



ET 910

Lehrgang zur Kältetechnik

Ausbildung in der Kältetechnik:
Planen, Aufbauen und Erproben unterschiedlicher Kälteanlagenkonfigurationen

Das ideale Übungssystem für den praxisorientierten Unterricht

Didaktische Konzeption und Lerninhalte

Das modulare Übungssystem ermöglicht, durch eine umfassende Auswahl an kältetechnischen Komponenten, den Aufbau diverser Kältemittelkreisläufe. Kältetechnische Lösungen und Probleme aus der Praxis werden im Versuch didaktisch erarbeitet.

Mit dem Übungssystem werden die Lernfelder in der Ausbildung zum Mechatroniker für Kältetechnik mit praxisnahen Versuchen optimal begleitet. Durch den Einsatz von Temperaturmessungen kann der Versuchsumfang erweitert werden. Damit bietet das Gerät diverse qualitative Versuche und kann somit auch in der Hochschulausbildung im Praktikumsversuch Bereich Energietechnik/Kältetechnik sehr erfolgreich eingesetzt werden.

Durch Kombination der enthaltenen Komponenten lassen sich viele kältetechnische Schaltungen aus der Industrie nachbilden. Über das Einbinden von Bypässen, kann das Anlagenverhalten mit oder ohne Einsatz einer bestimmten Komponente direkt verdeutlicht werden. Dadurch entsteht ein nachhaltiges Verständnis für die Wirkweise der Komponenten miteinander.

Das Übungssystem eignet sich ideal für die selbstständige Gruppenarbeit mit 2–3 Auszubildenden oder Studierenden.

Im Gegensatz zu Versuchsaufbauten mit fester Verrohrung können Veränderungen im Kältekreislauf leicht und schnell vorgenommen und deren Auswirkungen direkt erfahren werden. Dieses unmittelbare Feedback sichert einen dauerhaften Lernerfolg. Durch das selbstständige Umsetzen des Systemdiagramms in eine reale, funktionierende Anlage kommen die Auszubildenden/Studierenden zügig zu Erfolgen.

Das Übungssystem ET 910 verwendet übliche industrielle Komponenten aus der Kältetechnik. Damit ist der nötige Praxisbezug mit hohem Wiedererkennungswert gewährleistet. Bei der Auswahl der Komponenten wurde darauf geachtet, dass möglichst viele Themen aus der Ausbildung behandelt werden können.

Durch die Verwendung von Modulplatten lassen sich die Versuche flexibel und übersichtlich gestalten. Die Verwendung von absperrbaren Schläuchen minimiert Kältemittelverluste beim Umbau der Versuche.

Noch heute berichten uns Kunden des ET 910, dass sie das erlernte Wissen – auch viele Jahre später – anwenden, wenn es darum geht, komplexe Anlagen zu verstehen.

Abdeckung von Lernfeldern in der Ausbildung zum Mechatroniker für Kältetechnik durch experimentelles Arbeiten mit dem Übungssystem ET 910

Kältetechnik	Klimatechnik	Elektrotechnik in der Kälte- und Klimatechnik
Funktionszusammenhänge im Kältekreis	Untersuchung der Luftzustände	Grundlagen der Elektrotechnik
Herstellung mechanischer Teilsysteme	grundlegende Zusammenhänge in der Raumlufttechnik	Verbraucher am Einphasenwechselstrom
Thermodynamik, log p,h-Diagramm	Bauelemente und Funktion der Klimaanlage	Schutz vor elektrischen Gefahren
Kältemittel und Schmieröle	Klimatisierung, h,x-Diagramm	einfache, kältetechnische Steuerungen
Primär- und Sekundärregler	Luftkreislauf im Kanalsystem	Verbraucher am Dreiphasenwechselstrom
Wärmeübertrager	Brandschutzmaßnahmen	elektrische Antriebe und Fehlersuche
Verdichter	Energieeinsparung	Regelung von Kälteanlagen
Rohrleitungen		Gebäudeautomatisierung
Störungsbehebung, Wartung und Entsorgung		

■ Anwendungen für das ET 910 Übungssystem

Versuchsspektrum

Verschiedene Expansionelemente – Funktion und Eigenschaften

- handbetätigtes Drosselventil
- druckgeregeltes Expansionsventil
- Kapillarrohr
- thermostatisches Expansionsventil mit innerem Druckausgleich

Verschiedene Temperaturregelungen – Funktion und Eigenschaften

- Regelung der Verdampfungstemperatur über Verdampfungsdruckregler KVP (Normalkühlstufe)
- Regelung der Kühlraumtemperatur über Thermostatschalter mit Verdichtersteuerung
- Regelung der Kühlraumtemperatur über elektrischen Temperaturregler mit Verdichtersteuerung

Verschiedene Leistungsregelungen – Funktion und Eigenschaften

- Leistungsregler KVC
- Leistungsregler KVC mit Nacheinspritzung
- elektrischer Kühlstellenregler mit Magnetventil und Pump-Down-Steuerung

Verschiedene Abtauschaltungen im Tiefkühlbereich – Funktion und Eigenschaften

- Abschaltung des Verdichters über Abtauschaltuhr
- Abschaltung des Verdichters über Verdampferthermostat
- elektrische Abtauheizung über Abtauschaltuhr
- Heißgasabtauung über 4-Wege-Umkehrventil und Abtauschaltuhr

Verschiedene Erweiterungen für den Kältekreislauf – Funktion und Eigenschaften

- Einfluss eines Wärmeübertragers – Unterkühlung und Überhitzung
- druckentlasteter Verdichteranlauf über zeitverzögertes Bypassventil
- Saugdruckregelung über Startregler KVL
- Flüssigkeitsabscheider in der Saugleitung
- Betrieb mit und ohne Sammler

Verschiedene Erweiterungen für den Kältekreislauf – Störungsbehebung und Wartung

- Kältekreislauf öffnen mit Kältemittelverlagerung
- Kältekreislauf öffnen mit Absaugung des Kältemittels
- Kältekreislauf evakuieren
- Kältekreislauf befüllen
- Lecksuche
- Thermostate und Regler einstellen
- elektrische Funktion überprüfen

ET 910 – ET 910.13 Aufbau des Übungssystems

Modularer Aufbau des Gerätes

Das Übungssystem Kältetechnik, Basiseinheit ET 910 stellt mit den Zusatzeinheiten:

- ET 910.05 Laborarbeitsplatz Kältetechnik,
- ET 910.10 Kältetechnische Komponenten für Grundlagenversuche,
- ET 910.11 Kältetechnische Komponenten für weiterführende Versuche,
- ET 910.12 Satz Zubehör und
- ET 910.13 Wartungssatz

ein modulares System einer Kompressionskälteanlage dar.

Die Grundausstattung erfüllt bereits viele Aufgabenstellungen. Für eine vertiefende Behandlung des Themas lässt sich das System erweitern mit ET 910.11 und ET 910.13.

Der modulare Aspekt der Anlage ermöglicht es den Auszubildenden/Studierenden, Kältekreisläufe mit unterschiedlichem Schwierigkeitsgrad selbstständig aufzubauen. Die einzelnen Komponenten werden mit flexiblen Schläuchen miteinander verbunden. Durch die Modularität lassen sich auch Mehrplatzsysteme günstig gestalten.

Grundausstattung ET 910.10

Grundlagen des Kältekreislaufs

- einfacher Kältekreislauf, bestehend aus Verdichter, Verflüssiger, Sammler, Filter/Trockner, Expansionsventil, Verdampfer
- Funktion der einzelnen Komponenten
- Drücke und Temperaturen im Kreisprozess
- Verhalten bei unterschiedlicher Kühllast
- Verhalten bei unterschiedlichen Kühlraumtemperaturen
- Verhalten bei verschiedenen Massenströmen

Erweiterte Betrachtungen des Kältekreislaufs

- Funktion Verdampfer (Verdampfungsdruck, Überhitzung)
- Unterschied belüfteter / unbelüfteter Verdampfer, Reifbildung im Verdampfer
- Funktion Verflüssiger und Sammler (Verflüssigungsdruck)
- Funktion Wärmeübertrager, Unterkühler / Überhitzer
- Funktion Flüssigkeitsabscheider
- Auswirkung von Druckverlusten im Rohrleitungssystem, Simulation über Handventil
- Auswirkung von Über- / Unterfüllung
- Funktion Filter / Trockner und Schauglas
- elektrischer Anschluss eines Verbrauchers



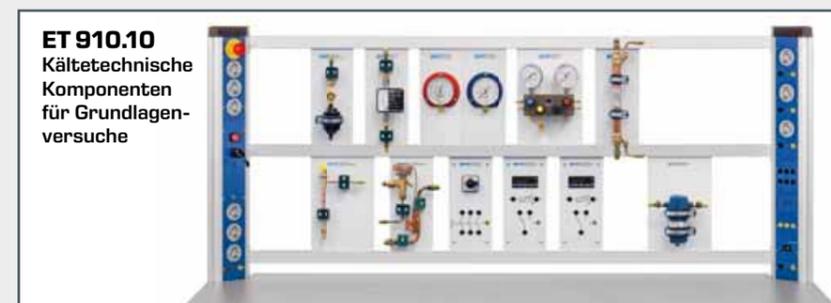
ET 910
Übungssystem Kältetechnik,
Basiseinheit



ET 910.05
Laborarbeitsplatz Kältetechnik



ET 910.12
Satz Zubehör



ET 910.10
Kältetechnische
Komponenten
für Grundlagen-
versuche

Minimale Ausrüstung für einen funktionsfähigen Arbeitsplatz, bestehend aus **ET 910** Basiseinheit, **ET 910.10** Kältetechnische Komponenten für Grundlagenversuche, **ET 910.05** Laborarbeitsplatz und **ET 910.12** Zubehör.

Erweiterungssatz ET 910.11

Primär- und Sekundärregler im Kältekreislauf

- verschiedene Expansionselemente: handbetätigtes Drosselventil, Kapillarrohr, druckgeregeltes Expansionsventil, thermostatisches Expansionsventil
- verschiedene Leistungsregler: Verdampfungsdruckregler KVP, Startregler KVL, Leistungsregler KVC mit Nacheinspritzung, elektrischer Thermostat mit Magnetventil, Kühlstellenregler mit Magnetventil
- Pump-Down-Steuerung des Verdichters
- entlasteter Verdichteranlauf über zeitverzögertes Bypassventil
- elektrische Abtauheizung mit Abtauschaltuhr
- Heißgasabtauung mit 4-Wege-Umkehrventil und Abtauschaltuhr

Einfache elektrische Steuerungen aus der Kältetechnik

- steuerungstechnische Grundlagen beherrschen
- kältetechnische Aufgabenstellungen realisieren: thermostatische Regelung, Selbsthaltung, Wechselbetrieb, Verzögerungsschaltung, elektronischer Kühlstellenregler



ET 910.11
Kältetechnische
Komponenten für
weiterführende
Versuche

Zusätzliche Versuche mit Primär- und Sekundärreglern im Kältekreislauf. Durch elektrische Komponenten sind Aufgaben aus dem Bereich Elektrotechnik ebenso möglich.

Wartungssatz ET 910.13

Störungsbehebung und Wartung

- Anlage entleeren und evakuieren
- Anlage befüllen und Dichtigkeit prüfen
- Anlage öffnen mit Kühlmittelverlagerung / Pump-Down
- Expansionsventile, Thermostate, Druckregler einstellen

Der Wartungssatz umfasst im Wesentlichen

- ausgewählte Werkzeuge
- Lecksuchgerät
- Multimeter
- Befüll- und Evakuiergerät



ET 910.13
Wartungssatz

Zur Befüllung und Entleerung des Systems. Ein Wartungssatz ET 910.13 kann für mehrere Arbeitsplätze verwendet werden. Hiermit können auch Aufgaben aus dem Bereich Wartung und Störungsbehebung bearbeitet werden.

Übersicht über die modularen Komponenten

ET 910.10 Kältetechnische Komponenten für Grundlagenversuche

Schauglas mit
Filter/Trockner

Durchflussmesser

Manometer
Druckseite/Saugseite

Monteurhilfe



Wärmeübertrager

Druckgeregeltes
ExpansionsventilThermostatisches
Expansionsventil

Ausschalter, 3-polig



Elektrischer Thermostat 1



Elektrischer Thermostat 2



Flüssigkeitsabscheider



ET 910.12 Zubehörsatz

Zubehörsatz



Der Zubehörsatz ET 910.12 wird zur hydraulischen und elektrischen Verbindung der Komponenten miteinander und mit der Basiseinheit benötigt. Er beinhaltet Kältemittelschläuche in unterschiedlichen Längen und Durchmessern (z. T. mit Absperrhähnen), Kältemittel-Filter/Trockner als Ersatz, T-Stücke, Kupplungsstücke und Laborkabel. Weiterhin sind zwei unterschiedlich lange Kapillarrohre, zwei Verteiler und eine ausreichende Länge an Isolierschlauch enthalten.

ET 910.11 Kältetechnische Komponenten für weiterführende Versuche

Handventil



Thermostat



Verdampfungsdruckregler



Saugdruckregler



Leistungsregler



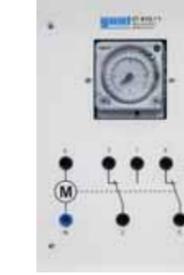
4-Wege-Umkehrventil



Nacheinspritzventil



Abtauschaltuhr



Kühlstellenregler



Magnetventil 1



Magnetventil 2



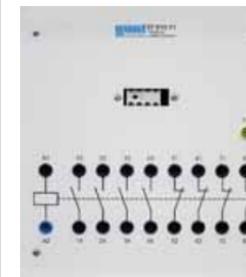
Zeitrelais



Leistungsschütz



Hilfsschütz



Beispielhafte Versuchsaufbauten

Im Folgenden werden einige interessante, mit dem Übungssystem mögliche, Versuchsaufbauten beispielhaft vorgestellt:

- einfacher Kältekreislauf mit Verdichter, Verflüssiger, thermostatischem Expansionsventil und Verdampfer
- Funktion eines Saugdruckreglers im Kältemittelkreislauf verstehen
- Heißgas-Abtauverfahren mit einem 4-Wege-Umkehrventil

Vor dem praktischen Arbeiten mit dem Übungssystem erlernen die Auszubildenden / Studierenden zunächst das Lesen und Verstehen von kältetechnischen Systemdiagrammen oder Prozessschemata und einfachen elektrischen Schaltplänen.

Bei der Zusammenstellung der benötigten Versuchskomponenten kann sich der Lernende mit realen kältetechnischen Komponenten, die zu den Systemdiagrammen gehören, vertraut gemacht.

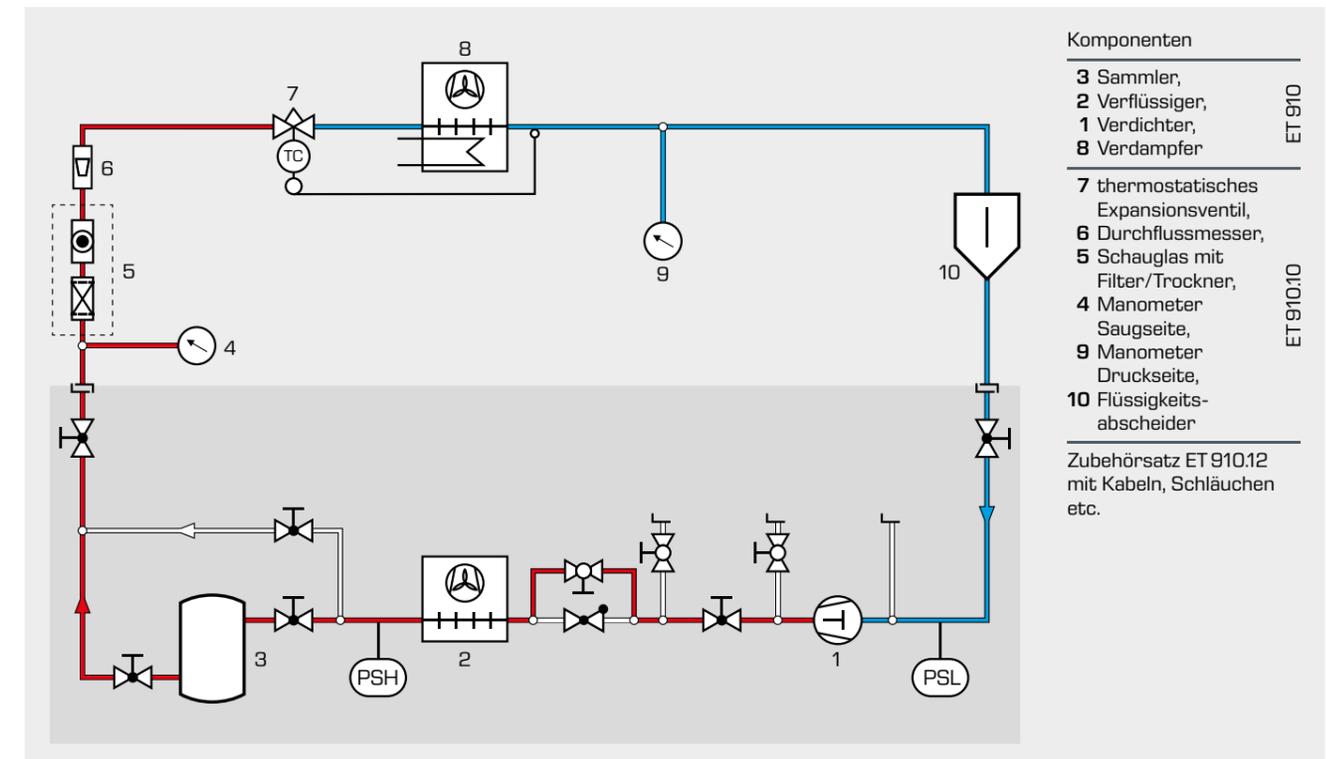
Während der Inbetriebnahme werden praktische Tätigkeiten wie Evakuierung, Befüllung und Dichtigkeitsprüfung durchgeführt. Dabei können die einschlägigen Vorschriften und Regeln

eingübt werden. Im abschließenden Versuchslauf können die Lernenden die Funktion der Anlage im wahrsten Sinne des Wortes begreifen. Die Funktion wird durch Einstellung der Regler und Expansionselemente optimiert. Die Auswirkungen äußerer Einflüsse können demonstriert werden, wie z. B. die Veränderung der thermischen Last am Verdampfer.



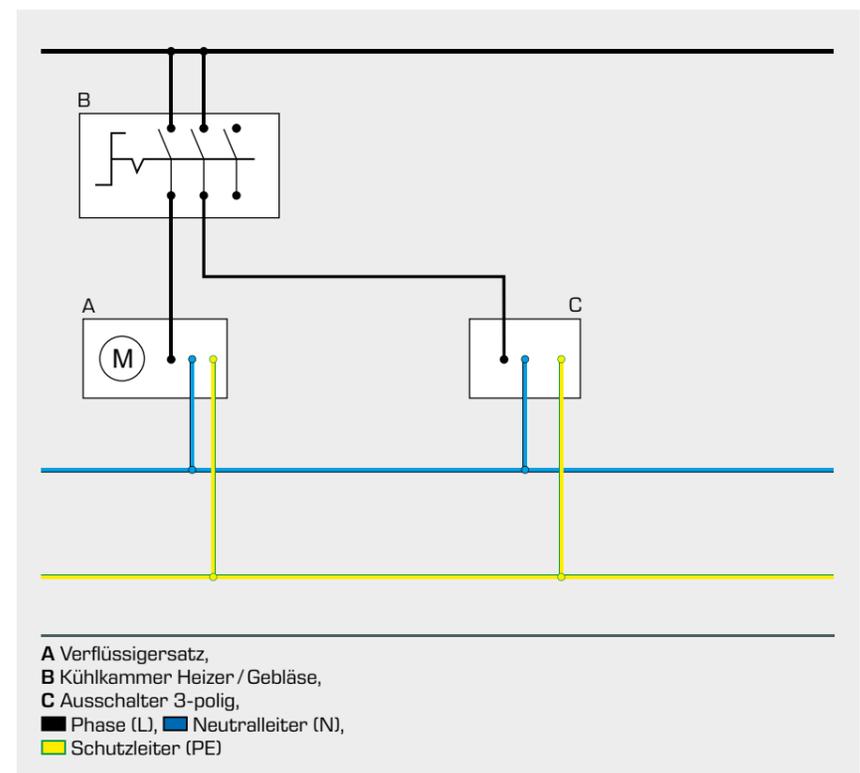
Laborarbeitsplatz mit Basiseinheit und Komponenten für Grundlagenversuche

Beispiel: Einfacher Kältekreislauf mit thermostatischem Expansionsventil



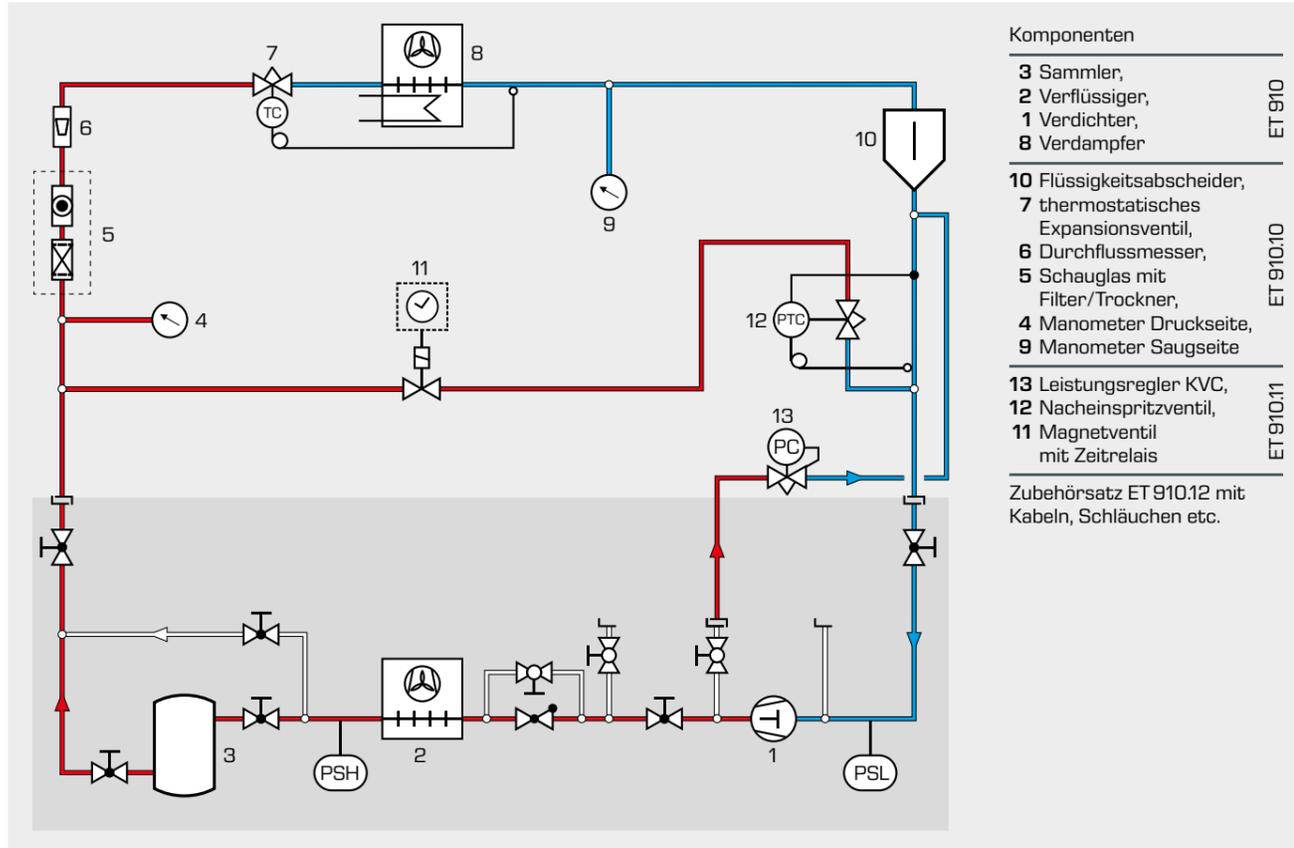
In diesem Einführungsversuch wird ein einfacher Kältekreislauf, bestehend aus Verflüssigersatz (Verdichter 1, Verflüssiger 2, Sammler 3), Kühlkammer mit Verdampfer 8, thermostatischem Expansionsventil 7 und Schauglas mit Filter/Trockner 5 aufgebaut.

Das Regelverhalten des Expansionsventils kann am Durchflussmesser 6 beobachtet werden. Manometer 4, 9 ermöglichen einen Einblick in die Druckverhältnisse im Kreislauf. Die Auszubildenden / Studierenden lernen die Elemente und Funktionen im Kältekreislauf kennen. Über Druck- und Temperaturmessungen kann die Zustandsänderung des Kältemittels verfolgt und im log p,h-Diagramm eingetragen werden. Durch das Fühlen der Temperaturen von Hand wird das Verständnis der Vorgänge vertieft.

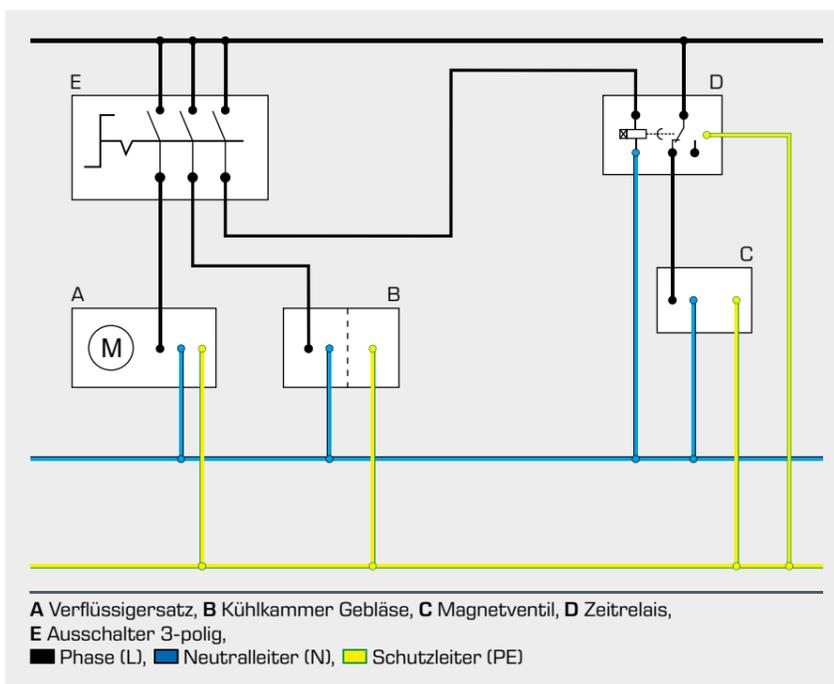


Beispielhafte Versuchsaufbauten

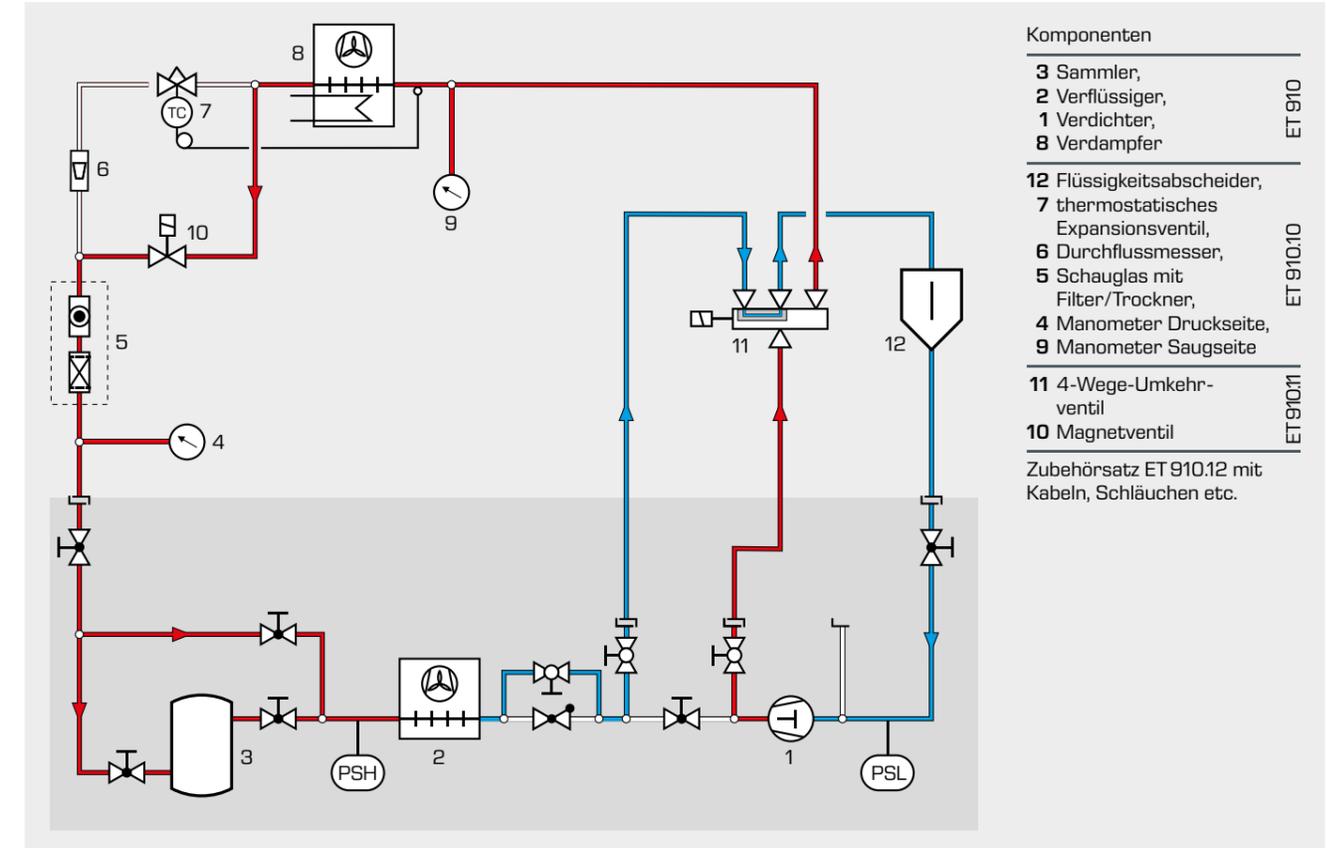
Beispiel: Leistungsregelung mit Nacheinspritzung



Dieser Versuch zeigt eine Art der Leistungsregelung bei größeren Anlagen. Während bei kleinen Anlagen in der Regel die Leistung über den Ein/Aus-Betrieb des Verdichters gesteuert wird, verwendet man bei größeren Anlagen einen Leistungsregler KVC 13. Der KVC lässt bei zu hohen Druckdifferenzen zwischen Druck und Saugseite des Verdichters einen Teilstrom des verdichteten Gases zur Saugseite zurückströmen. Damit wird der effektive Kältemittelmassenstrom reduziert. Um eine Überhitzung des Verdichters hierbei zu unterbinden, wird eine geringe Menge flüssigen Kältemittels über das Nacheinspritzventil 12 direkt in die Saugleitung gespritzt. Das Kältemittel verdampft sofort und kühlt dadurch das Sauggas. Über das Magnetventil 11 kann die Nacheinspritzung bewusst deaktiviert werden, so dass der Einfluss unmittelbar zu beobachten ist.

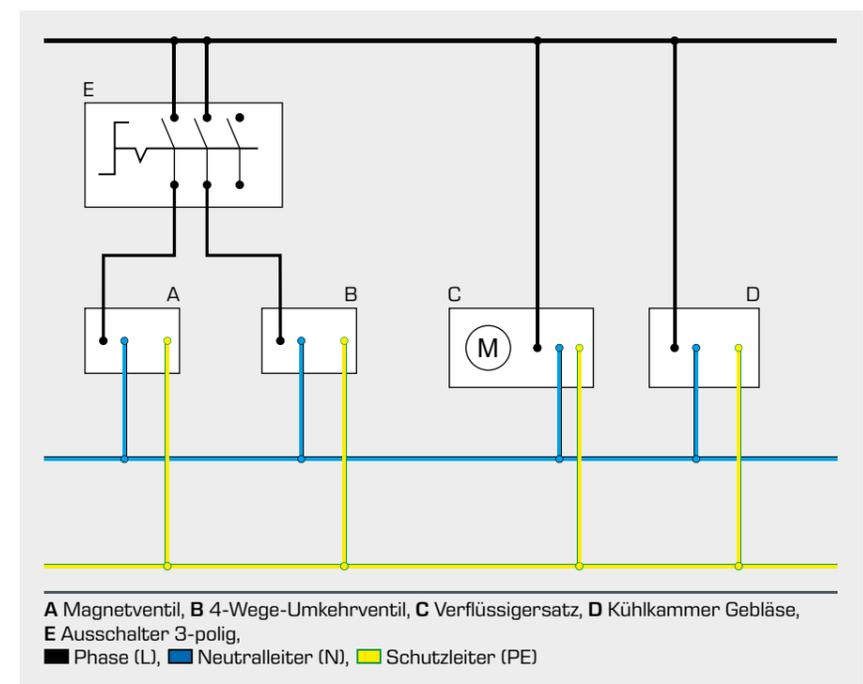


Beispiel: Heißgas-Abtauverfahren mit 4-Wege-Umkehrventil



Bei Verdampfertemperaturen von weniger als 0°C, z. B. in Tiefkühlanlagen, wird die Luft unter ihre Taupunkttemperatur gekühlt, wodurch Kondensat austritt, und an der Oberfläche des Verdampfers gefriert. Diese Eisschicht behindert den Wärmeübergang und reduziert die Wärmeübertragungsfläche. Neben der Möglichkeit eine zeitgesteuerte Abtauheizung einzusetzen, bietet ET 910 auch eine sog. Heißgasabtauung.

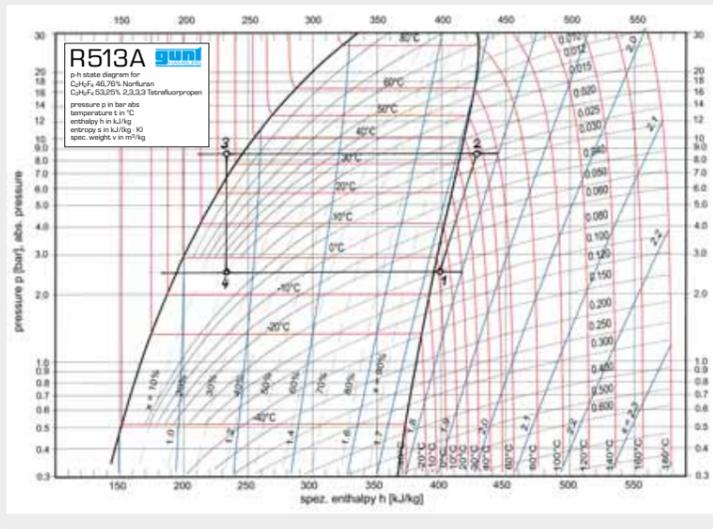
Hierbei wird über ein 4-Wege-Umkehrventil 11 die Funktion von Verdampfer 8 und Verflüssiger 2 getauscht und somit die Durchflussrichtung des Kältemittels umgekehrt. Der zugefrorene Verdampfer bekommt nun direkt das heiße Gas aus dem Verdichteraustritt und taut damit sehr effektiv ab.



Erkenntnisse aus den Versuchen

Messwerttabelle Versuch 2			
Messung	1	2	3
Beobachtung	Reifbildung am Verdampfer		
Verdampfungsdruck p_{1s} in bar	1,5	1,9	2,1
Verflüssigungsdruck, absolut p_{2s} in bar	2,5	2,9	3,1
Verdampfungstemperatur in °C (am Manometer abgelesen)	-4,0	0,0	2,0
Verflüssigungsdruck p_{2s} in bar	7,5	7,2	6,7
Verflüssigungsdruck, absolut p_{2s} in bar	8,5	8,2	7,7
Verflüssigungstemperatur in °C (am Manometer abgelesen)	33,5	32,0	30,0
Temperatur T_1 in °C Austritt Verdichter	45,6	42,3	43,0
Temperatur T_2 in °C vor Expansionsventil	24,8	24,0	22,5
Temperatur T_3 in °C Eintritt Verdampfer	-2,5	0,5	4,0
Temperatur T_4 in °C Austritt Verdampfer	-1,2	2,5	5,0
Temperatur T_5 in °C Eintritt Verdichter	0,4	6,0	8,8
Kältemittelmassenstrom in kg/h	23	28	30

Messwerte an einer Kälteanlage aufnehmen



Messwerte in log p,h-Diagramm eintragen und Kreisprozess zeichnen

Über die Messung der Drücke und Temperaturen, kann die Funktion der einzelnen Komponenten im Kältekreislauf genau untersucht werden.

Über das Nachvollziehen der Zustandsänderungen, durch die selbst platzierten Komponenten, entsteht ein nachhaltiges Verständnis der Arbeitsweise kältetechnischer Komponenten. Neben der Einübung der praktischen Fähigkeit, eine Temperaturmessung richtig durchzuführen (korrekte Messposition und guter Kontakt des Fühlers zur Rohrleitung) oder dem fachgerechten Ablesen eines Manometers, wird auch die Frage des stationären Zustandes der Anlage behandelt.

Über die Eintragung der gemessenen Werte in das log p,h-Diagramm kann der Kreisprozess grafisch dargestellt werden. In dem für die Kältetechnik sehr wichtigen log p,h-Diagramm wird die Arbeitsweise der Hauptkomponenten besonders deutlich und kann eingehend diskutiert werden.

Der abstrakte Begriff der Enthalpie wird über eine Bilanz der ausgetauschten Energieströme verdeutlicht. Auch grundsätzliche Eigenschaften von Phasengemischen, Kondensation und Verdampfung lassen sich anhand des log p,h-Diagramms erklären.

Berechnungen Versuch 2			
Messung	1	2	3
Enthalpien (Ablesung aus dem lg p-h-Diagramm)			
h_1 in kJ/kg	398	402	405
h_2 in kJ/kg	428	426	428
h_3 in kJ/kg	233	229	228
h_4 in kJ/kg	233	229	228
Enthalpiedifferenzen			
$h_2 - h_1$ in kJ/kg	165	173	176
$h_3 - h_4$ in kJ/kg	195	197	200
Massenstrom m in kg/h	23	28	30
Leistungsberechnung			
Verdampferleistung $P_1 = \frac{m \cdot (h_2 - h_1)}{3600}$ in kW	1,054	1,345	1,466
Verflüssigerleistung $P_2 = \frac{m \cdot (h_3 - h_4)}{3600}$ in kW	1,245	1,532	1,666
Theoretische Leistungszahl			
$\epsilon = \frac{P_1}{P_2 - P_1}$	5,49	7,18	7,33

Energieströme berechnen und Leistungszahl bestimmen

Über einfache, thermodynamische Berechnungen können die Energieströme bestimmt werden. Die Berechnung der Leistungszahl ermöglicht Aussagen über die Effektivität der selbst gebauten Anlage und kann über den Einsatz diverser Komponenten zielgerichtet verändert werden. Zudem wird der Einfluss thermischer Lasten oder des Druckverhältnisses auf die Leistungszahl eindrucksvoll verdeutlicht.

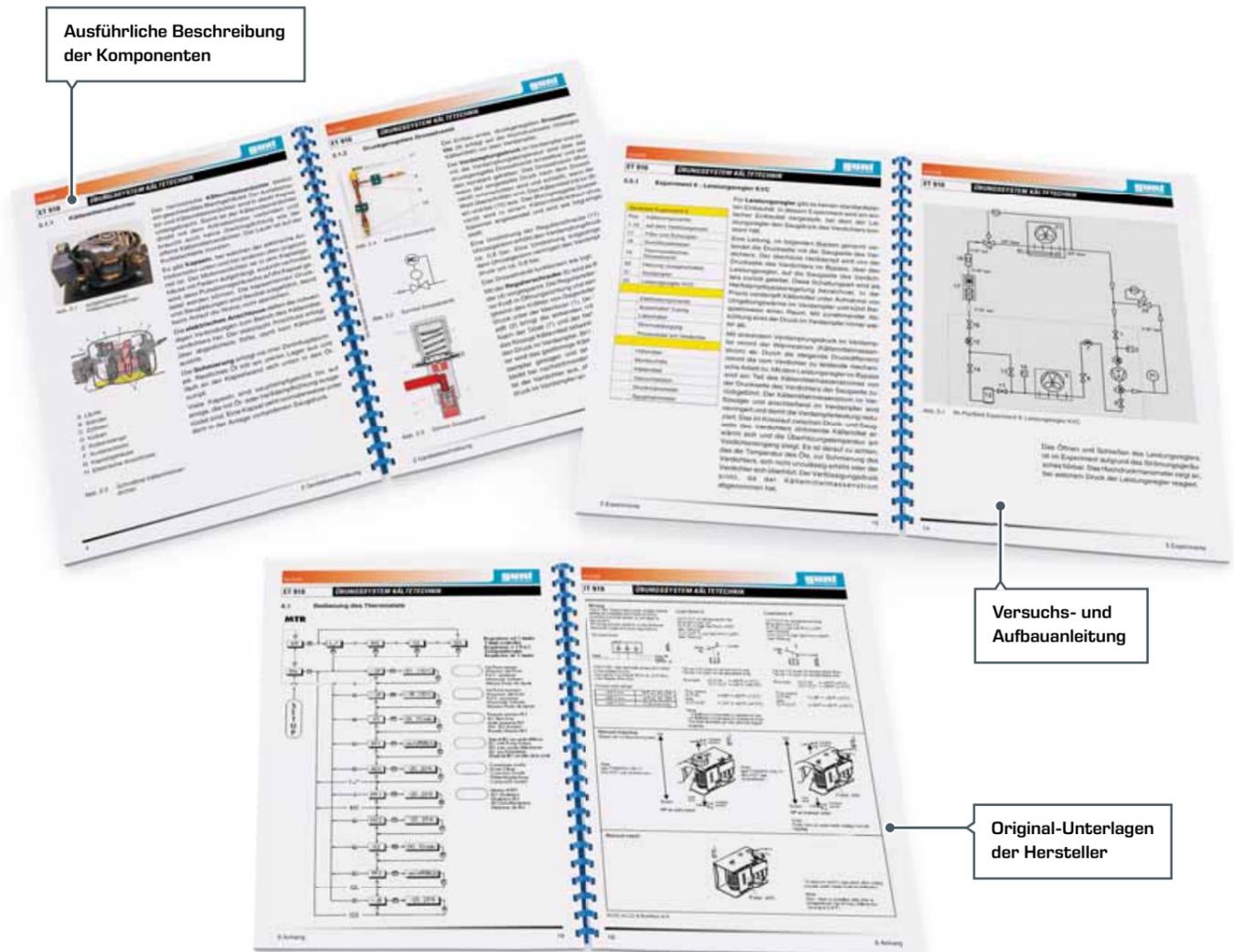
Das didaktische Begleitmaterial

Für das Übungssystem ET 910 haben wir ausführliches Begleitmaterial entwickelt. Dies erleichtert Ihnen den Einsatz des Systems im Unterricht.

Das didaktische Begleitmaterial besteht im Einzelnen aus:

- umfassender Systembeschreibung ET 910
- ausführlichen Bedienungshinweisen
- detaillierter Beschreibung des Aufbaus und der Funktion der verwendeten Komponenten
- Aufbauhinweisen mit Prozessschema, elektrischem Schaltplan und Stückliste
- Arbeitsblättern mit Anleitung für die Versuche für die Auszubildenden/ Studierenden
- original Unterlagen der Hersteller und Montageanleitungen für die wichtigsten Komponenten

Materialien als Papiaerausdruck und zusätzlich auch als PDF-Dateien.



Ausführliche Beschreibung der Komponenten

Versuchs- und Aufbauanleitung

Original-Unterlagen der Hersteller

Mit dem Kauf des Übungssystems ET 910 erhalten Sie erstklassiges Dokumentations- und Lehrmaterial