zuletzt besucht am 12. August 2024.
- [4] Experten-Workshop, Erfahrungswerte.
- [5] Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, *Raumnutzungsdaten für die Energie- und Gebäudetechnik*, SIA 2024, 01.12.2021.