

1 Lernfeld 1: Analysieren von Kälte- und Klimatechnischen Anlagen und Prüfen von Funktionen

1.1 Grundlagen der Mechanik in der Kälte- und Klimatechnik

1.1.1 Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad

Technologie

1. Vervollständigen Sie folgende Übersicht über Basisgrößen und ihre Einheiten:

Basisgröße	Basiseinheit	Kurzzeichen der Basiseinheit	Symbol (Formelzeichen)
Länge		m	l
	Kilogramm		
	Sekunde		
	Ampere		
		K	
Stoffmenge			

- Wie ist mechanische Arbeit definiert? Welche Einheit hat sie? Welches Formelzeichen ist vereinbart?
- Führen Sie die Einheit J (Joule) auf die Basiseinheiten m, kg, s zurück.
- Unterscheiden Sie Arbeit und Energie. Wie hängen diese beiden Größen zusammen?
- Was besagt der Satz von der Erhaltung der Energie?
- Wie ist Leistung definiert? Welche Einheit hat sie? Welches Formelzeichen ist vereinbart?
- Führen Sie die Einheit W (Watt) auf die Basiseinheiten m, kg, s zurück.
- Ein Körper der Masse m wird auf die Höhe h gehoben (Abbildung 1.1). Dabei ist an ihm die Hubarbeit $W = F_G \cdot h = m \cdot g \cdot h$ verrichtet worden. Wo ist diese Arbeit „geblieben“?
- Nennen Sie neben Hubarbeit – potenzieller Energie zwei weitere Arten mechanischer Arbeit und die jeweils zugehörige Energieform.

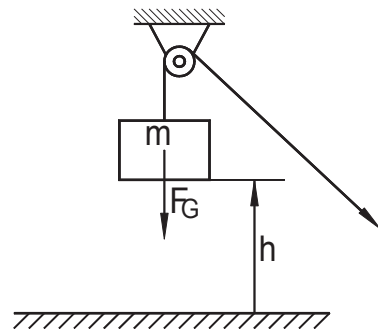


Abb. 1.1

- Ein Körper der Masse m wurde durch eine Kraft F auf die Geschwindigkeit w^* beschleunigt (Abbildung 1.2). Wie groß ist jetzt seine kinetische Energie (Formel)?
- Berechnen Sie mittels Energieerhaltungssatz die Geschwindigkeit, die ein Körper der Masse m beim freien Fall aus der Höhe h maximal erreicht (allgemeine Formel, Luftwiderstand vernachlässigt).
- Was versteht man unter dem mechanischen Wirkungsgrad? Welche Einheit hat er? Welches Formelzeichen ist vereinbart?
- Was versteht man unter Dissipation von Energie?

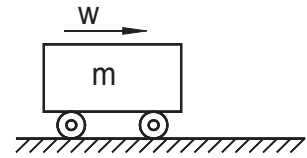


Abb. 1.2

Technische Mathematik

- Ein Verflüssiger der Masse $m = 1200$ kg wird von einem Kran in 60 s 30 m hochgehoben.
 - Welche Arbeit wird verrichtet (Nm, kJ)?
 - Welche Leistung ist erforderlich (kW)?
- In welcher Zeit kann eine Last von $m = 800$ kg mit einer Leistung von 2 kW 8 m hochgehoben werden?
- Eine Pumpe mit 1 kW Antriebsleistung befördert 500 l/min Wasser in einen Behälter in 10 m Höhe.
 - Welche Leistung ist erforderlich (W)?
 - Welchen Wirkungsgrad hat die Pumpe?
- Ein offener Verdichter mit einem mechanischen Wirkungsgrad von $\eta_m = 0,8$ wird über einen Keilriemenantrieb mit einem Übertragungswirkungsgrad $\eta_U = 0,88$ von einem Elektromotor angetrieben, dessen Wirkungsgrad $\eta_{el} = 0,79$ beträgt. Welche Leistung steht zum Verdichten zur Verfügung, wenn der Elektromotor eine Klemmenleistung von $P_{Kl} = 8$ kW aufnimmt?
- Mit einer Seilrolle zieht ein Mann eine Last von $m = 40$ kg in 40 s 10 m hoch (Abbildung 1.3). Der Förderkorb hat eine Masse von $m = 5$ kg, die Reibung der Seilrolle wird mit 10 N (konstant) angenommen. Nach dem Ausladen lässt er das Seil einfach los.
 - Welche Arbeit verrichtet der Mann (kJ)?
 - Um welchen Betrag erhöht sich die potenzielle Energie der Last (kJ)?
 - Welche Leistung vollbringt der Mann (W)?
 - Wie groß ist der Wirkungsgrad seiner Maschinerie / der Seilrolle?
 - Mit welcher Geschwindigkeit (m/s) prallt der Korb auf (Luftwiderstand, Seilreibung, Seilmasse vernachlässigt)?

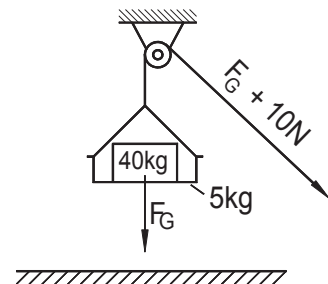


Abb. 1.3

* In der Kältetechnik ist als Formelzeichen für die Geschwindigkeit w üblich, um den Buchstaben v für das spezifische Volumen zu reservieren.

1.3 Wiederholungsfragen zu Lernfeld 1

Bei den folgenden Aufgaben ist stets genau eine Auswahlantwort richtig.

Grundlagen der Mechanik in der Kälte- und Klimatechnik

Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad

1. Arbeit ist definiert als
 - a) Kraft pro Weg
 - b) Weg mal Strecke
 - c) Kraft mal Weg
 - d) Leistung durch Zeit
 - e) Weg durch Zeit
2. Bei einem Pendel findet folgende Energieumwandlung statt (Reibung vernachlässigt)
 - a) Verschiebearbeit in Hubarbeit
 - b) potenzielle in kinetische Energie
 - c) kinetische Energie in Reibarbeit
 - d) potenzielle Energie in Hubarbeit
 - e) Bewegungsenergie in Spannungsenergie
3. Energie ist
 - a) gespeicherte Kraft
 - b) verrichtete Arbeit
 - c) die Fähigkeit Kräfte auszuüben
 - d) die Fähigkeit Arbeit zu verrichten
 - e) verlorene Arbeit
4. Die Einheit der Arbeit ist
 - a) Watt
 - b) Watt pro Sekunde
 - c) Joule pro Sekunde
 - d) Newton
 - e) Joule
5. Die Einheit der Leistung ist
 - a) Joule
 - b) Newton
 - c) Newtonmeter
 - d) Watt
 - e) Wattsekunde
6. Ein Joule ist
 - a) 1 Nm
 - b) 1 N/m
 - c) 1 W/s
 - d) 1 kgms
 - e) 1 m/s

1.4 Lösungen zu: Grundlagen der Mechanik in der Kälte- und Klimatechnik

1.4.1 zu: Arbeit, Leistung, Wirkungsgrad

Technologie

1.

Basisgröße	Basiseinheit	Kurzzeichen der Basiseinheit	Symbol (Formelzeichen)
Länge	Meter	m	l
Masse	Kilogramm	kg	m
Zeit	Sekunde	s	τ *
elektrische Stromstärke	Ampere	A	I
thermodynamische Temperatur	Kelvin	K	T
Stoffmenge	Mol	mol	n

* τ („tau“) nur in der Kältetechnik üblich, um das sonst allgemein verwendete Symbol t für die Temperatur in °C zu reservieren (anstelle von ϑ)

2. Arbeit ist definiert als das Produkt aus Kraft und Weg. Kraft- und Wegrichtung müssen dabei übereinstimmen: Arbeit = Kraft in Wegrichtung x Weg. Formelzeichen W, $W = F \cdot s$
Die Einheit der Arbeit ergibt sich als Produkt der Einheiten von Kraft (N) und Weg (m) als Nm (Newtonmeter). 1 Newtonmeter wird als 1 Joule (J) bezeichnet: $1 \text{ Nm} = 1 \text{ J}$
3. $1 \text{ J} = 1 \text{ Nm} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^2}$
4. Energie ist die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten. Zum Spannen einer Feder muss Arbeit verrichtet werden, die gespannte Feder hat eine bestimmte Energie gespeichert und kann Arbeit verrichten.
5. Bei allen mechanischen Vorgängen kann nie Energie erzeugt werden oder verloren gehen, sie wird nur umgewandelt.
6. Leistung ist der Quotient aus verrichteter Arbeit und dazu benötigter Zeit.
Einheit $1 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 1 \text{ W}$.
Formelzeichen P, $P = \frac{W}{\tau}$.
7. $1 \text{ W} = 1 \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = 1 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}^3}$
8. Die Hubarbeit hat die potenzielle Energie (Energie der Lage) $E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$ des Körpers erhöht. Fällt dieser Körper wieder zu Boden, kann er dabei Arbeit verrichten.
9. Beschleunigungsarbeit – Bewegungsenergie (kinetische Energie), Verformungsarbeit – Spannungsenergie (vgl. Beispiel Feder, Aufg. 4)

$$10. E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m \cdot w^2$$

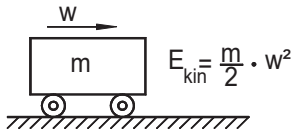


Abb. 1.15

11. Nach dem Energieerhaltungssatz wird die im Körper gespeicherte potenzielle Energie vollständig in kinetische Energie umgewandelt:

$$E_{\text{pot}} = E_{\text{kin}}$$

$$m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} m \cdot w^2$$

$$g \cdot h = \frac{1}{2} w^2$$

$$w = \sqrt{2g \cdot h}$$

12. Da bei allen mechanischen Vorgängen und Maschinen Reibung auftritt, muss die von der Maschine/Vorrichtung verrichtete Arbeit (Nutzarbeit) um den zur Überwindung der Reibung nötigen Teil kleiner sein als die zugeführte Arbeit. Das Verhältnis von Nutzarbeit zu zugeführter Arbeit bzw. von Nutzleistung zu zugeführter Leistung wird als Wirkungsgrad η („Eta“) bezeichnet:

$$\eta = \frac{\text{Nutzarbeit}}{\text{zugeführte Arbeit}} = \frac{\text{Nutzleistung}}{\text{zugeführte Leistung}}. \text{ Der Wirkungsgrad } \eta \text{ ist eine dimensionslose Größe.}$$

13. Damit ist der Vorgang der Zerstreung der eingesetzten Energie bei realen Prozessen gemeint (vgl. Technische Mathematik, Aufg. 6).

Technische Mathematik

$$1. a) W = F_G \cdot h = m \cdot g \cdot h = 1200 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 30 \text{ m} = 11772 \text{ N} \cdot 30 \text{ m} \\ = 353160 \text{ Nm} = \underline{353,16 \text{ kJ}}$$

$$b) P = \frac{W}{\tau} = \frac{353,16 \text{ kJ}}{60 \text{ s}} = \underline{5,886 \text{ kW}}$$

$$2. P = \frac{W}{\tau} \Rightarrow \tau = \frac{W}{P} = \frac{F_G \cdot h}{P} = \frac{m \cdot g \cdot h}{P} = \frac{800 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 8 \text{ m}}{2000 \text{ W}} = \frac{62784 \text{ Nm}}{2000 \frac{\text{Nm}}{\text{s}}} \\ = \underline{31,39 \text{ s}}$$

$$3. a) P = \frac{W}{\tau} = \frac{m \cdot g \cdot h}{\tau} = \frac{500 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 10 \text{ m}}{60 \text{ s}} = \frac{49050 \text{ Nm}}{60 \text{ s}} = \underline{817,5 \text{ W}}$$

$$b) \eta = \frac{P_{\text{ab}}}{P_{\text{zu}}} = \frac{817,5 \text{ W}}{1000 \text{ W}} = \underline{0,8175}$$

$$4. P = P_{\text{el}} \cdot \eta_{\text{el}} \cdot \eta_{\text{Ü}} \cdot \eta_{\text{m}} = 8 \text{ kW} \cdot 0,79 \cdot 0,88 \cdot 0,8 = \underline{4,45 \text{ kW}}$$

$$5. a) W = F \cdot s = (m \cdot g + 10 \text{ N}) \cdot h = (45 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 + 10 \text{ N}) \cdot 10 \text{ m} \\ = 4514,5 \text{ Nm} = \underline{4,5145 \text{ kJ}}$$

$$b) E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h = 40 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 10 \text{ m} = 3924 \text{ Nm} = \underline{3,924 \text{ kJ}}$$

$$c) P = \frac{W}{\tau} = \frac{4514,5 \text{ Nm}}{40 \text{ s}} = \underline{112,86 \text{ W}}$$

11. Die Tabelle zeigt die Isentropenexponenten κ der Kältemittel R-134a und R-717 (Ammoniak) unter Normalbedingungen (1013 hPa, 0 °C):

Kältemittel	R-134a	R-717
κ	1,11	1,31

12. Berechnen Sie damit die isentrope Verdichtungsendtemperatur für $t_0 = -10\text{ °C}$, $t_c = 30\text{ °C}$, $t_{v1} = 0\text{ °C}$.

6.2 Montage und Inbetriebnahme, sicherheitstechnische Bestimmungen

Technologie

1. Aus welchen Teilschritten setzt sich die Montage einer Kälteanlage zusammen?
2. Durch welche Maßnahmen wird die Übertragung des vom Verdichter verursachten Körperschalls vermindert? Was ist darunter zu verstehen?
3. Bei welchen Verdichtern muss das Ausrichten besonders sorgfältig geschehen? Warum?
4. Wie und mit welchen Hilfsmitteln können Sie bei direktgekuppelten offenen Verdichtern die Flucht überprüfen?
5. Was ist aus Sicherheitsgründen bei offenen Verdichtern unbedingt zu überprüfen?
6. Bei Verflüssigungssätzen mit offenen Verdichtern und Riemenantrieb ist oft der Lüfter für den Verflüssiger an der Riemenscheibe des E-Motors montiert. Worauf ist beim Anschluss des E-Motors zu achten?
7. Worauf ist bei der Aufstellung von luftgekühlten Kleinkälte-Verflüssigungssätzen zu achten?
8. Worauf ist beim Aufstellen von wassergekühlten Verflüssigungssätzen zu achten?
9. Welche weiteren Forderungen sind bei der Aufstellung von Kälteanlagen zu erfüllen?
10. Worauf ist bei der Montage ventilatorbelüfteter Verdampfer in Kühlräumen zu achten?
11. Was ist bei Tiefkühlräumen im Fußbodenbereich unbedingt zu kontrollieren?
12. Was ist bei der Dachaufstellung von Verflüssigern zu beachten?
13. Die Abbildungen 6.1 und 6.2 zeigen zwei Möglichkeiten des Riementriebs. Welche ist zu bevorzugen? Warum?

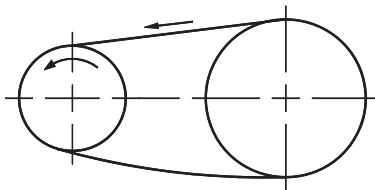


Abb. 6.1 Riementrieb – Variante A

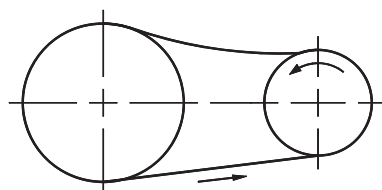


Abb. 6.2 Riementrieb – Variante B

14. Vor der Inbetriebnahme einer Kälteanlage sind alle Bauteile oder die Gesamtkälteanlage zu prüfen. Unter welchen Aspekten muss geprüft werden? Wann kann eine Druckfestigkeitsprüfung entfallen?
15. Eine R-134a-Anlage mit luftgekühltem Verflüssiger ist einer Druckfestigkeitsprüfung zu unterziehen. Wie hoch sollte der Prüfdruck sein? Welche Geräte und Materialien sind erforderlich?
16. Eine zu prüfende Anlage wurde für die Druckprobe/Dichtheitsprüfung vorbereitet. Warum sollte man nicht sofort den End-Prüfdruck von z. B. 15 bar einstellen, sondern zunächst nur einen p_e von ca. 2 bar?
17. Welche Gase kommen für die Dichtheitsprüfung mit Überdruck infrage? Wie werden Lecks lokalisiert? Erläutern Sie.
18. Eine zu prüfende Anlage wird nachmittags ($t_a = 28\text{ °C}$) auf $p_e = 20\text{ bar}$ gebracht. Am nächsten Morgen ($t_a = 9\text{ °C}$) lesen Sie $p_e = 18,7\text{ bar}$ ab. Welche Aussage über die Dichtheit der Anlage können Sie treffen?
19. Warum müssen Kälteanlagen vor Inbetriebnahme und nach Öffnen des Kältemittelkreislaufs bei Wartungsarbeiten evakuiert werden?
20. Wieso kann man durch Evakuieren auch Wasser in flüssiger Form (Kondensat) aus der Anlage entfernen? Welche Voraussetzung muss dazu erfüllt sein?
21. Nennen Sie Grundregeln beim Evakuieren.
22. Sie evakuieren nachmittags bis auf 1 hPa (relativ, d. h. -999 hPa Überdruck) und lassen das Vakuum über Nacht stehen (*Vakuumstandprobe*). Am nächsten Morgen stellen Sie 5 hPa fest. Welche möglichen Erklärungen gibt es dafür? Was ist zu kritisieren?
23. Wie ist eine Vakuumstandprobe als Dichtheitsprüfung zu beurteilen?
24. Die Druckaufzeichnung während einer Vakuumstandprobe bei 13 °C über 24 h zeigt folgenden Verlauf (Abbildung 6.3):

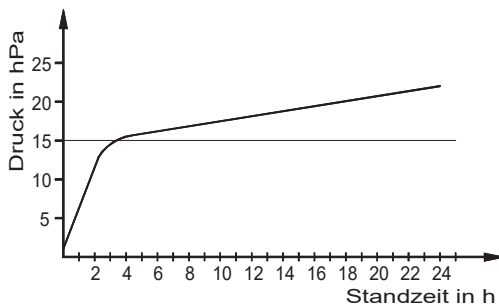


Abb. 6.3

Beurteilen Sie den Verlauf des Druckanstiegs.

9 Kältesteuerung 3

Die Projekte in diesem Kapitel decken folgende Lernfelder ab:

Lernfeld 3: Untersuchen und Prüfen der Funktion von elektrischen Anlagenteilen in Kälte- und Klimaanlageanlagen

Lernfeld 4: Planen und Ausführen von elektrischen Installationen am Einphasenwechselstromnetz

Lernfeld 9: Herstellen und Prüfen von elektromechanischen und elektronischen Steuerungen

Abbildung 9.2 zeigt den unvollständigen Stromlaufplan dieser Kältesteuerung in zusammenhängender Darstellung (i. z. D.). Dieser Stromlaufplan wird als Verdrahtungsplan oder Geräteverdrahtungsplan bezeichnet.

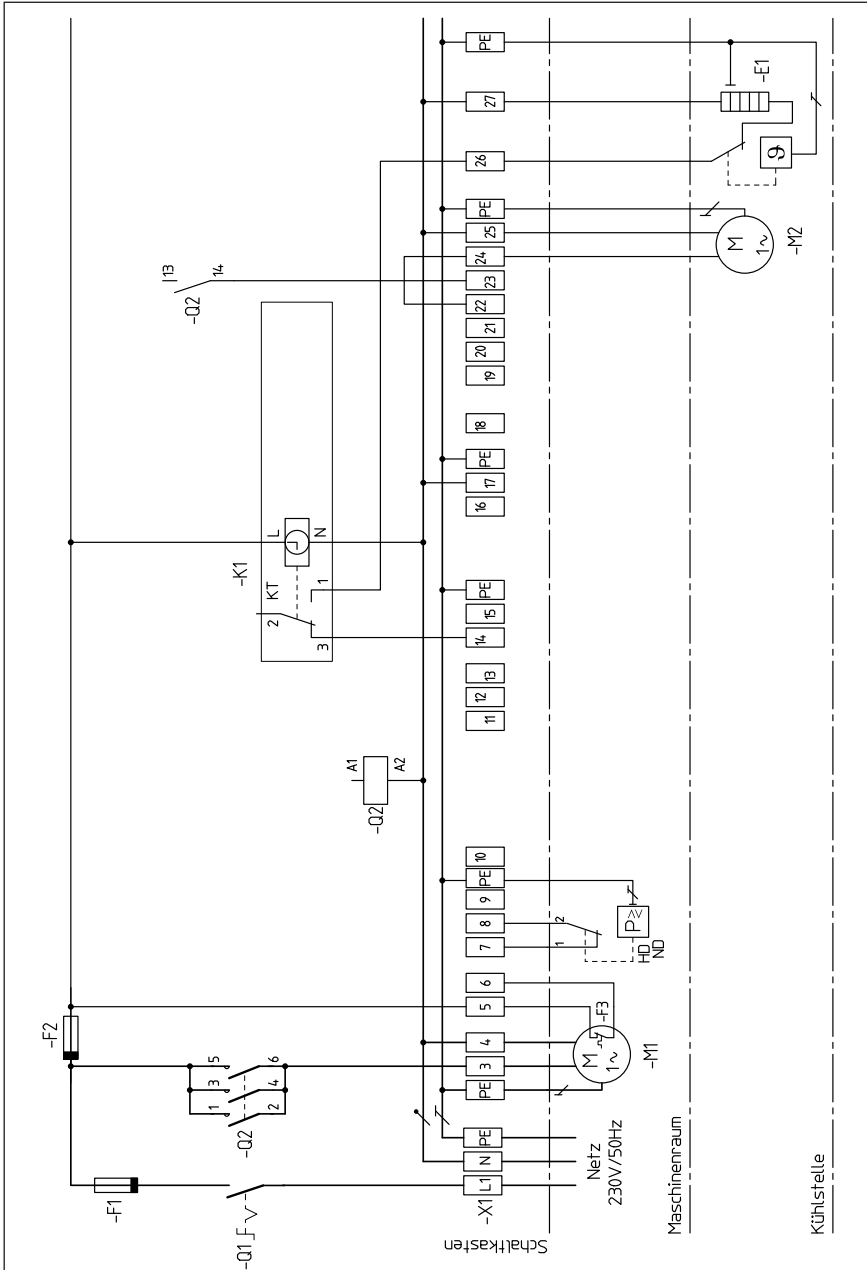


Abb.9.2 Stromlaufplan/Verdrahtungsplan

Die dargestellte Schaltung wird in ähnlicher Form von Firmen kälte- und klimatechnischer Artikel angeboten und bietet durch entsprechende Anordnung von Leitungsbrücken an der Reihenklemmleiste unterschiedliche Schaltungsvarianten.

Der Übersichtlichkeit halber wurde in dem Stromlaufplan der Kältesteuerung 3 (Abbildung 9.1) nur eine Schaltungsvariante dargestellt: „Normalbetrieb mit Verdampferlüftersteuerung ohne Verzögerung“. Der Verdampferlüfter wird über das Verdichterschütz angesteuert.

Zur Lösung der Aufgaben sind keine fundierten Kenntnisse über die Funktion der dargestellten Schaltung erforderlich.

Schaltungstechnik und Funktionsanalyse

1. Vervollständigen Sie die Kennzeichnung und Bezeichnung der grafischen Schaltsymbole in der Tabelle 9.1:

Kennzeichnung	Schaltsymbole in Stromlaufplänen	Schaltsymbole in Verdrahtungsplänen	Bezeichnung der grafischen Symbole für Schaltungsunterlagen
Q			Schützkontakte im Laststromkreis
			Hoch-/Niederdruckwächter oder Hoch-/Niederdruckpressostat, auch Duo-Pressostat genannt. HD-/ND-Begrenzer als Sicherheitsorgan