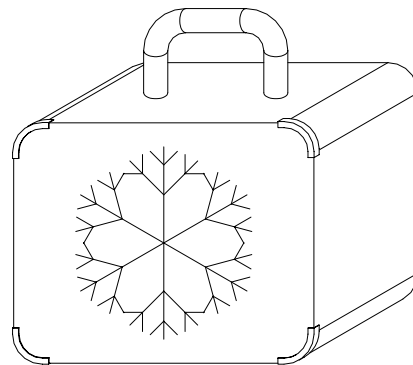


# CoolPack

- eine Sammlung von Simulationswerkzeugen  
für die Kältetechnik -

**Gebrauchsanleitung - Version 1.46**



**Autoren:**

*Arne Jakobsen  
Bjarne Dindler Rasmussen  
Morten Juel Skovrup  
Simon Engedal Andersen*

**Übersetzung:**

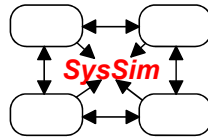
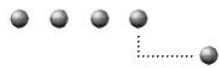
*Ulrich Lehmann*

**Energie-Departement Engineering  
Technische Universität Dänemark  
(DTU)**

[CoolPack@et.dtu.dk](mailto:CoolPack@et.dtu.dk)

[www.et.dtu.dk/CoolPack](http://www.et.dtu.dk/CoolPack)

May 2003



<b>1.</b>	<b>Einführung</b> .....	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>Beschreibung von Coolpack</b> .....	<b>4</b>
<b>3.</b>	<b>Coolpack Kontakt</b> .....	<b>7</b>
<b>4.</b>	<b>Installation</b> .....	<b>8</b>
<b>5.</b>	<b>Übungen und Übungsüberblick</b> .....	<b>9</b>
5.1.	Übung 1: Grundlegendes in CoolPack.....	10
5.2.	Übung 2: Grundlegendes der EESCoolTools .....	12
5.2.1.	Eine Liste aller Tastenkombinationen im CoolTool.....	15
5.2.2.	Überblick über die Menükнопfe .....	16
5.3.	Übung 3: Grundlegendes der Kälte-Dienstprogramme .....	17
5.3.1.	Liste von nützlichen Abkürzungen in den Kälte- Dienstprogrammen .....	20
5.4.	Übung 4: Kurze EESCoolTool Übung .....	21
5.4.1.	Lösungsvorschlag zu Übung 4.....	22
5.5.	Übung 5: Kurze Kälte-Dienstprogramm Übung .....	23
5.5.1.	Lösungsvorschlag zu Übung 5.....	24
5.6.	Übung 6: Erstellen von Eigenschaftsdiagrammen und Kälte- Prozessen .....	25
5.6.1.	Lösungsvorschlag zu Übung 6.....	26
5.7.	Übung 7: Einstufiger Prozess mit DX-Verdampfer .....	28
5.7.1.	Lösungsvorschlag zu Übung 7.....	29
5.8.	Übung 8: Einstufiger Prozess mit überflutetem Verdampfer.....	30
5.8.1.	Lösungsvorschlag zu Übung 8.....	31
5.9.	Übung 9: Entwerfen eines einstufigen Systems .....	32
5.9.1.	Lösungsvorschlag zu Übung 9.....	33
5.10.	Übung 10: Energie-Analyse eines „Ein-Aus“ gesteuerten Systems .....	37
5.10.1.	Lösungsvorschlag zu Übung 10.....	38
5.11.	Übung 11: Flüssigkeitsstrom in Rohren (Druckabfall und Wärmetransport) .....	39
5.11.1.	Lösungsvorschlag zu Übung 11.....	40
5.12.	Übung 12: Abkühlen von Kühlgut in einem Kühlraum .....	41
5.12.1.	Lösungsvorschlag zu Übung 12.....	42
<b>6.</b>	<b>BEGRIFFE, ABKÜRZUNGEN UND ANDERE HINWEISE</b> .....	<b>43</b>
6.1.	Begriffe .....	43
6.2.	Bildschirm-Auflösung .....	43
6.3.	EESCoolTools.....	43
<b>7.</b>	<b>ÜBERBLICK ÜBER DIE PROGRAMME IN COOLPACK</b> .....	<b>44</b>
7.1.	Programme in KälteDienstprogrammen .....	44
7.2.	Programme in EESCoolTool: Prozess-Analyse (C-Tools).....	44
7.3.	Programme in EESCoolTools: Design.....	45
7.4.	Programme in EESCoolTools: Auswertung (E-Tools) .....	45
7.5.	Programme in EESCoolTools: Hilfswerkzeuge (A-Tools).....	46
7.6.	Programme in Dynamik.....	46

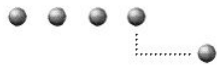


## 1. Einführung

CoolPack ist ein Programm, das Berechnungen in der Kältetechnik erleichtert und Simulationen ermöglicht. Um den deutschsprachigen Benutzern den Umgang mit diesem Programm zu erleichtern, habe ich die Originalanleitung übersetzt. Sie gibt eine allgemeine Einführung in CoolPack und enthält einige Übungen, die demonstrieren, wie die Programme in CoolPack verwendet werden sollen.

Die Übungen sind in Gruppen aufgegliedert, die die verschiedenartigen Typen von Untersuchungen vertreten, für die CoolPack verwendet werden kann. Die Übungen 1 bis 3 leiten darauf ein, wie man die verschiedenartigen Typen von Programmen in CoolPack benutzt und zwischen ihnen navigiert. Die Übungen 4 bis 12 sind ausführlicher und haben zum Ziel, den Gebrauch von CoolPack für Systemanalysen zu demonstrieren.

Sobald Sie mit den Programmen in CoolPack vertraut geworden sind, hoffen wir, dass Sie CoolPack gebrauchen werden, um Kälte-orientierte Aufgaben in Verbindung mit Ihrem Job, ihrer Ausbildung zu lösen. Wenn Sie irgendwelche Anmerkungen oder Fragen über CoolPack haben, ermuntern wir Sie, sich mit uns in Verbindung zu setzen. Ihre Ideen werden uns helfen, CoolPack zu einem noch besseren Programm zu machen.



## 2. Beschreibung von Coolpack

Die Entwicklung von CoolPack hat im Frühling 1998 als ein Teil eines Forschungsprojektes angefangen. Das Ziel dieses Projektes war, Simulationsmodelle zu entwickeln, welche für Energie-Optimierung von Kältesystemen zu verwenden sind. Die Benutzer dieser Modelle sind Kältetechniker, Ingenieure, Studenten usw. also alles Personen mit Einfluss auf den gegenwärtigen und zukünftigen Energieverbrauch von Kältesystemen.

Die erste Idee war, ein allgemeines und umfassendes Simulationsprogramm zu machen, das dem Benutzer die ganze Flexibilität gibt, die er sich in Bezug auf die vielen verschiedenen System-Designs und Untersuchungszwecken wünschen kann. Einige der Eigenschaften von sehr allgemeinen und flexiblen Programmen sind, dass sie eine grosse Benutzer- Auswahl verlangen, und dass ihre Stabilität ziemlich niedrig ist. Die Erfahrung mit solchen Programmtypen hat gezeigt, dass sie weit weg von idealen Simulationsprogrammen für den oben erwähnten Benutzer sind. Da die meisten dieser Benutzer beschränkt Zeit haben, um die Untersuchung auszuführen, werden allgemeine und umfassende Programme in vielen Fällen in der Benutzung sehr erfolglos sein, und sie werden deshalb oft von den Benutzern abgelegt.

Die Idee hinter der Entwicklung von CoolPack unterscheidet sich von der oben beschriebenen Idee. Anstatt ein großes, allgemeines und umfassendes Simulationsprogramm zu schaffen, haben wir uns dafür entschieden, eine kleine und einfache Sammlung und mehrere stabile Simulationsprogramme zu schaffen.

Das typische Simulierungsprogramm in CoolPack befasst sich nur mit einem Anlagentyp und hat einen spezifischen Untersuchungszweck. Es verlangt deshalb nur die für die Angaben/Auswahl notwendigen Betriebsbedingungen etc. und nicht irgendwelche Angaben, um das komplette System-Design zu beschreiben oder um die mit dem Simulationszweck eng verbundene Struktur anzugeben.

Beim Entwickeln der Programme für CoolPack haben wir uns darauf konzentriert, die Bilder der zugrundeliegenden System-Modelle so einfach, relevant und stabil wie möglich zu machen. Wir haben etwas Flexibilität beibehalten, indem der Benutzer das Kältemittel auswählen und auch Angaben (wie Druck) auf mehr als eine Weise (Sättigungstemperatur oder Druck) angeben kann.

Die Programme in CoolPack decken die folgenden Simulationsbereiche:

- Berechnung der Kühllast (Eigenschaften, thermodynamische und thermophysikalische Daten, Vergleiche).
- Prozess-Analyse - z.B Vergleich von ein- oder zweistufigen Prozessen.
- System-Dimensionierung - Berechnung von Komponenten in Abhängigkeit von generellen Auslegungskriterien.
- System-Simulation - Berechnung von Betriebsbedingungen in einem System mit bekannten Komponenten.
- Auswertung von Prozessen - Auswertung der System-Effizienz und Vorschläge zur Reduktion des Energieverbrauches.
- Komponentenberechnung - Berechnung der Effizienz einzelner Komponenten.
- Simulation einer Abkühlungskurve einer Ware - z.B zur Auswertung von Kühlungsperioden.

Um in den Programmen von CoolPack einfacher einen Überblick zu bekommen, haben wir uns entschieden, die Programme in drei Hauptgruppen (Kälte-Dienstprogramme, EESCoolTools und Dynamik) aufzuteilen. Abbild 2.1 gibt einen Überblick über den Inhalt dieser Gruppen.

CoolPack		
Kälte-Dienstprogramme	EESCoolTools	Dynamik
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Log(p),h-Diagramm</li> <li>• Kälterechner</li> <li>• Solerechner</li> <li>• Psychrometrische Tabelle h,x-Diagramm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Prozess-Analyse</li> <li>• System-Dimensionierung</li> <li>• Betriebs-Analyse</li> <li>• Komponenten-Berechnung</li> <li>• Kältemittel-Eigenschaften</li> <li>• Kältemittel-Vergleiche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abkühlung eines Objektes/Raumes (einstufiges System)</li> </ul>

Abbild 2.1: Überblick der Hauptgruppen in CoolPack.

Die Gruppe **Kälte-Dienstprogramme** besteht aus 3 Kältemittel-orientierten Programmen. In erster Linie werden diese dazu verwendet, die Eigenschaften von primären und sekundären Kältemittel zu berechnen. Auch Ausdrücke für primäre Kältemittel (wie p-h, T-s und h-s Diagramme) werden geschaffen. Ebenfalls wird der Druckverlust von Wärmeträgern in Rohren berechnet. Ausserdem ist es möglich, die Eigenschaftsausdrücke für feuchte Luft (h,x – Diagramme) zu schaffen.

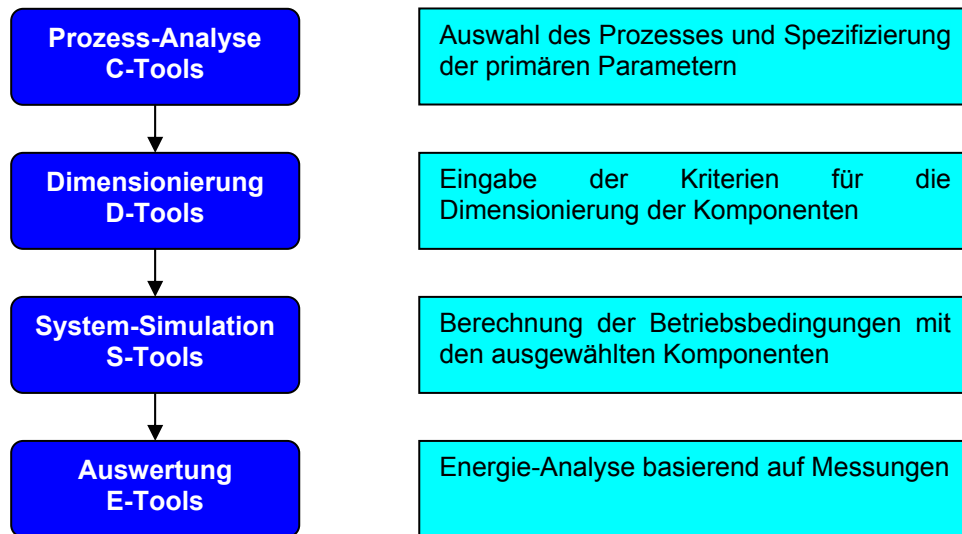
*Die Programme in der Kälte-Dienstprogramm Gruppe sind erstmals als unabhängige Programme realisiert worden. Die ersten Versionen dieser unabhängigen Programme wurden 1996 realisiert. Sie sind seit dieser Zeit bedeutsam an neuen Kältemitteln und mehr Eigenschaften gewachsen. Abgesehen von den eingebauten Eigenschaften kann die gegenwärtige Version auch die sehr genauen im RefProp Programm benutzten Eigenschaften benutzen. Wenn Sie RefProp Version 6.01 haben, werden Sie jetzt imstande sein, erstklassige Eigenschafts-Ausdruck – basierend auf RefProp Daten für Kältemittel – zu schaffen (siehe die Online-Hilfe in den Programmen).*

Die Gruppe **EESCoolTools** enthält eine große Sammlung von Programmen, die sowohl für Kältesysteme als auch für Komponenten benutzt werden kann. Wir haben uns dafür entschieden, diese Gruppe in vier Untergruppen – wie auf Abbild 2.2 – zu teilen. Die Gruppen vertreten auch die vier Phasen zum entwerfen eines Kältesystems.

Die Programme in diesen vier Gruppen haben fast dieselbe Eingabemaske. Diese macht es einfacher, ihren Gebrauch zu kombinieren und diese auch für Vergleiche zu nutzen.

*Der Name EESCoolTools besteht aus den drei Wörtern EES, Cool und Tools:*

- *"EES – Engineering Equation Solver" bezieht sich auf den Namen des Programms in dem wir unsere Simulationsmodelle durchgeführt haben. EES wurde und wird weiterhin durch S.A. Klein und F.L. Alvarado entwickelt, und wird durch die F-Tabellen-Software in Wisconsin, den USA verkauft. Sie können mehr Information über EES und die F-Tabellen-Software auf dem Internet unter <http://www.fchart.com/> bekommen*
- *"Cool" bezieht sich auf die Tatsache, dass die Simulationsmodelle mit dem Gebiet der Kälte verbunden sind.*
- *"Tools" bezieht sich darauf, dass die Programme als Werkzeuge dazu gedacht sind, schnellere und beständigere (energetischere) Designs und Analysen durchzuführen.*

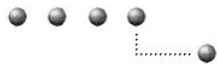


Abbild 2.2: EESCoolTools Untergruppen

Die Gruppe **Dynamik** enthält die dynamischen Programme in CoolPack. Bis jetzt ist nur ein einzelnes Programm vorhanden. Mit diesem Programm ist es möglich, das Abkühlen eines Gegenstandes/Raumes unter verschiedenartigen Bedingungen mit einer EIN/AUS – Kontrolle des Verdichters zu simulieren.

*Das dynamische Element wird unter Verwenden von einem DAE Solver „WinDALI“ modelliert. WinDALI beruht auf dem 1985 entwickelten DALI-Programm, was zu dieser Zeit das Kälte-Laboratorium an der Technischen Universität Dänemarks (jetzt ein Teil der Abteilung der Energie-Technik) genannt war. Die gegenwärtige Version von WinDALI ist Freeware und ist gut dokumentiert. Wenn Sie sich dafür interessieren, Ihre eigenen dynamischen Simulationsmodelle zu erzeugen, werden wir Ihnen eine Kopie von WinDALI zur Verfügung stellen – Sie müssen sich nur mit uns in Verbindung setzen.*

Die individuellen Programme in CoolPack werden weiter im Kapitel 6 beschrieben.



### 3. Coolpack Kontakt

CoolPack wurde als Teil des Forschungsprojektes „SysSim“ (eine Abkürzung für "Systematisches Modellieren und Simulieren von Kältesystemen") entwickelt. Dieses Projekt wurde durch die Dänische „Energy Agency“ finanziert. Der Projektverwalter ist Arne Jakobsen [aj@mek.dtu.dk](mailto:aj@mek.dtu.dk).

CoolPack wird ununterbrochen aktualisiert und Sie können immer die letzte Version von der Internet-Seite [www.et.dtu.dk/coolpack](http://www.et.dtu.dk/coolpack) herunterladen. Hier finden Sie auch Nachrichten und technische Unterstützung über das Programm. CoolPack ist Freeware, also geben Sie eine Kopie des Programms Kollegen und Freunden weiter. Wir ermutigen alle, die CoolPack gebrauchen, sich zu registrieren, so dass wir Sie über neue Versionen und verwandte Programme informieren können.

Im Aktualisierungs- und Erweiterungs- Prozess von CoolPack brauchen wir Ihr Feedback. Alle Bemerkungen und Vorschläge sind willkommen und werden auch hoch geschätzt! Allgemeine Fragen, Bemerkungen oder Wünsche auf Unterstützung sollten direkt an [CoolPack@et.dtu.dk](mailto:CoolPack@et.dtu.dk) geleitet, oder auf die Nummer +45 4593 5215 gefaxt werden.

Die Entwicklung von CoolPack wird vom Team CoolPack, bestehend aus folgenden Mitgliedern, durchgeführt:

Name	Telefon	E-Mail
Arne Jakobsen	+45 4525 4129	<a href="mailto:Aj@mek.dtu.dk">Aj@mek.dtu.dk</a>
Bjarne Dindler Rasmussen		
Morten Skovrup	+45 4525 4120	<a href="mailto:Ms@mek.dtu.dk">Ms@mek.dtu.dk</a>
Simon Engedal Andersen		

Die Mitglieder vom CoolPack-Team können auch direkt telefonisch oder über E-Mail erreicht werden. Die Nummern und Adressen finden Sie oben in der Tabelle.

Um ein E-Mail an die ganze Gruppe zu schicken, benutzen Sie bitte folgenden Link:

[coolpack@et.dtu.dk](mailto:coolpack@et.dtu.dk)



## 4. Installation

CoolPack läuft auf folgenden Betriebssystemen:

- Windows 95
- Windows 98
- Windows NT4.0
- Windows-2000-Professional

Ihre Bildschirm-Einstellung sollte mindestens auf 16-Bit-Farbe eingestellt sein - wenn Sie 256 Farben wählen, werden einige von den Hintergrundfarben "blass" erscheinen.

Wenn Sie CoolPack vom Internet heruntergeladen haben, sollten Sie CoolPack in einer einzelnen Datei „COOLPACK.EXE“ haben. Diese Datei ist selbstextrahierend. Sie enthält alle Installationsdateien. Wenn Sie dieses Programm ausführen, wird ihr Inhalt in einen provisorischen Ordner (normalerweise C:\TEMP) kopiert. Von diesem provisorischen Ordner starten Sie das Programm SETUP.EXE und das Installationsprogramm wird Sie durch das Installationsverfahren führen.

Falls Sie CoolPack auf CD-Rom erhalten haben, sollte die Installation automatisch starten, wenn Sie die CD in das CD-Laufwerk legen. Wenn sich die Installation nicht von selbst einleitet, starten Sie das Programm SETUP.EXE auf der CD-Rom. Das Installationsprogramm wird Sie durch das Installationsverfahren führen.

Tip 1: CoolPack auf Windows 95:

*Wenn in den CoolPack Werkzeuglisten keine Icons erscheinen, sollten Sie Ihre Windows 95-Version aktualisieren.*

*Wenn Sie CoolPack auf CD-Rom erhalten haben, finden Sie dort den Ordner Win\_Upd. In diesem Ordner finden Sie das Programm 401COMUPD.EXE. Es enthält die notwendigen Aktualisierungsdateien. Das Programm wird Sie durch das Windows-Aktualisierungsverfahren führen. Sie werden den PC neu starten müssen, bevor Sie CoolPack benutzen können.*

*Wenn Sie CoolPack vom Internet heruntergeladen haben, können Sie die notwendigen Aktualisierungsdateien im Internet unter [www.et.dtu.dk/coolpack](http://www.et.dtu.dk/coolpack) finden.*

Tip 2: CoolPack auf Windows 95/98:

*Auf PC mit Windows 95 oder 98 wird die Anzahl von EESCoolTool Programmen, die gleichzeitig aktiv sein können, beschränkt. Die maximale Anzahl von aktiven EESCoolTool Programmen hängt von der zur Verfügung stehenden Prozessorkapazität ab - normalerweise können nur drei EESCoolTools zur gleichen Zeit aktiv sein. Wenn Sie versuchen, mehr als drei aktive EESCoolTools zu benutzen, könnten Sie einen Zustand riskieren, wo eine Fehlermeldung wie „Das Programm hat eine unerlaubte Operation durchgeführt und wird geschlossen“ erscheint. Wenn das geschieht, sollten Sie einige der aktiven (aber nicht verwendeten) Programme schließen und versuchen, diese noch einmal zu starten.*

*Für Windows NT4.0 und 2000-Professional existiert dieses Problem nicht.*

Das Installationsprogramm wird eine Verknüpfung erzeugen, damit sie CoolPack über den Start-Knopf starten können.



## 5. Übungen und Übungsüberblick

Die Übungen 1, 2 und 3 stellen die verschiedenartigen Typen von Programmen vor und demonstrieren, wie man sich in und zwischen den Programmen in CoolPack zurechtfindet. Die Übungen 4 und 5 demonstrieren den Gebrauch der Modelle, die in den Übungen 2 und 3 vorgestellt wurden, ausführlich.

Die Übungen 6 bis 12 können je nach Interesse und Bevorzugung ausgewählt werden. Diese Übungen sind folgendermassen aufgebaut: Auf der ersten Seite ist eine Beschreibung des Problems/Übung dargelegt. Auf der folgenden Seite finden Sie eine zum Problem vorgeschlagene Lösung.

Bei einigen Übungen können Sie andere Resultate bekommen als diese, die im Lösungsvorschlag beschrieben sind. Das Problem kann "offen" sein; das bedeutet, dass Sie die von Ihnen angenommenen Temperaturen oder Temperaturdifferenzen als ein Teil der Übung neu auswerten müssen. In diesem Fall haben Sie wahrscheinlich nicht die gleichen Annahmen wie wir getroffen, weshalb sich die Resultate ein bisschen von der vorgeschlagenen Lösung unterscheiden.

Für die Übung 9 werden Sie den separaten Anhang mit den Ausdrucken von Katalogen brauchen.

### Überblick über die Übungen im Tutorial

---

#### Einleitende Übungen

---

1. Grundkonzept in CoolPack
2. Grundkonzept in EESCoolTools
3. Grundkonzept in den Kälte-Dienstprogrammen
4. Kurze EESCoolTools Übung
5. Kurze Kälte-Dienstprogramm Übung

#### Übung für Kälte-Dienstprogramme

---

6. Erstellen von Eigenschafts-Ausdrucken und zeichnen von Kühlungsprozessen

#### Übungen für EESCoolTool - Prozess-Analyse

---

7. Einstufiger Prozess mit trockener Verdampfung
8. Einstufiger Prozess mit überflutetem Verdampfer

#### Übung für EESCoolTool - Design und Dimensionierung

---

9. Entwerfen, bemessen und optimieren eines einstufigen Kältesystems

#### Übung für EESCoolTool - Energie-Analyse

---

10. Energie-Analyse eines EIN-AUS kontrollierten Systems

#### Übung für EESCoolTool - Spezielle Untersuchungen

---

11. Flüssigkeit in Rohren (Druckabfall und Wärmeübertragung)

#### Übung für Dynamik

---

12. Abkühlen von Waren in einem Kühlraum

## 5.1. Übung 1: Grundlegendes in CoolPack

Starten Sie CoolPack, wie es im Installationsabschnitt beschrieben ist. Wenn das Programm startet, werden Sie einen Willkommensbrief mit einer kurzen Einführung in die Hauptprogramme von CoolPack vorfinden.

Die Programme in CoolPack werden in drei Hauptgruppen unterteilt: Kälte-Dienstprogramme, EESCoolTools und Dynamik. Die Hauptgruppe EESCoolTools ist weiter in vier Untergruppen unterteilt: Prozess-Analyse, Design, Auswertung und Ergänzendes.

Diese sechs Programmgruppen haben einen Bereich für die Einstellung der Ansicht im oberen Teil des Fensters. Wenn Sie auf ein bestimmtes Register der Hauptgruppen klicken, erscheinen Icons für die Werkzeuge dieser Gruppen. Die Werkzeuge starten Sie, indem Sie auf das Werkzeugsymbol klicken.

Abbild 5.1 zeigt die Icons für die drei Programme der Gruppe Kälte-Dienstprogramme. Wenn Sie die Maus auf eines dieser Icons fahren (nicht klicken), sehen Sie einen kleinen Hilfetext mit dem Titel des Programms.



Abbild 5.1: Hauptschirm in CoolPack

Wenn Sie ein Programm starten, wird dieses Hauptfenster von CoolPack noch aktiv sein, aber es wird in den Hintergrund gestellt. Sie können jederzeit zu diesem Fenster zurückkehren, wenn Sie in der Windows- Taskleiste auf das betreffende Icon klicken. In CoolPack können Sie mehrere Programme gleichzeitig aktivieren. Sie können auch zwischen den aktiven Programmen wählen, indem Sie die Alt-Taste gedrückt halten und gleichzeitig die Tabulator-Taste drücken (funktioniert überall unter Windows).

Wenn Sie Ihr zweites EESCoolTool starten, erscheint eine Nachricht die aussagt, dass EES bereits gestartet ist und Sie fragt, ob Sie eine Kopie starten möchten. Diese Nachricht ist nur eine Sicherheitsvorkehrung, damit die Benutzer von Windows 95 und 98 nicht zu viele EESCoolTools gleichzeitig öffnen. Wegen zu wenig Arbeitsspeicher könnte das System instabil werden.

## 5.2. Übung 2: Grundlegendes der EESCoolTools

Starten Sie das erste Programm in der Gruppe CoolTools: Prozess-Analyse - das Icon sieht folgendermassen aus:



Alle CoolTool Werkzeuge starten im Hauptfenster (in diesem Fall ein qualitatives Log(p),h-Diagramm) wie auf Abbild 5.2 dargestellt. Im oberen linken Teil des Fensters sehen Sie eine Säule von Funktionsknöpfen. Diese Knöpfe starten und sichern die Berechnung und öffnen gespeicherte Dateien oder greifen auf die Online-Hilfsfunktion zurück. Die Hilfsfunktion enthält eine Beschreibung des Programms und kann auch weitere Diagramme enthalten.

Zusätzlich zum Hauptfenster existieren einige Unterfenster. Auf diese Fenster greifen Sie durch betätigen der grauen Knöpfe im unteren linken Bereich zurück.

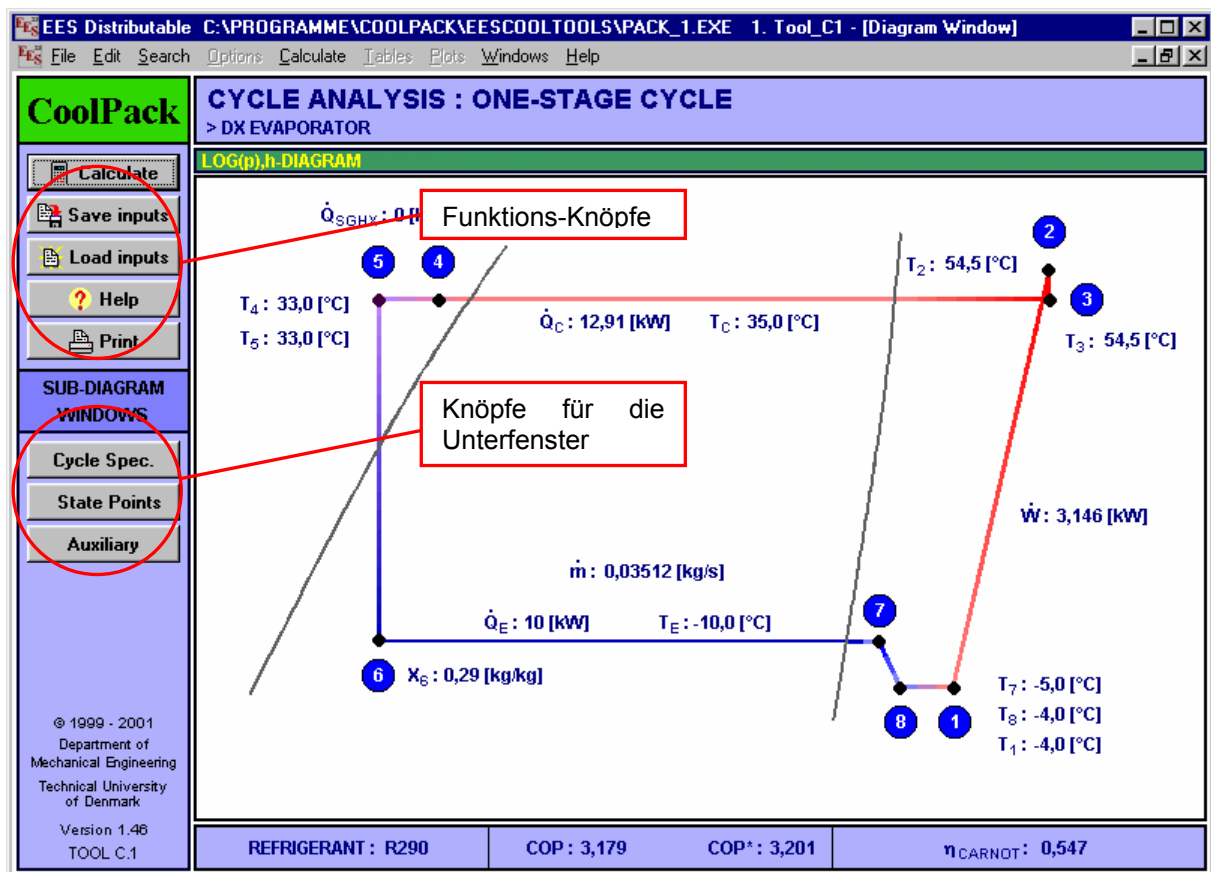
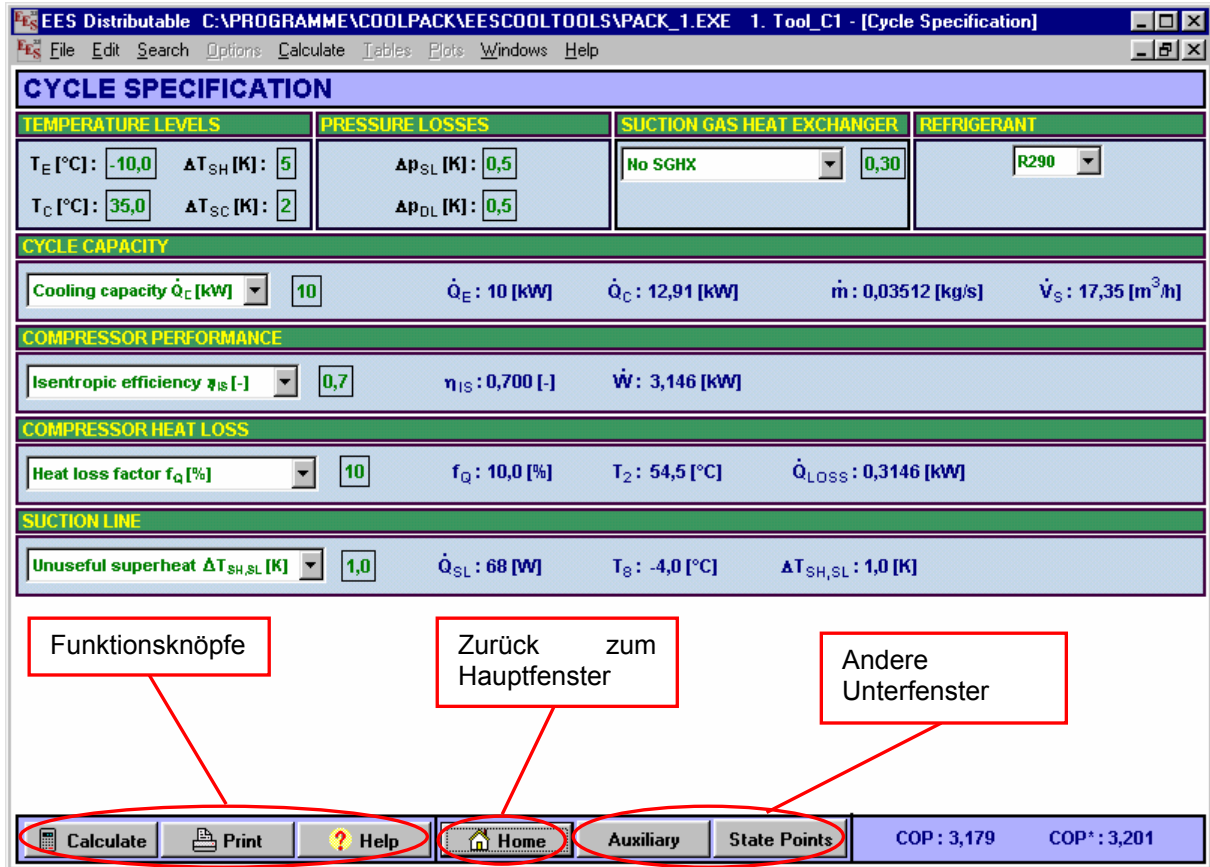


Abbildung 5.2: Hauptfenster eines EESCoolTools

Klicken Sie auf den Knopf "Cycle Spec."

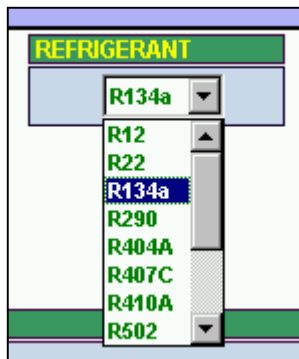
Sie sehen jetzt ein Unterfenster wie es in Abbild 5.3 zu sehen ist. In diesen Unterfenstern finden Sie Funktions- und Navigationsknöpfe für den Zugang zu den anderen Unterfenstern. Sie kommen zum Hauptfenster zurück, indem Sie auf das Home -Icon klicken. Sie können auch die Tastenkombination Ctrl+D gebrauchen, um zum Hauptfenster zurückzukehren.



Abbild 5.3: Unterfenster in einem EESCoolTool

Das Programm, das Sie geöffnet haben, ist ein Programm für die Analyse von Kälteprozessen (abgekürzt C-Tool). In diesem Werkzeugtyp sind alle primären Angaben im Unterfenster mit dem Titel „Cycle Spezifikation“ gesammelt. Die Angaben werden gruppiert. Jede Gruppe hat einen Titel, der die Verbindung zwischen den Eingaben und in dieser Gruppe gefundenen Ausgaben macht. In Abbild 5.3 sehen Sie die Gruppe „Cycle Capacity“. Neben dem Eingabefeld werden die übrigen Angaben wie kondensations- und Kälteleistung, Massen- und Volumenstrom berechnet.

Die Eingaben werden als Felder mit grünem Text/Zahlen auf weißem Hintergrund gekennzeichnet. Es gibt zwei verschiedene Typen von Eingabefeldern: Beim ersten Feldtyp werden die Zahlen von der Tastatur eingegeben.



Abbild 5.4: Dropdown Liste

Der zweite Typ enthält eine Liste von wählbaren Eingaben, meistens wählbare Text-Einheiten. Die Liste erscheint, wenn Sie auf den grauen Knopf mit dem kleinen schwarzen Pfeil klicken. Abbild 5.4 zeigt die Dropdown Liste, von der Sie das Kältemittel auswählen können. Bei langen Listen erscheint eine Scroll-Bar.

Wählen Sie R-134a als Kältemittel aus.

Ausgaben (sowohl Text als auch Zahlen) werden normalerweise in einer dunkelblauen Farbe geschrieben. Wenn Sie Änderungen vornehmen, wechseln die berechneten Ausgänge ihre Farbe auf grau, um anzuzeigen, dass die Berechnung neu gestartet werden muss, z.B. wenn Sie das Kältemittel gewechselt haben.



Eine Berechnung wird gestartet, indem Sie auf den Funktionsknopf „CALC“ klicken oder die F2-Taste drücken.

*Starten Sie die Berechnungen.*

Es erscheint ein kleines Fenster, das Sie über den Fortschritt des Berechnungsprozesses informiert. Solange die Berechnungen durchgeführt werden, wird der Abbruch-Knopf in diesem Fenster vorhanden sein. Wenn eine Lösung gefunden worden ist, wird der Name auf „Continue“ wechseln. Sie haben Ihre erste Berechnung in CoolPack durchgeführt. In diesem Fall haben Sie die Hauptparameter und alle Zustandpunkte in einem einstufigen Kälteprozess berechnet. Herzlichen Glückwunsch!

Das aktuelle Fenster enthält einige Eingabefelder, wo die Prozess-Parameter spezifiziert werden können. Im obersten Teil des Fensters werden die Zustände für den Verdampfer und den Kondensator angegeben. Unten erscheint die Gruppe „Cycle-Capacity“ mit einigen variablen Eingabewerten. Die Kälteleistung kann auf mehrere Weisen angegeben werden. Der direkte und einfachste Weg ist über den Kältebedarf in [kW], aber indirekt können Sie die Leistung angeben, indem Sie den Massenstrom in [kg/s] oder das Fördervolumen in [m<sup>3</sup>/h] angeben. Sie entscheiden, wie Sie die Kälteleistung angeben wollen, indem Sie im Dropdown Menu eine der Text-Optionen auswählen. Normalerweise ist die Option auf „Kälteleistung in [kW]“ eingestellt. Rechts von diesen Angaben werden einige Werte des Prozesses angegeben.

*Wählen Sie „Volume flow [m<sup>3</sup>/h]“ und geben Sie den Wert 15 in das Textfeld ein.*

Ähnlich wie bei der Eingabe der Kälteleistung können auch andere Prozess-Bestandteile (wie Verdichterleistung, Verdichter-Hitzeverlust, Überhitzung in der Saugleitung usw.) auf mehrere Weisen angegeben werden. In allen Fällen haben Sie die Option, Text-Varianten zu wählen, wie Sie die verschiedenen Werte eingeben wollen. Die tatsächliche Eingabe wird im Textfeld rechts vom Dropdown Menu eingegeben. Nehmen Sie bitte zur Kenntnis, dass in den meisten Fällen, wenn Sie die Eingangsvariable ändern auch der Eingangswert geändert werden muss.

*Starten Sie die Berechnung noch einmal (drücken Sie F2 oder klicken Sie auf den „CALC“-Knopf).*

Überprüfen Sie die neuen Resultate.

*Versuchen Sie, einige der anderen Angaben zu ändern und starten Sie die Berechnung wieder neu (probieren Sie alle Ihnen mögliche Kombinationen von Angaben aus).*

Wenn Sie in einer Situation enden, wo Sie einen oder mehrere Angaben haben, zu denen keine Lösung gefunden werden kann, können Sie das Modell jederzeit schließen und es mit den Default-Angaben neu laden. Schließen Sie das Unterfenster (mit dem unteren X-Knopf in der oberen rechten Ecke) und starten Sie Ihr Programm von dem File-Menu aus erneut. Sie werden eine Liste von Befehlen sehen. Im unteren Teil der Dropdown Liste sind die Namen Ihres gegenwärtigen Programms und andere. Klicken Sie auf den Namen des gegenwärtigen Programms und es wird mit den Default-Angaben wieder geladen.

Wenn Sie sich zurechtgefunden haben, können Sie zum Hauptfenster zurückkehren. Sie können das entweder durch klicken des „Home“- Knopfes machen oder Sie drücken die Tastenkombination Ctrl-D.

*Gehen Sie zum Hauptfenster zurück.*

In den meisten CoolTools existieren mehr als ein Unterfenster. Sie erreichen die anderen Unterfenster, indem Sie auf die Knöpfe auf der linken Seite vom Hauptfenster klicken.

*Drücken Sie den „State Points“- Knopf, um in eines der anderen Unterfenster zu wechseln.*

Die Temperatur, Enthalpie, Druck und Dichte in allen Zustandspunkten werden in einer Tabelle wiedergegeben. Die Nummerierung der Zustandpunkte finden Sie entweder im Hauptfenster-Log(p),h-Diagramm oder im Leitungsschema der Online-Hilfe.

Es ist nicht notwendig, zum Hauptfenster zurückzukehren, um sich von einem Unterfenster ins andere zu bewegen. Benutzen Sie dazu die grauen Knöpfe im unteren linken Teil des Fensters.



*Klicken Sie auf den grauen „Auxiliary“- Knopf.*

Im Auxiliary Unterfenster können Sie Informationen über die notwendigen Dimensionen der Hauptleitungen im System finden, Sie können das Verdichterförderdervolumen (unter Verwendung einer volumetrischen Effizienz) für die erforderliche Leistung berechnen und Sie können die mögliche Leistung eines wassergekühlten Enthitzers berechnen. Notieren Sie die Resultate und versuchen Sie, einige der Angaben in diesem Fenster zu ändern. Berechnen Sie noch einmal und werten Sie die neuen Resultate aus.

Das Haupt- und alle Unterfenster können ausgedruckt werden. Im Menü „File“ wählen Sie „Print“. Die Standard-Einstellung druckt nur das Hauptfenster. Wenn Sie eines der Unterfenster drucken wollen, müssen Sie das halb aktivierte „Diagramm“- Kästchen anklicken. Schliesslich erscheint ein Menü, von dem Sie die Unterfenster anwählen können, um diese zu drucken.



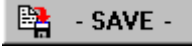
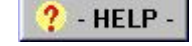


Sie können auch das aktive Fenster in ein Textverarbeitungsprogramm kopieren, indem Sie das „Edit“- Menü benutzen oder indem Sie den „Print Screen“- Befehl auf der Tastatur benutzen. Drücken Sie die Taste „PrtSc“ und fügen Sie das Bild im Word mit der Tastenkombination Ctrl-V wieder ein.

Im Programm gibt es Standardkürzel welche Sie in jedem CoolTool benutzen können. Öffnen Sie das "File"- Menü und sehen Sie die Liste von CoolTool Werkzeugnamen im untersten Teil des Menüs an. Wenn Sie eines dieser Werkzeuge anklicken, wird das zur Zeit aktive Fenster heruntergefahren und das neue hochgeladen. Wenn Sie das Programm schliessen möchten, benutzen Sie einfach das X-Feld in der oberen rechten Ecke.

### 5.2.1. Eine Liste aller Tastenkombinationen im CoolTool

<b>Abkürzungen</b>	<F2>	Berechnung starten
	<Ctrl> + <G>	Aktualisierung der Annahmen
	<Ctrl> + <D>	Zurück zum Hauptfenster
	<Ctrl> + <P>	Druck-Menü
	<Ctrl> + <Q>	Programm beenden
	<Ctrl> + <C>	Aktuelles Fenster in Zwischenablage kopieren

### 5.2.2. Überblick über die Menükнопfe

Beschreibung der Funktionen	Knöpfe und Icons
Rückkehr zum Hauptfenster	 Home
Berechnen, entspricht dem Drücken der F2-Taste	 - CALC -
Speichern der Angaben	 - SAVE -
Öffnen von gespeicherten Dateien	 - LOAD -
Aktiviert die Hilfsfunktion	 - HELP -
Unterfenster mit Prozess-Spezifizierung	 Cycle Spec.
Unterfenster mit zusätzlichen Hilfsberechnungen	 Auxiliary
Unterfenster mit Überblick der Zustandspunkte	 State Points

### 5.3. Übung 3: Grundlegendes der Kälte-Dienstprogramme


Klicken Sie auf das erste Register (Kälte-Dienstprogramme) im CoolPack Hauptfenster. Dort sehen Sie drei Icons. Das erste Icon vertritt das Hauptprogramm in dieser Gruppe. Die anderen zwei Icons vertreten kleine und handliche Programme zur Berechnung der spezifischen Werte für Kältemittel und Wärmeträger.

Das Hauptprogramm in dieser Gruppe kann verwendet werden, um erstklassige Eigenschaftsdiagramme für eine große Anzahl von Kältemitteln zu zeichnen. Weiter können Sie Kälteprozesse auf diesen Diagrammen planen und das Programm berechnet die Enthalpieunterschiede zwischen Betriebspunkten, COP usw. Dieses Programm hat zu viele Eigenschaften. Besonders wenn es um die Formatierung von Eigenschaftsdiagrammen geht wäre es nicht praktisch, sie alle in dieser einleitenden Übung zu erklären. Für mehr Information der Eigenschaften und für Hilfe im allgemeinen benutzen Sie sich bitte die Online-Hilfe im Programm.

Starten Sie das Programm mit dem folgendem Icon:



Wenn Sie den Maus-Zeiger über die verschiedenen Knöpfe in der oberen Werkzeugliste bewegen, erscheint im unteren Teil des Fensters eine kurze Beschreibung.

Klicken Sie auf den -Knopf um ein  $\text{Log}(p),h$ -Diagramm zu erstellen

Eine Liste von Kältemitteln wird angezeigt.

Wählen Sie R-290 (Propan) und klicken Sie auf den OK-Knopf.

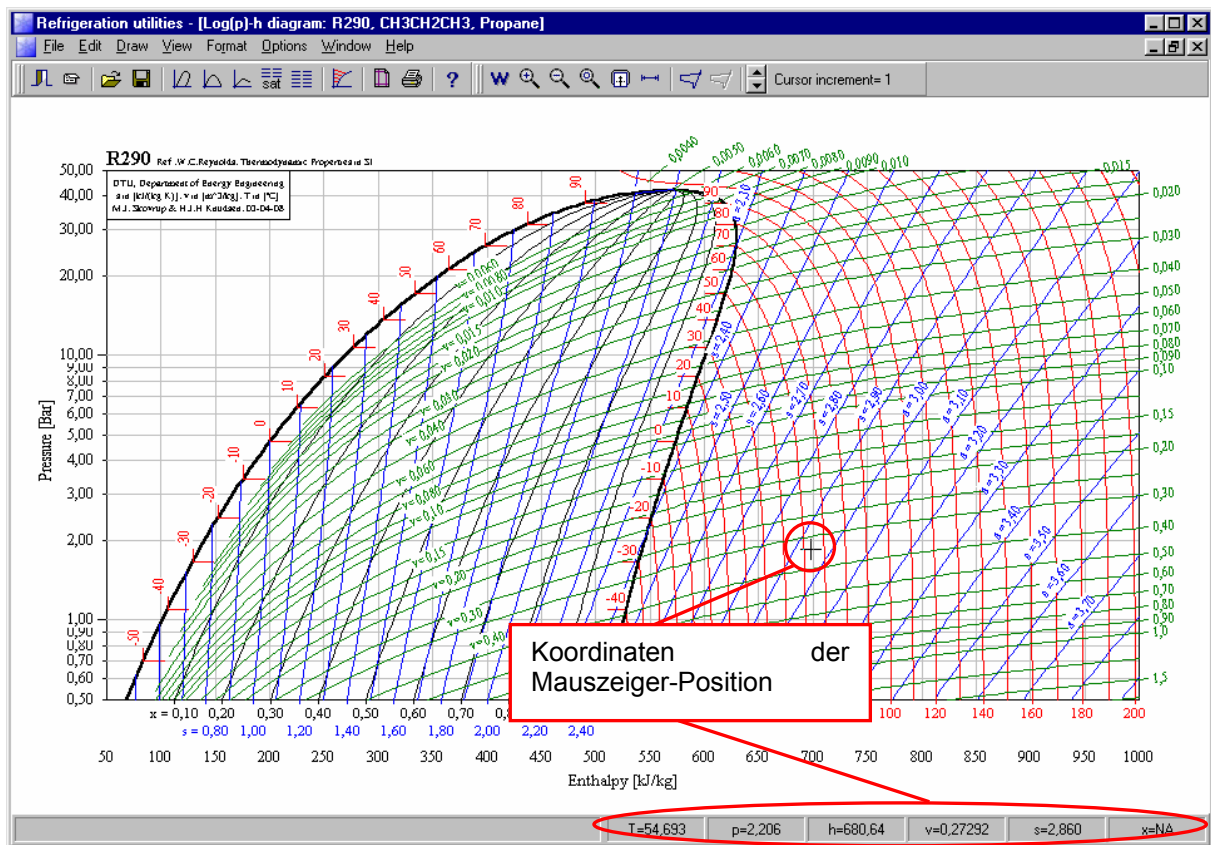


Bild 5.5:  $\text{Log}(p), h$ -Diagramm im Kälte-Dienstprogramm

Ein R-290  $\text{Log}(p),h$ -Diagramm wird mit den Defaultwerten gezeichnet (Anzahl der Kurven der konstanten Temperatur, Entropie, spezifisches Volumen und Defaultwerte für die Farben der Linien).

Beachten Sie, dass wenn Sie den Maus-Zeiger im Diagrammgebiet bewegen, die thermodynamischen Koordinaten wie Druck, Temperatur usw. in der unteren rechten Ecke angezeigt werden. Wenn Sie auf den Maus-Knopf klicken, während sich der Zeiger innerhalb des Diagramms befindet, werden die "thermodynamischen" Koordinaten auf das lokale Klemmbrett geschrieben. Um die Koordinaten anzusehen, benutzen Sie den "Show log" Befehl im Optionsmenü.

Bei Kältemittelmischungen der 400er-Reihe braucht es mehr Zeit zum berechnen der Kältemiteleigenschaften im zweiphasigen Gebiet als für eine reine Substanz. Deshalb werden Sie aufgefordert, wenn Sie eine Kältemittelmischung wie R-404A auswählen, ob Sie die Isentropen, Isothermen und die X-Linien für das zweiphasige Gebiet anzeigen wollen. Wenn Sie die Isentropen und die X-Linien nicht anzeigen, wird die Berechnung und das Anzeigen bedeutsam beschleunigt.

Haben Sie erstmals ein Log(p), h-Diagramm gezeichnet, können Sie einen Kälteprozess spezifizieren und die Eckdaten in einer Tabelle anzeigen lassen.

*Wählen Sie „Input Cycle“ im Options-Menü.*

Zur Zeit können Sie zwischen vier verschiedenen Kälteprozessen wählen.

*Wählen Sie „One stage cycle“ und geben Sie die angezeigten Werte für Verdampfungstemperatur und Verflüssigungstemperatur usw. ein. Für den Moment ignorieren Sie den Druck-Abfall usw. Klicken Sie auf den „Update“- Knopf, wenn Sie die Angaben gemacht haben.*

**Abbild 5.6:** Eingabe Fenster für den Kälteprozess

Im rechten Teil des Fensters wird die spezifische Verdampfungs- Enthalpie angezeigt.

*Klicken Sie den „Show-Info“- Knopf.*

In diesem Fenster werden mehr Informationen über den Kreislauf gegeben und es ist möglich, die Kälteleistung (entweder als Kältebedarf, Massenstrom oder Leistungsverbrauch, usw.) anzugeben.

Eine und nur eine dieser Variablen sollte angegeben werden. Die anderen Werte werden automatisch berechnet.

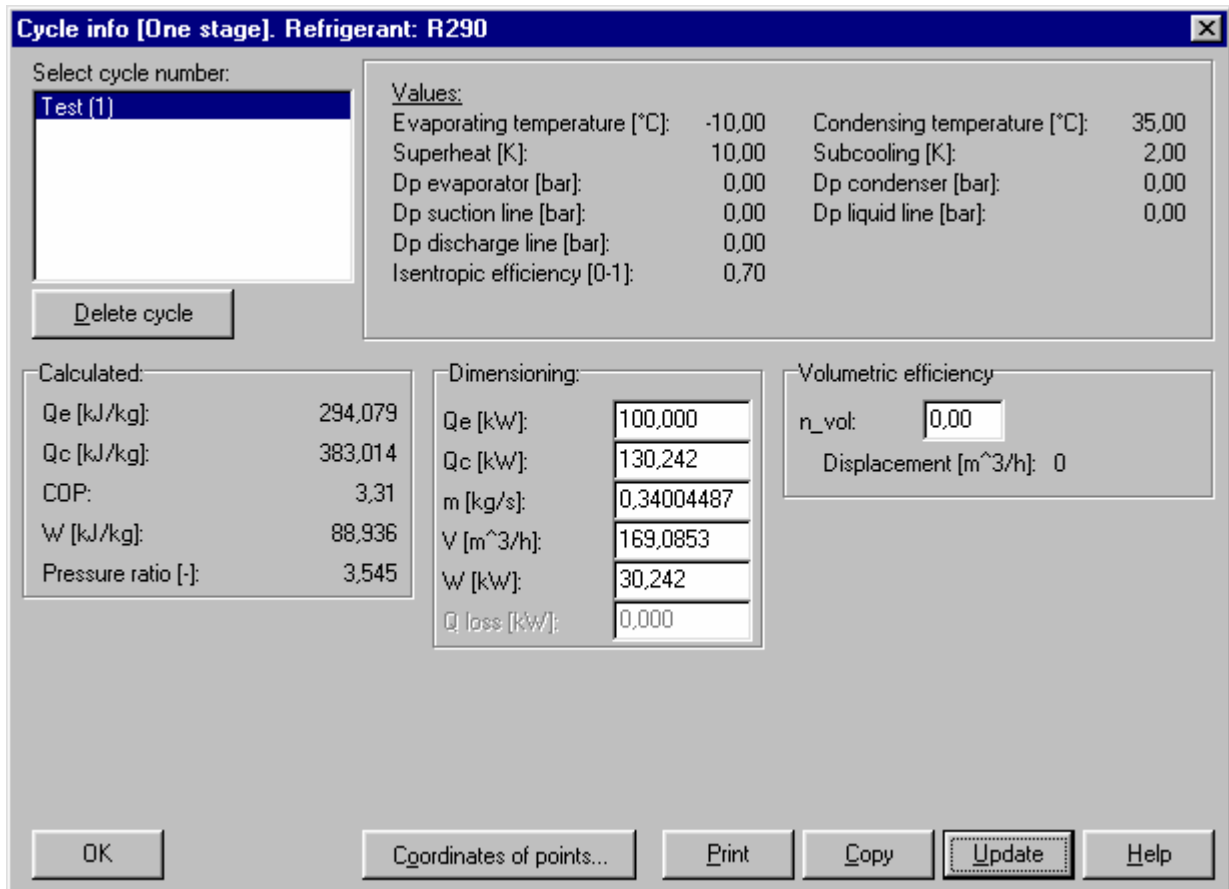


Abbildung 5.7: Dimensionierung eines Kälteprozesses

Geben Sie einen Wert für den Kältebedarf ( $Q_e$ ) ein und klicken Sie den „Update“- Knopf.

Klicken Sie den „OK“- Knopf, um den Kreislauf (Eckpunkte) auf dem Diagramm zu zeichnen.

Sie können jederzeit die Angaben der Kreisläufe untersuchen die Sie gezeichnet haben, indem Sie das „Show-Cycle-Info“ im Options- Menü wählen. Für einen Vergleich können mehrere Prozesse im selben Diagramm gezeichnet werden.



### 5.3.1. Liste von nützlichen Abkürzungen in den Kälte-Dienstprogrammen

Maus	Doppel-Klick	Formatiert gewählte Kurve
	Doppel-Klick unter X-Achse	Formatiert X-Achse
	Doppel-Klick links von der Y-Achse	Formatiert Y-Achse
	Maus-Klick rechts	Beendet Polylinie
Tastatur	Auf, ab, links und rechts Pfeile	Cursor-Bewegung
	<Leerschlag>	Wie ein Maus-Klick links
	<Enter>	Wie ein Doppel-Klick
	<Esc>	Beendet Polylinie (Maus-Klick rechts)
	<+> auf Ziffern-Tastatur	Vergrössert Schrittgrösse (Pfeile)
<-> auf Ziffern-Tastatur	Verkleinert Schrittgrösse (Pfeile)	
Tastatur + Maus (Tastatur + Tastatur)	<Ctrl> + Pfeil links (oder Leerschlag)	Kurve auswählen
	<Shift> + Pfeil links (oder Leerschlag)	Text auswählen
	<Ctrl> + <Shift> + Pfeil links + ziehen	Gewählten Text bewegen
	<Alt> + Pfeil rechts unter X-Achse oder links von Y-Achse	Automatisch min- oder max-Wert der Achse
	<Alt> + Pfeil links + ziehen	Neue min-max-Werte der Achse wählen
Tasten-Kombinationen zu Menübefehlen	<Ctrl>+<S>	Druck Speichern
	<Ctrl>+<I>	Bild Speichern
	<Ctrl>+<P>	Drucken
	<Ctrl>+<X>	Beenden
	<Ctrl>+<L>	Nächster Kurven-Typ auswählen
	<Ctrl>+<C>	In Zwischenablage kopieren



## 5.4. Übung 4: Kurze EESCoolTool Übung

Spezifizieren Sie den folgenden einstufigen Prozess mit DX-Verdampfer:

Verdampfungstemperatur $T_0$ :	-30.0 °C
Überhitzung $\Delta T_0$ :	10.0 K
Verflüssigungstemperatur $T_C$ :	25.0 °C
Unterkühlung $\Delta T_U$ :	2.0 K
Kälteleistung $Q_0$ :	100 kW
Isentropen-Exponent $\eta_i$ :	0.7
Hitzeverlust vom Verdichter:	7 %
Kältemittel:	R-134a

Keine nicht nutzbare Überhitzung oder Druckverlust in der Saugleitung. Druckverluste in der Heissgasleitung werden ebenso ignoriert und es ist kein interner Wärmetauscher eingebaut.

1. Wie hoch ist der COP?

Machen Sie die folgenden Änderungen: Die Überhitzung in der Saugleitung ist 1'000 W, der Massenstrom ist 0.4 kg/s, der Hitzeverlust vom Verdichter ist 1.0 kW und die thermische Effizienz des inneren Wärmetauschers ist 0.4.

2. Wie hoch ist das Druckverhältnis (Austritt/Eintritt) und der neue COP?



### 5.4.1. Lösungsvorschlag zu Übung 4

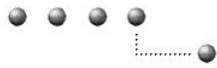
Benutzen Sie das CoolTool mit dem Titel "Einstufiges-System – Trockenexpansions-Verdampfer". Sie finden es in der Programmgruppe CoolTools: „Prozess-Analyse“.

Es wird durch folgendes Icon vertreten:



Geben Sie die Werte im Unterfenster „Cycle-Spec.“ ein.

1. Der COP beträgt 2.451.
2. Geben Sie die neuen Informationen ein. Der COP wird dann 2.439 betragen. Das Druckverhältnis wird im Unterfenster „Stat-Points“ gefunden und beträgt 7.863.



## 5.5. Übung 5: Kurze Kälte-Dienstprogramm Übung

### Eine Übung zum Erstellen von $\log(p),h$ -Diagrammen

1. Erstellen Sie ein  $\log(p),h$ -Diagramm für das Kältemittel R-717 (Ammoniak).
2. Zeichnen Sie einen einstufigen Prozess, der die folgenden Gegebenheiten aufweist, auf das Diagramm aus Punkt eins:

Verdampfungstemperatur $T_0$ :	-35 °C
Überhitzung $\Delta t_0$ :	8.0 K
Isentropen Effizienz $\eta_i$ :	0.7
Kondensationstemperatur $T_C$ :	30 °C
Unterkühlung $\Delta t_C$ :	2 K



3. Wie sieht der Prozess aus? Prüfen Sie die Austrittstemperatur am Verdichter. Ist sie innerhalb der Toleranz?



### 5.5.1. Lösungsvorschlag zu Übung 5

Benutzen Sie das Hauptprogramm in der Kälte-Dienstprogrammen.  
Es ist durch folgendes Symbol vertreten:



1. Wählen Sie das „File“-Menü und erstellen Sie ein neues  $\log(p),h$ -Diagramm, indem Sie auf den -Knopf drücken. Wählen Sie das Kältemittel R-717 und klicken Sie auf OK.
2. Um einen Prozess einzuzeichnen, wählen Sie „Options“ und dann „Input Cycle“ oder klicken Sie auf den -Knopf. Geben Sie alle Daten ein und zeichnen Sie danach den Prozess ein, indem Sie auf den „Draw Cycle“- Knopf drücken.
3. Der Prozess ist nicht realistisch. Die Verdichter-Austrittstemperatur ist über 200 °C (setzen Sie den Mauszeiger auf den Eckpunkt und lesen Sie die Koordinaten unten links ab). R-717 (Ammoniak) ist kein optimales Kältemittel für einen einstufigen Prozess mit dem Regime -35/+30°C. Probieren Sie es stattdessen mit einem  $\log(p),h$ -Diagramm für das Kältemittel R-404A und geben Sie dieselben Spezifikationen ein. Hier wird die Austrittstemperatur nur ca. 65 °C betragen. Testen Sie auch noch andere Kältemittel. Welches wird wohl den höchsten COP Wert erreichen?



## 5.6. Übung 6: Erstellen von Eigenschaftsdiagrammen und Kälte-Prozessen

Einstellung des Programms und zeichnen von Eigenschaftsdiagrammen

### A) Programm Präferenzen

Fügen Sie Namen, Firma, Adresse und Telefonnummer den Einstellungen hinzu.

### B) Log(p),h-Diagramme

1. Zeichnen Sie ein Log(p),h-Diagramm für R-290 (Propan)
2. Zeichnen Sie einen einstufigen Kälteprozess mit den folgenden Daten ein:

Verdampfungstemperatur $T_0$ :	-20 °C
Überhitzung $\Delta t_0$ :	8 K
Druckabfall im Verdampfer:	1 K
Druckabfall in der Saugleitung:	1 K
Druckabfall in der Heissgasleitung:	2 K
Isentropen-Effizienz $\eta_i$ :	0.7
Hitzeverlust am Verdichter:	15 % des Leistungsverbrauchs
Verflüssigungstemperatur $T_C$ :	35 °C
Unterkühlung $\Delta t_C$ :	2 K
Druckabfall im Kondensator:	0,1 bar
Druckabfall in der Flüssigkeitsleitung:	0.01 bar

3. Berechnen Sie das notwendige Fördervolumen des Verdichters, wenn die Kälteleistung 100 kW beträgt (nehmen Sie eine volumetrische Effizienz von 0.85 an)
4. Kopieren Sie die berechneten Resultate in ein Textverarbeitungsprogramm (z.B. WordPad)
5. Löschen Sie die Werte der Isochoren im zweiphasigen Gebiet
6. Fügen Sie den Eckpunkten im Kälteprozess Nummern hinzu
7. Kopieren Sie das Log(p),h-Diagramm in ein Textverarbeitungsprogramm
8. Kopieren Sie den Kälteprozess in ein Log(p),h-Diagramm für R-22
9. Speichern Sie die Diagramme als Plot ab
10. Speichern Sie die Diagramme als Bild ab

### C) Mollier-Diagramme (feuchte Luft)

1. Erstellen Sie ein Mollier-Diagramm (l, x-Diagramm) bei einem Druck von 2 bar für feuchte Luft
2. Notieren Sie die Koordinaten (l, x) für die folgenden zwei Zustandspunkte:

$$(T, \varphi) = (20 \text{ °C}, 70 \%)$$

$$(T, \varphi) = (5 \text{ °C}, 100 \%)$$

3. Zeichnen Sie eine Linie zwischen den zwei Zustandspunkten
4. Drucken Sie das Diagramm

### D) Kältemittelrechner

1. Finden Sie das spezifische Volumen, die spezifische Enthalpie und die spezifische Entropie von R-407C auf der Taupunktkurve bei einer Temperatur von -10 °C.
2. Wenn die spezifische Entropie 1'900 J/kgK, der Druck 4 bar und das Kältemittel R-134a ist, wie hoch ist dann die spezifische Enthalpie? (Benutzen Sie die Online-Hilfe).

### Hinweise und Hilfe

Benutzen Sie die Online-Hilfe

Lesen Sie das Dokument unter „Help – Version info“.

## 5.6.1. Lösungsvorschlag zu Übung 6




Benutzen Sie das Haupt-Kälte-Dienstprogramm. Sie finden es in der Programmgruppe Kälte-Dienstprogramme. Es wird durch das folgende Icon vertreten.



### A) Programm Präferenzen



Wählen Sie „File – Preferences“ und geben Sie Name, Firma usw. ein. Vergessen Sie nicht anzuwählen, welche Teile dieser Informationen auf den Diagrammen angezeigt werden sollen.

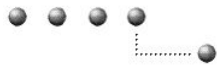
### B) Log(p), h-Diagramm

1. Wählen Sie „File – New – Log(p),h-Diagramm“ oder klicken auf den -Knopf. Wählen Sie R-290 (Propan), und klicken Sie auf den OK-Knopf.
2. Wählen Sie „Options – Input Cycle“ oder klicken Sie auf den -Knopf und geben Sie die Prozess-Spezifikationen ein. Klicken Sie auf den „Draw Cycle“-Knopf.
3. Wählen Sie „Options – Show Cycle Info“, geben Sie 100 für die Kälteleistung  $Q_E$  [kW] und eine volumetrische Effizienz von 0.85 ein. Das notwendige Verdichtervolvolumen wird berechnet.
4. Klicken Sie auf den „Copy“-Knopf und bestätigen Sie mit OK, damit die Koordinaten der Zustandspunkte eingeschlossen werden. Klicken Sie auf OK, um diesen Dialog zu schließen. Starten Sie Ihr Textverarbeitungsprogramm und führen Sie „Bearbeiten – Einfügen“ (setzen Sie die Schrift auf Courier New) aus.
5. Gehen Sie zum Kälte-Dienstprogramm zurück. Die Isochoren (und alle anderen Iso-Linien) können auf zwei verschiedene Arten formatiert werden:
  - Wählen Sie eine Linie der Kurve-Typen, die Sie formatieren wollen, indem Sie die Ctrl- Taste drücken und auf die Kurve klicken. Wählen Sie das Menü „Format – Selected Curve Type“, um alle Kurven dieses Typs die Sie ausgewählt haben zu formatieren. Wenn Sie das Menü „Curve“ wählen, wird nur die ausgewählte Kurve formatiert.
  - Wählen Sie das Menü „Format – Two-phase area – Isochores“.
6. Wählen Sie „Draw – Text“ und klicken Sie auf das Diagramm wo Sie den Text platzieren wollen. Wiederholen Sie das für alle anderen Zustandspunkte. Der Text kann folgendermassen bewegt werden:
  - Halten Sie die „Shift“- Taste gedrückt und klicken Sie auf den Text
  - Halten Sie die „Ctrl“- und die „Shift“- Taste gedrückt und ziehen Sie den Text mit der Maus.
7. Wählen Sie „Edit – Copy to Clipboard“, gehen Sie zum Textverarbeitungsprogramm und wählen Sie „Einfügen“.
8. Wählen Sie „Options – Edit Cycle“, klicken Sie auf den Prozess und dann auf den OK-Knopf. Klicken Sie auf den „Copy-Cycle“- Knopf und schließen Sie den Dialog, indem Sie auf den „Cancel“- Knopf drücken. Zeichnen Sie das neue Log(p),h-Diagramm für R-22 und klicken Sie auf den -Knopf und wählen Sie „Paste Cycle“. Die Daten werden somit in das neue Diagramm kopiert. Klicken Sie auf „Draw Cycle“, um den Kreislauf anzusehen.
9. Wählen Sie das Menü „File – Save plot“
10. Wählen Sie das Menü „File – Save Image“



### C) Diagramm für feuchte Luft

1. Wählen Sie „File – New – I,X-Diagramm“ oder klicken Sie auf den -Knopf. Geben Sie den Wert zwei in das für den Totalen Druck vorgesehene Feld und drücken Sie auf OK.
2. Finden Sie die beiden Punkte heraus indem Sie mit dem Mauszeiger über das Diagramm fahren. Die Koordinaten werden Ihnen jeweils in der unteren rechten Ecke angezeigt. Wenn Sie einen Punkt gefunden haben, drücken Sie auf die linke Maus-Taste, um die Koordinaten im Log- File zu speichern. Das Log- File können Sie sich unter „Options – Show Log..“ ansehen. Diese Option ist auch in den anderen Diagrammen vorhanden.
3. Es gibt zwei Arten, das zu tun:
  - Wählen Sie das Menü „Edit – Draw polyline“ und klicken Sie auf die zwei Punkte, dann die rechte Maus-Taste, um den Befehl zu beenden.
  - Wählen Sie das Menü „Options – Input curve data“ und geben Sie die Daten für die Temperatur und die relative Feuchtigkeit ein.
4. Drucken Sie das Diagramm, indem Sie auf den -Knopf drücken.



## 5.7. Übung 7: Einstufiger Prozess mit DX-Verdampfer

Ein neuer Kühlraum soll gebaut werden. Sie haben einen ungefähren Kältebedarf von 15 kW erhalten. Die dimensionierte Verdampfungstemperatur ist  $-6.0\text{ °C}$  und die Überhitzung wird auf 5.0 K eingestellt. Die Verflüssigungstemperatur soll  $35.0\text{ °C}$  und die Unterkühlung soll 2.0 K betragen. Zu dieser Zeit sind die Druckverluste in den Rohren noch zu ignorieren und es ist kein Sauggaswärmetauscher vorgesehen. Aus Erfahrung wissen Sie, dass die Isentropen-Effizienz Ihres Verdichters ungefähr 0,7 sein wird. Der Hitzeverlust vom Verdichter kann 10 % des Leistungsverbrauches geschätzt werden.

1. Welches der folgenden drei Kältemittel (R-134a, R-404A, R-717) sollte gewählt werden, wenn das Kriterium ist, einen maximalen COP zu erreichen?

Jetzt gedenken Sie, einen Sauggaswärmetauscher einzusetzen. Aus den Katalogdaten entnehmen Sie, dass die thermische Effizienz ungefähr 0.3 sein wird.

2. Welches der drei Kältemittel wird jetzt den höchsten COP erreichen?

Sie entscheiden sich dafür, Ihre Untersuchungen fortzusetzen. Sie verwenden das Kältemittel R134a und behalten den Sauggaswärmetauscher.

3. Wie hoch wird der COP, wenn Sie die Verflüssigungstemperatur  $T_C$  um 5.0 K senken?

Bis jetzt wurde die Sauggasüberhitzung ignoriert, aber eine vernünftige Annahme ist, dass sich das Sauggas um 5 K in der Saugleitung erhitzt ( $T_C = 35.0\text{ °C}$ ).

4. Wie wird sich der COP in diesem Fall verändern?

Jetzt isolieren Sie die Saugleitung, so dass die Sauggasüberhitzung in dieser Leitung ignoriert werden kann.

5. Wie verändert sich der COP, wenn die Druckverluste in der Saugleitung und der Heissgasleitung 1.0 K betragen?



### 5.7.1. Lösungsvorschlag zu Übung 7

Benutzen Sie das CoolTool mit dem Titel „Einstufiges System – DX-Verdampfer“. Sie finden es in der Programmgruppe „CoolTools: Prozess-Analyse“. Es wird durch das folgende Icon vertreten:



Geben Sie die relevanten Werte im Unterfenster der Prozess-Spezifizierung ein. Da kein Sauggaswärmetauscher verwendet wird, müssen Sie diesen Teil für das Modell weglassen. Sie können das durch die Eingabe einer thermischen Effizienz von 0 (Null) machen oder „No SGHX“ auswählen.

1. Führen Sie die Berechnungen mit einem der drei Kältemittel durch und notieren Sie den COP. Wiederholen Sie diesen Vorgang für die anderen zwei Kältemittel. R-717 wird den höchsten COP von 3.831 haben.
2. Geben Sie eine thermische Effizienz von 0.3 für den Sauggaswärmetauscher ein. Jetzt wird R-134a den höchsten COP von 3.794 besitzen.
3. Geben Sie eine Verflüssigungstemperatur von 30.0 °C ein. Der COP wird dann 4.444 betragen.
4. Geben Sie die nicht nutzbare Überhitzung ein. Der COP wird auf 3.703 fallen.
5. Geben Sie den Druckverlust ein und korrigieren Sie die nicht nutzbare Überhitzung zurück auf 0.0 K. Danach wird der COP 3.596 betragen.



## 5.8. Übung 8: Einstufiger Prozess mit überflutetem Verdampfer

Ein Freund hat Ihnen zum Geburtstag einen alten Ammoniak-Verdichter geschenkt. Auf der Geburtstagskarte ist geschrieben, dass die Isentropen-Effizienz 0.55 beträgt. Im weiteren besagt sie, dass bei einer Verdampfungstemperatur  $T_E$  von  $-5.0^\circ\text{C}$ , einer Verflüssigungstemperatur  $T_C$  von  $35.0^\circ\text{C}$  und einer Unterkühlung von 2.0 K der Verdichter ein Fördervolumen von  $100.0\text{ m}^3/\text{h}$  haben wird. Die Überhitzung betrug sehrwahrscheinlich 5.0 K.

Sie möchten diesen Verdichter in einem einstufigen System mit einem überfluteten Verdampfer einsetzen.

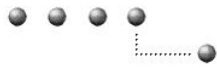
1. Was können Sie in Bezug auf den COP und der Kälteleistung von diesem System erwarten? Nehmen Sie keinen Druckabfall in der Saug- und der Heissgasleitung an. Nehmen Sie weiter an, dass der Hitzeverlust von diesem Verdichter 10.0 % des Leistungsverbrauchs ist.
2. Wenn der Umwälzfaktor für das Kältemittel im Verdampfer 1.1 ist, wie hoch wird der Massenstrom sein?

Als Sie Ihrem Freund für das Geburtstagsgeschenk gedankt haben erwähnte er, dass der Hitzeverlust vom Verdichter wahrscheinlich ein bisschen zu optimistisch sei. Anstatt den Hitzeverlust von 10 %, wie auf der Karte geschrieben, sollten Sie eine Verdichter-Austrittstemperatur von  $120^\circ\text{C}$  berücksichtigen.

3. Wie ist der Hitzeverlust des Verdichters in Bezug auf % des Leistungsverbrauchs und in kW, wenn die Temperatur des Heissgases  $120^\circ\text{C}$  ist?

Die Resultate scheinen so nicht richtig zu sein. Sie setzen sich wieder mit Ihrem Freund in Verbindung, um Ihre Resultate zu besprechen. Er gibt zu, dass die Isentropen-Effizienz, die auf der Karte stand, falsch war. Er sei aber ziemlich sicher, dass der Leistungsverbrauch bei den auf der Karte erwähnten Bedingungen 22.0 kW war.

4. Wie hoch ist die Isentropen-Effizienz, wenn der Leistungsverbrauch 22.0 kW ist?



### 5.8.1. Lösungsvorschlag zu Übung 8

Benutzen Sie das Werkzeug „Einstufiger Prozess – Überflutete Verdampfer“. Sie finden es in der Programmgruppe „CoolTools: Prozess-Analyse“.

Es wird durch das folgende Icon vertreten:



Geben Sie die Werte im Unterfenster „Prozess-Spezifizierungen“ ein.

1. Der COP wird 3.075 und die Kälteleistung wird 86.2 kW betragen.
2. Geben Sie den Umwälzfaktor anstatt der Verdampfer Auslaß-Qualität ein und starten Sie die Berechnung. Der Massenstrom des Kältemittels wird 0.074 kg/s sein.
3. Geben Sie die Heissgastemperatur anstatt des Hitzeverlust-Faktors  $f_Q$  ein. Der Hitzeverlust wird 28.9 % oder 8.11 kW betragen.
4. Geben Sie den Leistungsverbrauch anstatt der Isentropen-Effizienz ein. Die neue Isentropen-Effizienz wird 0.7 betragen. Diese Änderung macht auch den Hitzeverlust des Verdichters etwas realistischer.



## 5.9. Übung 9: Entwerfen eines einstufigen Systems

Eine Firma will einen Tiefkühlraum als Zwischenlager für Eiscreme bauen. Die Firma möchte ebenfalls, dass Sie einige vorgängige Berechnungen über den Leistungsverbrauch eines solchen Kühlungsbetriebs machen. Sie brauchen diese Angaben, damit sie die Stromversorgung der Kälte in diesem Teil der Fabrik bestimmen können.

1. Um die Frage zu beantworten, müssen Sie eine einfache Leistungsverbrauch-Berechnung mit einen relevanten Typ des Kühlungssystems durchführen.

Ihre Antwort auf diese Frage war so ausgezeichnet (und auch so schnell gegeben), dass die Firma will, dass Sie dieses Kälte-System entwerfen und es auch erbauen.

2. Benutzen Sie Ihre eigenen Angaben (Temperaturunterschiede, Regime usw.) um die Hauptkomponenten (Verdichter, Verdampfer, Kondensator und Leitungen) zu dimensionieren. Die Effizienz des Verdichters sollte ca. dem Marktdurchschnitt entsprechen.
3. Benutzen Sie die Kopien im Anhang, um die Hauptkomponenten auszuwählen.
4. Berechnen Sie das Regime für das System mit den ausgewählten Komponenten. Denken Sie daran, die Programmnachrichten über die berechneten Betriebsbedingungen zu prüfen!!! Ist der Druckabfall in den Rohren akzeptabel? Um wie viel wird sich der Leistungsverbrauch ändern, wenn die Heissgasleitung größer (um eine Dimension größer) gemacht wird?

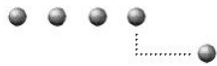
Ihr Vorschlag für Ihr System-Design ist für die Firma befriedigend. Sie möchten jedoch wissen, wie viel größer der Leistungsverbrauch sein würde, wenn ein kleinerer (und auch ein billigerer) Verdampfer ausgewählt würde.

5. Wie viel größer wird der Leistungsverbrauch sein und wie viel tiefer wird der COP, wenn die kleineren Verdampfer gewählt werden? Benutzen Sie die Daten für einen Verdampfer, der um eine Dimension kleiner ist als derjenige, den Sie ausgewählt haben. Ist es noch möglich, die gewünschte Raumtemperatur aufrechtzuerhalten?
6. Was wird geschehen, wenn einer der Verdichter defekt läuft? Wie stark wird die Raumtemperatur ansteigen?

Sie haben die folgende Information über den Raum, seine Dimensionen und die Designbedingungen: Raumtemperatur muss auf  $-27\text{ °C}$  bei einer Umgebungstemperatur von  $23\text{ °C}$  gehalten werden. Der Transmissions-Koeffizient des Raumes (dieser KA-Wert bestimmt die Wärmeübertragung durch Wände, Decke und Fußboden) ist  $130\text{ W/K}$ . Die innere Wärmebelastung ist  $1.0\text{ kW}$ . Das System muss mit einem DX-Verdampfer und einem luftgekühlten Kondensator bestückt werden. Die Umgebungsluft (für den Kondensator) ist  $28\text{ °C}$ . Eine hohe Redundanz wird verlangt, so dass mindestens zwei gleich große Verdichter verwendet werden müssen. R-404A wird als Kältemittel eingesetzt.

Im Anhang werden Sie die folgenden Dokumente finden:

- Verdichter-Katalog (Bitzer), 3 Seiten
- Verdampfer Katalog (LU-VE), 2 Seiten
- Kondensator-Katalog (Friga-Bohn), 1 Seite



### 5.9.1. Lösungsvorschlag zu Übung 9

1. Um ein zweistufiges System zu bauen, ist der Kältebedarf zu klein. Deshalb wird ein einstufiges System ausgewählt.

Benutzen Sie das CoolTool mit dem Titel „Einstufiges System mit DX Verdampfer“. Sie finden es in der Programmgruppe „CoolTool: Design“. Es wird durch das folgende Icon vertreten:



Wenn Sie R-404A als Kältemittel wählen, ist es normalerweise ein Vorteil, einen Sauggaswärmetauscher (SGHX) zu benutzen.

Der Kältebedarf kann als 7.5 kW gerechnet werden ( $50 \text{ K} \cdot 130 \text{ W/K} + 1.0 \text{ kW} = 7.5 \text{ kW}$ ), die Verdampfungstemperatur kann auf  $-35 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $\Delta T = 8 \text{ K}$ ) und die Verflüssigungstemperatur kann auf  $38 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $\Delta T = 10 \text{ K}$ ) gesetzt werden. Die nutzbare Überhitzung kann auf 7 K und die Unterkühlung nach dem Kondensator kann auf 2 K gesetzt werden. Die thermische Effizienz des Sauggaswärmetauschers kann mit 0.3 angenommen werden. Weitere Annahmen können getroffen werden:

$$\Delta p_{\text{SL}} = 0.5 \text{ K} \qquad \Delta p_{\text{DL}} = 0.5 \text{ K} \qquad \Delta T_{\text{SH, NICHT NUTZBAR}} = 3 \text{ K}$$

**Resultate:**

Leistungsverbrauch: ca. 5.7 kW                      COP = 1.319

2. Im Hauptfenster von CoolTool das Sie gerade benutzt haben, finden Sie einen Knopf mit dem Titel „Dimensioning“. Klicken Sie auf diesen Knopf und ein Werkzeug zur Bemessung von einstufigen Systemen wird geladen.

Benutzen Sie den vorher berechneten Kältebedarf und wählen Sie eine vernünftige Temperaturdifferenz am Verdampfer ( $\Delta T = 8 \text{ K}$ ) und am Kondensator ( $\Delta T = 10 \text{ K}$ ). Die Last am Verdampfer kann als 100 % sensibel angenommen werden (SHR = 100 %). Bedenken Sie aber, dass die meisten Katalog-Daten einen SHR von 80 % festlegen. Wenn Sie die erforderlichen Leistungen zu den Katalog-Bedingungen umsetzen, sollte der SHR auf 80 % gesetzt werden. Die in den Kondensator einströmende Luft hat eine Temperatur von  $28 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Resultate:**

Verdichter:  $Q_E = 10.08 \text{ kW}$ , wenn das Regime auf  $-30 \text{ }^\circ\text{C} / +40 \text{ }^\circ\text{C} / +25 \text{ }^\circ\text{C}$  umgesetzt wurde.  
Entsprechendes Fördervolumen  $V = 40.66 \text{ m}^3/\text{h}$   
Bei zwei Verdichtern  $P = 5.04 \text{ kW}$  pro Verdichter

Verdampfer:  $Q_E = 18.39 \text{ kW}$  bei TDM (oder LMTD) = 10 K und SHR = 80 %  
Bei zwei Verdampfern  $Q_0 = 9.19 \text{ kW}$  pro Verdampfer

Kondensator:  $Q_C = 17.30 \text{ kW}$  bei TDM (oder LMTD) = 10 K oder  
 $Q_C = 18.71 \text{ kW}$  bei TD = 15 K

Leitungen: Heissgasleitung ( $\varnothing 11.6 \text{ mm}$ , Kupfer)  $\rightarrow 7/16''$   
Flüssigkeitsleitung 1 und 2 ( $\varnothing 13.7 \text{ mm}$ , Kupfer)  $\rightarrow 9/16''$   
Saugleitung ( $\varnothing 34.0 \text{ mm}$ , Kupfer)  $\rightarrow 1 \text{ } 3/8''$


3. Von den Katalogen werden die folgenden Komponenten ausgewählt:

Verdichter: Bitzer 2Q-4.2Y (zwei Verdichter)  
Bei  $-30/40/25$ :  $Q_E = 5.030 \text{ kW}$                        $W = 3.24 \text{ kW}$   
Bei  $-10/30/25$ :  $Q_E = 14.800 \text{ kW}$                        $W = 4.38 \text{ kW}$



Verdampfer:	Luve HC 93-5 (zwei Verdampfer)
	Bei TDM = 10 K: $Q_E = 9.250 \text{ kW}$ , $V_{LUFT} = 3'900 \text{ m}^3/\text{h}$
	Wechselweise können zwei Luve HC 69-5 ausgewählt werden
	Bei TDM = 10 K: $Q_E = 6.900 \text{ kW}$ , $V_{LUFT} = 4'200 \text{ m}^3/\text{h}$
Kondensator:	Friga-Bohn WA 21 8P (ein Kondensator)
	Bei TD = 15 K: $Q_C = 19.350 \text{ kW}$ , $V_{LUFT} = 6'992 \text{ m}^3/\text{h}$
Leitungen:	Heissgasleitung: 1/2" Kupfer ( $\varnothing$ 12.70 mm)
	Flüssigkeitsleitung 1: 1/2" Kupfer ( $\varnothing$ 12.70 mm)
	Flüssigkeitsleitung 2: 1/2" Kupfer ( $\varnothing$ 12.70 mm)
	Saugleitung: 1 3/8" Kupfer ( $\varnothing$ 34.93 mm)

4. Im Hauptfenster des CoolTools, das Sie benutzt haben, finden Sie einen Knopf mit dem Titel „System-Tool“. Klicken Sie auf diesen Knopf und ein Werkzeug zur Berechnung von Betriebsbedingungen in einstufigen Systemen wird geladen. Bevor die Daten für die Komponenten eingegeben werden können, müssen einige einfache Berechnungen durchgeführt werden.

Die Verdichter-Effizienz muss mit dem Verdichter-Werkzeug berechnet werden. Sie finden es in der Gruppe „CoolTool: Zusätzliches“. Es wird durch das -Icon vertreten. Im System-Werkzeug kann ein internes Modell für den Verdichter verwendet werden, um die Eigenschaften zu berechnen, wenn die Effizienz eine einzelne Betriebsbedingung bekannt ist. Wechselweise können bestimmte Werte für die Verdichter-Effizienz verwendet werden. In diesem Fall enthält der Katalog die richtigen Daten (Betriebsbedingungen), die für das innere Modell zu verwenden sind.

Geben Sie die folgenden Daten im Verdichter-Werkzeug ein:

$T_E = -10 \text{ }^\circ\text{C}$	$Q_E = 14.800 \text{ kW}$	$\Delta T_{SH, UNNTZ} = 0 \text{ K}$
$T_C = 30 \text{ }^\circ\text{C}$	$W = 4.380 \text{ kW}$	$\Delta T_{SC} = 0 \text{ K}$
$T_1 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	$V_S = 22.14 \text{ m}^3/\text{h}$	

**Die Resultate sind:**

Isentropen-Effizienz ( $\eta_{IS}$ ) = 0.648  
 Volumetrische Effizienz ( $\eta_{VOL}$ ) = 0.876

Wenn die festgelegten Werte für die Effizienz im System-Werkzeug verwendet werden sollen, dann geben Sie die folgenden Verdichter-Daten im Verdichter-Werkzeug ein:

$T_E = -35 \text{ }^\circ\text{C}$	$Q_E = 3.740 \text{ kW}$	$\Delta T_{SH, UNNTZ} = 0 \text{ K}$
$T_C = 40 \text{ }^\circ\text{C}$	$W_K = 2.760 \text{ kW}$	$\Delta T_{SC} = 0 \text{ K}$
$T_1 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$	$V_S = 22.14 \text{ m}^3/\text{h}$	

**Die Resultate sind:**

Isentropen-Effizienz ( $\eta_{IS}$ ) = 0.635  
 Volumetrische Effizienz ( $\eta_{VOL}$ ) = 0.663

Für den Verdampfer (LU-VE HC 93-5) muss der UA-Wert berechnet werden. Vom Katalog ist folgendes bekannt:

$$Q_E = 9.250 \text{ kW bei TDM} = 10 \text{ K}$$

Benutzen Sie das Verdampferwerkzeug, um den UA-Wert zu berechnen:



Falls die Katalogdaten für SHR = 80 % festgesetzt wurden, kann mit dem auf der sensiblen Kühlung basierende UA-Wert als  $UA_{SENSIBEL} = 0.740 \text{ kW/K}$  gerechnet werden.

Für die alternative Verdampfer (LU-VE HC 69-5) ist bekannt dass:

$$Q_E = 6.900 \text{ kW bei TDM (oder LMTD)} = 10 \text{ K}$$



Benutzen Sie das Verdampferwerkzeug, um den Wert  $UA_{\text{SENSIBEL}} = 0.552 \text{ kW/K}$  zu berechnen. Für den Kondensator kann der UA-Wert mit dem Kondensatorwerkzeug berechnet werden. Sie werden es in der Gruppe „CoolTool: Zusätzliches“ finden. Es wird durch das folgende Icon vertreten:



Vom Katalog können folgende Daten entnommen werden:

$$Q_C = 19.350 \text{ kW bei } TD = 15 \text{ K}$$

Der UA-Wert für den Kondensator ist  $UA_{\text{TDM}} = 1.886 \text{ kW/K}$

Geben Sie diese Effizienz- und UA-Werte im Systemwerkzeug ein, aber beachten Sie, dass:

- Für die Verdichter das innere Modell mit  $\eta_{\text{IS}} = 0.648$  und  $\eta_{\text{VOL}} = 0.876$  ausgewählt werden muss. Das Verdichter-Fördervolumen beträgt  $22.14 \text{ m}^3/\text{h}$  (Katalog-Wert).
- Im Werkzeug A.1.2 können bis zu fünf Verdampfer aktiv sein, aber beachten Sie, dass das Programm annimmt, dass jeder Verdampfer in einen eigenen Raum gestellt wird. In diesem Beispiel sind zwei Verdampfer in denselben Raum gestellt. Deshalb wird es notwendig, den Raum ( $KA\text{-Raum} = 0.065 \text{ kW/K}$ ) und die innere Wärmebelastung ( $Q_{\text{INTERN}} = 0.5 \text{ kW}$ ) in zwei Hälften zu unterteilen. Folgende Werte können ebenfalls eingegeben werden:

$$T_{\text{AMB}} = 23 \text{ }^\circ\text{C} \quad V_{\text{AIR}} = 3'900 \text{ m}^3/\text{h} \quad \Delta T_{\text{SH}} = 7 \text{ K} \quad \Delta p = 0.5 \text{ K (beide)}$$

Für den Kondensator wird ein UA-Wert von  $1.886 \text{ kW/K}$  verwendet. Die Unterkühlung wird auf  $2 \text{ K}$  und der Druckabfall wird auf  $0.5 \text{ K}$  gesetzt. Der Luftvolumenstrom wird auf  $6'992 \text{ m}^3/\text{h}$  und die Einlasstemperatur wird auf  $28 \text{ }^\circ\text{C}$  gesetzt.

Die Leitungen sind bereits in der vorherigen Lösung angegeben worden:

Heissgasleitung: 1/2 " Kupfer ( $\varnothing 12.70 \text{ mm}$ )  
Flüssigkeitsleitung 1: 1/2 " Kupfer ( $\varnothing 12.70 \text{ mm}$ )  
Flüssigkeitsleitung 2: 1/2 " Kupfer ( $\varnothing 12.70 \text{ mm}$ )  
Saugleitung: 1 3/8 " Kupfer ( $\varnothing 34.93 \text{ mm}$ )

Beachten Sie, dass die Anzahl der aktiven Verdichtern und Verdampfer auf zwei (im Hauptfenster) eingestellt werden muss, bevor die Berechnung gestartet wird.

#### Hauptresultate:

$$\begin{array}{lll} Q_E = 7.4 \text{ kW} & \text{bei} & T_E = -32.4 \text{ }^\circ\text{C} \\ Q_C = 12.1 \text{ kW} & \text{bei} & T_C = 37.5 \text{ }^\circ\text{C} \\ W = 5.5\text{-kW} & & \text{COP} = 1.534 \end{array}$$

Wenn das Unterfenster für den Verdampfer offen ist, können Sie sehen, dass die Überhitzung zu gross ist. Sie kann einfach nicht mit dem UA-Wert und dem Luftstrom übereinstimmen. Der Unterschied zwischen Verdampfungstemperatur und Raumtemperatur beträgt nur  $6.2 \text{ K}$ . Dies ist nicht genug, um das Kältemittel um die angegebenen  $7 \text{ K}$  zu überhitzen. In Wirklichkeit wird sich das Expansionsventil automatisch so anpassen, dass es die Überhitzung von  $7 \text{ K}$  erreichen kann. Das wird durch senken der Verdampfungstemperatur erreicht. Zusätzlich wird ein grösserer Teil der Oberfläche im Verdampfer zur Überhitzung genutzt. Das wird zur Konsequenz haben, dass die berechneten UA-Werte zu groß sind. Wenn Sie diesen Betriebspunkt erreichen, versuchen Sie den UA-Wert um ca.  $10 \%$  zu reduzieren. Das wird eine grössere Differenz zwischen Verdampfungstemperatur und Raumtemperatur zur Folge haben und die angegebene Überhitzung wird dann erreicht.

Wenn die Heissgasleitung vergrößert wird (auf  $5/8"$  Kupfer,  $\varnothing 15.88 \text{ mm}$ ), wird sich der Leistungsverbrauch, auch wenn die Verflüssigungstemperatur von  $37.5$  auf  $37.4 \text{ }^\circ\text{C}$  fällt, nur ein bisschen ändern. Der COP wird sich von  $1.534$  auf  $1.551$  vergrössern. Der Druckabfall in der Heissgasleitung wird von  $1.43 \text{ K}$  auf  $0.47 \text{ K}$  fallen.

5. Wenn die Verdampfer (LU-VE HC 69-5) verwendet werden, ist  $UA_{\text{TDM}} = 0.690 \text{ kW/K}$  berechnet worden. Benutzen Sie  $0.69 \text{ kW/K}$  für den UA-Wert und  $4'200 \text{ m}^3/\text{h}$  für den Luftstrom. Die Kälteleistung wird auf  $7.3 \text{ kW}$  sinken und die Raumtemperatur wird auf  $-25.1 \text{ }^\circ\text{C}$  steigen. Das zeigt, dass dann die Verdichter zu klein sein werden.



6. Die Betriebsbedingungen mit nur einem aktiven Verdichter kann durch Einstellen der Anzahl aktiven Verdichter auf eins berechnet werden. Die Konsequenzen werden sein, dass die Kälteleistung auf 6.5 kW fällt und die Raumtemperatur auf  $-18.9\text{ }^{\circ}\text{C}$  steigt.



## 5.10. Übung 10: Energie-Analyse eines „Ein-Aus“ gesteuerten Systems

Die folgenden Informationen über das vorliegende System sind vorhanden:

Das Verdichterfördevolumen ist entweder  $80.0 \text{ m}^3/\text{h}$  oder  $35.0 \text{ m}^3/\text{h}$ . Der Geschäftsinhaber kann sich nicht mehr genau daran erinnern, welches dieser beiden Fördevolumina wahr ist. Vor ein paar Jahren während er im Urlaub war, wurde der Verdichter ersetzt. Aber er ist ziemlich sicher, dass die Kälteleistung ungefähr  $10 \text{ kW}$  betrug.

Das Kältemittel ist R-134a (wenigstens steht das auf dem Empfangsschein), die Sauggastemperatur ist ungefähr  $10.0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Mit Messungen (wenn Sie die Hand auf die Verdampferoberfläche halten) bestimmen Sie, dass die Verdampfungstemperatur  $-15.0 \text{ }^\circ\text{C}$  beträgt. Das System kühlt einen Lagerraum und hält eine Raumtemperatur von ungefähr  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  aufrecht. Die Überhitzung wird um  $8.0 \text{ K}$  (Erfahrungswert) geschätzt.

Die Umgebungstemperatur ist  $20.0 \text{ }^\circ\text{C}$ , und Sie erinnern sich wieder, dass der luftgekühlte Kondensator richtig und mit einem niedrigen Leistungsverbrauch ausgelegt wurde. Der gemessene Leistungsverbrauch des Verdichters beträgt  $3.0 \text{ kW}$ .

1. Finden Sie heraus, ob das Verdichter-Fördevolumen entweder  $80.0 \text{ m}^3/\text{h}$  oder  $35.0 \text{ m}^3/\text{h}$  ist.
2. Denken Sie, dass der Verdichter effizient war?
3. Berechnen Sie die jährlichen Ersparnisse in kWh, wenn die folgenden Energie-Spar-Ideen durchgeführt werden:
  - a) Der UA-Wert für den Verdampfer wird um  $10 \%$  vergrößert
  - b) Die Kälteleistung wird um  $25 \%$  reduziert
  - c) Wenn beide Massnahmen, sowohl a) als auch b) durchgeführt werden

Nehmen Sie die Anzahl von Betriebsstunden pro Jahr mit  $4'000$  Stunden an.



### 5.10.1. Lösungsvorschlag zu Übung 10

Benutzen Sie das CoolTool mit dem Titel „Auswertung von Operations- und Energie-Spar-Optionen – konstante Verdichterleistung“. Sie finden es in der Programmgruppe „CoolTools: Auswertung“. Es wird durch das folgende Icon vertreten:



Geben Sie die relevanten Werte im Unterfenster der Prozess-Eingabe ein. Die Verflüssigungstemperatur kann um 30 °C geschätzt werden und der Hitzeverlust vom Verdichter wird ca. 10 % sein.

1. Wenn Sie ein Fördervolumen von 80 m<sup>3</sup>/h wählen, erhalten Sie eine volumetrische Effizienz von 0,39. Diese Effizienz ist sehr niedrig und deshalb unrealistisch. Wenn Sie 35 m<sup>3</sup>/h als Fördervolumen eingeben, erhalten Sie eine volumetrische Effizienz von 0.88, welche viel realistischer ist.
2. Die berechnete Verdichter Isentropen-Effizienz ist mit 0.76 ziemlich hoch - so dass man sagen kann, dass der Verdichter effizient ist.
3. Energie-Ersparnisse werden im Unterfenster „Changes“ untersucht. Wenn der UA-Wert des Verdampfers um 10 % vergrößert wird und die jährlichen Betriebsstunden auf 4'000 eingestellt werden, scheint es, dass Sie 691 kWh/Jahr sparen könnten. Die Herabsetzung des Kältebedarfes um 25 % gibt ein jährliches Ersparnis von ungefähr 4978 kWh. Beide Massnahmen zusammen sparen ungefähr 5319 kWh pro Jahr ein.



## 5.11. Übung 11: Flüssigkeitsstrom in Rohren (Druckabfall und Wärmetransport)

Eine R-404A Flüssigkeitsleitung soll durch einen Raum mit einer Temperatur von 35 °C geführt werden. Die relative Feuchtigkeit im Raum beträgt 80 %. Der Druck des Kältemittels entspricht einer Sättigungstemperatur von 25 °C, und die Flüssigkeit wird mit 1 K Unterkühlung angenommen. Der Massenstrom ist 0.35 kg/s, und die Länge des Rohres ist 15 Meter.

1. Finden Sie einen akzeptablen Rohrdurchmesser und Isolationsdicke, die es ermöglicht, am Ende der Leitung eine Unterkühlung von 0.8 K zu behalten.

Die Flüssigkeit geht durch einen Sauggaswärmetauscher und wird auf 15 °C gekühlt. Danach wird die Kälteleitung 10 Meter durch denselben Raum geführt.

2. Ist die Leitung noch genug dick isoliert? Wird sich Wasserdampf auf der Oberfläche bilden?



### 5.11.1. Lösungsvorschlag zu Übung 11

Benutzen Sie das CoolTool mit dem Titel „Flüssigkeitsleitungen – Druckabfall und Wärmeübertragung“. Sie finden es in der Programmgruppe „CoolTools: Zusätzliches“.

Es wird durch das folgende Icon vertreten:



Geben Sie die relevanten Werte im Unterfenster der Prozess-Spezifizierung ein.

1. Versuchen Sie es mit verschiedenen Rohrdurchmessern, bis Sie eine passende Geschwindigkeit für das Kältemittel und dadurch einen vernünftigen Druckabfall erlangen. Ein 1 1/8" Kupferrohr würde passen. Dann passen Sie die Isolierungsstärke an, um die angegebene Unterkühlung aufrechtzuerhalten. 10 mm Armaflex werden eine Unterkühlung von 0.83 K im Austritt sicherstellen.
2. Geben Sie die neuen Werte ein. Die Oberflächentemperatur fällt unter die Sättigungstemperatur der Luft. Wasserdampf wird sich auf der Isolation bilden. Eine Isolierungsstärke von 20 mm wird die Oberflächentemperatur genügend vergrößern, um das Kondensieren des Wasserdampfes zu vermeiden.



## 5.12. Übung 12: Abkühlen von Kühlgut in einem Kühlraum

Ihnen ist die Aufgabe gegeben worden, einen kleinen Kühlraum für 100 Harassen Bier zu dimensionieren. Das Bier soll von einer Temperatur von 25 °C auf 5 °C in nicht weniger als 8 Stunden abgekühlt werden. Der Inhaber des Betriebes ist ein Umweltschützer und fordert, dass R717 (Ammoniak) als Kältemittel verwendet wird.

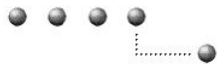
Die folgenden Parameter müssen bestimmt werden:

- Das Verdichter-Fördervolumen in [ $\text{m}^3/\text{h}$ ]
- Der UA-Wert des Verdampfers in [ $\text{kW}/\text{K}$ ]
- Der UA-Wert des Kondensators in [ $\text{kW}/\text{K}$ ]
- Der UA-Wert des Raumes (Wärmeübertragung von der Umgebung durch die Wände) in [ $\text{kW}/\text{K}$ ]

Sie können annehmen, dass die Kapazität der Biere die Dynamik der Raumtemperatur bestimmen.

Die UA-Werte der Wärmetauscher müssen so dimensioniert werden, dass die entsprechenden Temperaturdifferenzen für den UA-Wert ungefähr 10 K sind.

Wie hoch wird der totale Energieverbrauch des Verdichters in [ $\text{kWh}$ ] sein, um die 100 Harassen Bier abzukühlen? Wie hoch wird der durchschnittliche COP sein?



### 5.12.1. Lösungsvorschlag zu Übung 12

Benutzen Sie das Programm dynamische Kühlung. Sie finden es in der Programmgruppe "Dynamik". Es wird durch das folgende Icon vertreten:



Zur Einführung versuchen Sie, sich mit den folgenden variablen Schlaufen vertraut zu machen: *Anfahrverhalten, Steuerung, Kühllast, Verdampfer, Verdichter und Kondensator.*

Wählen Sie  $\text{NH}_3$  von der Liste der Kältemittel. Wenn Sie das Register „Initial“ auswählen, können Sie das Kältemittel aktivieren. Geben Sie ebenfalls eine Anfangstemperatur von  $25\text{ °C}$  in diesem Register ein.

Die Masse und die Wärmekapazität des Kühlgutes können im Register "Load" angegeben werden. Die Masse von 100 Kästen Bier entspricht ungefähr  $1100\text{ kg}$  Wasser. Die spezifische Wärmekapazität ist ca.  $4.2\text{ kJ/kgK}$ .

Wenn es möglich ist, mit verschiedenen Umgebungstemperaturen für den Kondensator und das Kühlgut (Raumtemp.) zu arbeiten, müssen diese individuell angegeben werden. Beide sollten  $25\text{ °C}$  betragen und konstant sein. Letztere wird durch Einstellen der Amplitude (maximale Abweichung) auf 0 der 24-Stunden Sinus- Bezugskurve erreicht.

Im Register „Control“ wählen Sie die maximale und minimale Raumtemperaturen von  $6$  und  $4\text{ °C}$ .

Die Überhitzung kann mit  $5\text{ K}$  angenommen werden. Die Unterkühlung wird etwa  $2\text{ K}$  betragen.

Klicken Sie "Start" um die Simulation zu aktivieren. Wählen Sie aus, welche Variablen Sie im Fenster zeigen wollen. Versuchen Sie, das Verdichter-Fördervolumen und die jeweiligen UA-Werte so zu verändern, dass  $T_{\text{LOAD}} 5\text{ °C}$  nach ungefähr 8 Stunden erreichen wird.

Die folgenden Werte der Parameter werden zu einer vernünftigen Kühlzeit führen:

- Load UA-Wert =  $75\text{ W/K}$  (Transmission) von der Umgebung
- Verdampfer UA-Wert =  $400\text{ W/K}$
- Kondensator-UA-Wert =  $500\text{ W/K}$
- Verdichter-Fördervolumen auf  $4.5\text{ m}^3/\text{h}$  (Isentropen- und volumetrischer Koeffizient und Hitzeverlust werden nicht verändert).

Es kann sehr belehrend sein, zu erkennen, dass ein größerer Verdampfer zu einem kleineren Verdichter und umgekehrt führt.

Im Register „Output“ ist der berechnete Energieverbrauch und COP vorhanden. Bevor Sie diese notieren, überzeugen Sie sich, dass die Kühlzeit Ihrer Simulation ungefähr 8 Stunden einhält. In diesem Fall wird der Energieverbrauch des Verdichters ungefähr  $6.8\text{ kWh}$  sein und der durchschnittliche COP wird ungefähr  $5.1$  sein.



## 6. BEGRIFFE, ABKÜRZUNGEN UND ANDERE HINWEISE

### 6.1. Begriffe

In einigen Zusammenhängen werden zwei verschiedene COP-Werte definiert: COP und COP\*. In beiden Fällen wird der Verbrauch der effektiven Leistung des Verdichters verwendet. Der Unterschied entsteht aus der Definition der "nutzbaren Kälte". Für den COP ist es die im Verdampfer übergebene Kältewirkung, die verwendet wird, wo hingegen für den COP\* eine Kältewirkung gestützt auf die Änderung von Enthalpie vom Verdichtersaugstutzen bis zum Kondensatorauslass verwendet wird. Im letzten Fall wird eine Hitze bis in der Saugleitung den berechneten COP vergrößern. COP\* kann als eine vom Verdichterstandpunkt gesehene Berechnung interpretiert werden, die nicht zwischen einer Verdampferüberhitzung und einer Saugleitungsüberhitzung unterscheiden kann.

### 6.2. Bildschirm-Auflösung

Eine Auflösung von 800x600 oder mehr Pixel wird empfohlen. Alle EESCoolTools sind für eine Auflösung von 800x600 bestimmt.

### 6.3. EESCoolTools

Das Hauptfenster wird mit der Tastenkombination Ctrl+D aktiviert. Dasselbe gilt, wenn Sie aus einem Unterfenster zurückkehren.

Alle Eingaben werden durch eine Umrahmung angezeigt:

Die Taste F2 aktiviert die Berechnungen. Bevor Sie die Berechnungen starten, sind alle Produktionsvariablen grau geschrieben oder diese Felder sind leer. Das wird durch Sternchen (\*\*\*\*) oder Fragezeichen (????) angezeigt.




Der numerische Solver versucht, das Maximum unter eine gewisse restliche Grenze (normalerweise  $10^{-6}$ ) zu reduzieren.

Wenn Sie bereits eine Lösung mit einem Satz von Eingabewerten erlangt haben, könnte es vorteilhaft sein, die Werte der Anfangsvermutungen zu aktualisieren, bevor Sie einige der Eingangswerte ändern. Die Tastenkombination "Ctrl+G" macht das.


Wenn Sie Fenster ausdrucken, gibt es eine Möglichkeit, die individuellen Diagramme auszuwählen. Diese werden folgendermaßen ausgewählt. Im Drucker-Menü entfernen Sie zuerst alle Diagramme und wählen dann wieder (). Dann erscheint ein Menü, wo Sie die spezifischen Diagramme auswählen können, welche Sie drucken wollen.

## 7. ÜBERBLICK ÜBER DIE PROGRAMME IN COOLPACK


### 7.1. Programme in Kältedienstprogrammen

Beschreibung	Icon
Das „Haupt“- Kälte-Dienstprogramm kann für Berechnungen der Kältemittel-Eigenschaft genutzt werden. Auch zur Gestaltung von erstklassigen Eigenschafts-Ausdrucken kann es verwendet werden	
Der Kältemittel-Rechner ist ein kleines handliches Programm, um die thermodynamischen und thermophysikalischen Eigenschaften von Kältemitteln zu berechnen.	
Kälteträger-Rechner ist ein kleines handliches Programm, um die thermodynamischen und thermophysikalischen Eigenschaften von Wärmeträgern (sekundäre Flüssigkeiten) zu berechnen.	



### 7.2. Programme in EESCoolTool: Prozess-Analyse (C-Tools)

Beschreibung	Icon
Prozess-Analyse einstufig: <ul style="list-style-type: none"> <li>• DX-Verdampfer</li> </ul>	
Prozess-Analyse einstufig: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Überfluteter Verdampfer</li> </ul>	
Prozess-Analyse zweistufig: <ul style="list-style-type: none"> <li>• DX-Verdampfer</li> <li>• Einstufige Verdichter</li> </ul>	
Prozess-Analyse zweistufig: <ul style="list-style-type: none"> <li>• DX-Verdampfer</li> <li>• Flüssigkeits-Einspritzung in Saugleitung</li> <li>• Einstufige Verdichter</li> </ul>	
Prozess-Analyse zweistufig: <ul style="list-style-type: none"> <li>• DX-Verdampfer</li> <li>• Flüssigkeits-Einspritzung in Saugleitung</li> <li>• Zweistufiger Verdichter</li> </ul>	
Prozess-Analyse zweistufig: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Überfluteter Verdampfer</li> <li>• Offener Zwischenkühler</li> <li>• Einstufige Verdichter</li> </ul>	
Prozess-Analyse zweistufig: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Überfluteter Verdampfer</li> <li>• Geschlossener Zwischenkühler</li> <li>• Einstufige Verdichter</li> </ul>	
Prozess-Analyse kombiniert: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zwei getrennte Prozesse</li> <li>• Flüssigkeits-Unterkühlung für ND-Seite</li> </ul>	
Prozess-Analyse kombiniert: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kaskade</li> </ul>	
Prozess-Analyse einstufig: <ul style="list-style-type: none"> <li>• DX-Verdampfer</li> <li>• Überkritisch mit CO<sub>2</sub></li> </ul>	
Prozess-Analyse zweistufig: <ul style="list-style-type: none"> <li>• DX-Verdampfer</li> <li>• Überkritisch mit CO<sub>2</sub></li> </ul>	















### 7.3. Programme in EESCoolTools: Design

Beschreibung	Icon
<p>Designpaket für Einstufige Systeme mit einem DX-Verdampfer, beinhaltend:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Einstufige Prozess-Analyse</li> <li>• System-Dimensionierung: Berechnung von Komponentengrößen</li> <li>• System-Energie-Analyse: Berechnung von Betriebsbedingungen</li> <li>• System-Energie-Analyse: Berechnung von Betriebsbedingungen bei mehrfachem Verdichter- und Verdampferverbund</li> </ul>	

### 7.4. Programme in EESCoolTools: Auswertung (E-Tools)

Beschreibung	Icon
Energie-Analyse eines einstufigen Systems mit einem DX-Verdampfer bei konstanter Verdichterleistung	
Energie-Analyse eines einstufigen Systems mit einem DX-Verdampfer bei schrittweiser variablen Verdichterleistung	

## 7.5. Programme in EESCoolTools: Hilfswerkzeuge (A-Tools)

Beschreibung	Icon
Komponenten: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verdichter</li> <li>• Isentropische und volumetrische Effizienz</li> </ul>	
Komponenten: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Verdampfer</li> <li>• UA-Wert</li> </ul>	
Komponenten: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kondensator</li> <li>• UA-Wert</li> </ul>	
Komponenten: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Luftkühler</li> <li>• Abkühlen und entfeuchten von feuchter Luft</li> </ul>	
Leitungen: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gasrohre</li> <li>• Druckabfall und Wärmeübertragung</li> </ul>	
Leitungen: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Flüssigkeitsrohre</li> <li>• Druckabfall und Wärmeübertragung</li> </ul>	
Eigenschaften: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kältemittel</li> <li>• Thermodynamische und -physikalische Eigenschaften</li> </ul>	
Eigenschaften: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Feuchte Luft</li> <li>• Thermodynamische und -physikalische Eigenschaften</li> </ul>	
Kältemittel-Vergleich: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Drei Kältemittel</li> <li>• Einstufiger Prozess</li> </ul>	
Kältebedarf: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kühlraum</li> </ul>	
Kältebedarf: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Flüssigkeitskühler</li> </ul>	
Kältebedarf: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kühlvitrienen</li> </ul>	
Kältebedarf: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Klimatisierter Raum</li> </ul>	
Wirtschaftlichkeit: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kostenrechnung</li> </ul>	

## 7.6. Programme in Dynamik

Beschreibung	Icon
Allgemeines Simulationsmodell für das Abkühlen eines Raumes mit Kühlgut ("ON-OFF" gesteuerter Verdichter)	