

Optimierung von Kälteanlagen: Massnahmen und Potenziale

Sammelwerk für
Kältefachpersonen



Einleitung

Stellenwert

Die technische Massnahmenliste zur Optimierung von bestehenden Kälteanlagen ist eine Auflistung der möglichen Massnahmen zur rationellen Energienutzung bei Kälteanlagen. Das Werk ist ein Grundlagendokument und soll nicht den Charakter einer «Vorschrift» haben. Vielmehr ist es eine Zusammenstellung von Optimierungsmassnahmen für Fachpersonen.

Das Sammelwerk geht von Fehlern resp. Mängeln bei Kälteanlagen aus und listet entsprechende Massnahmen zu ihrer Behebung (Optimierung) auf. Dieser methodische Ansatz führt dazu, dass Massnahmen mehrfach genannt werden und die Liste damit umfangreich wird, da ein Fehler und eine entsprechende Massnahme an unterschiedlichen Stellen auftreten können.

Zielpublikum

Die Massnahmenliste richtet sich an Kältefachpersonen, die im Service tätig sind und sich einen Überblick über die möglichen Optimierungsmassnahmen verschaffen wollen. Zudem soll sie den Kältefachpersonen der Betreiber, die für Betrieb und Unterhalt zuständig sind, als Nachschlagewerk dienen.

Da viele Massnahmen den Kältemittelkreis betreffen, ist es unerlässlich, dass die Kältefachperson über eine Fachbewilligung für den Umgang mit Kältemitteln verfügt.

Sparpotenziale und Kosten

Um eine grobe Beurteilung der Massnahmen zu ermöglichen, werden ihnen ein Sparpotenzial und Kosten für die Umsetzung zugeordnet. Diese Angaben sind grobe Schätzungen. Die tatsächlichen Werte können je nach Anlage davon abweichen. In jedem Fall empfiehlt es sich, die Einsparungen und Kosten objektspezifisch zu analysieren und einen Kosten-Nutzen-Vergleich zu erstellen.

Sparpotenzial

- = klein
- = mittel
- = gross
- = sehr gross

Kosten für die Umsetzung

Da die Kosten für die Behebung von Mängeln unter anderem von der Grösse der Kälteanlage abhängig sind, wurde sie für drei Anlagegrössen (bis 15 kW, 15 bis 80 kW und grösser als 80 kW) abgeschätzt.

- ■ ■ = weniger als 1000.–
- ■ ■ = 1000 bis 5000.–
- ■ ■ = mehr als 5000.–

Objektspezifische Auslegungen beachten

Im Fokus einer Optimierung steht eine bestehende Kälteanlage. Diese wurde einst fachgerecht geplant und die einzelnen Komponenten (z.B. die Wärmeübertrager) durch den Planer objektspezifisch ausgelegt. Bei einer Optimierung muss die ursprüngliche Auslegung berücksichtigt werden. Dazu müssen die ursprünglichen Auslegungswerte in den Planungsunterlagen (Anlage-dokumentation) beigezogen werden. Diese dienen als Basis für die Beurteilung, ob ein Mangel oder Fehler besteht.

Beispiel: Temperaturdifferenz (ΔT) bei einem Lamellen-Wärmeübertrager mit überfluteter Bauweise

Gemessene Temperaturdifferenz: 8 K

Sollwert der Temperaturdifferenz gemäss Auslegung: 5 K

Richtwerte für Temperaturdifferenz (ΔT) bei einer guten Neuanlage bei Volllast (gemäss VDMA):

- sehr gut: ΔT kleiner als 3 K
- akzeptabel: ΔT 3 K bis 8 K
- schlecht: ΔT grösser als 8 K
-

Die Richtwerte werden als zusätzliche Information aufgeführt.

Sie sollen eine einfache Beurteilung der Auslegungswerte ermöglichen.

Die gemessene Temperaturdifferenz von 8 K liegt im Beispiel deutlich über dem Auslegungswert von 5 K. Mit einer Optimierung kann die Temperaturdifferenz wieder in den Bereich von 5 K geführt werden. Aufgrund der ursprünglichen Auslegung ist es jedoch nicht möglich, sehr gute Übertragungswerte zu erreichen. Will man bessere Werte (z.B. ΔT kleiner als 3 K) erreichen, muss der Wärmeübertrager ersetzt werden. Ob sich eine solche Investition auszahlt, muss jeweils situativ beurteilt werden.

Symbole, Abkürzungen

T	Temperatur (°C)
ΔT	Temperaturdifferenz
K	Kelvin
°C	Grad Celsius
TEV	Thermostatisches Expansionsventil
EEV	Elektronisches Expansionsventil
FU	Frequenzumformer
i.d.R.	in der Regel
VDMA 24247	Einheitsblatt Teil 8 des Verbandes Deutscher Maschinen- und Anlagenbau für die richtige Auswahl von Wärmeübertragern
SIA 382-1	SIA-Norm: Lüftungs- und Klimaanlage – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen
IE3	Effizienzklasse für elektrische Motoren. Basis bildet die EU-Ökodesign-Verordnungen für Motoren. Seit 2017 müssen in der Schweiz sämtliche Motorengrössen von 0,75 kW bis 375 kW mindestens der anspruchsvollen Premium-Effizienzklasse IE3 entsprechen.

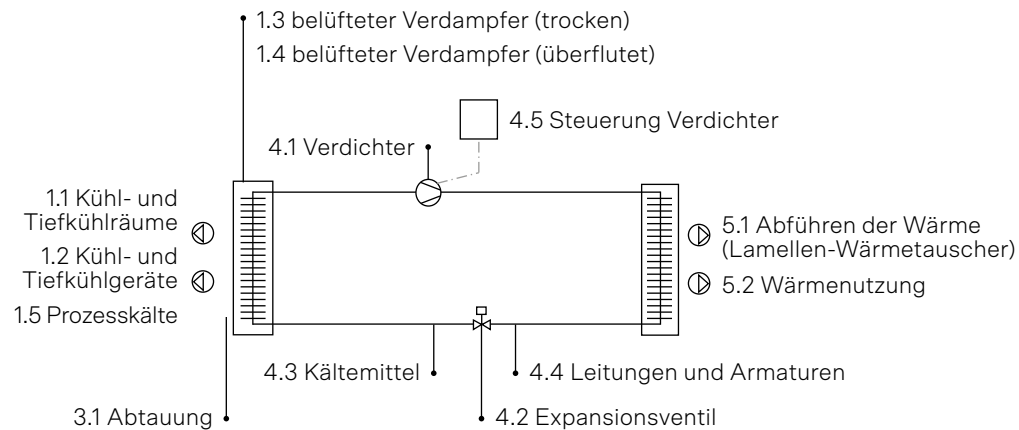
 Zusätzliche Informationen zur Massnahme

Inhalt

06	1. Kältenutzung bei Anlagen mit Direktverdampfung	31	5. Wärmeabgabe bei Kälteanlagen mit Direktverflüssiger
06	1.1 Kühl- und Tiefkühlräume	31	5.1 Abführung der Wärme über einen luftgekühlten Verflüssiger
09	1.2 Kühl- und Tiefkühlgeräte	33	5.2 Wärmenutzung
12	1.3 Anlagen mit luftgekühltem Verdampfer (trockene Arbeitsweise)	34	6. Wärmeabgabe bei Kälteanlagen mit Wärmeträger
14	1.4 Anlagen mit luftgekühltem Verdampfer (überflutete Arbeitsweise)	34	6.1 Verflüssigung mit Platten-Wärmeübertrager
15	1.5 Prozesskälte	35	6.2 Verflüssigung mit Rohrbündel-Wärmeübertrager
16	2. Kältenutzung bei Anlagen mit Kälte-träger	36	6.3 Wärmeträger-Netz
16	2.1 Luftkühler	37	6.4 Nutzung der anfallenden Wärme
17	2.2 Anlagen mit Flüssigkeitskühler (Platten-Wärmetauscher)	38	6.5 Abführen der Wärme über einen trockenen Rückkühler
18	2.3 Anlagen mit Flüssigkeitskühler (Rohrbündel-Wärmetauscher)	39	6.6 Abführen der Wärme über einen hybriden Rückkühler
19	2.4 Klimakälte	41	7. Free-Cooling
21	2.5 Kältespeicher	41	7.1 Free-Cooling (freie Kühlung)
22	2.6 Kälte-träger-Netz	42	8. Regulierung und Steuerung
25	3. Abtauung	42	8.1 Übergeordnete Regulierung
25	3.1 Abtauung	42	8.2 Instrumentierung
27	4. Kältemittel-Kreislauf	43	9. Diverses
27	4.1 Verdichter	43	9.1 Werkzeug und Material
27	4.2 Expansionsventil	43	9.2 Wartung und Unterhalt
28	4.3 Kältemittel		
29	4.4 Leitungen und Armaturen		
30	4.5 Steuerung Verdichter		

Übersicht der Systeme

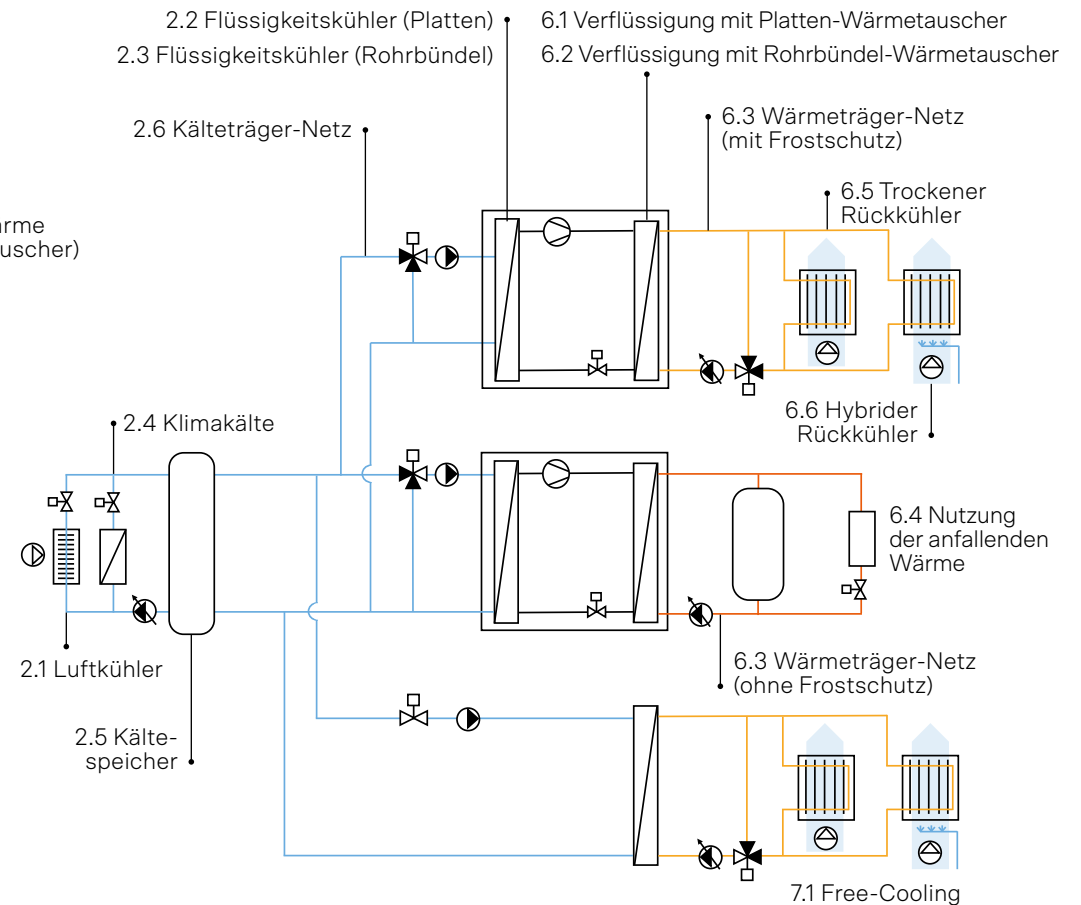
Kälteanlage mit Direktverdampfung und Direktverflüssigung



Farben der Medien

- Kältemittel
- Kälteträger
- Wärmeträger
- Wärmeträger mit Frostschutz

Kälteanlage mit Kälte- und Wärmeträger



Liste mit möglichen Fehlern und Massnahmen

1. Kältenutzung bei Anlagen mit Direktverdampfung

1.1 Kühl- und Tiefkühlräume

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Türen undicht					
→ Türen abdichten.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Türöffnungen sind zu gross für die Nutzung.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
LKW-Isolier-Andockstelle fehlt					
→ LKW-Isolier-Andockstelle einbauen (Investition).	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Warme Güter werden eingelagert					
→ Güter vor dem Einlagern möglichst auf Raumtemperatur abkühlen lassen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Kühlraum wird falsch genutzt					
→ Stapelgrenzen vorgeben und einhalten, damit die Kaltluft zirkulieren kann. Richtige Befüllung des Kühlraums (Güter nicht zu eng und zu hoch stapeln). Verdampfer- resp. Luftkühler-Platzierung und -Ausrichtung so wählen, dass der Coanda-Effekt genutzt werden kann. ⓘ Markierungen anbringen, so dass die Luft richtig zirkulieren kann. ⓘ Nicht mit den Gütern den Kaltluft-Ausblas oder Kaltluft-Ansaug versperren.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Ungewollter Wärmeeintrag					
→ Licht konsequent ausschalten (Bewegungsmelder einbauen) ⓘ Vorschriften beachten, insbesondere die Anforderungen an die Notbeleuchtung.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Bestehendes Leuchtmittel (Lampe) durch ein effizienteres ersetzen (z.B. durch LED-Lampe).	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	

Liste mit möglichen Fehlern und Massnahmen

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Ungenutzte Kühlräume					
→ Ungenutzte Kühlräume ausschalten.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Ungenutzte Tiefkühlräume (massive Bauweise)					
→ Den Temperatur-Sollwert von ungenutzten Tiefkühlräumen mit massiver Bauweise auf –5 °C anheben. <i>i</i> Werden Tiefkühlräume (massive Bauweise) ganz ausgeschaltet, besteht das Risiko, dass in der Hülle gefrorenes Wasser auftaut, sich unten sammelt, beim Wiedereinschalten erneut gefriert und den Boden hebt. <i>i</i> Hingegen können Tiefkühlzellen (Raum im Raum) ganz ausgeschaltet werden.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	Kühl- und Tiefkühlräume: 7 Energiespar-Tipps
Offene Türen					
→ Information und Schulung Personal <i>i</i> Oft lässt das Personal aus Bequemlichkeit die Türen offen. Hier und da werden die Türen auch aus Angst offen gelassen, weil man sich fürchtet, aus dem geschlossenen Tiefkühl- und Kühlraum nicht mehr herauszukommen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	Kühl- und Tiefkühlräume: 7 Energiespar-Tipps
→ Luftschottanlagen, Tür-Luftschleier, Streifenvorhänge oder Pendeltüren einbauen. <i>i</i> Der Betrieb der Luftschottanlage oder des Tür-Luftschleiers benötigt auch Energie. Die benötigte Wärme (Luft) kann allenfalls aus der (Ab-)Wärmenutzung bezogen werden. Tür-Luftschleier sind oft kostengünstiger (weil diese keine Luftkanäle benötigen und die Montage einfacher ist). Zudem sind sie komfortabler.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Nachrüsten eines Alarms, der nach einer bestimmten Öffnungszeit ausgelöst wird.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Taster einbauen, der beim Öffnen der Tür die Ventilation automatisch ausschaltet und beim Schliessen der Türe die Ventilation mit einer Verzögerung wieder einschaltet.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Raum wird zu stark gekühlt					
→ Abklären, welche Kühltemperatur die Güter verlangen, und die Temperatur dem tatsächlichen Bedarf anpassen. <i>i</i> Bei Nutzungsänderungen wird oft der alte (tiefere) Sollwert beibehalten und nicht dem aktuellen Bedarf angepasst. <i>i</i> Sollwertgrenzen fixieren, damit der Betreiber den Sollwert nicht tiefer stellen kann.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	Kühl- und Tiefkühlräume: 7 Energiespar-Tipps
→ Positionierung des Raumtemperaturfühlers prüfen und bei grossen Räumen mehrere Fühler verwenden.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	

Liste mit möglichen Fehlern und Massnahmen

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Ungünstige Raumanordnungen					
→ Kühlraum neben einem warmen Raum (Heizung): Kühlraum bei nächstem Umbau verlegen (Investition).	●●●●	■■■	■■■	■■■	
→ Kühlräume im Gebäude verteilt: Kühlräume bei nächstem Umbau nebeneinander platzieren (Investition).	●●●●	■■■	■■■	■■■	
→ Tiefkühlräume mit gekühlten Vorzonen, Schleusen ausrüsten oder eine Luftschottanlage respektive einen Tür-Luftschleier nachrüsten (Investition).	●●●●	■■■	■■■	■■■	
Kühlraum ist schlecht gedämmt					
→ Raum/Gebäude nachdämmen (Investition). ❗ Punktuelle Schimmelpilzbildung kann ein Indikator für Kältebrücken sein.	●●●●	■■■	■■■	■■■	
Schimmelpilz im Kühlraum Schimmelpilzbildung ist aus hygienischer Sicht problematisch. Ist die Kälteanlage zu gross dimensioniert, dann hat die Anlage kurze Laufzeiten. Eine gut ausgelegte Anlage ist 12 bis 18 Stunden am Tag in Betrieb. Betriebsstundenzähler einbauen und Laufzeiten der Kälteanlage überprüfen.					
→ Überprüfen, ob die Ventilation den ganzen Raum durchspült oder ob es «tote» Zonen gibt. Allenfalls die Regale neu positionieren.	●●●●	■■■	■■■	■■■	
Ein Verbraucher ist deutlich ineffizienter als alle anderen					
→ Den ineffizientesten Verbraucher, der die tiefste Verdampfungstemperatur benötigt, eliminieren, austauschen oder optimieren.	●●●●	■■■	■■■	■■■	
Der Thermostat der Kühlstelle ist falsch platziert					
→ Thermostat so platzieren, dass er effektiv misst (d.h. nicht direkt am Ausblas oder bei der Tür). Überprüfen, ob der eingestellte Wert der Raumtemperatur entspricht.	●●●●	■■■	■■■	■■■	

1.2 Kühl- und Tiefkühlgeräte (Möbel, Vitrinen, Truhen, Regale)

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Steckerfertige Geräte: Kondensator ist verschmutzt					
→ Verflüssiger (Kondensatoren) reinigen (von Staub und Dreck befreien).	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■		<u>Leitfaden mit Massnahmen zur Optimierung von Kälteanlagen Seiten 3 bis 5</u>
Türen sind undicht					
→ Türen abdichten.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■		
→ Schliessmechanismus reparieren.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■		
Türen stehen oft offen					
→ Information und Schulung Personal.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■		<u>Kühl- und Tiefkühlmöbel: 7 Energiespar-Tipps</u>
→ Nachrüsten eines Alarms, der nach einer bestimmten Öffnungszeit der Türen ein akustisches Signal sendet. ⓘ Massnahme ist möglich, aber in der Praxis aufwendig und fehleranfällig.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■		
Es werden warme Güter eingelagert					
→ Nur gekühlte Güter in die Kühlmöbel einräumen. ⓘ Kühlgeräte sind nicht zum Abkühlen, sondern für die Temperaturhaltung gedacht. ⓘ Anlieferung der Güter in Kühl- oder Isolierbox und nicht auf offenem Rollwagen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■		
→ Güter, die nicht gekühlt werden müssen, gehören nicht ins Kühlgerät. ⓘ Viele Güter – wie diverse Trockenfleischwaren –, die unter Schutzatmosphäre abgepackt wurden, müssen im Laden nicht gekühlt werden. Die Hersteller beschriften die Produkte jeweils mit der notwendigen Lagertemperatur.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■		<u>Kühl- und Tiefkühlmöbel: 7 Energiespar-Tipps</u>
Geräte sind falsch beladen (die Güter sind zu eng und zu hoch gestapelt)					
→ Stapelgrenzen vorgeben und einhalten, damit die Kaltluft zirkulieren kann. ⓘ Markierungen anbringen, damit die Mitarbeitenden den Nutzplatz einfach erkennen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■		<u>Kühl- und Tiefkühlmöbel: 7 Energiespar-Tipps</u>

Liste mit möglichen Fehlern und Massnahmen

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
	bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW		
Schneebildung, Dauerlauf des Gerätes oder Nichterreichen der Temperatur					
→ Ungewollter Wärmeeintrag 1: Klappen der Lüftungsanlage (Gebäudelüftung) so einstellen, dass keine (warme) Luft ins Kühlgerät geblasen wird. Kontrolle mit Rauchtest. <i>i</i> Die Luftauslässe der Lüftung werden bei der Schlusskontrolle der Kälteanlage meistens richtig eingestellt. Bei einer Kontrolle nach 1 bis 2 Jahren stellt man oft fest, dass die Blasrichtung geändert wurde und nun (warme) Luft aus der Lüftungsanlage direkt in die Kühl- und Gefriergeräte bläst. Vielen Betreibern ist die Auswirkung nicht klar.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■		
→ Ungewollter Wärmeeintrag 2: Abluft von «Stolpertruhen» strömt in andere Kühlbereiche. (Mobile) Kühlgeräte (z.B. bei Aktionen) so aufstellen, dass die warme Abluft nicht in die Kühlgeräte geblasen wird. <i>i</i> Die Ausblasrichtung der warmen Abluft mit einem auffälligen Pfeil beschriften, damit der Kunde bei der saisonalen Platzierung einfacher darauf achten kann.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■		Kühl- und Tiefkühlmöbel: 7 Energiespar-Tipps
→ Ungewollter Wärmeeintrag 3: Erwärmung durch die Beleuchtung. Punktbeleuchtung auf Kühlgerät vermeiden oder Halogen-Lampen durch LED-Lampen ersetzen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■		
Schlecht gefüllte Kühlgeräte					
→ Kühlgeräte, die nicht genutzt werden, ausschalten.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■		
Luftschleier der Kühlregale wird gestört					
→ Mit einer Schnellschliessstüre am Gebäude eine Querlüftung durch den Laden vermeiden, da der Durchzug die Luftvorhänge der Kühlregale beeinträchtigt und warme Luft in die Regale geführt wird.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■		
Kühlgerät ist auch in ungenutzten Zeiten «offen»					
→ Geräte über Nacht abdecken. <i>i</i> Bei Abdeckungen, die durch die Angestellten geschlossen werden müssen, kann dies zu Akzeptanz-Problemen führen (fehlende Zeit, um die Möbel abzudecken).	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■		Kühl- und Tiefkühlmöbel: 7 Energiespar-Tipps
→ Geräte übers Wochenende und an Feiertagen abdecken <i>i</i> Geräte ausserhalb der Öffnungszeiten immer abdecken und die Sollwerte der Kälteerzeugung der (stark) reduzierten Last anpassen (Verdampfungstemperatur entsprechend erhöhen).	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■		

Liste mit möglichen Fehlern und Massnahmen

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
→ Falls möglich, die Ware aus den Verkaufstheken (i.d.R. Frischware) ausserhalb der Verkaufszeiten im Kühlraum lagern und die Verkaufstheken ausschalten.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■		
→ Nachrüsten Gefriertruhe mit einer Abdeckung. <i>i</i> Glasschiebeabdeckungen bei Gefriertruhen sollten heute Standard sein. Abdeckungen reduzieren auch die Anzahl Abtauungen und sparen damit zusätzlich Energie.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■		
→ Kühltruhe mit einer Abdeckung nachrüsten.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■		<u>Pluskühlregale erfolgreich mit Glastüren nachrüsten</u>
→ Nachrüsten der Kühlregale mit Rollos oder Türen <i>i</i> Kühlregale mit Isolier-Glastüren reduzieren den Kältebedarf um bis zu 45 Prozent. Die Anlage kann dadurch kleiner dimensioniert werden, sofern die Verdampfungstemperatur auch angehoben werden kann. Relativ einfach geht dies, indem ein 2. Sollwert für den Nachtbetrieb vorgesehen und dieser mit der Raumbeleuchtung gekoppelt wird. Dann schaltet er um, sobald am Abend das Licht gelöscht wird.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■		<u>Pluskühlregale erfolgreich mit Glastüren nachrüsten</u>
Gerät wird zu stark gekühlt					
→ Abklären, welche Kühltemperatur die Güter verlangen, und die Temperatur dem tatsächlichen Bedarf anpassen. Bei Nutzungsänderungen wird oft der alte (tiefe) Wert beibehalten und unnötig Energie verbraucht. <i>i</i> Tabellen zu den Kühltemperaturen können bei den Lieferanten bezogen werden.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■		<u>Kühl- und Tiefkühlmöbel: 7 Energiespar-Tipps</u>
→ Positionierung des Sollwerttemperaturfühlers im Gerät prüfen. Wurde der Fühler gemäss den Herstellerunterlagen platziert und kann der Fühler die Temperatur richtig erfassen?	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■		<u>Kühl- und Tiefkühlmöbel: 7 Energiespar-Tipps</u>
Steckerfertiges Gerät ist schlecht gedämmt					
→ Gerät ersetzen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■		

1.3 Anlagen mit einem belüfteten Lamellen-Verdampfer mit trockener Arbeitsweise

Temperaturdifferenz der Wärmeübertragung gemäss VDMA 24247-8, Seite 13

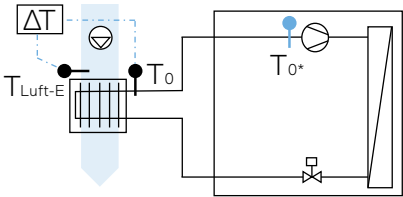
$$\Delta T = T_{\text{Luft-E}} - T_0$$

$T_{\text{Luft-E}}$ = Lufttemperatur Eintritt Verdampfer
 T_0 = Verdampfungstemperatur des Kältemittels direkt am Verdampfer-Austritt

T_{0^*} Wird die Verdampfungstemperatur am Verdichter-Eintritt gemessen (T_{0^*}), darf das ΔT 1 bis 2 K höher sein.

Richtwert ΔT für Neuanlagen bei Volllast mit TEV sehr gut = ΔT kleiner als 8 K
 mit EEV sehr gut = ΔT kleiner als 5 K

Wichtig: Die Temperaturdifferenz ist nicht zu verwechseln mit der vor Ort eingestellten Überhitzungstemperatur ($\Delta T_{\text{Überhitzung}}$).



Leitfaden mit Massnahmen zur Optimierung von Kälteanlagen Seite 15

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Bei Anlagen mit einem thermostatischen Expansionsventil TEV ist die Wärmeübertragung mangelhaft und optimierbar Sollwert der Temperaturdifferenz (ΔT) der ursprünglichen Auslegung nachschlagen und mit der aktuellen Temperaturdifferenz vergleichen. Bei einer Abweichung:					
→ Verdampfer reinigen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Überhitzung korrekt einstellen, indem das «Minimale Stabile Signal» (MSS) der Überhitzung angepasst wird. ⓘ TEV werden oft nicht korrekt eingestellt, weil dies zeitaufwändig ist.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Dimensionierung des TEV kontrollieren und bei falscher Dimensionierung ist ein neues einbauen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Positionierung des Fühlers überprüfen und, falls dieser an der falschen Stelle misst, diesen korrekt platzieren.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Überprüfen, ob sich die Betriebsbedingungen (Beschickung etc.) geändert haben und, falls notwendig, die Überhitzung so einstellen, dass sie dem aktuellen Bedarf entspricht.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	

Liste mit möglichen Fehlern und Massnahmen

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW			
Bei Anlagen mit einem thermostatischen Expansionsventil TEV ist die Wärmeübertragung aufgrund der ursprünglichen Auslegung mangelhaft Der Wärmeübertrager wurde ursprünglich so ausgelegt, dass seine Soll-Temperaturdifferenz deutlich über 10 K (Richtwert für eine gute Neuanlage) liegt.					
→ Prüfen, ob es sich lohnt, den Verdampfer zu ersetzen (Investition).	●●●●	■■■	■■■	■■■	
Bei Anlagen mit einem elektronischen Expansionsventil EEV ist die Wärmeübertragung mangelhaft, aber optimierbar Sollwert der Temperaturdifferenz (ΔT) gemäss der ursprünglichen Auslegung nachschlagen und mit der aktuellen Temperaturdifferenz vergleichen. Bei einer Abweichung:					
→ Verdampfer reinigen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Überhitzung korrekt einstellen. Die Werte von Drucktransmitter und Sauggasfühler mit dem eigenen Manometer abgleichen und kalibrieren. Die Erfahrung zeigt, dass die Drucktransmitter oft ohne jegliche Kontrolle der Werte betrieben werden. ❗ Bei EEV wird oft angenommen, dass sich die Temperatur von alleine optimiert. Doch das funktioniert nur bei EEV mit additiver Betriebsweise. Die Praxis zeigt, dass der Kältemonteur bei der Betriebswahl oft nicht die additive Betriebsweise wählt und sich die Anlage daher nicht selber optimiert.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Positionierung des Fühlers überprüfen und, falls dieser an der falschen Stelle misst, diesen korrekt platzieren.	●●●●	■■ ■	■■ ■	■■ ■	
→ (Messwert-)Fehler beim Druckmessumformer: Druckmessumformer überprüfen. ❗ Drucktransmitter jährlich überprüfen und kalibrieren.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Bei Anlagen mit einem elektronischen Expansionsventil EEV ist die Wärmeübertragung aufgrund der ursprünglichen Auslegung mangelhaft Der Wärmeübertrager wurde ursprünglich so ausgelegt, dass seine Soll-Temperaturdifferenz deutlich über 7 K (Richtwert für eine sehr gute Neuanlage) liegt.					
→ Prüfen, ob es sich lohnt, den Verdampfer zu ersetzen (Investition).	●●●●	■■■	■■■	■■■	Leitfaden mit Massnahmen zur Optimierung von Kälteanlagen Seite 15

1.4 Anlagen mit einem belüfteten Lamellen-Verdampfer mit überfluteter Arbeitsweise

Temperaturdifferenzen der Wärmeübertragung gemäss VDMA 24247-8, Seite 14

$\Delta T = T_{\text{Luft-E}} - T_0$

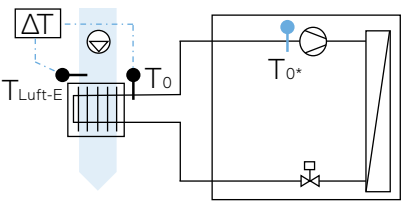
$T_{\text{Luft-E}}$ = Lufttemperatur Eintritt Verdampfer
 T_0 = Verdampfungstemperatur des Kältemittels direkt am Verdampfer-Austritt

T_{0^*} Wird die Verdampfungstemperatur am Verdichter-Eintritt gemessen (T_{0^*}), darf das ΔT 1 bis 2 K höher sein.

Die Richtwerte für Neuanlagen bei Volllast

sehr gut	ΔT kleiner als 3 K
akzeptabel	ΔT 3 K bis 8 K
schlecht	ΔT grösser als 8 K

Wichtig: Die Temperaturdifferenz ist nicht zu verwechseln mit der vor Ort eingestellten Überhitzungstemperatur ($\Delta T_{\text{Überhitzung}}$).



Leitfaden mit Massnahmen zur Optimierung von Kälteanlagen Seite 15

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Wärmeübertragung ist mangelhaft und optimierbar Sollwert der Temperaturdifferenz (ΔT) der ursprünglichen Auslegung nachschlagen und mit der aktuellen Temperaturdifferenz vergleichen. Bei einer Abweichung:					
→ Verdampfer reinigen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Wärmeübertragung ist aufgrund der ursprünglichen Auslegung mangelhaft Der Wärmeübertrager wurde ursprünglich so ausgelegt, dass seine Soll-Temperaturdifferenz deutlich über 3 K (Richtwert für eine sehr gute Neuanlage) liegt.					
→ Prüfen, ob es sich lohnt, den Verdampfer zu ersetzen (Investition).	●●●●	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	
→ Überprüfen ob sich die Betriebsbedingungen (Beschickung etc.) geändert haben, und bei Überhitzung den aktuellen Bedarf einstellen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	

1.5 Prozesskälte

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Warme Produkte werden eingelagert → Güter vor der Kühlung auf Raumtemperatur abkühlen. ⓘ Prozesse überdenken und eine Kühlung in Stufen vorsehen. Dieser Aufbau ist bei kleinen Anlagen eher teuer. Bei grösseren Anlagen kann diese Lösung auch wirtschaftlich interessant sein. ⓘ Eine Ausnahme sind Lebensmittel, die so schnell wie möglich abgekühlt werden müssen, um die Hygienevorschriften einzuhalten.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	
Raumtemperatur ist zu tief für die Nutzung → Bedürfnisse klären.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	
Ein Verbraucher ist deutlich ineffizienter als alle anderen → Den ineffizientesten Verbraucher, der die tiefsten Verdampfungs- oder Kaltwassertemperaturen aufweist, eliminieren, austauschen oder optimieren.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	

2. Kältenutzung bei Anlagen mit Kälteträger

2.1 Luftkühler mit einem Lamellen-Übertrager

Temperaturdifferenzen der Wärmeübertragung gemäss VDMA 24247-8, Seite 15

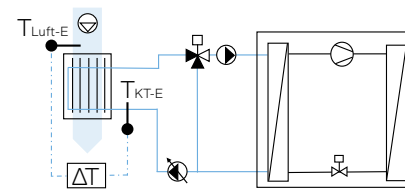
$$\Delta T = T_{\text{Luft-E-R}} - T_{\text{KT-E}}$$

$T_{\text{Luft-E-R}}$ = Lufttemperatur beim Eintritt in den Kühler

$T_{\text{KT-E}}$ = Temperatur des Kälteträgers beim Eintritt in den Luftkühler

Die Richtwerte ΔT für Neuanlagen bei Volllast

sehr gut	ΔT kleiner als 7 K
akzeptabel	ΔT 7 K bis 10 K
schlecht	ΔT grösser als 10 K



Leitfaden mit Massnahmen zur Optimierung von Kälteanlagen Seite 15

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
	bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW		
Wärmeübertragung ist mangelhaft und optimierbar Sollwert der Temperaturdifferenz (ΔT) der ursprünglichen Auslegung nachschlagen und mit der aktuellen Temperaturdifferenz vergleichen. Bei einer Abweichung:					
→ Kühler reinigen.	●●●●	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	
Wärmeübertragung ist aufgrund der ursprünglichen Auslegung mangelhaft Der Wärmeübertrager wurde ursprünglich so ausgelegt, dass seine Soll-Temperaturdifferenz deutlich über 7 K (Richtwert für eine sehr gute Neuanlage) liegt.					
→ Prüfen, ob es sich lohnt, den Kühler zu ersetzen (Investition).	●●●●	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	
Ventilator ist in einem schlechten Zustand					
→ Flügel reinigen, ölen.	●●●●	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	
→ Lager (Motor, Flügelrad) streifen: Ventilator ersetzen.	●●●●	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	
Luftzuführung über einen Textilschlauch: vereister Luftkühler					
→ Textilschlauch reinigen (waschen).	●●●●	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	
→ Ventilator durch stärkeres Modell auswechseln.	●●●●	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	

Liste mit möglichen Fehlern und Massnahmen

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Temperaturgefälle im Raum (Schimmelbildung im Kühlraum)					
→ Luftkühler ist im Raum falsch positioniert, dadurch wird der Raum nicht gleichmässig durchspült: zusätzlichen Kühler nachrüsten.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Luft wird nicht genügend entfeuchtet.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Kühlleistung zu knapp: zusätzlichen Kühler nachrüsten.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	

2.2 Anlagen mit Flüssigkeitskühler und Platten-Wärmetauscher

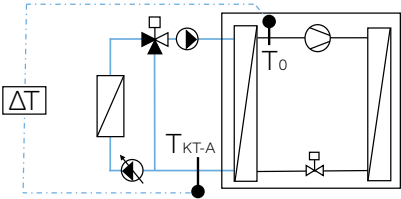
Temperaturdifferenzen der Wärmeübertragung gemäss VDMA 24247-8, Seite 16

$\Delta T = T_{KT-A} - T_0$

T_{KT-A} = Temperatur des Kälteträgers am Verdampfer-Austritt
 T_0 = Verdampfungstemperatur des Kältemittels am Verdampfer-Austritt

Die Richtwerte ΔT für Neuanlagen bei Volllast

sehr gut	ΔT kleiner als 2 K
akzeptabel	ΔT 2 K bis 6 K
schlecht	ΔT grösser als 6 K



Leitfaden mit Massnahmen zur Optimierung von Kälteanlagen Seite 15

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Wärmeübertragung ist mangelhaft und optimierbar Sollwert der Temperaturdifferenz (ΔT) der ursprünglichen Auslegung nachschlagen und mit der aktuellen Temperaturdifferenz vergleichen. Bei einer Abweichung:					
→ Kühler reinigen. Verschraubte Modelle: öffnen und mechanisch reinigen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Wärmeübertragung ist aufgrund der ursprünglichen Auslegung mangelhaft Der Wärmeübertrager wurde ursprünglich so ausgelegt, dass seine Soll-Temperaturdifferenz deutlich über 2 K (Richtwert für eine sehr gute Neuanlage) liegt.					
→ Prüfen, ob es sich lohnt, den Kühler zu ersetzen (Investition).	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	

2.3 Anlagen mit Flüssigkeitskühler und Rohrbündel-Wärmetauscher

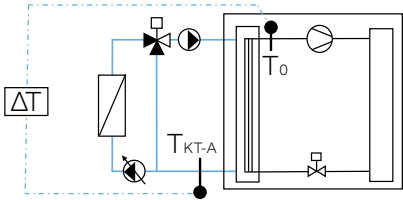
Temperaturdifferenzen der Wärmeübertragung gemäss VDMA 24247-8, Seite 18

$\Delta T = T_{KT-A} - T_0$

T_{KT-A} = Temperatur des Kälteträgers am Verdampfer-Austritt
 T_0 = Verdampfungstemperatur des Kältemittels am Verdampfer-Austritt

Die Richtwerte ΔT für Neuanlagen bei Volllast

sehr gut	ΔT kleiner als 3 K
akzeptabel	ΔT 3 K bis 5 K
schlecht	ΔT grösser als 5 K



Leitfaden mit Massnahmen zur Optimierung von Kälteanlagen Seite 15

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Wärmeübertragung ist mangelhaft und optimierbar Sollwert der Temperaturdifferenz (ΔT) der ursprünglichen Auslegung nachschlagen und mit der aktuellen Temperaturdifferenz vergleichen. Bei einer Abweichung:					
→ Kühler reinigen. – Verschraubte Modelle: öffnen und mechanisch reinigen. – Verschweisste Modelle: chemisch reinigen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Wärmeübertragung ist aufgrund der ursprünglichen Auslegung mangelhaft Der Wärmeübertrager wurde ursprünglich so ausgelegt, dass seine Soll-Temperaturdifferenz deutlich über 3 K (Richtwert für eine sehr gute Neuanlage) liegt.					
→ Prüfen, ob es sich lohnt, den Verdampfer zu ersetzen (Investition).	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Ersatz durch einen Plattentaucher prüfen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	

2.4 Klimakälte

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Unnötige Verbraucher im Betrieb					
→ Verbrauch überprüfen, unnötige Verbraucher abstellen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Zu trockene Luft im Raum					
→ Die Luft wird zu stark entfeuchtet. Kaltwasser-Sollwerte überprüfen. <i>i</i> SIA-Richtwerte für Komfortlüftung beachten.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	Siehe auch Kurzfassung SIA 382-1 von EnergieSchweiz
Anlage wird nicht dem effektiven Bedarf angepasst betrieben					
→ Bedarf bei tieferen Aussentemperaturen überprüfen, Kühlgrenze neu einstellen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Schiebung der Sollwerte, d.h. Schiebung für unterschiedliche Betriebsweise wie Sommer/Winter.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Kältebedarf Klimaanlage mittels adiabatischer Kühlung (Luftwäscher) reduzieren, d.h. Feuchtesollwert nach Aussentemperatur schieben.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Kälteanlage läuft ausserhalb der Nutzungszeiten (Betrieb ohne Nutzen)					
→ Betriebszeiten Kälteanlage auf das Bedürfnis der Kälteverbraucher anpassen (Schaltuhr korrekt einstellen und Tag/Nacht; Woche/Wochenende; Feiertage unterscheiden).	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Ein Verbraucher ist deutlich ineffizienter als alle anderen. Den ineffizientesten Verbraucher, der die tiefste Verdampfungstemperatur benötigt, identifizieren und klären, warum die Verdampfungstemperatur so tief ist und ob sie angehoben werden könnte.					
→ Den Verbraucher so optimieren, dass die Temperatur angehoben werden kann.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Falls dies nicht möglich ist, einen Ersatz prüfen (Investition).	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	

Liste mit möglichen Fehlern und Massnahmen

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Falsche Steuer- und Regelfunktionen					
→ Sollwerte und -funktionen überprüfen, evtl. dem effektiven Bedarf anpassen (kein Hochmischen). Regelung so gestalten, dass in der Übergangszeit nicht gleichzeitig geheizt und gekühlt wird.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Überprüfen, ob die «Freigabe der Kälteanlage» korrekt eingestellt ist. Falls die Freigabe bei zu tiefen Aussentemperaturen erfolgt, eine höhere «Einschalttemperatur» einstellen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Speicherbewirtschaftung und Hydraulikfunktion prüfen – Koordination mit Heizung, Lüftung.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Regulierung auf dynamisches Verhalten überprüfen. ⓘ Bei praktisch jeder Intervention bei einem Temperaturproblem wurden vorgehend durch den Techniker unnötigerweise Einstellungen verändert, und so das System aus dem «Gleichgewicht» gebracht.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Massenströme minimieren					
→ Temperaturdifferenz über Verbraucher messen, nach Möglichkeit vergrössern, d.h. > 6 K. ⓘ Bei schlechten Wärmeübertrager-Eigenschaften oft nicht möglich. Bei Kühldecken Kondensatbildung beachten (z.B. wenn warme Aussenluft in den Raum strömt).	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Die Verbraucher mit variablem Massenstrom bedienen und so die Wassermengen verringern. ⓘ Bei schlechten Wärmeübertrager-Eigenschaften oft nicht möglich. Bei Kühldecken Kondensatbildung beachten.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ «Hochmischen» hinterfragen, eventuell Verdampfungstemperatur anheben (Wirkungsgrad, Leistungsziffer). ⓘ Separate Anlage für die Anwendungen prüfen, die eine tiefere Temperatur benötigen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Wirkungsgrad resp. Leistungsziffer überprüfen. ⓘ Siehe auch SIA 382-1.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	Siehe auch Kurzfassung SIA 382-1 von EnergieSchweiz
Gleichzeitig heizen und kühlen					
→ Gebäudeleitsystem richtig einstellen. Wo keines vorhanden ist, mittels gegenseitiger Verriegelung sicherstellen, dass im Gebäude nicht gleichzeitig geheizt und gekühlt werden kann.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	

2.5 Kältespeicher

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Schnelle Lastwechsel					
→ Speichersteuerung überprüfen und korrekt einstellen.	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Kälteleistung des Verdichters mit einem Frequenzumrichter senken und so die Schaltzyklen minimieren.	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Häufiges Ein- und Ausschalten des Verdichters (Takten) ist ein Indikator, dass der Kältespeicher zu klein dimensioniert wurde. Sofern möglich, grösseren Speicher nachrüsten.	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Die Speicherladepumpe (Kaltwasserpumpe) fördert zu viel Wasser					
→ Einstellungen überprüfen und Pumpe richtig einstellen.	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Die Erzeugerpumpe läuft ununterbrochen					
→ Einstellungen überprüfen und Pumpe richtig einstellen.	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Schichtungsprobleme im Kältespeicher					
→ Es wurde kein hydraulischer Abgleich gemacht. Hydraulik abgleichen. Einstellungen Kälteträger-Pumpe überprüfen. ⓘ Faustregel: Der Volumenstrom über den Erzeuger sollte ca. 5 Prozent höher sein als der Volumenstrom über die Verbraucher.	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	Siehe auch Fachbuch «Fondamentaux d'Hydraulique Pratique»
→ Allenfalls ist der Kältespeicher zu klein dimensioniert. Sofern möglich, grösseren Speicher nachrüsten.	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Bei objektspezifisch gefertigten Speichern kann eine ungeeignete Konstruktion des Speichers zu Schichtungsproblemen führen. Speicher ersetzen.	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Zu kleine Wassergeschwindigkeit im Speicher verhindert eine aktive Schichtung. Mögliche Hindernisse wie Prallplatten entfernen und Durchströmung erhöhen.	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Zu grosse Eintrittsgeschwindigkeit des Wassers in den Speicher (mehr als 0,3 m/s) führt zu Turbulenzen und macht die Schichtung kaputt. Wassergeschwindigkeit reduzieren oder Anschlussleitung vergrössern. ⓘ Die Strömungsgeschwindigkeiten sind oft nur schwer ermittelbar (evtl. berechnen aufgrund der Wassermenge und des Leitungsdurchmessers).	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	

Liste mit möglichen Fehlern und Massnahmen

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Zu tiefe Verdampfungstemperaturen im Eisspeicher					
→ Überprüfen Sie, ob der Wärmetauscher verschmutzt ist, und reinigen Sie diesen bei Bedarf.	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	Auf die verschiedenen Bauarten der Eisspeicher (DX/KTS-Platten, Rohre etc.) wird nicht weiter eingegangen.
2.6 Kälteträger-Netz					
Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Fehlende Dämmung der Leitungen					
→ Leitungen, Speicher und Armaturen bei Bedarf nachdämmen.	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Kondensatbildung an der Dämmung					
→ Bei ungenügender Dämmung die Stärke erhöhen bzw. neue Dämmung einbauen, sowie die Rohrabstände beachten, dass zwischen den Rohren genügend Luftzirkulation gewährleistet ist.	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Der Druckverlust im Wärmeübertrager ist grösser als 0,8 bar					
→ Verschmutzung prüfen	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	Siehe DIN 2440, Recknagel Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik und VDMA 24247
Der Druckverlust im Leitungsnetz ist grösser als 1,5 mbar/m (150 Pa/m)					
→ Verschmutzung prüfen, Kälteträger auswechseln.	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Druckverlust Rohrnetz prüfen und allenfalls auswechseln.	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Wegfall von Komponenten (Verbrauchern, Kühlstellen) führt zu grösseren Wassergeschwindigkeiten und zu einem hohen Druckabfall im System bei Serienschaltung von Verbrauchern oder nach dem Tichelmann-System.	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	

Liste mit möglichen Fehlern und Massnahmen

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Die Pumpenleistung ist grösser als 1 Prozent der Verflüssigungsleistung bei Volllast Pumpen sollten generell eine hohe Effizienz (IE3) aufweisen.					
→ Dimensionierung überprüfen, evtl. kleine Stufe wählen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Steuerung der Pumpen anpassen. evtl. Frequenzumformer nachrüsten.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Der Kälte­träger hat sich chemisch verändert (Inhibitoren-Konzentration)					
→ Kälte­träger auswechseln oder Inhibitoren ergänzen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Der Kälte­träger mit Inhibitor					
→ Inhibitoren-Konzentration messen und allenfalls richtige Konzentration herstellen. ⓘ Inhibitoren müssen bei der Bestellung des Kälte­trägers explizit aufgeführt werden (nicht nur den Glykolgehalt angeben).	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Glykolkonzentration ist zu hoch					
→ Glykolkonzentration überprüfen. ⓘ Bei einer zu hohen Glykolkonzentration sinkt die Wärmekapazität des Kälte­trägers und die Viskosität nimmt zu.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Die Spreizung der Kälte­träger-Temperatur ist kleiner als 4 K Eine zu kleine Spreizung führt zu einem höheren Volumenstrom und einem erhöhten Energieverbrauch der Umwälzpumpen. Beispiel: Bei 6 K Spreizung beträgt der Volumenstrom 100 Prozent. Reduziert sich die Spreizung auf 3 K, muss der Volumenstrom auf 200 Prozent erhöht werden.					
→ Falls Verbraucher zu- oder abgehängt wurden, müssen die Leistung der Kältemaschine und die Förderleistung der Pumpen überprüft und angepasst werden (evtl. FU nachrüsten oder Pumpe ersetzen).	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Die Spreizung der Kälte­trägertemperatur ist grösser als 8 K Eine zu grosse Spreizung führt evtl. zu tiefer Verdampfungstemperatur und erhöhtem Energiebedarf.					
→ Sind zusätzliche Verbraucher dazugekommen muss das hydraulische System neu abgeglichen und der Fördervolumenstrom der Pumpen geprüft werden.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	

Liste mit möglichen Fehlern und Massnahmen

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
→ Luftkühler und Pumpe prüfen, ersetzen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	
→ Variable Volumenströme prüfen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	
Schwankende Temperaturen, Maschine taktet					
→ Zu langsame Antriebe und Ventile eingesetzt? Durch schnelle Modelle ersetzen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	
→ Falsch gewählte Pumpen oder überdimensionierte Pumpen ersetzen resp. mit FU drosseln resp. regeln.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	
→ Funktion der hydraulischen Weiche überprüfen. Falls diese zu klein oder zu gross dimensioniert wurde, die Weiche so abändern, dass die Maschine möglichst lange läuft und sie wenig ein- und ausschaltet.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	
→ Ist die Kälteanlage überdimensioniert? Die Leistung des Verdichters mit einem Frequenzumformer (FU) reduzieren.	●●●●	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	
Fehler im Aufbau der hydraulischen Schaltung bzw. Einbindung					
→ Hydraulische Schaltungen auf richtige Funktionalität überprüfen und bei Bedarf korrigieren.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	
Armaturen und Komponenten sind überdimensioniert					
→ Dimensionierung auf Übereinstimmung mit effektivem Betrieb prüfen, bei Bedarf anpassen bzw. durch richtige Dimension ersetzen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	
→ Pumpenleistung überprüfen bzw. optimieren.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	
Verteilung falsch dimensioniert					
→ Verteilnetz überprüfen und Pumpenleistung dem Bedarf anpassen, evtl. drehzahlgeregelte Pumpen einsetzen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	
→ Hydraulischen Systemabgleich vornehmen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	
Druckabfall über Ventile zu hoch					
→ Ventil richtig dimensionieren. ⓘ Hohe Ventilautorität bei genauer Regulierung erforderlich.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	

3. Abtauung

3.1 Abtauung

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Verdampfer taut mehr als 2 Mal pro Tag ab (Lamellen sind dauernd vereist)					
→ Abtauvorgang optimieren, evtl. mit einer Bedarfsabtauung (neuen Kühlstellenregler, intelligente Abtausteuering einsetzen).	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	Leitfaden mit Massnahmen zur Optimierung von Kälteanlagen Seiten 8/9
→ Fühler richtig platzieren.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Der Abstand der Lamellen ist zu gering, der Wärmetauscher muss ersetzt werden.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Energieaufwand für das Abtauen ist hoch					
→ Klappen fehlen: Nachrüsten des Verdampfers mit Textilschläuchen (Shut-up), die den Verdampfer schliessen, sobald der Ventilator nicht mehr im Betrieb ist.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Nachrüsten des Verdampfers mit einem Leitbogen (Haube) auf der Ansaugseite, der die Wärme während dem Abtauvorgang zurückhält (reduziert auch die Eisbildung).	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Während dem Abtauvorgang schliessen die Klappen nicht mehr dicht: Klappen reparieren (hauptsächlich bei Industrieprojekten anzutreffen).	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Abtauzeiten sind nicht richtig eingestellt (nicht bedarfsabhängig)					
→ Abtauzeiten richtig einstellen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Ablaufheizung ist dauernd in Betrieb					
→ Nachrüstung der Steuerung, damit die Heizung nur bei Bedarf zuschaltet. Oder selbstregulierendes Heizkabel verwenden.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	Leitfaden mit Massnahmen zur Optimierung von Kälteanlagen Seiten 8/9
→ Ablaufheizung parallel mit Abtauheizung betreiben oder die Ablaufheizung verzögert ausschalten.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Wannenheizungen werden ev. nicht immer benötigt (z.B. bei 0 °C Kühlräumen).	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	

Liste mit möglichen Fehlern und Massnahmen

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Beheizte Abläufe sind nicht isoliert					
→ Beheizte Abläufe isolieren und über möglichst kurze Strecken im gekühlten Raum führen.	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Mittlere Bereifungsdicke (Eisablagerung) ist grösser als 0,5 mm					
→ Bedarfsabtauung nachrüsten.	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Die Anlage ist nicht mit einer Bedarfsabtauung ausgerüstet und die Oberflächentemperatur der Lamellen beträgt im Mittel weniger als 0 °C					
→ Bedarfsabtauung nachrüsten resp. kontrollieren.	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	

4. Kältemittel-Kreislauf

4.1 Verdichter

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Die Ventilplatte ist abgenutzt					
→ Wechseln Sie die Ventilplatte aus. Undichte Blattventile verringern die Energieeffizienz der Anlage.  Im Tiefkühlbereich sollte die Ventilplatte erfahrungsgemäss etwa alle 3 Jahre ausgetauscht werden.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Carterheizung im Dauerbetrieb					
→ Die Steuerung so anpassen, dass die Carterheizung nur bei Bedarf in Betrieb ist.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Zusatzlüfter für die Kühlung des Verdichters sind dauernd in Betrieb					
→ Zusatzlüfter so steuern, dass sie nur dann laufen, wenn der Verdichter in Betrieb ist.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	

4.2 Expansionsventil

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Betrieb der Anlage ist instabil					
→ Expansionsventil oder Düse ist zu gross: durch richtig dimensionierte Ventile, Düsen ersetzen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Flashgasbildung führt ebenfalls zu diesem Effekt, d.h. Unterkühlung prüfen (Filtertrockner, Kältemittelinhalt, etc.).	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Elektronisches Expansionsventil EEV korrekt einstellen und regelmässig kontrollieren.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	<u>Leitfaden mit Massnahmen zur Optimierung von Kälteanlagen Seiten 14</u>
→ Positionierung des Fühlers überprüfen und, falls dieser an der falschen Stelle misst, diesen korrekt platzieren.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Thermostatische Expansionsventile TEV: Minimal Stabiles Signal (MSS) der Überhitzung ist zu gross Durch ein zu grosses MSS wird der Verdampfer nicht optimal ausgenutzt, was zu längeren Laufzeiten der Kälteerzeugung führt, resp. zum Nichterreichen der gewünschten Temperatur führt.					
→ Prüfen, ob das Expansionsventil oder die Düse zu klein dimensioniert wurden, und allenfalls durch ein korrekt dimensioniertes Ventil resp. Düse ersetzen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	

Liste mit möglichen Fehlern und Massnahmen

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Verschmutzte und falsch eingestellte Expansionsventile					
→ Expansionsventile ausbauen, reinigen, einbauen und korrekt einstellen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Die Verdampfungstemperatur ist gemäss Manometer zu tief					
→ Austausch des bestehenden Ventils durch ein elektronisches Modell (EEV).	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Luftzirkulation ist behindert – Reinigung, richtige Stapelung der Güter.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Die Überhitzungstemperaturen sind falsch eingestellt					
→ Das eingesetzte Expansionsventil ist nicht für das benutzte Kältemittel geeignet. – Austausch des bestehenden Ventils durch ein elektronisches Modell (EEV). – Kältemittel überprüfen (wurde das richtige Kältemittel eingefüllt?).	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Kältemittel-Hochdruckschwimmer wird nicht gewartet					
→ Im Rahmen der Wartung müssen Kältemittel-Hochdruckschwimmer regelmässig revidiert werden.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	

4.3 Kältemittel

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Betriebsparameter werden nicht eingehalten, da falsches Kältemittel eingefüllt wurde					
→ Kältemittel ersetzen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Fremdgas (Luft) im System					
→ Kältekreis «entlüften».	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Fremdgas (in der Regel Luft) im Kältemittel kann sich bei einem Fehler beim Service bilden oder bei Anlagen, die im Vakuum betrieben werden (z.B. NH₃-Anlagen).					
Falsche Kältemittelkonzentration bei HFKW-Gemischen					
→ Kältemittel ersetzen (HFKW).	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	

Liste mit möglichen Fehlern und Massnahmen

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Falsches Kältemittel					
→ Kältemittel ersetzen.	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
4.4 Leitungen und Armaturen					
Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Ungleichmässige Verdampfung (Beaufschlagung Verdampfer)					
→ Expansionsventil austauschen oder richtig einstellen.	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Bei Platten- oder Rohrbündel-Wärmeübertragern die Dämmung des Verdampfers prüfen.	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Sauggaswärmetauscher ausbauen (sofern dies möglich ist). ⓘ Die Effizienz des Sauggaswärmetauschers ist kältemittelabhängig.	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Saugfilter (SF) wurde nach Inbetriebnahme nicht ausgebaut					
→ Saugfilter nach Inbetriebnahme ausbauen (leeres Gehäuse).	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Undichtigkeiten an der Anlage (Magnetventil, Filter, Absperrarmaturen)					
→ Abdichten.	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Temperaturdifferenz über den Trockner weist auf einen zu hohen Druckabfall hin					
→ Trockner ersetzen.	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Zu kleiner Sammler					
→ Zusatzsammler einbauen oder durch grösseren Sammler ersetzen.	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Absperrarmaturen teilweise geschlossen					
→ Ventile (z.B. Saugventile) prüfen, ob 100 Prozent Durchgang gegeben ist.	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Hohe Druckverluste im System					
→ Druckverluste minimieren (Leitungen, Wärmetauscher etc.).	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	

4.5 Steuerung des Verdichters

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Ein grosser Verdichter versorgt mehrere kleinere Verbraucher (Verdichter arbeitet darum oft im Teillastbetrieb)					
→ Leistungsregulierung mittels Frequenzumformer (FU), einer Zylinderkopfabstaltung oder eine herstellerspezifische Lösung prüfen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Ersatz des grossen Verdichters durch mehrere kleine Verdichter, die bedarfsgerecht zugeschaltet werden können.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Verdichter schaltet sich mehr als 6 Mal pro Stunde ein und aus (Taktbetrieb)					
→ Nachrüsten eines Frequenzumformers (FU), einer Leistungsregulierung mittels Zylinderkopfabstaltung oder einer herstellerspezifischen Lösung.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Funktion und Einstellung des Expansionsventils kontrollieren.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Thermostatisches Expansionsventil (TEV) durch ein elektronisches (EEV) ersetzen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Einbau einer Einschalthäufigkeitsbegrenzung.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Abstufung der Leistungsregulierung überprüfen, eventuell kleine Laststufen sperren oder «Mitläuferbetrieb» aktivieren. <i>i</i> Regelstrategien wählen, welche die Verdichterleistung mit der Nachfrage nach Kälteleistung systematisch abstimmen, nicht bloss über die schlechte Koppelung des Saugdruckes oder der Vorlauftemperatur.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Leistungsregelung erfolgt über einen Heissgas-Bypass Heissgas-Bypässe regeln die Leistung, indem sie Energie «vernichten».					
→ Leistungsregulierung über Zylinderkopfabstaltung.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Leistungsregulierung mittels Frequenzumformer.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Die Anlage ist nur auf einen störungsfreien (aber nicht energieeffizienten) Betrieb ausgelegt					
→ Den Betreiber bezüglich der Energieeffizienz seiner Kälteanlage sensibilisieren. Er soll bei seinen Vorgaben an den Lieferanten (Kältefirma, Maschinenlieferant, Servicetechniker) einen energieeffizienten Betrieb einfordern.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	<u>Der jährliche Kälte-Check</u>
→ Das Bewusstsein der Servicetechniker bezüglich eines energieeffizienten Betriebes der Kälteanlage schärfen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	

5. Wärmeabgabe bei Kälteanlagen mit Direktverflüssigung
5.1 Direktverflüssigung mit einem luftgekühlten, trockenen Lamellen-Wärmeübertrager

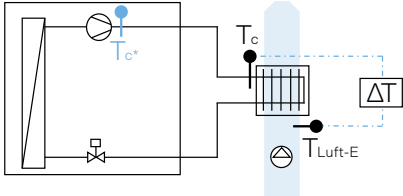
Temperaturdifferenzen der Wärmeübertragung gemäss VDMA 24247-8, Seite 22

$\Delta T = T_{\text{Luft-E}} - T_c$

$T_{\text{Luft-EV}}$ = Lufttemperatur am Eintritt des Verflüssigers
 T_c = Verflüssigungstemperatur des Kältemittels am Verflüssiger-Eintritt

Hinweis: Wird die Verflüssigungstemperatur an Verdichter-Austritt gemessen (T_{c^*}) darf die Temperaturdifferenz ΔT 1 bis 2 K höher sein.

Die Richtwerte ΔT für Neuanlagen bei Volllast	sehr gut	ΔT kleiner als 6 K
	akzeptabel	ΔT 6 K bis 11 K
	schlecht	ΔT grösser als 11 K



Leitfaden mit Massnahmen zur Optimierung von Kälteanlagen Seite 15

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Wärmeübertragung ist mangelhaft und optimierbar Sollwert der Temperaturdifferenz (ΔT) der ursprünglichen Auslegung nachschlagen und mit der aktuellen Temperaturdifferenz vergleichen. Bei einer Abweichung:					
→ Reinigen. ⓘ Ein Indikator für Verschmutzung sind sehr viele Service-Einsätze im Sommer.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Prüfen Sie, ob der Ventilator defekt ist, und lassen Sie ihn reparieren resp. ersetzen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Prüfen Sie die Platzierung des Verflüssigers: Arbeitet er immer gegen die Windrichtung? Ist er zu nahe an einer Wand an der Südseite?	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Kälteanlage mit variablen Verflüssigungsdrücken betreiben (falls machbar).	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Lüfter wechseln. ⓘ Schallpegel beachten	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Positionierung des Fühlers überprüfen und, falls dieser an der falschen Stelle misst, diesen korrekt platzieren.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	

Liste mit möglichen Fehlern und Massnahmen

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Wärmeübertragung ist aufgrund der ursprünglichen Auslegung mangelhaft Der Wärmeübertrager wurde ursprünglich so ausgelegt, dass seine Soll-Temperaturdifferenz deutlich über 8 K (Richtwert für eine sehr gute Neuanlage) liegt.					
→ Prüfen, ob es sich wirtschaftlich lohnt, den Verflüssiger zu ersetzen (Investition).	●●●●	■■■	■■■	■■■	
Die Unterkühlung funktioniert nicht korrekt					
→ Kältemittel-Unterkühlung überprüfen	●●●●	■■■	■■■	■■■	
Im Kondensator hat es Luft Ist vor allem bei NH ₃ -Anlagen ein Problem, die im Unterdruck arbeiten (T ₀ < –33 °C).					
→ Prüfen Sie das Nachrüsten eines Purgers (Entlüftungsautomat)	●●●●	■■■	■■■	■■■	
Regelmässige Hochdruckstörungen, weil die Verflüssigertemperatur zu hoch ist					
→ Regelung überprüfen, Parameter neu einstellen, Software aktualisieren. 🕒 Messung über mindestens eine Stunde, anschliessend Daten auswerten.	●●●●	■■■	■■■	■■■	
→ Drucktransmitter jährlich überprüfen und kalibrieren.	●●●●	■■■	■■■	■■■	
→ Überprüfen Sie die Aufstellung: – Sind die Verflüssiger zu nahe beieinander aufgestellt? – Gibt es einen Luftkurzschluss?	●●●●	■■■	■■■	■■■	
→ Prüfen, ob bei der Abwärme-Luft ein Kurzschluss besteht, und allenfalls Verflüssiger anders anordnen. 🕒 Messungen mit Temperaturfühler oder einer Wärmebildkamera.	●●●●	■■■	■■■	■■■	
→ Prüfen, ob ein konzeptioneller Fehler besteht, und allenfalls die Anlage umbauen.	●●●●	■■■	■■■	■■■	
Ventilator läuft im Dauerbetrieb und ist ineffizient					
→ Prüfen Sie, ob die Ventilator-Steuerung defekt ist. Lassen Sie diese reparieren oder ersetzen.	●●●●	■■■	■■■	■■■	
→ Steuerung neu einstellen (justieren).	●●●●	■■■	■■■	■■■	
→ Bestehenden Ventilator durch Ventilator mit EC-Motor ersetzen. 🕒 Antriebe sollten generell eine hohe Effizienz aufweisen.	●●●●	■■■	■■■	■■■	
→ FU nachrüsten.	●●●●	■■■	■■■	■■■	

Liste mit möglichen Fehlern und Massnahmen

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Kondensationstemperatur wird nicht nach der Aussentemperatur reguliert.					
→ Kondensationstemperatur nach der Aussentemperatur regulieren.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	

5.2 Wärmenutzung

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Wärmenutzung ist installiert, aber nicht aktiviert					
→ Aktivieren Sie die Wärmenutzung.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Die Verflüssigungshochhaltung erfolgt über einen Staudruckregler im Kältemittelsystem Bei Neuanlagen keine Staudruckregler einsetzen.					
→ Hochhaltung wenn möglich über die Hydraulik regulieren.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Hilfsantriebe werden nicht bedarfsorientiert betrieben					
→ Geregelte Pumpen und Ventilatoren einsetzen. ⓘ Rechnet sich oft nur im Falle eines Defektes.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Free-Cooling hat Priorität					
→ Steuerung so anpassen, dass die Wärme nur dann vom Free-Cooling abgeführt wird, wenn kein Wärmebedarf besteht.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Wärmetauscher der Wärmenutzung ist falsch angeschlossen					
→ Anschlüsse neu «verrohren».	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	

6. Wärmeabgabe bei Kälteanlagen mit Wärmeträger
6.1 Verflüssigung mit einem Platten-Wärmeübertrager

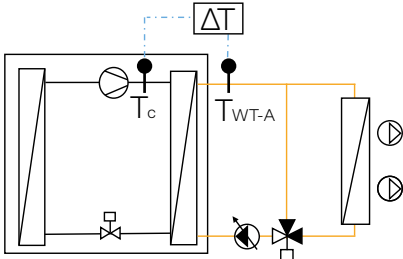
Temperaturdifferenzen der Wärmeübertragung gemäss VDMA 24247-8, Seite 26

$\Delta T = T_{WT-A} - T_c$

T_{WT-A} = Temperatur des Wärmeträgers am Austritt des Verflüssigers
 T_c = Verflüssigungstemperatur des Kältemittels am Verflüssiger-Eintritt

Die Richtwerte ΔT für Neuanlagen bei Volllast

sehr gut	ΔT kleiner als 2 K
akzeptabel	ΔT 2 K bis 5 K
schlecht	ΔT grösser als 5 K



Leitfaden mit Massnahmen zur Optimierung von Kälteanlagen Seite 15

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Wärmeübertragung ist mangelhaft und optimierbar Sollwert der Temperaturdifferenz (ΔT) der ursprünglichen Auslegung nachschlagen und mit der aktuellen Temperaturdifferenz vergleichen. Bei einer Abweichung:					
→ Platten-Wärmeübertrager reinigen.	●●●●	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	
→ Kälteanlage mit variablen Verflüssigungsdrücken betreiben.	●●●●	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	
Wärmeübertragung ist aufgrund der ursprünglichen Auslegung mangelhaft Der Wärmeübertrager wurde ursprünglich so ausgelegt, dass seine Soll-Temperaturdifferenz deutlich über 2 K (Richtwert für eine sehr gute Neuanlage) liegt.					
→ Prüfen, ob es sich wirtschaftlich lohnt, den Verflüssiger zu ersetzen (Investition).	●●●●	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	■ ■ ■ ■	

6.2 Verflüssigung mit Rohrbündel-Wärmeübertrager

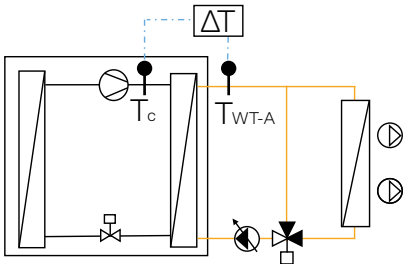
Temperaturdifferenz ΔT der Wärmeübertragung gemäss VDMA 24247-8, Seite 27

$\Delta T = T_{WT-A} - T_c$

T_{WT-A} = Temperatur des Wärmeträgers am Austritt des Verflüssigers
 T_c = Verflüssigungstemperatur des Kältemittels am Verflüssiger-Eintritt

Die Richtwerte ΔT für Neuanlagen bei Volllast mit Sole als Kühlmittel und Kupfer-Wärmetauscher

sehr gut	ΔT kleiner als 2 K
akzeptabel	ΔT 2 K bis 3 K
schlecht	ΔT grösser als 3 K



Leitfaden mit Massnahmen zur Optimierung von Kälteanlagen Seite 15

Fehler – Mangel	Was kostet das Beheben?				Bemerkung
	Sparpotenzial	bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Wärmeübertragung ist mangelhaft und optimierbar Sollwert der Temperaturdifferenz (ΔT) der ursprünglichen Auslegung nachschlagen und mit der aktuellen Temperaturdifferenz vergleichen. Bei einer Abweichung: → Rohrbündel-Wärmeübertrager reinigen und entkalken.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Wärmeübertragung ist aufgrund der ursprünglichen Auslegung mangelhaft Der Wärmeübertrager wurde ursprünglich so ausgelegt, dass seine Soll-Temperaturdifferenz deutlich über 2 K (Richtwert für eine sehr gute Neuanlage) liegt. → Prüfen, ob es sich wirtschaftlich lohnt, den Verflüssiger zu ersetzen (Investition).	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	

6.3 Wärmeträger-Netz

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Der wasserseitige Druckverlust ist zu hoch Der Druckverlust über den Verflüssiger sollte maximal 0,3 bar (Richtwert) betragen.					
→ Wassermenge kontrollieren.	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Verschmutzung kontrollieren, Schmutzfänger reinigen und Magnetflussfilter reinigen oder nachrüsten, falls nicht vorhanden. ⓘ Meist sind Schmutzfänger auswaschbar.	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Die Glykolkonzentration ist zu hoch (geringere Wärmekapazität)					
→ Glykolkonzentration mit einer Analyse überprüfen. ⓘ Dabei muss die Minimalkonzentration gemäss den Angaben des Glykollieferanten eingehalten werden.	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Die Rückkühlpumpe läuft dauernd					
→ Ansteuerung und Stufenwahl der Rückkühlpumpe überprüfen. ⓘ Antriebe sollten generell eine hohe Effizienz aufweisen.	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Die Spreizung Wärmeträger-Temperatur Die ideale Spreizung des Wärmeträgers liegt bei 4 bis 8 K. Sollwert der Kondensation oder des Rückkühleraustritts ist nach der Aussentemperatur zu führen und bei (Ab-)Wärmenutzung nur zu erhöhen, wenn die gesamte Wärme an die Wärmenutzung abgegeben werden kann. In der Dokumentation die ursprüngliche Auslegung nachschlagen und mit der aktuellen Spreizung vergleichen.					
Ist die Spreizung kleiner als ursprünglich geplant:					
→ Die Auslegung der Pumpe und des Verflüssigers überprüfen.	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	

Liste mit möglichen Fehlern und Massnahmen

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Ist die Spreizung grösser als ursprünglich geplant:					
→ Einstellungen von Pumpe und 3-Weg-Ventil überprüfen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Verflüssiger prüfen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Wassermenge überprüfen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Schmutzfänger überprüfen und reinigen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Alle magnetischen Komponenten (Pumpen, Magnetflussfilter etc.) prüfen und die Magnetit-Ablagerungen entfernen. <i>i</i> Magnetische Komponenten ziehen in Wärmeträger-Netzen ohne Frostschutzmittel das Magnetit (Eisen und Sauerstoff) an.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	

6.4 Nutzung der anfallenden Wärme

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Die Wärme wird nicht genutzt					
→ Prüfen, ob die Wärme ganz oder teilweise genutzt werden kann für Trinkwarmwasser, Gebäudeheizung, Rampenheizung, Hallenbadheizung etc., und falls möglich einbinden.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Die Wärmeabfuhr funktioniert nicht korrekt (wiederkehrende Störungsmeldungen)					
→ Betrieb dem effektiven Bedarf anpassen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Speicherfunktion prüfen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Temperaturniveau der Verbraucher dem Temperaturniveau der anfallenden Wärme anpassen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Die Wärmenutzung funktioniert nicht richtig					
→ Betrieb dem effektiven Bedarf anpassen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Enthitzer-Funktion prüfen (falls vorhanden).	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Die Kondensationstemperaturen nur dann erhöhen, wenn ein Wärmebedarf besteht.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	

6.5 Abführen der Wärme über einen trockenen Rückkühler

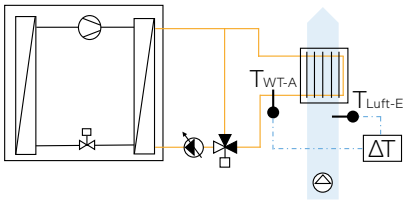
Temperaturdifferenzen der Wärmeübertragung gemäss VDMA 24247-8, Seite 30

$\Delta T = T_{\text{Luft-E}} - T_{\text{WT-A}}$

$T_{\text{Luft-E}}$ = Lufttemperatur am Eintritt des Rückkühlers
 $T_{\text{WT-A}}$ = Temperatur des Wärmeträgers am Austritt des Rückkühlers

Die Richtwerte ΔT für Neuanlagen bei Volllast

sehr gut	ΔT kleiner als 6 K
akzeptabel	ΔT 6 K bis 8 K
schlecht	ΔT grösser als 8 K



Leitfaden mit Massnahmen zur Optimierung von Kälteanlagen Seite 15

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Wärmeübertragung ist mangelhaft und optimierbar Sollwert der Temperaturdifferenz (ΔT) der ursprünglichen Auslegung nachschlagen und mit der aktuellen Temperaturdifferenz vergleichen. Bei einer Abweichung:					
→ Glykolkonzentration prüfen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Rückkühler reinigen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Kälteanlage mit variablen Verflüssigungsdrücken betreiben (auslegungsbedingt).	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Wärmeübertragung ist aufgrund der ursprünglichen Auslegung mangelhaft Der Wärmeübertrager wurde ursprünglich so ausgelegt, dass seine Soll-Temperaturdifferenz deutlich über 2 K (Richtwert für eine sehr gute Neuanlage) liegt.					
→ Prüfen, ob es sich wirtschaftlich lohnt, den Rückkühler zu ersetzen (Investition).	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	

6.6 Abführen der Wärme über einen hybriden Rückkühler

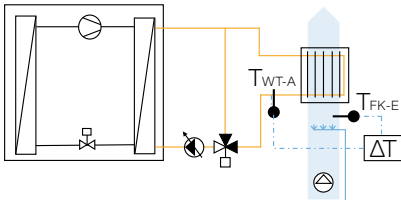
Temperaturdifferenzen der Wärmeübertragung gemäss VDMA 24247-8, Seite 31

$\Delta T = T_{FK-E} - T_{WT-A}$

T_{FK-E} = Feuchtkugeltemperatur am Eintritt des Rückkühlers
 T_{WT-A} = Temperatur des Wärmeträgers am Austritt des Rückkühlers

Die Richtwerte ΔT für Neuanlagen bei Volllast

sehr gut	ΔT kleiner als 6 K
akzeptabel	ΔT 6 K bis 10 K
schlecht	ΔT grösser als 10 K



Leitfaden mit Massnahmen zur Optimierung von Kälteanlagen Seite 15

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Wärmeübertragung ist mangelhaft und optimierbar Sollwert der Temperaturdifferenz (ΔT) der ursprünglichen Auslegung nachschlagen und mit der aktuellen Temperaturdifferenz vergleichen. Bei einer Abweichung: → Temperaturen (Wärmeträger und Umgebungsluft) überprüfen und möglichst kleine Temperaturdifferenz zwischen Austritt Verflüssiger und Verflüssigungstemperatur anstreben. → Glykolkonzentration prüfen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Rückkühler reinigen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Kälteanlage mit variablen Verflüssigungsdrücken betreiben (auslegungsbedingt).	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Wärmeübertragung ist aufgrund der ursprünglichen Auslegung mangelhaft Der Wärmeübertrager wurde ursprünglich so ausgelegt, dass seine Soll-Temperaturdifferenz deutlich über 6K (Richtwert für eine sehr gute Neuanlage) liegt. → Prüfen, ob es sich wirtschaftlich lohnt, den Rückkühler zu ersetzen (Investition).	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Bassin-Heizung dauernd in Betrieb → Ein-/Ausschaltwert der Bassin-Heizung überprüfen bzw. richtig einstellen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	

Liste mit möglichen Fehlern und Massnahmen

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Ventilatoren-Ansteuerung mangelhaft Rückkühler braucht bis zu 50 Prozent der Elektrizität der gesamten Kälteanlage. Achten Sie auf eine hohe Effizienz der Ventilatoren (mind. IE3).					
→ Parallelschaltung überprüfen, d.h. Stufenschaltung bzw. Parallelbetrieb auf das Verhältnis Aufnahmeleistung zu Rückkühlleistung optimieren (grössere Fläche).	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Leistungsregulierung der Dunsttürme auf richtige Sequenz prüfen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Leistungsregulierung bei Trockenrückkühlung überprüfen (alle Ventilatoren zuerst Stufe 1).	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Ventilatoren mit EC-Motoren nachrüsten.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Einen Umbau der Ventilatoren prüfen (z.B. Motorenersatz mit EC-Motoren oder Nachrüsten eines FU).	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Einschaltwert (Temperatur) des Rückkühlventilators überprüfen und evtl. korrigieren.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Störungen bei der Abschlämmung					
→ Funktion der Abschlämmung prüfen, Abschlamm-Menge überprüfen, evtl. korrigieren.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Umweltverträglichkeit des Abschlamm-Mittels überprüfen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Leitwertmessung überprüfen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Korrosion bei geschlossenen Systemen Feststellbar mittels Wasseranalyse.					
→ Reinigung des Wärmetauschers.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Auswechseln des Wassers.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Fouling bei offenen Systemen Feststellbar mittels Wasseranalyse.					
→ Reinigung des Wärmetauschers.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	

7. Free-Cooling

7.1 Free-Cooling (freie Kühlung)

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Mangelhafte Funktion					Studie ZHAW
→ Temperatur-Sollwerte dem effektiven Bedarf anpassen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Wirkungsgrad (Nettoertrag) prüfen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Optimalen Betriebsumschaltungs-Punkt ermitteln und korrigieren.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Einbindung aus Kostengründen falsch gelöst					
→ Einbindung überprüfen und korrekt ausführen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Wärmeübertrager zu klein dimensioniert					
→ Wärmeübertrager ersetzen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Free-Cooling-Funktion ist installiert, aber nicht aktiviert					
→ Free-Cooling prüfen und aktivieren.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	

8. Regulierung und Steuerung

8.1 Übergeordnete Regulierung

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Pendel-Betrieb und dauerndes Ein- und Ausschalten					
→ Regeltechnische Abstimmung des Erzeugers mit den Verbrauchern vornehmen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	Siehe Studie ZHAW oder Fachbuch Klimakälte
Mangelhafte Funktion					
→ Temperatur-Sollwerte dem effektiven Bedarf anpassen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Wirkungsgrad (Nettoertrag) prüfen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Optimalen Betriebsumschaltungs-Punkt ermitteln und korrigieren.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Rückkühltemperatur ist fix eingestellt Die minimale Verflüssigungstemperatur ist von den Einsatzgrenzen der eingesetzten Komponenten (Expansionsventil, Verdichter etc.) abhängig.					
→ Die Rückkühltemperatur soll gleitend nach Aussentemperatur geregelt werden.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Speicherbewirtschaftung falsch eingestellt					
→ Regulierung der Speicherbewirtschaftung überprüfen und richtig einstellen.	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	Studie ZHAW

8.2 Instrumentierung

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Das Betriebsverhalten ist nicht bekannt, da Performance-Überwachung fehlt Zu wissen, wie sich die Anlage im Betrieb verhält, ist die Grundlage für jede Optimierung. Die Performance (EER) kann auch mit einfacheren Mitteln und nicht nur in Verbindung mit flüssigen Medien überwacht werden. Wichtig ist, dass Zustandsveränderungen frühzeitig erkannt werden.					Grundlagendokument zur Leistungsgarantie Seite 5
→ Bei flüssigen Medien: Nachrüsten eines Kältezählers sowie einer elektrischen Leistungsmessung für die Kältemaschine (EER-Überwachung).	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Nachrüsten einer laufenden Performance-Überwachung (EER-Überwachung).	●●●●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	

Liste mit möglichen Fehlern und Massnahmen

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Fehlende Kennwerte					
→ Ermittlung der Jahresarbeitszahl (Berechnung und Messung).	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	

9. Diverses

9.1 Werkzeug und Material

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Monteur ist schlecht ausgerüstet					
→ Geeignetes Werkzeug beschaffen (Thermometer, Manometer etc.).	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
→ Werkzeuge kalibrieren.	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	
Korrosionsschäden in der Anlage					
→ Geeignetes Reinigungsmittel anschaffen.	● ● ● ●	■ ■ ■	■ ■ ■	■ ■ ■	

9.2 Wartung und Unterhalt

Fehler – Mangel	Sparpotenzial	Was kostet das Beheben?			Bemerkung
		bis 15 kW	15–80 kW	ab 80 kW	
Der Betreiber kennt seine «Unterhaltungspflicht» nicht					
→ Informieren Sie den Betreiber über seine Pflicht, die Anlage zu warten. <i>i</i> Gemäss OR Art. 58 besteht eine Wartungspflicht.					<u>Gepflegte Klimaanlage arbeiten zuverlässig und störungsarm</u>
Der Betreiber denkt, die Garantie umfasse auch Wartungsleistungen					
→ Informieren Sie den Betreiber über den Unterschied zwischen Wartung und Garantie.					<u>Gepflegte Klimaanlage arbeiten zuverlässig und störungsarm</u>

[illegible]

This image shows a full page of blank, lined paper. It features approximately 20 evenly spaced horizontal grey lines across its entire width, providing a guide for handwriting or typing. The paper itself is a clean, off-white color.

This image shows a single sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

Dank an die Expertinnen und Experten

Ersterarbeitung Mai 2011

Die ursprüngliche Massnahmenliste wurde im Rahmen der Kampagne effiziente Kälte (2010–2014) mit Experten-Workshops im Jahr 2012 erarbeitet.

Folgende Expertinnen und Experten arbeiteten bei der Ersterarbeitung mit:

- Daniel Baumann, SVK Obmann BBK c/o Alpiq West
- Urs Berger, Migros-Genossenschafts-Bund
- Hans-Peter Broger, EWZ
- Egon Buchgeher, Güntner AG & Co. KG
- Jerzy Bystranowski, Digitel SA
- Paul Du Toit, Frigo-Consulting AG
- Robert Dumortier, Gerichtsexperte Wärmepumpe/Kälte-Klimatechnik
- Sabine Focke, Alfa Laval Mid Europe GmbH
- David Freléchox, New Frigotech SA
- Adrian Grossenbacher, Bundesamt für Energie
- Pius Gruber, SVK Obmann TL c/o Kälte 3000
- Andres Hegglin, Wurm (Schweiz) AG
- Norbert Heinemann, W. Wettstein AG
- Albrecht Höpfer, Bitzer Kühlmaschinen GmbH & Co. KG
- Konrad Imbach, SVK
- Markus Kielnhofer, Güntner AG & Co. KG
- Thomas Lang, zweiweg gmbh (Moderation)
- Rolf Löhner, Scheco AG

- Salvatore Lombardi, Cofely AG
- Andreas Meier, Mayekawa Intertech AG
- Benoît Olsommer, Carrier Réfrigération
- Rainer Pelzl, Bitzer Kühlmaschinen GmbH & Co. KG
- Richard Phillips, Bundesamt für Energie
- Pascal Sanktjohanser, GEA Küba GmbH
- Beat Schmutz, SSP Kälteplaner AG
- Berthold Schnase, Bock Kältemaschinen GmbH
- Jörg Schwarz, CSL Behring AG
- Daniel Sommer, SVK
- Marc Stampfer, Christof Fischer Kälte-Klima AG

Überarbeitung und Präzisierung 2019

Im Jahr 2019 wurde die bestehende Massnahmenliste im Auftrag des Bundesamts für Energie von einer Expertengruppe überarbeitet. Folgende Experten arbeiteten mit:

- Martin Stettler, Bundesamt für Energie
- Lukas Portenier, Coolplan GmbH
- Robert Dumortier, Gerichtsexperte Wärmepumpe/Kälte-Klimatechnik
- Adrian Waser, Wolf (Schweiz) AG
- Thomas Lang, zweiweg gmbh (Moderation)

EnergieSchweiz
Bundesamt für Energie BFE
Pulverstrasse 13
CH-3063 Ittigen
Postadresse: CH-3003 Bern

Infoline 0848 444 444
infoline.energieschweiz.ch

energieschweiz.ch
energieschweiz@bfe.admin.ch
ch.linkedin.com/company/energieschweiz