

Kältemaschinen und Wärmepumpen

Leistungs- und Effizienzüberprüfung

(Version 1.0 / 15.11.2017)

Allgemeines

Mit der Auftragsvergabe werden die vom Unternehmer prognostizierten Leistungs- und Effizienzkennzahlen für neu zu installierende Kältemaschinen und Wärmepumpen zu verbindlichen Qualitätsanforderungen, die im Rahmen der Abnahme durch den beauftragten Planer messtechnisch überprüft werden.

Unter Berücksichtigung der effektiven Betriebsbedingungen und der Messdatengenauigkeit wird beurteilt, ob die vereinbarten Anforderungen mit der installierten Maschine erreicht werden.

Werden Leistungs- oder Effizienzanforderungen verfehlt, steht es dem Unternehmer frei, die Messeinrichtungen zu überprüfen und/oder die Maschine nachzubessern. Die Gewährleistung der Qualitätsanforderungen muss in diesem Falle anhand einer erneuten Überprüfung bestätigt werden.

Falls die vereinbarten Anforderungen auch dann nicht erreicht werden oder der Unternehmer auf eine Kontrolle der Messinstrumente und/oder auf die Umsetzung geeigneter Massnahmen verzichtet, übernimmt er die Mehrkosten, welche der ETH Zürich durch die Effizienz- oder Leistungseinbusse entstehen. Ab einer Unterschreitung der Leistungs- oder Effizienzanforderung von 20% entscheidet die ETH Zürich, ob die Maschine ersetzt oder der Schaden abgegolten werden muss.

Messeinrichtungen

Mit der Einreichung seines Angebots verpflichtet sich der Unternehmer, die im Anhang 1 definierten Messeinrichtungs-Genauigkeiten einzuhalten und die daraus resultierenden maximalen Messfehler gemäss Anhang 2 für die Beurteilung der gemessenen Kennzahlen zu akzeptieren. Ist der Unternehmer mit den definierten Genauigkeiten nicht einverstanden, muss er dies mit seinem Angebot begründen und die Genauigkeit seiner Messeinrichtungen ausweisen.

Damit die im Anhang 1 definierten Messeinrichtungs-Genauigkeiten gewährleistet werden können, ist durch den Planer und den Unternehmer sicherzustellen, dass die Dimensionierungs-, Einsatzbereichs- und Installationsvorgaben der Lieferanten vollumfänglich berücksichtigt und umgesetzt werden.

Im Zusammenhang mit den Wärme- und Kältemessungen wird ETH-seitig in den Hydrauliksystemen eine Wasserqualität gewährleistet, die eine Beeinträchtigung der Messinstrumente-Genauigkeit mindestens zum Zeitpunkt der Leistungs- und Effizienzüberprüfung neu installierter oder erneuerten Maschinen ausschliesst.

Zu überprüfende Betriebszustände / Kennzahlen

Für die Überprüfung der Qualitätsanforderungen wird die Maschine unter den vereinbarten Betriebsbedingungen stationär betrieben und ausgemessen.

Unter dem verbindlichen Regime werden nicht die Verdampfungs- und Kondensationstemperaturen, sondern die für die ETH Zürich entscheidenden Verdampfer- und Kondensator-Austrittstemperaturen verstanden. Diese müssen in der für den Nachweis berücksichtigten Messperiode vollständig innerhalb der nachfolgend vorgegebenen Toleranz liegen.

Die blau eingetragenen Werte sind als Beispiel zu interpretieren und müssen auf die projektspezifischen Anforderungen ausgerichtet werden. Die verwendeten Bezeichnungen werden in den Anhängen 1 und 2 erläutert.

Rückkühlbetrieb 100%

Kältenennleistung mit Auslegungsdrehzahl ohne Abwärmenutzung

Regime:

$T_{V,A} = 6.0^{\circ}\text{C}$ (+/-2.0 K); $T_{K,A} = 34.0^{\circ}\text{C}$ (+/-2.0 K)

Kennzahlen:

Q_0 ; Q_C ; EER_V ; EER_{HB}^* ; $T_{V,A} - T_{0,V}$; $T_{C,K} - T_{K,A}$

<u>Rückkühlbetrieb 75%</u>	75% Kältenennleistung ohne Zylinderabschaltungen und Abwärmenutzung
Regime:	$T_{V,A} = 6.0^{\circ}\text{C}$ (+/-2.0 K); $T_{K,A} = 34.0^{\circ}\text{C}$ (+/-2.0 K)
Kennzahlen:	Q_0 ; Q_C^* ; EER_V ; EER_{HB}^* ; $(T_{V,A} - T_{0,V})^*$; $(T_{C,K} - T_{K,A})^*$
<u>Rückkühlbetrieb 50%</u>	50% Kältenennleistung ohne Zylinderabschaltungen und Abwärmenutzung
Regime:	$T_{V,A} = 6.0^{\circ}\text{C}$ (+/-2.0 K); $T_{K,A} = 34.0^{\circ}\text{C}$ (+/-2.0 K)
Kennzahlen:	Q_0 ; Q_C^* ; EER_V ; EER_{HB}^* ; $(T_{V,A} - T_{0,V})^*$; $(T_{C,K} - T_{K,A})^*$
<u>Abwärmenutzungsbetrieb 100%</u>	Kältenennleistung mit Auslegungsdrehzahl; Abwärmenutzung mit Enthitzer, Kondensator und Unterkühler
Regime einstufig:	$T_{V,A} = 6.0^{\circ}\text{C}$ (+/-2.0 K); $T_{K,A} = 50.0^{\circ}\text{C}$ (+/-2.0 K); $T_{U,A} = 50.0^{\circ}\text{C}$ (+/-2.0 K)
Kennzahlen:	Q_0 ; Q_C ; Q_U^* ; EER_V^* ; $COP_{tot,V}$; $COP_{tot,HB}^*$; $(T_{V,A} - T_{0,V})^*$; $(T_{C,K} - T_{K,A})^*$; $T_{U,A,KM} - T_{U,A}$
Regime zweistufig:	$T_{V,A} = 6.0^{\circ}\text{C}$ (+/-2.0 K); $T_{K,A} = 72.0^{\circ}\text{C}$ (+/-2.0 K); $T_{EH,A} = 72.0^{\circ}\text{C}$ (+/-2.0 K); $T_{U,A} = 72.0^{\circ}\text{C}$ (+/-2.0 K)
Kennzahlen:	Q_0 ; Q_{EH} ; Q_U^* ; $Q_{C,HD}$; EER_V^* ; $COP_{tot,V}$; $COP_{tot,HB}^*$; $(T_{V,A} - T_{0,V})^*$; $T_{C,K,HD} - T_{K,A,HD}$; $T_{U,A,KM} - T_{U,A}$; TMD^*

Kennzahlen mit dem Vermerk * dienen ETH Zürich als Information und sind nicht Bestandteil der durch den Unternehmer zu garantierenden Leistungen.

Datenaufzeichnung

Alle für die Leistungs- und Effizienzüberprüfung erforderlichen Messeinrichtungen gemäss Anhang 1 werden über das Gebäudeleitsystem im 1-Minuten Intervall aufgezeichnet und dem Planer für die Ermittlung der Kennzahlen von der ETH Zürich im csv-Format zur Verfügung gestellt. Nebst den im Anhang aufgeführten Leistungen, Volumenströmen und Temperaturen muss diese Aufzeichnung auch die Position von Regelorganen, sowie die relativen Pumpen- und Verdichterdrehzahlen beinhalten.

Die vereinbarten Kennzahlen müssen auf der Basis stationärer Betriebsbedingungen überprüft werden können. Während der Messung muss sichergestellt und vom Planer ausgewiesen werden, dass jeder der zu überprüfenden Betriebszustände während mindesten 15 Minuten mit der definierten Drehzahl und dem vorgesehenen Regime aufgezeichnet wird.

Ermittlung der Kennzahlen

Die Mittelwertbildung der Temperaturen und Leistungen muss über ein Zeitfenster mit mindestens 5 Datenpunkten in einer stationären Phase für jeden zu überprüfenden Betriebszustand durch den Planer vorgenommen werden.

Ebenfalls erfolgt die Ermittlung des Regimes (Verdampfer- und Kondensator-Austrittstemperaturen) und der Anlagekennzahlen (Kälteleistung, EER_V , COP_{tot} , Tauschergrädigkeiten) auf der Basis der gemittelten Temperatur- und Leistungsdaten durch den Planer.

Beurteilung der Kennzahlen

Die Beurteilung der vom Planer ausgewiesenen Kennzahlen erfolgt durch die ETH Zürich. Geklärt wird, ob die auf der Basis von Messdaten unter stationären Betriebsbedingungen ermittelten Kennzahlen die vereinbarten Anforderungen erfüllen. Berücksichtigt werden dabei die maximalen, kumulierten Messungenauigkeiten gemäss Anhang 2 und das der Messung zu Grunde liegende Regime.

Weicht das gemessene Regime innerhalb der definierten Toleranzen vom vereinbarten Regime ab, wirkt sich diese Abweichungen vor allem auf die Effizienz der Maschine aus. Die Leistung der Maschine und die Grädigkeit der Tauscher wird davon in geringerem Masse beeinflusst und deshalb ohne Berücksichtigung der Regimeabweichung wie folgt beurteilt:

Tauschergrädigkeit:

gemessene Grädigkeit \leq vereinbarte Grädigkeit + maximaler Messfehler

Kälteleistung:

gemessene Kälteleistung \geq vereinbarte Kälteleistung - maximaler Messfehler

Erfüllen die gemessenen Kennzahlen die vorgenannten Bedingungen, werden sie ohne weiteren Messungen vorbehaltlos akzeptiert. Ist dies nicht der Fall, muss seitens Unternehmer entweder nachgebessert und / oder die Genauigkeit der Messinstrumente überprüft werden. Verzichtet er darauf, ist die Verfehlung abzugelten oder die Maschine, bzw. Komponenten davon müssen ersetzt werden.

Erzeugungseffizienz:

Für die Beurteilung der Effizienz wird das gemessene Regime grundsätzlich mitberücksichtigt. Ob mit dem gemessenen gegenüber dem vereinbarten Regime eine höhere oder tiefere Effizienz resultiert, muss vom Planer anhand der für den Nachweis ermittelten Temperaturmittelwerte wie folgt ausgewiesen werden:

Messregime „ungünstig oder exakt“: $TV_{A,Prognose} - TV_{A,Messung} + TK_{A,Messung} - TK_{A,Prognose} \geq 0$

Messregime „günstig“: $TV_{A,Prognose} - TV_{A,Messung} + TK_{A,Messung} - TK_{A,Prognose} < 0$

Unabhängig von der Messgenauigkeit und der Qualität der Maschine bewirkt ein „günstiges“ Messregime aus physikalischen Gründen einen Effizienzanstieg. Die Messresultate können unter Berücksichtigung dieser Regimebeurteilung einem der folgenden 4 Fälle zugeordnet werden:

Fall 1: gemessener EERv oder $COP_{tot} \geq$ vereinbarter EERv oder COP_{tot} - maximaler Messfehler
und
Messregime „ungünstig oder exakt“

--> Die Effizienzanforderung wird eindeutig erfüllt. Der rechnerischen Regimeabgleich oder weitere Messungen sind für diesen Betriebspunkt nicht erforderlich.

Fall 2: gemessener EERv oder $COP_{tot} \geq$ vereinbarter EERv oder COP_{tot} - maximaler Messfehler
und
Messregime „günstig“

Fall 3: gemessener EERv oder $COP_{tot} \leq$ vereinbarter EERv oder COP_{tot} - maximaler Messfehler
und
Messregime „ungünstig oder exakt“

--> Resultiert der Fall 2 oder Fall 3, bleibt unklar, ob die Effizienzanforderung unter Berücksichtigung der Regimeabweichung eingehalten wird. Die Prognose des Unternehmers wird deshalb seitens ETH Zürich in beiden Fällen auf das effektive Messregime gemäss Anhang 3 umgerechnet. Wird die Effizienzanforderung auch nach dem vorgenommenen Regimeabgleich verfehlt, muss seitens Unternehmer entweder nachgebessert und / oder die Genauigkeit der Messinstrumente überprüft werden. Verzichtet er darauf, muss die Effizienzverfehlung abgegolten oder die Maschine ersetzt werden.

Fall 4: gemessener EERv oder $COP_{tot} \leq$ vereinbarter EERv oder COP_{tot} - maximaler Messfehler
und
Messregime „günstig“

--> Die Effizienzanforderung wird eindeutig verfehlt. Seitens Unternehmer muss deshalb entweder nachgebessert und / oder die Genauigkeit der Messinstrumente überprüft werden. Verzichtet er darauf, muss die Effizienzverfehlung abgegolten oder die Maschine ersetzt werden.

Erläuterungen zum Regimeabgleich:

Weicht das gemessene Regime vom vereinbarten ab, kann dies physikalisch bedingte Effizienzabweichungen bewirken, die den maximalen Messfehler übersteigen.

Um den Einfluss von Regimeabweichungen auf die Effizienzüberprüfung zu minimieren, wird die vereinbarte, vom Unternehmer prognostizierte Effizienz im Zweifelsfall auf das effektive Messregime umgerechnet (Regimeabgleich). Das dafür angewendete Berechnungsverfahren gemäss Anhang 3 basiert auf der Definition des Verdichter-Gütegrades. Die darin berücksichtigten Korrekturfaktoren wurden mit Hilfe von Berechnungsdaten aus Auslegungsprogrammen für drei Kolbenverdichter empirisch ermittelt. Diese beziehen sich auf das Kältemittel Ammoniak und müssen für andere Kältemittel neu bestimmt werden.

Ist der Unternehmer mit den im Anhang 3 definierten Korrekturfaktoren nicht einverstanden oder verwendet er ein anderes Kältemittel, kann er die nötigen Kennzahlen seines Verdichters mit dem von ihm angebotenen Kältemittel gemäss Anhang 3b berechnen und der ETH Zürich zur Bestimmung der angebotsspezifischen Korrekturfaktoren übergeben.

Für die Berechnung der Entschädigung im Zusammenhang mit Effizienzverfehlungen wird der Regimeabgleich immer vorgenommen. Die Verfehlung kann dadurch regimebereinigt ermittelt werden und der maximale Messfehler der Erzeugungseffizienz erhöht sich um den Messfehler der Regimetemperaturmessung.

Entschädigung oder Maschinenersatz beim Verfehlen von Kennzahlen

Eine Entschädigung wird fällig, wenn eine Kennzahl unter Berücksichtigung des maximalen Messfehlers und des effektiven Messregimes nicht erreicht wird und der Unternehmer auf Nachbesserungen verzichtet.

Die Höhe der Entschädigung entspricht im Falle von Effizienzverfehlungen den Kosten, die der ETH Zürich durch die geringere Erzeugungseffizienz entstehen. Unabhängig vom Verdichtertyp wird dafür mit einer Beeinträchtigungsdauer von 50'000 Vollbetriebsstunden gerechnet.

Falls die Erzeugungseffizienz und Tauschergrädigkeiten verfehlt werden, müssen nur die Kostenfolgen der verfehlten Erzeugungseffizienz abgegolten werden.

Bei Leistungsverfehlungen wird davon ausgegangen, dass die ETH Zürich das Leistungsdefizit mit anderen Maschinen kompensieren und entsprechend investieren muss.

Ab einer Verfehlung der Leistungs- oder Effizienzanforderung von 20% entscheidet die ETH Zürich, ob der Schaden durch den Unternehmer abgegolten oder ob die Maschine ohne Kostenfolgen für die ETH Zürich ersetzt und erneut überprüft werden muss. Im Falle von Effizienzverfehlungen ist in den 20% nicht nur der maximal mögliche Messfehler enthalten, sondern auch der Regimeabgleich berücksichtigt.

Liegt eine gemessene Tauschergrädigkeit mehr als 1.5 K über der vereinbarten Grädigkeit und dem maximal möglichen Messfehler, gilt in Bezug auf Ersatz oder Abgeltung dasselbe.

Für die Ersatzmaschine oder ersetzte Wärmetauscher gelten wiederum die bei der Auftragsvergabe vereinbarten Anforderungen.

Beispiel EER (nach Regimeabgleich):

- Vereinbarter abgeglichener EERv \pm max. Messfehler: $6.2 \pm 8.0\%$ --> zulässiger gemessener EERv: 5.7
- Gemessener EERv: 5.3 --> Verfehlung bzw. Effizienzverlust: 7.0%
- Abgeltung Mehrkosten Elektroenergie durch Effizienzverlust bezogen auf:
Vereinbarte Kälteleistung und Verfehlung Erzeugungseffizienz; 50'000 Vollbetriebsstunden; Elektroenergiepreis, welcher der ETH Zürich im Vorjahr verrechnet wurde (Totalbetrag Elektrokosten inkl. MWSt. / Totalbedarf Elektroenergie)

Beispiel Verdampfergrädigkeit:

- Vereinbarte Grädigkeit \pm max. Messfehler: $2.0 \text{ K} \pm 0.9 \text{ K}$ --> zulässige gemessene Grädigkeit: 2.9 K
- Gemessene Grädigkeit: 3.5 K --> Verfehlung: 0.6 K
- Effizienzverlust infolge 0.7 K tieferer Verdampfungstemperatur gem. Anhang 3: $0.6 \text{ K} \cdot 3.3\%/K = 2.0 \%$
- Abgeltung Mehrkosten Elektroenergie durch Effizienzverlust: dito EERv

Beispiel Kälteleistung:

- Vereinbarte Kälteleistung \pm max. Messfehler: $900 \text{ kW} \pm 5.1\%$ --> zulässige gemessene Leistung: 854 kW
- Gemessene Kälteleistung: 810 kW --> Verfehlung: 5.2%
- Abgeltung Kompensation Leistungsdefizit: Verfehlungsanteil am Anlagepreis inkl. MWSt.
- Die Beurteilung der gemessenen Kälteleistung erfolgt ohne Regimeabgleich. Falls sich die Verfehlung der Kälteleistung auf ein ungünstiges Messregime bezieht, steht es dem Unternehmer frei, die Messung zu wiederholen und mit Hilfe des Planers zu belegen, dass die prognostizierte Kälteleistung mit der installierten Maschine und dem vereinbarten Regime unter Berücksichtigung des maximalen Messfehlers erbracht werden kann. Vorausgesetzt wird für diesen Nachweis, dass die mittlere Verdampferaustrittstemperatur weniger als 1.0 K über dem vereinbarten Wert und die Kondensatoraustrittstemperatur weniger als 2.0 K unter dem Soll-Wert liegt.

Anhang 1: Erforderliche Messeinrichtungen

Allgemeines

Die nachfolgend definierte Messinstrumente-Genauigkeit bezieht sich auf geeignete, für diesen Einsatzbereich häufig eingesetzte Produkte. Über Fehleradditionen fließt diese direkt in die Beurteilung der zu prüfenden Kennzahlen ein. Vom Unternehmer werden deshalb Messinstrumente erwartet, mit denen diese Genauigkeiten gewährleistet werden können. Erweisen sich einzelne Anforderungen aus Sicht des Unternehmers als unrealistisch, kann er im Rahmen seiner Offerte auf nötige Anpassungen hinweisen.

Temperatur- und Feuchtefühler

Bezeichnung	MFmax	Spezifikation / Temperaturbereich
TV,E Wasserseitige Eintrittstemperatur Verdampfer	+/- 0.20 K	Pt1000; DIN A; 0 °C - 25 °C
TV,A Wasserseitige Austrittstemperatur Verdampfer	+/- 0.20 K	Pt1000; DIN A; 0 °C - 25 °C
TK,E Wasserseitige Eintrittstemperatur Kondensator	+/- 0.25 K	Pt1000; DIN A; 25 °C - 50 °C
TK,A Wasserseitige Austrittstemperatur Kondensator	+/- 0.25 K	Pt1000; DIN A; 25 °C - 50 °C
TK,E,HD* Wasserseitige Eintrittstemperatur HD-Kondensator	+/- 0.30 K	Pt1000; DIN A; 25 °C - 75 °C
TK,A,HD* Wasserseitige Austrittstemperatur HD-Kondensator	+/- 0.30 K	Pt1000; DIN A; 25 °C - 75 °C
TEH,E Wasserseitige Eintrittstemperatur Enthitzer	+/- 0.30 K	Pt1000; DIN A; 25 °C - 75 °C
TEH,A Wasserseitige Austrittstemperatur Enthitzer	+/- 0.30 K	Pt1000; DIN A; 25 °C - 75 °C
TU,E Wasserseitige Eintrittstemperatur Unterkühler	+/- 0.30 K	Pt1000; DIN A; 25 °C - 75 °C
TU,A Wasserseitige Austrittstemperatur Unterkühler	+/- 0.30 K	Pt1000; DIN A; 25 °C - 75 °C
THG,K Kältemittelseitige Eintrittstemperatur Kondensator	+/- 0.40 K	Pt1000; DIN A; 50 °C - 125 °C
THG,EH Kältemittelseitige Eintrittstemperatur Enthitzer	+/- 0.40 K	Pt1000; DIN A; 50 °C - 125 °C
TU,A,KM Kältemittelseitige Austrittstemperatur Unterkühler	+/- 0.30 K	Pt1000; DIN A; 25 °C - 75 °C
TRK,E Wasserseitige Eintrittstemperatur Rückkühler	+/- 0.25 K	Pt1000; DIN A; 25 °C - 50 °C
TRK,A Wasserseitige Austrittstemperatur Rückkühler	+/- 0.25 K	Pt1000; DIN A; 25 °C - 50 °C
TA Aussentemperatur	+/- 0.25 K	Feuchte Kombi-Aussenfühler IP65
φA Aussenfeuchte	+/- 2.00%	Feuchte Kombi-Aussenfühler IP65
TFK Feuchtkugeltemperatur	+/- 1.00 K	Fühler + Messumformer

* Unter dem HD-Kondensator wird der dem Hochdruckverdichter nachgeschaltete Kondensator in zweistufigen Anlagen verstanden

Alle DIN A Pt1000 Messelemente müssen über abgeschirmte Vierleiterverkabelungen eingebunden werden. Der maximale Messfehler eines DIN A Pt1000-Messelements ist abhängig vom Messbereich. Bei 0 °C beträgt er +/- 0.15 K. Mit steigender Temperatur nimmt die Genauigkeit linear ab und erreicht z.B. bei 50 °C einen max. Messfehler von 0.25 K. Die vorgegebenen Genauigkeiten beziehen sich auf die höchste Temperatur im angegebenen Messbereich.

Der maximale Messfehler der Feuchtkugeltemperatur wurde über die maximalen Messfehler der beiden Fühler und den Fehler des Messumformers (Luftdruck) abgeschätzt.

Elektrozähler

Bezeichnung	MFmax	Spezifikation
QE,V Leistungsaufnahme Verdichter an FU-Klemme	+/- 1.5%	MID-Klasse I für Zähler; 0.5 für Wandler
QE,V,HD Leistungsaufnahme HD-Verdichter an FU-Klemme	+/- 1.5%	MID-Klasse I für Zähler; 0.5 für Wandler
QE,HB Leistungsaufnahme Hilfsbetriebe	+/- 1.5%	MID-Klasse I für Zähler; 0.5 für Wandler
QE,RKP Leistungsaufn. Rückkühl- und Sprühwasserpumpen	+/- 1.5%	MID-Klasse I für Zähler; 0.5 für Wandler
QE,RKV Leistungsaufnahme Rückkühlventilatoren	+/- 1.5%	MID-Klasse I für Zähler; 0.5 für Wandler

Unter HB werden die Hilfsbetriebe der ein oder zweistufigen Maschine verstanden. Sie beinhalten die Verdampfer-, Kondensator-, Enthitzer- und Unterkühlerpumpen, sowie die Stellglieder und die Regelung.

Wärmemessungen

Bezeichnung	MFmax	Spezifikation
VV Volumenstrom Verdampfer-Wärmemessung	+/- 3.0%	MID-Klasse I oder II; EN1434
dTV Temperaturdifferenz Verdampfer-Wärmemessung	+/- 0.10 K	Pt100 / Pt500; EN1434 ;EN60751
VK Volumenstrom Kondensator-Wärmemessung	+/- 3.0%	MID-Klasse I oder II; EN1434
dTK Temperaturdifferenz Kondensator-Wärmemessung	+/- 0.10 K	Pt100 / Pt500; EN1434 ;EN60751
VK,HD Volumenstrom HD-Kondensator-Wärmemessung	+/- 3.0%	MID-Klasse I oder II; EN1434
dTK,HD Temperaturdifferenz HD-Kondensator-Wärmemessung	+/- 0.10 K	Pt100 / Pt500; EN1434 ;EN60751
VEH Volumenstrom Enthitzer-Wärmemessung	+/- 3.0%	MID-Klasse I oder II; EN1434
dTEH Temperaturdifferenz Enthitzer-Wärmemessung	+/- 0.10 K	Pt100 / Pt500; EN1434 ;EN60751
VU Volumenstrom Unterkühler-Wärmemessung	+/- 3.0%	MID-Klasse I oder II; EN1434
dTU Temperaturdifferenz Unterkühler-Wärmemessung	+/- 0.10 K	Pt100 / Pt500; EN1434 ;EN60751
p·c Kondensationstemperatur am HT-Druckstutzen	+/- 0.5%	Messumformer MID und EN1434

Für die Temperaturdifferenzmessung müssen paarweise, aufeinander abgestimmte Fühler eingesetzt werden. Der maximale Messfehler der Wärmemessung ergibt sich aus dem maximalen Messfehler der drei involvierten Komponenten (Volumenstrommessung, Temperaturdifferenzmessung und Messumformer) und wird gemäss Anhang 2 berechnet.

Druckmessumformer

Der maximale Messfehler geeigneter und in NH₃-Anlagen üblicherweise für den Temperaturbereich von 0 °C bis 60 °C eingesetzter Druckmessumformer beträgt +/- 0.8%. Für Hochdruckanwendungen mit NH₃-Kondensationstemperaturen über 70 °C muss im Falle des hier zu Grunde liegenden Lieferanten ein Sensortyp mit einem maximalen Messfehler von 2.0% eingesetzt werden. In der Auflistung nicht erwähnt ist der Temperaturbereich von 40 bis 60 °C, für den im Falle von NH₃-Anlagen zur Minimierung des Messfehlers ein Sensor mit dem Messbereich -1 bis 34 bar eingesetzt werden müsste.

Der relative Druckmessfehler bezieht sich auf den gesamten Messbereich des Sensors (FS = Fullscale). Der daraus resultierende, maximale Temperaturmessfehler (MFmax) wird aus einer Dampfdrucktabelle für das eingesetzte Kältemittel abgeleitet.

Alle nachfolgend aufgeführten Temperaturmessfehler beziehen sich auf das Kältemittel NH₃, den maximal möglichen Druckmessfehler und die kleinste Temperatur im angegebenen Temperaturbereich. Der Druckmessfehler wirkt sich bei tiefen Temperaturen stärker aus als bei hohen. Die vorgegebenen Genauigkeiten für die entsprechenden Temperaturbereiche entsprechen deshalb dem ungünstigsten Fall.

Die über Druckfühler ermittelten Verdampfungs-, Mitteldruck- und Kondensationstemperaturen sind relativ ungenau. Sie spielen bei der Beurteilung der vereinbarten Kennzahlen eine untergeordnete Rolle. Zur Vereinfachung des Verfahrens sind die Auswirkungen des Analog-Digital-Wandlers und der Druck-Temperatur-Umrechnung deshalb in den hier ermittelten maximalen Temperatur-Messfehlern nicht berücksichtigt.

Die Druckmessumformer am Saug- und Druckstutzen der Verdichter dienen der ETH Zürich zur Problem eingrenzung im Falle von Effizienzverfehlungen und müssen nicht über das Leitsystem aufgezeichnet werden.

Bezeichnung	MFmax	Spezifikation / Temperaturbereich
T _{0,V} Verdampfungstemperatur im Verdampfer	+/- 0.70 K	-1 bis 12 bar (0 - 20 °C); +/- 0.8% FS
T _{0,S} Verdampfungstemperatur am Saugstutzen	+/- 0.70 K	-1 bis 12 bar (0 - 20 °C); +/- 0.8% FS
T _{C,K} Kondensationstemperatur im Kondensator	+/- 0.60 K	-1 bis 20 bar (20 - 40 °C); +/- 0.8% FS
T _{C,D} Kondensationstemperatur am Druckstutzen	+/- 0.60 K	-1 bis 20 bar (20 - 40 °C); +/- 0.8% FS
TMD Nassdampf Temperatur im Mitteldruckgefäss	+/- 0.60 K	-1 bis 20 bar (20 - 40 °C); +/- 0.8% FS
T _{C,K,HD} Kondensationstemperatur im HD-Kondensator	+/- 2.30 K	0 bis 60 bar (50 - 80 °C); +/- 2.0% FS
T _{C,D,HD} Kondensationstemperatur am HD-Druckstutzen	+/- 2.30 K	0 bis 60 bar (50 - 80 °C); +/- 2.0% FS

Anhang 2: Messfehlerbedingter Toleranzbereich

Allgemeines

Die für die Maschine vereinbarten Leistungen und Effizienzen werden unter Berücksichtigung der maximal möglichen Messfehler beurteilt. Insbesondere bei Anforderungen wie der Erzeugungseffizienz, die über diverse Messinstrumente ermittelt werden muss, ist das Auftreten des maximal möglichen Messfehlers ausgesprochen unwahrscheinlich.

In der Folge werden von der ETH Zürich auch messtechnisch ermittelte Anlagekennzahlen akzeptiert, die relativ deutlich unter den vereinbarten Werten liegen. Mit der Offerteingabe akzeptiert der Unternehmer deshalb das vorgängig beschriebene Beurteilungsverfahren mit allen getroffenen Vereinfachungen.

Alle blau aufgeführten Sollwerte und Leistungen sind als Beispiele zu interpretieren und werden seitens ETH Zürich den effektiven Projektanforderungen bzw. dem Angebot des beauftragten Unternehmers angepasst.

Tauscher-Grädigkeiten

Grädigkeit Verdampfer

Grädigkeit Verdampfer = $T_{V,A} - T_{0,V} \leq$ 2.0 K			
	Sollwert	Max. MF	ungünst. Wert
$T_{0,V}$	4.0 °C	+/- 0.70 K	3.3 °C
$T_{V,A}$	6.0 °C	+/- 0.20 K	6.2 °C
Max. zulässige gem. Grädigkeit Verdampfer:			2.9 K

Grädigkeit Kondensator

Grädigkeit Kondensator = $T_{C,K} - T_{K,A} \leq$ 2.0 K			
	Sollwert	Max. MF	ungünst. Wert
$T_{C,K}$	36.0 °C	+/- 0.60 K	36.6 °C
$T_{K,A}$	34.0 °C	+/- 0.25 K	33.8 °C
Max. zulässige gem. Grädigkeit Kondensator:			2.9 K

Grädigkeit Unterkühler

Grädigkeit Unterkühler = $T_{U,A,KM} - T_{U,E} \leq$ 2.0 K			
	Sollwert	Max. MF	ungünst. Wert
$T_{U,A,KM}$	52.0 °C	+/- 0.30 K	52.3 °C
$T_{U,E}$	50.0 °C	+/- 0.30 K	49.7 °C
Max. zulässige gem. Grädigkeit Unterkühler:			2.6 K

Grädigkeit HD-Kondensator

Grädigkeit HD-Kondensator = $T_{C,K,HD} - T_{K,A,HD} \leq$ 2.0 K			
	Sollwert	Max. MF	ungünst. Wert
$T_{C,K,HD}$	74.0 °C	+/- 2.30 K	76.3 °C
$T_{K,A,HD}$	72.0 °C	+/- 0.30 K	71.7 °C
Max. zulässige gem. Grädigkeit HD-Kondensator:			4.6 K

Zur Vermeidung von Hochdruckstörungen bei nicht betriebem Enthitzer wird dieser in der Auslegung des Kondensators nicht berücksichtigt.

Die Grädigkeit des Enthitzers wird nicht überprüft. Entscheidend ist, dass die prognostizierte Enthitzerleistung unter dem vereinbarten Regime und der vereinbarten wasserseitigen Enthitzer-Eintrittstemperatur ausgewiesen werden kann.

Der Unterkühler wird grundsätzlich zur Erhöhung der Produktionseffizienz eingesetzt. Diese steigt mit zunehmender Unterkühlung des kondensierten Kältemittels. Überprüft wird deshalb nicht die Differenz zwischen wasserseitigen Unterkühleraustrittstemperatur und der Kondensationstemperatur, sondern die Differenz zwischen der wasserseitigen Eintritts- und der kältemittelseitigen Austrittstemperatur unter Volllast.

Die Effizienzsteigerung durch den Unterkühler ist in der Prognose des Unternehmers berücksichtigt. ETH-seitig muss aus diesem Grund für die Überprüfung der Produktionseffizienz gewährleistet werden, dass die wasserseitige Eintrittstemperatur in den Unterkühler den vereinbarten Wert nicht übersteigt.

Kälte- und Wärmeleistungen

Kälteleistung Verdampfer

Kälteleistung $Q_0 = V_v \cdot p \cdot c \cdot dT_v =$ 1'000.0 kW			
	Sollwert	Max. MF	ungünst. Wert
$p \cdot c$	1.16 kW/m ³ /h/K	+/- 0.50%	1.16 kW/m ³ /h/K
V_v	143.5 m ³ /h	+/- 3.00%	139.2 m ³ /h
dT_v	6.00 K	+/- 0.10 K	5.90 °C
Zulässige gemessene Kälteleistung Q_0 :			949 kW
Max. Messfehler gemessene Kälteleistung Q_0 :			-5.09%

Abwärmeleistung Kondensator

Abwärmeleistung $Q_C = V_k \cdot p \cdot c \cdot dT_k =$ 1'000.0 kW			
	Sollwert	Max. MF	ungünst. Wert
$p \cdot c$	1.16 kW/m ³ /h/K	+/- 0.50%	1.16 kW/m ³ /h/K
V_k	143.5 m ³ /h	+/- 3.00%	139.2 m ³ /h
dT_k	6.00 K	+/- 0.10 K	5.90 °C
Zulässige gemessene Abwärmeleistung Q_C :			949 kW
Max. Messfehler gem. Abwärmeleistung Q_C :			-5.09%

Abwärmeleistung Enthitzer

Enthitzerleistung $Q_{EH} = V_{EH} \cdot \rho \cdot c \cdot dT_{EH} =$				100.0 kW
	Sollwert	Max. MF	ungünst. Wert	
$\rho \cdot c$	1.16 kW/m ³ /h/K	+/- 0.50%	1.16 kW/m ³ /h/K	
V_{EH}	8.6 m ³ /h	+/- 3.00%	8.4 m ³ /h	
dT_{EH}	10.00 K	+/- 0.10 K	9.90 °C	
Zulässige gemessene Enthitzerleistung Q_{EH} :				96 kW
Max. Messfehler gem. Enthitzerleistung Q_{EH} :				-4.45%

Abwärmeleistung HD-Kondensator

Abwärmeleistung $Q_{C,HD} = V_{K,HD} \cdot \rho \cdot c \cdot dT_{K,HD} =$				1'000.0 kW
	Sollwert	Max. MF	ungünst. Wert	
$\rho \cdot c$	1.16 kW/m ³ /h/K	+/- 0.50%	1.16 kW/m ³ /h/K	
$V_{K,HD}$	143.5 m ³ /h	+/- 3.00%	139.2 m ³ /h	
$dT_{K,HD}$	6.00 K	+/- 0.10 K	5.90 °C	
Zulässige gemessene Abwärmeleistung $Q_{C,HD}$:				949 kW
Max. Messfehler gem. Abwärmeleistung $Q_{C,HD}$:				-5.09%

Die prognostizierte Enthitzerleistung kann nur erbracht werden, wenn die wasserseitige Eintrittstemperatur in den Enthitzer den vereinbarten Wert nicht übersteigt. ETH-seitig muss diese Temperatur deshalb für die Überprüfung der Enthitzerleistung gewährleistet werden.

Die Unterkühlerleistung Q_U wird aus den unter „Tauscher-Grädigkeiten“ erwähnten Gründen nicht überprüft, aber in der Erzeugungseffizienz mit dem maximalen Messfehler der Enthitzerleistung berücksichtigt.

Erzeugungseffizienzen**Kälteerzeugungseffizienz ohne Hilfsbetriebe**

$EER_V = Q_0 / Q_{E,V} =$				6.7
	Sollwert	Max. MF	ungünst. Wert	
Q_0	1000.0 kW	+/- 5.09%	949.1 kW	
$Q_{E,V}$	150.0 kW	+/- 1.50%	152.3 kW	
Zulässiger gemessener/berechneter EER_V :				6.2
Max. Messfehler des gem./ber. EER_V :				-6.50%

Kälteerzeugungseffizienz mit Hilfsbetrieben

$EER_{HB} = Q_0 / (Q_{E,V} + Q_{E,HB}) =$				6.1
	Sollwert	Max. MF	ungünst. Wert	
Q_0	1000.0 kW	+/- 5.09%	949.1 kW	
$Q_{E,V}$	150.0 kW	+/- 1.50%	152.3 kW	
$Q_{E,HB}$	15.0 kW	+/- 1.50%	15.2 kW	
Zulässiger gemessener/berechneter EER_{HB} :				5.7
Max. Messfehler des gem./ber. EER_{HB} :				-6.50%

Gesamteffizienz Abwärmenutzungsbetr. ohne Hilfsbetriebe

$COP_{tot,V} = (Q_0 + Q_{C,HD} + Q_{EH} + Q_U) / (Q_{E,V} + Q_{E,V,HD}) =$				7.3
	Sollwert	Max. MF	ungünst. Wert	
Q_0	1000.0 kW	+/- 5.09%	949.1 kW	
$Q_{C,HD}$ od. Q_C	1050.0 kW	+/- 5.09%	996.5 kW	
Q_{EH}	100.0 kW	+/- 4.45%	95.5 kW	
Q_U	50.0 kW	+/- 4.45%	47.8 kW	
$Q_{E,V}$	150.0 kW	+/- 1.50%	152.3 kW	
$Q_{E,V,HD}$	150.0 kW	+/- 1.50%	152.3 kW	
Zulässiger gemessener/berechneter $COP_{tot,V}$:				6.9
Max. Messfehler des gem./ber. $COP_{tot,V}$:				-6.45%

Gesamteffizienz Abwärmenutzungsbetr. mit Hilfsbetrieben

$COP_{tot,HB} = (Q_0 + Q_{C,HD} + Q_{EH} + Q_U) / (Q_{E,V} + Q_{E,V,HD} + Q_{E,HB}) =$				7.0
	Sollwert	Max. MF	ungünst. Wert	
Q_0	1000.0 kW	+/- 5.09%	949.1 kW	
$Q_{C,HD}$ od. Q_C	1050.0 kW	+/- 5.09%	996.5 kW	
Q_{EH}	100.0 kW	+/- 4.45%	95.5 kW	
Q_U	50.0 kW	+/- 4.45%	47.8 kW	
$Q_{E,V}$	150.0 kW	+/- 1.50%	152.3 kW	
$Q_{E,V,HD}$	150.0 kW	+/- 1.50%	152.3 kW	
$Q_{E,HB}$	15.0 kW	+/- 1.50%	15.2 kW	
Zulässiger gemessener/berechneter $COP_{tot,HB}$:				6.5
Max. Messfehler des gem./ber. $COP_{tot,HB}$:				-6.45%

Die als COP_{tot} bezeichnete Gesamteffizienz der Maschine bezieht sich auf den Abwärmenutzungsbetrieb. Die Gesamteffizienz ergibt sich für diese Betriebsart analog dem EER aus dem Ertrags-/ Aufwandverhältnis. Als Ertrag fällt die erzeugte Kälteenergie und die genutzte Abwärme an. Der Aufwand bezieht sich im erwähnten Beispiel auf eine zweistufige Anlage mit zwei seriell geschalteten Verdichtern. Für eine einstufige Maschine im Abwärmenutzungsbetrieb entfällt die Leistungsaufnahme des zweiten, nicht vorhandenen Verdichters.

Für die Beurteilung der Gesamteffizienz müssen sowohl der Unterkühler wie auch der Enthitzer zwingend betrieben werden.

Anhang 3: Regimeabgleich

Grundüberlegung: Der Verdichter-Gütegrad bleibt innerhalb enger Regimebandbreiten quasi konstant.

Vorgabe Messung: Die mittlere Verdampfungs- und Kondensationstemperatur im berücksichtigten Messintervall darf nicht mehr als ± 2.0 K (Verdampfungstemperatur T_0) bzw. ± 4.0 K (Kondensationstemperatur T_C) vom vorgegebenen Regime abweichen.

Gütegrad: $G = EER/EER_{Carnot}$ $EER = \text{Kälteleistungsziffer}; EER_{Carnot} = T_0 / (T_C - T_0)$
 $T_0 = \text{Verdampfungsdruck um Saugstutzen}$
 $T_C = \text{Kondensationsdruck am Druckstutzen}$

Wenn der Verdichter-Gütegrad als konstant angenommen wird, gilt folgender Zusammenhang:

$$EER_{M,G=c} = EER_P \cdot ((T_{C,P} - T_{0,P}) / (T_{C,M} - T_{0,M})) \cdot (T_{0,M} / T_{0,P})$$

Index M = Messung
Index P = Prognose

Die Vereinfachung über den konstanten Gütegrad bewirkt für die vorgesehene Regimebandbreite Berechnungsabweichungen gegenüber den Verdichterauslegungsprogrammen. Unter Berücksichtigung der empirisch ermittelten Korrekturfunktion weisen die rechnerisch ermittelten EER gegenüber den Lieferantenprognosen für Ammoniak-Maschinen im schlechtesten Fall Abweichungen von 1.2% auf (siehe Anhang).

$$EER_{M,G=korr} = EER_{M,G=c} \cdot (1 - (T_{0,P} - T_{0,M}) \cdot K_{T0}) \cdot (1 - (T_{C,P} - T_{C,M}) \cdot K_{TC})$$

Unter Berücksichtigung der Korrekturfunktion resultiert folgende Beziehung für Ermittlung der Auswirkungen von Regimeabweichungen auf die Kälteerzeugungseffizienz:

$$EER_M = EER_P \cdot \frac{(T_{C,P} - T_{0,P}) \cdot T_{0,M}}{(T_{C,M} - T_{0,M}) \cdot T_{0,P}} \cdot (1 - (T_{0,P} - T_{0,M}) \cdot K_{T0}) \cdot (1 - (T_{C,P} - T_{C,M}) \cdot K_{TC})$$

Hinweis:
Berechnung mit
Absolut-Temperaturen

Im Rahmen des Abnahmeverfahrens wird das Regime nicht über die Verdampfungs- und Kondensationstemperatur, sondern über die Verdampfer- und Kondensatoraustrittstemperatur definiert. Dieser Umstand wird über die ETH-seitig vorgegebene Grädigkeit für den Verdampfer und den Kondensator von 2.0 K berücksichtigt.

Beispiel

$K_{TC} = \text{Korrekturfaktor Abweichung } T_C \text{ (gültig für NH}_3\text{)} = -0.0020 \text{ 1/K}$

Grädigkeitsanforderung gem. ETH: **2.0 K**

$K_{T0} = \text{Korrekturfaktor Abweichung } T_0 \text{ (gültig für NH}_3\text{)} = 0.0042 \text{ 1/K}$

	$T_{V,A}$	T_0	$T_{K,A}$	T_C	EER
Unternehmerprognose gemäss Submissionsvorgaben	6.0 °C	4.0 K	33.0 °C	35.0 K	6.65
Messresultate stationärer Betrieb Abnahme	4.0 °C	2.0 K	37.0 °C	39.0 K	5.00
Regimekorrigierte Unternehmerprognose	4.0 °C	2.0 K	37.0 °C	39.0 K	5.44

Abweichung Messung von regimekorrigierter Prognose: -8.1%

Maximaler Messfehler EER-Messung ohne Regimemessfehler: -6.5%

Maximaler Messfehler Regime-Messung: 0.45 K mit 3.3%/K (Anhang 3b) ---> -1.5%

Maximaler Messfehler EER-Messung: -8.0%

--> Anforderung nicht erfüllt (EER weicht stärker von der regimekorrigierten Prognose ab, als zulässig)

Anhang 3b:

Verifizierung Abgleichverfahren mit Verdichterauslegungsprogrammen

Hinweis: Alle folgenden Angaben und Korrekturfaktoren beziehen sich auf das Kältemittel Ammoniak!

Grasso V1100 1200U/min

Prognose: Q0 = 1'021 kW
QW = 153 kW

Unterkühlung / Überhitzung: 0 K

K,T0: 0.0042 1/K

K,TC: -0.0020 1/K

	Prognose	Betriebszustände mit Regimeabweichung				
	delta T0	0.0 K	2.0 K	-2.0 K	0.0 K	0.0 K
	delta TC	0.0 K	0.0 K	0.0 K	4.0 K	-4.0 K
Verdampfungstemperatur T0 [°C]	4.0	6.0	2.0	4.0	4.0	2.0
Kondensationstemperatur Tc [°C]	35.0	35.0	35.0	39.0	31.0	39.0
Kälteleistungsziffer EER,Carnot [--]	8.94	9.63	8.33	7.92	10.26	7.44
Kälteleistungsziffer EER Lieferant [--]	6.65	7.20	6.16	5.85	7.65	5.44
Gütegrad G Lieferant [--]	0.744	0.748	0.739	0.739	0.745	0.732
Kälteleistungsziffer EER (G = const.) [--]	6.65	7.16	6.20	5.89	7.64	5.53
Gütegrad G (G = const.) [--]	0.744	0.744	0.744	0.744	0.744	0.744
Kälteleistungsziffer EER (G = korr.) [--]	6.65	7.22	6.15	5.84	7.70	5.44
Gütegrad G (G = korr.) [--]	0.744	0.750	0.738	0.738	0.750	0.732
Abweichung zu EER Lieferant [%]	0.0%	-0.3%	0.2%	0.1%	-0.6%	0.0%
Spez. Auswirkung Temperaturänderung [%]		4.1%	-3.7%	-3.0%	3.8%	

Grasso V1100 1200U/min

Prognose: Q0 = 1'124 kW
QW = 228 kW

Unterkühlung / Überhitzung: 0 K

K,T0: 0.0042 1/K

K,TC: -0.0020 1/K

	Prognose	Betriebszustände mit Regimeabweichung				
	delta T0	0.0 K	2.0 K	-2.0 K	0.0 K	0.0 K
	delta TC	0.0 K	0.0 K	0.0 K	4.0 K	-4.0 K
Verdampfungstemperatur T0 [°C]	10.0	12.0	8.0	10.0	10.0	8.0
Kondensationstemperatur Tc [°C]	52.0	52.0	52.0	56.0	48.0	56.0
Kälteleistungsziffer EER,Carnot [--]	6.74	7.13	8.33	6.16	7.45	5.86
Kälteleistungsziffer EER Lieferant [--]	4.94	5.27	4.63	4.45	5.52	4.19
Gütegrad G Lieferant [--]	0.733	0.739	0.556	0.723	0.741	0.715
Kälteleistungsziffer EER (G = const.) [--]	4.94	5.22	4.68	4.51	5.46	4.29
Gütegrad G (G = const.) [--]	0.733	0.733	0.562	0.733	0.733	0.733
Kälteleistungsziffer EER (G = korr.) [--]	4.94	5.27	4.64	4.47	5.50	4.22
Gütegrad G (G = korr.) [--]	0.733	0.739	0.557	0.727	0.739	0.721
Abweichung zu EER-Prognose Lieferant [%]	0.0%	0.0%	-0.3%	-0.5%	0.3%	-0.8%
Spez. Auswirkung Temperaturänderung [%]		3.3%	-3.1%	-2.5%	2.9%	

Mycom N6M 1500U/min

Prognose: Q0 = 1'060 kW
 QW = 165 kW

Unterkühlung / Überhitzung: 0 K

K,T0: 0.0042 1/K

K,TC: -0.0020 1/K

	Prognose	Betriebszustände mit Regimeabweichung				
		delta T0	delta TC			
Verdampfungstemperatur T0 [°C]	4.0	6.0	2.0	4.0	4.0	2.0
Kondensationstemperatur Tc [°C]	35.0	35.0	35.0	39.0	31.0	39.0
Kälteleistungsziffer EER,Carnot [--]	8.94	9.63	8.33	7.92	10.26	7.44
Kälteleistungsziffer EER Lieferant [--]	6.44	7.03	5.97	5.64	7.44	5.26
Gütegrad G Lieferant [--]	0.720	0.730	0.716	0.712	0.725	0.707
Kälteleistungsziffer EER (G = const.) [--]	6.44	6.93	6.01	5.70	7.39	5.36
Gütegrad G (G = const.) [--]	0.720	0.720	0.721	0.720	0.720	0.720
Kälteleistungsziffer EER (G = korr.) [--]	6.44	6.99	5.96	5.66	7.45	5.27
Gütegrad G (G = korr.) [--]	0.720	0.726	0.715	0.715	0.726	0.709
Abweichung zu EER-Prognose Lieferant [%]	0.0%	0.5%	0.2%	-0.3%	-0.2%	-0.2%
Spez. Auswirkung Temperaturänderung [%]	100.0%	4.6%	-3.6%	-3.1%	3.9%	

Mycom N6M 1500U/min

Prognose: Q0 = 1'183 kW
 QW = 246 kW

Unterkühlung / Überhitzung: 0 K

K,T0: 0.0042 1/K

K,TC: -0.0020 1/K

	Prognose	Betriebszustände mit Regimeabweichung				
		delta T0	delta TC			
Verdampfungstemperatur T0 [°C]	10.0	12.0	8.0	10.0	10.0	8.0
Kondensationstemperatur Tc [°C]	52.0	52.0	52.0	56.0	48.0	56.0
Kälteleistungsziffer EER,Carnot [--]	6.74	7.13	8.33	6.16	7.45	5.86
Kälteleistungsziffer EER Lieferant [--]	4.81	5.13	4.51	4.35	5.36	4.09
Gütegrad G Lieferant [--]	0.713	0.720	0.541	0.707	0.719	0.698
Kälteleistungsziffer EER (G = const.) [--]	4.81	5.09	4.56	4.39	5.32	4.18
Gütegrad G (G = const.) [--]	0.713	0.713	0.547	0.713	0.713	0.713
Kälteleistungsziffer EER (G = korr.) [--]	4.81	5.13	4.52	4.36	5.36	4.11
Gütegrad G (G = korr.) [--]	0.713	0.719	0.542	0.708	0.719	0.702
Abweichung zu EER-Prognose Lieferant [%]	0.0%	0.0%	-0.2%	-0.2%	0.0%	-0.5%
Spez. Auswirkung Temperaturänderung [%]	100.0%	3.3%	-3.1%	-2.4%	2.9%	

Sabroe SMC 116E 1470U/min

Prognose: Q0 = 968 kW
 QW = 151 kW

Unterkühlung / Überhitzung: 0 K

K,T0: 0.0042 1/K

K,TC: -0.0010 1/K

	Prognose	Betriebszustände mit Regimeabweichung				
delta T0	0.0 K	2.0 K	-2.0 K	0.0 K	0.0 K	-2.0 K
delta TC	0.0 K	0.0 K	0.0 K	4.0 K	-4.0 K	4.0 K
Verdampfungstemperatur T0 [°C]	4.0	6.0	2.0	4.0	4.0	2.0
Kondensationstemperatur Tc [°C]	35.0	35.0	35.0	39.0	31.0	39.0
Kälteleistungsziffer EER,Carnot [--]	8.94	9.63	8.33	7.92	10.26	7.44
Kälteleistungsziffer EER Lieferant [--]	6.39	6.89	5.94	5.66	7.30	5.28
Gütegrad G Lieferant [--]	0.715	0.716	0.713	0.715	0.711	0.710
Kälteleistungsziffer EER (G = const.) [--]	6.39	6.88	5.96	5.66	7.34	5.32
Gütegrad G (G = const.) [--]	0.715	0.715	0.715	0.715	0.715	0.715
Kälteleistungsziffer EER (G = korr.) [--]	6.39	6.94	5.91	5.64	7.37	5.25
Gütegrad G (G = korr.) [--]	0.715	0.721	0.709	0.712	0.718	0.706
Abweichung zu EER-Prognose Lieferant [%]	0.0%	-0.7%	0.5%	0.4%	-0.9%	0.6%
Spez. Auswirkung Temperaturänderung [%]	100.0%	3.9%	-3.5%	-2.9%	3.6%	

Sabroe SMC 116E 1470U/min

Prognose: Q0 = 1'072 kW
 QW = 223 kW

Unterkühlung / Überhitzung: 0 K

K,T0: 0.0042 1/K

K,TC: -0.0010 1/K

	Prognose	Betriebszustände mit Regimeabweichung				
delta T0	0.0 K	2.0 K	-2.0 K	0.0 K	0.0 K	-2.0 K
delta TC	0.0 K	0.0 K	0.0 K	4.0 K	-4.0 K	4.0 K
Verdampfungstemperatur T0 [°C]	10.0	12.0	8.0	10.0	10.0	8.0
Kondensationstemperatur TC [°C]	52.0	52.0	52.0	56.0	48.0	56.0
Kälteleistungsziffer EER,Carnot [--]	6.74	7.13	8.33	6.16	7.45	5.86
Kälteleistungsziffer EER Lieferant [--]	4.81	5.12	4.52	4.33	5.36	4.08
Gütegrad G Lieferant [--]	0.713	0.718	0.542	0.703	0.719	0.697
Kälteleistungsziffer EER (G = const.) [--]	4.81	5.09	4.56	4.39	5.32	4.18
Gütegrad G (G = const.) [--]	0.713	0.713	0.547	0.713	0.713	0.713
Kälteleistungsziffer EER (G = korr.) [--]	4.81	5.13	4.52	4.37	5.34	4.13
Gütegrad G (G = korr.) [--]	0.713	0.719	0.542	0.711	0.716	0.705
Abweichung zu EER-Prognose Lieferant [%]	0.0%	-0.2%	0.0%	-1.0%	0.4%	-1.2%
Spez. Auswirkung Temperaturänderung [%]	100.0%	3.2%	-3.0%	-2.5%	2.9%	

Spezifische Auswirkung Temperaturänderungen (Mittelwert aller untersuchter Verdichter):

Regime 10/52°C: T0 (± 2.0 K) --> 3.2%/K TC (± 4.0 K) --> 2.7%/K
 Regime 4/35°C: T0 (± 2.0 K) --> 3.9%/K TC (± 4.0 K) --> 3.4%/K

Vereinfachung für Auswirkung Messfehler Regime-Messung (Mittelwert beider Regime): 3.3%/K