

Geprüfte Industriemeister

Naturwissenschaftliche und
technische Gesetzmäßigkeiten



TEXTBAND

 Gemeinsam Zukunft Bilden



Ihr Autor



Bernd Paul

Bernd Paul war als Oberstudienrat 37 Jahre an einem technischen Berufsbildungszentrum beschäftigt. Hier unterrichtete er die Fächer Technik, Physik, Chemie und er war auch in der Lehrerweiterbildung tätig.

Seit dem Jahr 1977 arbeitet Herr Paul als Dozent in der Weiterbildung im Bereich naturwissenschaftliche Grundlagen der Industriemeisterausbildung. Seit dem Jahr 1995 ist er auch für die DIHK-Bildungs-GmbH tätig.

Autoren der Voraufgaben:

Prof. Dr. Volker Läßle

Bernd Paul

Dipl.-Ing. Martin Schmidt

Dr. Diane Woitschitzky

Arbeiten mit Textbänden

● Mit Ihrer Entscheidung für eine IHK-Weiterbildung haben Sie sich eine anspruchsvolle Aufgabe vorgenommen. Sie erfordert viel Engagement und Eigeninitiative. Im Mittelpunkt Ihrer Weiterbildung stehen die betrieblichen Arbeitsprozesse und die damit verbundenen Anforderungen an Ihre Kenntnisse und Fertigkeiten. Damit Sie auf Ihrem Weg zur IHK-Prüfung erfolgreich sind, haben sich die Industrie- und Handelskammern entschlossen, Textbände als lehrgangsbegleitendes Arbeitsmaterial für Ihre IHK-Weiterbildung zu erstellen.

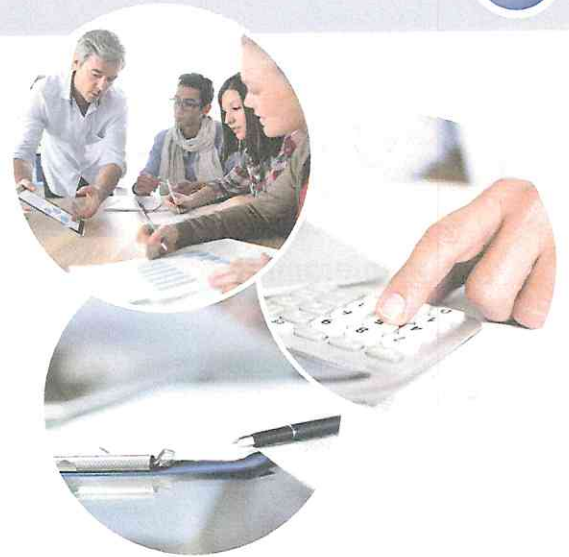
● Lernen in der Weiterbildung ohne schriftliches Begleitmaterial führt selten zum Ziel. Der vorliegende Textband ist Teil eines umfassenden Angebots von bundeseinheitlichen IHK-Lehrgangsmaterialien.

● Um den Dozenten Spielraum für praktische Beispiele, Übungen oder regionale branchen- und funktionspezifische Besonderheiten zu geben, enthalten die Textbände grundlegende Aussagen, wichtige Definitionen, Merksätze, Grafiken und Fallbeispiele. Die Textbände dienen dem Überblick über die Lerninhalte und sind von ihrem Umfang her auf diesen Überblick angelegt.

● Die auf dem Rahmenplan und der Strukturierung der Weiterbildungsprüfungen basierenden Textbände sind so konzipiert, dass Dozenten diese inhaltlich wesentlich ergänzen. Sie trainieren mit Ihnen, Gelerntes in konkreten beruflichen Situationen anzuwenden. Genau das wird in der IHK-Prüfung von Ihnen verlangt.

● Die Textbände können mit zusätzlichem Material ergänzt werden. Die Industrie- und Handelskammern empfehlen darüber hinaus, die im Buchhandel erhältliche Fachliteratur zu nutzen.

● Ihr Lehrgangserfolg hängt wesentlich von Ihrer aktiven Beteiligung ab. Stellen Sie Fragen, äußern Sie Ihre Erfahrungen, diskutieren und lernen Sie gemeinsam mit anderen Lehrgangsteilnehmern. Das ist die Basis für Ihre erfolgreiche IHK-Weiterbildung.





Die „Kompass“-Unternehmen

Struktur:

Die **Nord Holding AG** ist eine Finanz- und Dachgesellschaft ohne eigene Betriebstätigkeit. Sie übernimmt die Verwaltung der Tochtergesellschaften. An der **Nordwest Küchengeräte AG** ist sie zu 100% und an der **Nordost Gastronomie GmbH** mit 48% beteiligt.

Derzeit stellen 550 Mitarbeiter der Nordwest Küchengeräte AG in drei Sparten Küchengeräte her. Bei einer Bilanzsumme von 20 Mio. € wird ein Umsatz von 51,2 Mio. € erzielt, davon ca. 15% durch den Export.

Die Nordost Gastronomie GmbH produziert Großküchen in Einzelfertigung für die Gastronomie.

Den Vertrieb der Küchengeräte in Deutschland hat die **West Vertriebs KG** übernommen. Komplementär ist Peter Blum, Anna Naumann und Paul Refner sind als Kommanditisten beteiligt.

Die IT-Systeme der Nordwest Küchengeräte AG und der Nordost Gastronomie GmbH werden von Karl Süd, **Süd IT-Systeme e.K.**, betreut. Karl Süd führt in den beiden Unternehmen neue IT-Lösungen ein, übernimmt die Wartung der Hard- und Software und berät die Mitarbeiter beim IT-Einsatz.

Hinweis

Mit Beispielen aus der Praxis lernt man am besten. Deshalb werden die fachlichen Inhalte in diesen Textbänden am Beispiel einer Gruppe von Unternehmen dargestellt.

Wichtig: In der Prüfung werden selbstverständlich andere Unternehmensbeispiele als in den Textbänden verwendet.



Inhalt

1	Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten auf Materialien, Maschinen und Prozesse sowie auf Mensch und Umwelt	1
1.1	Chemische Reaktionen in Arbeitsprozessen, Maschinen und Materialien.....	1
1.1.1	Aufbau der Stoffe.....	1
1.1.2	Chemische Reaktion.....	8
1.2	Auswirkungen der industriellen Nutzung von Wasser, Säuren, Basen und Salzen auf Menschen und Umwelt..	11
1.2.1	Säuren und Basen.....	11
1.2.2	Maßnahmen zur Reduzierung bzw. Optimierung von Einflüssen von Oxidations- und Reduktions- vorgängen.....	14
1.2.3	Wasser als Lösungsmittel und sekundärer Energieträger.....	17
1.2.4	Schutzmaßnahmen für Mensch und Umwelt.....	20
1.3	Auswirkungen des Temperatureinflusses auf Materialien und Arbeitsprozesse.....	22
1.3.1	Maß- und Zustandsveränderungen.....	22
1.3.2	Kalorik (Wärmelehre).....	26
1.4	Bewegungs-, Antriebs- und Steuerungsvorgänge an Maschinen.....	29
1.4.1	Bewegungsvorgänge.....	29
1.4.2	Hydraulik und Pneumatik.....	35
1.5	Elektrotechnische Steuerungen in Arbeitsprozessen.....	39
1.5.1	Grundgrößen des elektrischen Stromkreises.....	39
1.5.2	Elektrische Energie.....	45
2	Unterschiedliche Energieformen im Betrieb sowie damit zusammenhängende Auswirkungen auf Mensch und Umwelt	50
2.1	Energieformen.....	50
2.2	Energieumwandlungen in Kraftmaschinen bei unterschiedlichen Energieformen.....	51
2.3	Alternative Anlagen zur Energieerzeugung.....	53
3	Betriebs- und fertigungstechnische Größen bei Belastungen und Bewegungen	58
3.1	Geradlinige und kreisförmige Bewegungsabläufe.....	58
3.2	Mechanische Beanspruchungen.....	60
3.2.1	Kräfte und Momente.....	60
3.2.2	Arbeit und Energie.....	66
3.2.3	Leistung und Wirkungsgrad.....	68
3.3	Zug, Druck, Torsion, Biegung, Abscherung und Flächenpressung.....	69
3.3.1	Mechanische Beanspruchungen.....	69
3.3.2	Werkstoffkennwerte.....	71

Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten auf Materialien, Maschinen und Prozesse sowie auf Mensch und Umwelt

1.1 Chemische Reaktionen in Arbeitsprozessen, Maschinen und Materialien

Schon im Altertum wurden chemische Techniken eingesetzt, jedoch beruhten diese Vorgänge meistens auf Zufallsentdeckungen. Beispiele dafür sind die Gewinnung von Metallen („Eisenzeit“, „Bronzezeit“), die Herstellung von Keramiken (Porzellan in China) und Glas. Erst die Kenntnis vom Aufbau der Stoffe konnte die Herstellungsverfahren und damit die Produkte deutlich verbessern.

1.1.1 Aufbau der Stoffe

Vereinfacht lässt sich sagen: Chemie ist die Lehre der Stoffe und der Stoffänderungen. Traditionell unterteilt man die Chemie in die folgenden drei Bereiche:

– **allgemeine Chemie:** Sie befasst sich mit den allgemein gültigen Gesetzen der Chemie.

- **anorganische Chemie:** Sie befasst sich mit allen Stoffen – mit Ausnahme von Kohlenstoffverbindungen (jedoch mit den Oxiden des Kohlenstoffs, der Kohlensäure und deren Salzen).
- **organische Chemie:** Sie befasst sich mit den organischen Stoffen, d. h. den Kohlenstoffverbindungen.

Sehr viele Stoffe stellen für den Menschen und für die Umwelt Gefahrstoffe dar. Das **Chemikaliengesetz** aus dem Jahr 1980 (Inkrafttreten der letzten Änderung aus dem Jahr 2017 zum 01.01.2020) dient dazu, den Menschen und die Umwelt vor schädlichen Einwirkungen gefährlicher Stoffe und Zubereitungen zu schützen, insbesondere sie erkennbar zu machen, sie abzuwenden und ihrem Entstehen vorzubeugen. Die **Gefahrstoffverordnung** (GefStoffV, Neufassung für europäisches Recht 2010, letzte Änderung 2017) ist die konkretisierende Anwendung des Chemikaliengesetzes.

Beispiele: Gefahren-Piktogramme

								
explosive Stoffe und Erzeugnisse mit Explosivstoff	entzündbare Stoffe oder erzeugen entzündbare Gase	oxidierende Stoffe, verstärken Brände	komprimierte Gase	korrodieren Metalle, verätzen Körpergewebe	schwere gesundheitliche Schäden oder führen zum Tod	gesundheitsschädlich, reizen Augen, Haut, Atemwege	allergieauslösend, krebserzeugend	umweltgefährdend



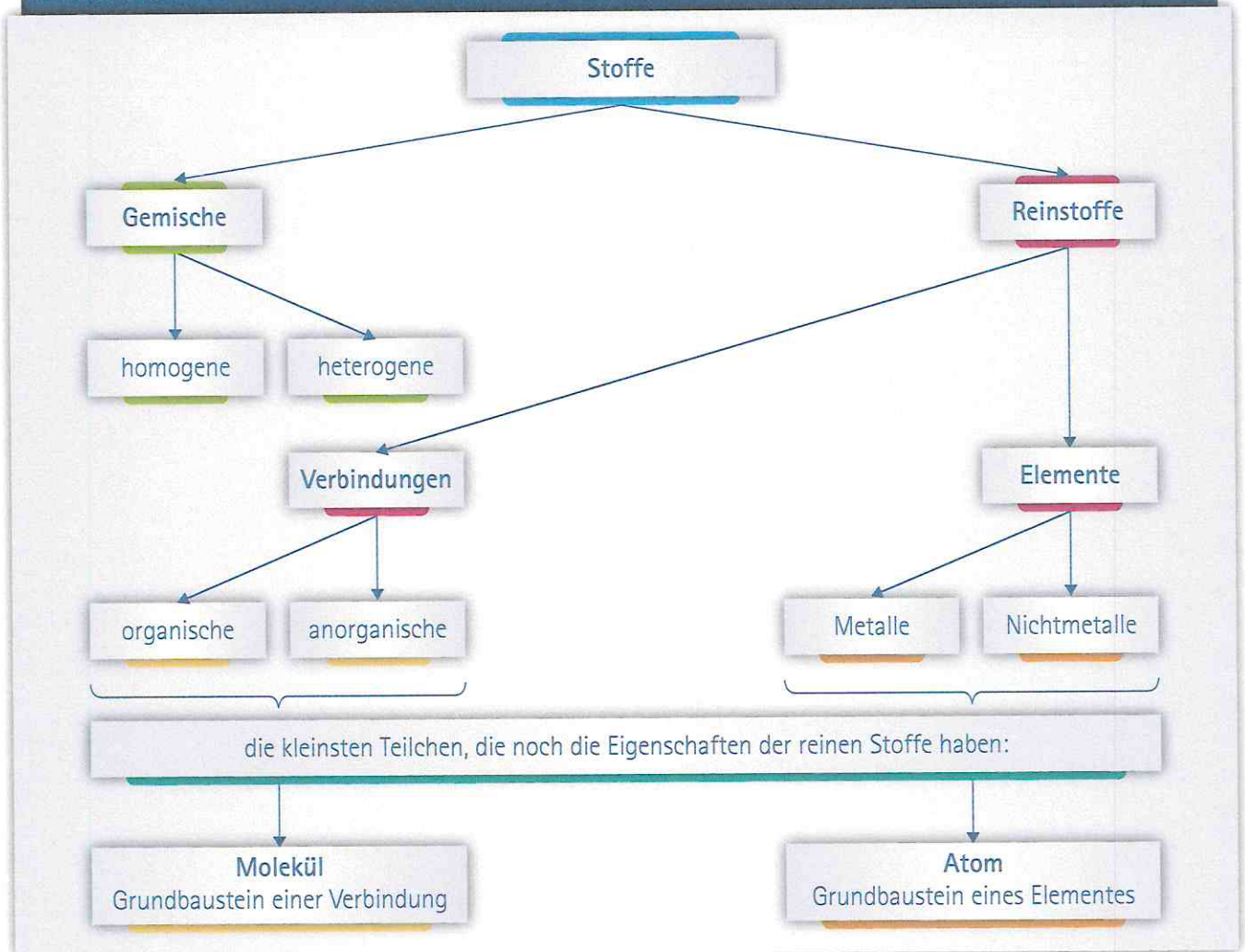
Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

Alle Stoffe kommen aus der Natur und liegen meist in Form von Gemischen vor. Diese werden mithilfe von Trennverfahren in **Reinstoffe** zerlegt. Eine Gliederung der Reinstoffe und deren weitere Trennung (Aufteilung) zeigt Abbildung 1.1.

3DQR: Einteilung der Stoffe

Code scannen bzw. anklicken und mehr erfahren.

Abb. 1.1: Stoffe



Merke: Verbindung und Element

- Eine Verbindung entsteht durch die Reaktion von mindestens zwei Elementen miteinander.
- Eine Verbindung lässt sich bis in ihre Grundbausteine, die Elemente, zerlegen.
- Ein Molekül ist der kleinste Baustein einer Verbindung.
- Ein Atom ist der kleinste Baustein eines Elementes.


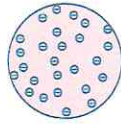
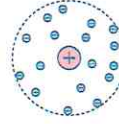

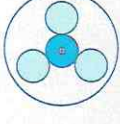


Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

Atommodelle sind Vorstellungen vom Bau der Atome, die über die Jahrhunderte immer wieder weiterentwickelt

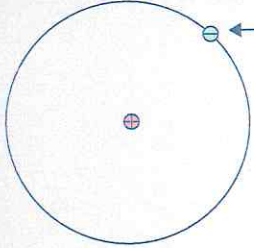
wurden. Abbildung 1.2 zeigt die Entwicklung der Atommodelle bis hin zum Kugelwolkenmodell.

Abb. 1.2: Atommodelle

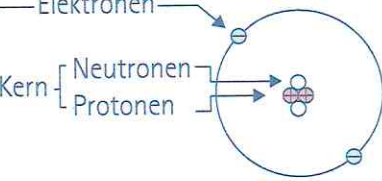
1808 Dalton	1900 Thomson	1911 Rutherford	1913 Bohr	1930 Kimball
				
Atome sind kompakte, unteilbare Kugeln, die sich unterschiedlich zueinander gruppieren.	Atome sind ein „positiver Teig“, in den die negativen Elektronen eingebettet sind. Das Atom ist elektrisch neutral.	Atome haben einen positiven Kern, um den die Elektronen in einer Hülle schwirren. Im Kern befinden sich die Protonen.	Atome haben einen positiven Kern (s. Abbildung 1.3).	Die Elektronen (maximal zwei) halten sich in „Aufenthaltsräumen“, den Kugelwolken, auf.

Mit dem Bohr'schen Atommodell lässt sich auf einfache Weise ein Grundverständnis vom Aufbau eines Atoms bilden.

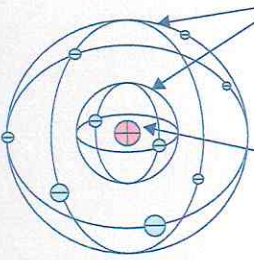
Abb. 1.3: Atommodell nach Niels Bohr (vereinfachte Darstellung)



Wasserstoffatom



Heliumatom



Schalen (hier zwei)

Auf den Schalen – man spricht auch von der Elektronenhülle – befinden sich die negativ geladenen **Elektronen**.

Der **Kern** setzt sich aus den neutralen **Neutronen** und den positiv geladenen **Protonen** zusammen. Man bezeichnet die Kernteilchen als **Nukleonen**. Der Kern ist positiv.

${}^{19}_9\text{F}$: formale Beschreibung des dargestellten Fluoratoms (Nukleonenzahl / Ordnungszahl) Symbol



Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

3DQR: Atommodell nach Bohr

Code scannen bzw. anklicken und mehr erfahren.

Merke: Bohr'sches Atommodell

- Das Atom ist elektrisch neutral, die Anzahl der Protonen ist gleich der Anzahl der Elektronen.
- Alle am Atombau beteiligten Teilchen nennt man Elementarteilchen.
- Jedes Atom besteht aus einem Atomkern und einer Atomhülle.
- Fast die gesamte Masse des Atoms (über 99,9%) befindet sich im Atomkern.
- Der Atomdurchmesser ist ca. 10.000-mal größer als der Kerndurchmesser, das Atom besteht fast ausschließlich aus leerem Raum.

Die Anzahl der Protonen ist für das jeweilige Element charakteristisch, und somit haben alle Atome eines Elementes immer die gleiche Zahl von Protonen. Die Atome eines Elementes können aber eine unterschiedliche Anzahl von Neutronen besitzen. Dann spricht man von **Isotopen** eines Elementes.

Beispiele: Isotope

- ${}^1_1\text{H}$ leichter Wasserstoff (Protium)
- ${}^2_1\text{H}$ schwerer Wasserstoff (Deuterium)
- ${}^3_1\text{H}$ super schwerer Wasserstoff (Tritium)

Die Anzahl der Protonen wird als wichtigstes Ordnungsmerkmal der Atome benutzt. Diese Zahl bezeichnet man als **Ordnungszahl** bzw. Kernladungszahl. (s. Kapitel 1.1.2) Die maximale Anzahl (a) der Elektronen, die eine Schale aufnehmen kann, berechnet sich nach der Formel

$a = 2 \cdot n^2$, wobei n die Nummer der Schale ist. Die einzelnen Schalen werden von innen nach außen besetzt.

Elektronenzahl der Schalen K, L, M:

- K-Schale: $n = 1 \Rightarrow a = 2$ Elektronen
- L-Schale: $n = 2 \Rightarrow a = 8$ Elektronen
- M-Schale: $n = 3 \Rightarrow a = 18$ Elektronen

Je nach Elektronenzahl ist die äußere Schale nicht vollbesetzt. Die Elektronen auf der äußeren Schale werden als **Valenzelektronen** bezeichnet. Die innerste Schale (K-Schale) ist mit zwei Elektronen, jede weitere äußere Schale mit maximal acht Elektronen besetzt. Diese Maximalbesetzung bezeichnet man als **Edelgaskonfiguration**. Sie ist extrem reaktionsträge und bedeutet, dass die Edelgase keine Verbindungen eingehen. Das Reaktionsverhalten eines Elementes wird durch die Anzahl der Valenzelektronen bestimmt.

Periodensystem

Ordnet man die Elemente nach ihrer Kernladungszahl in eine Reihe, so tauchen in regelmäßigen Abständen Elemente mit ähnlichen Eigenschaften auf. Stellt man die Elemente mit ähnlichen Eigenschaften untereinander, so erhält man das **Periodensystem der Elemente (PSE)**. D. I. Mendelejew (Russland) und J. L. Meyer (Deutschland) entwickelten Mitte des 19. Jahrhunderts unabhängig voneinander dieses Ordnungssystem der chemischen Elemente.

Im PSE (s. Abbildung 1.4 auf der folgenden Seite) werden die Zeilen als **Perioden** und die Spalten als **Gruppen** bezeichnet. Die Elemente der **Hauptgruppen**, also die Spalten I bis VIII, werden von Atomen gebildet, die beim Aufbau ihrer Elektronenschalen die Elektronen immer in der Außenschale unterbringen. Elemente einer Hauptgruppe, also mit gleicher Anzahl von Elektronen auf der äußeren Schale, zeigen ein ähnliches Verhalten bei chemischen Reaktionen. Die Elemente der **Nebengruppen** besitzen alle zwei Außenelektronen. Bei ihnen werden die nur teilweise besetzten inneren Elektronenschalen auf die maximal erreichbare Zahl mit Elektronen aufgefüllt. Die **Lanthanoide** und die **Actinoide** haben ebenfalls sehr ähnliche Eigenschaften.



Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

Abb. 1.4: Hauptgruppen des PSE

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
	$1,008$ ₁ H							$4,003$ ₂ He
	$6,94$ ₃ Li	$9,02$ ₄ Be	$10,81$ ₅ B	$12,01$ ₆ C	$14,01$ ₇ N	$15,99$ ₈ O	$18,99$ ₉ F	$20,18$ ₁₀ Ne
	$23,0$ ₁₁ Na	$24,31$ ₁₂ Mg	$26,98$ ₁₃ Al	$28,09$ ₁₄ Si	$30,97$ ₁₅ P	$32,06$ ₁₆ S	$35,45$ ₁₇ Cl	$39,95$ ₁₈ Ar
	$39,1$ ₁₉ K	$40,08$ ₂₀ Ca	$69,72$ ₃₁ Ga	$72,59$ ₃₂ Ge	$74,92$ ₃₃ As	$78,96$ ₃₄ Se	$79,90$ ₃₅ Br	$83,80$ ₃₆ Kr
	$85,5$ ₃₇ Rb	$87,62$ ₃₈ Sr	$114,8$ ₄₉ In	$118,7$ ₅₀ Sn	$121,8$ ₅₁ Sb	$127,6$ ₅₂ Te	$126,9$ ₅₃ I	$131,3$ ₅₄ Xe
	$132,9$ ₅₅ Cs	$137,3$ ₅₆ Ba	$204,4$ ₈₁ Tl	$207,2$ ₈₂ Pb	$209,0$ ₈₃ Bi	$(209)^*$ ₈₄ Po	$(210)^*$ ₈₅ As	$(222)^*$ ₈₆ Rn
	$(232)^*$ ₈₇ Fr	$226,0^*$ ₈₈ Ra						

Metallcharakter nimmt zu
Nichtmetallcharakter nimmt ab

Metallcharakter nimmt ab
→
Nichtmetallcharakter nimmt zu

I Alkalimetalle, II Erdalkalimetalle, III Erdmetalle, IV Kohlenstoffgruppe, V Stickstoffgruppe, VI Chalkogene (Erzbildner), VII Halogene (Salzbildner), VIII Edelgase, * radioaktives Element

Die Symbole für die einzelnen Elemente bestehen aus einem oder zwei Buchstaben, wobei der erste Buchstabe großgeschrieben wird. Sie stammen i.d.R. vom (lateinischen) Namen der Elemente. Die Mehrzahl der Elemente gehört zu den **Metallen**. Die **Nichtmetalle** sind von den Metallen durch die **Halbmetalle** (blau hinterlegt) getrennt.

Chemische Bindungen

Chemische Reaktionen spielen sich in der Valenzschale (äußerste Elektronenschale) eines Atoms ab. Diese erfolgen (meistens) so, dass die **Oktettregel** befolgt wird.

Merke: Oktettregel



Als Oktettregel bezeichnet man das Bestreben aller Atome (ab der zweiten Periode), auf der Valenzschale acht Elektronen (Edelgaskonfiguration) zu haben und somit den energieärmsten Zustand zu erreichen.

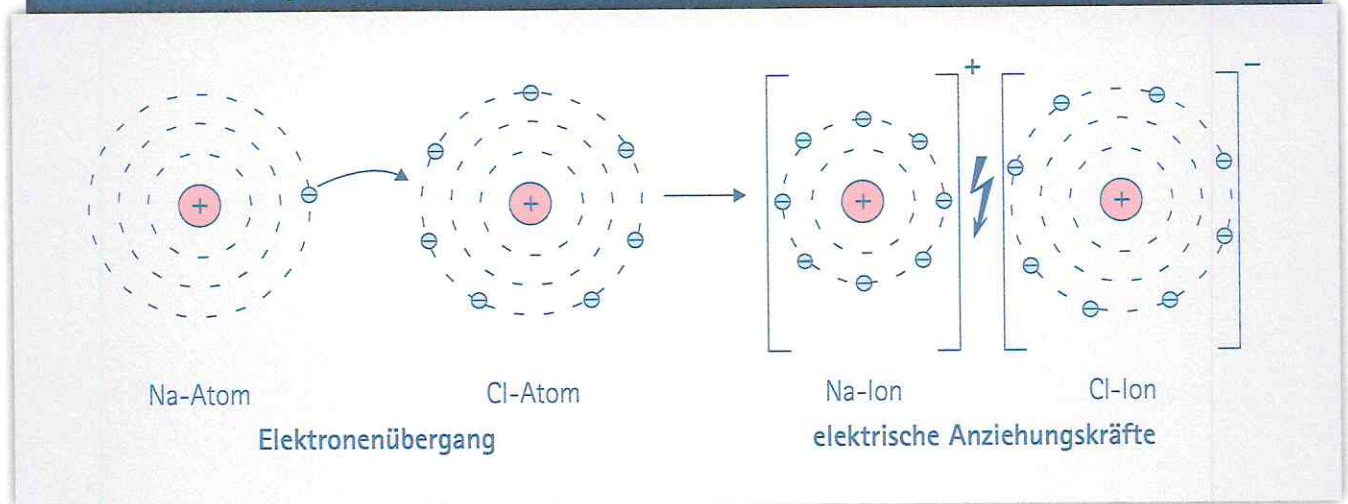
Realisiert wird die Oktettregel in den chemischen Bindungen.

Ionenbindung

Die Metallatome besitzen wenige Valenzelektronen, die sie leicht abgeben können. Nichtmetallatome besitzen viele Valenzelektronen und nehmen leicht Elektronen auf. Metalle und Nichtmetalle erreichen einen stabilen Aufbau ihrer Valenzschale, indem die Metalle ihre Valenzelektronen an die Nichtmetalle abgeben. Die Bindungsart, durch die Metallatome an Nichtmetallatome gebunden werden, heißt **Ionenbindung**. Das Metallatom, das Elektronen abgibt, wird somit positiv geladen (**Kation**), das Nichtmetallatom, das die Elektronen aufnimmt, wird negativ geladen (**Anion**) (s. Abbildung 1.5 auf der folgenden Seite). Ist ein Atom positiv oder negativ geladen, spricht man allgemein von einem **Ion**.



Abb. 1.5: Ionenbindung



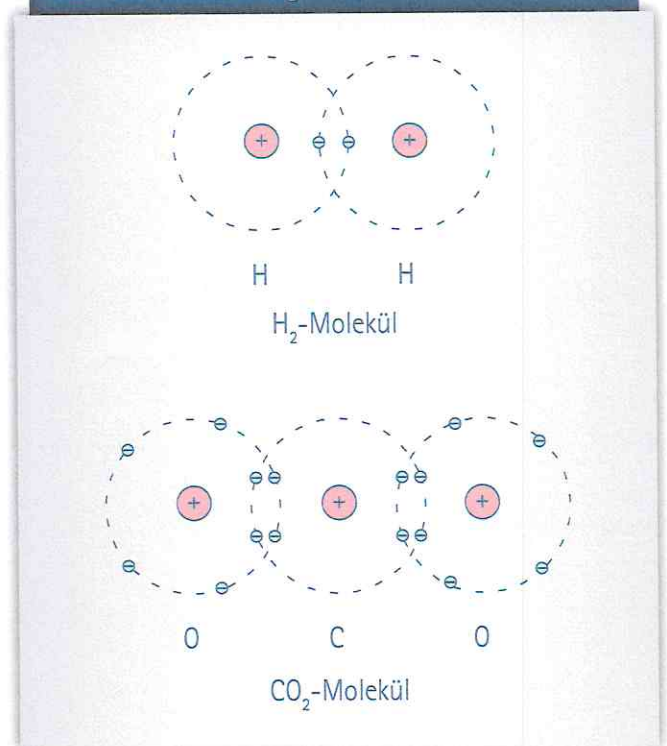
Durch die unterschiedliche Ladung der Ionen entstehen **Bindungskräfte**. Verbindungen mit Ionen bilden regelmäßige Strukturen (Ionengitter, Kristallgitter) und sind **Salze**. Durch die starken Bindungskräfte weisen salzartige Stoffe eine hohe Festigkeit und hohe Schmelz- und Siedetemperaturen auf. Im festen Zustand leiten Salze den elektrischen Strom nicht, da die Ionen in ihrer Gitterstruktur fest fixiert sind. Werden sie geschmolzen oder in Wasser gelöst, sind die Ionen frei beweglich und können den Ladungstransport des Stroms übernehmen, sodass die Leitfähigkeit zunimmt.

● Atombindung

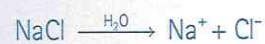
Zur Erreichung der Edelgaskonfiguration nutzen die Nichtmetallatome Elektronen der Valenzschale gemeinsam. Die Atome nähern sich so weit an, dass sich ihre Elektronenhüllen überlappen (s. Abbildung 1.6). Dadurch bilden sie gemeinsame **Elektronenpaare**. Man bezeichnet diese Bindungsart als Atombindung (auch Elektronenpaarbindung).

Weisen die Atomkerne unterschiedliche Kernladungen auf, so verschiebt sich das Bindungselektronenpaar zu dem Partner, der die größere Kernladung besitzt. Der Ladungsschwerpunkt ist verschoben. Man nennt diese Moleküle **Dipol**. Wasser ist ein typischer Dipol. Dieser Dipolcharakter des Wassers ist dafür verantwortlich, dass sich Salze (z. B. NaCl = Kochsalz) in Wasser auflösen. Beim Lösen wird die Kristallstruktur des Salzes aufgebrochen und die Ionen können sich frei bewegen. Diese frei beweglichen Ionen erhöhen die elektrische Leitfähigkeit der Salzlösung.

Abb. 1.6: Atombindung



Beispiel: Aufspaltung von Kochsalz unter der Wirkung von Wasser



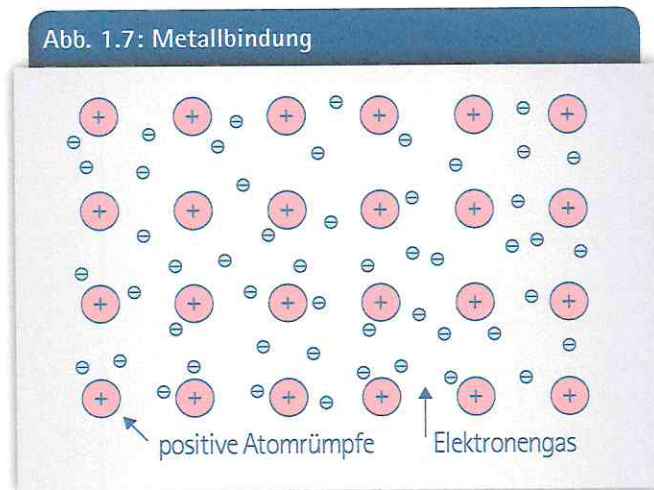
Die Kristallstruktur des Salzes wird aufgebrochen, im Wasser befinden sich die einzelnen Na⁺- und Cl⁻-Ionen, die elektrische Leitfähigkeit nimmt stark zu.



Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

Metallbindung

Die Metallatome realisieren die Oktettregel, indem sie ihre Valenzelektronen zu einem **Elektronengas** abgeben. Dabei besetzen die positiven Atomrümpfe der Metallatome feste Plätze in einem Metallgitter. Das Elektronengas bewegt sich frei in dieser Gitterstruktur. Die einzelnen Elektronen des Elektronengases können keinem Atomrumpf zugeordnet werden und stabilisieren das Gittergefüge (s. Abbildung 1.7).



Durch die freie Beweglichkeit der Elektronen, des Elektronengases, sind Metalle gut elektrisch und thermisch leitend. Die Metalle bilden Gitterstrukturen aus. Die Bindungskräfte wirken auf alle beteiligten Metallionen gleichermaßen. Vereinfacht ausgedrückt resultiert hieraus die gute Verformbarkeit der Metalle (Versetzungsbewegung). Die Eigenschaften von Metallen können durch Legieren beeinflusst werden.

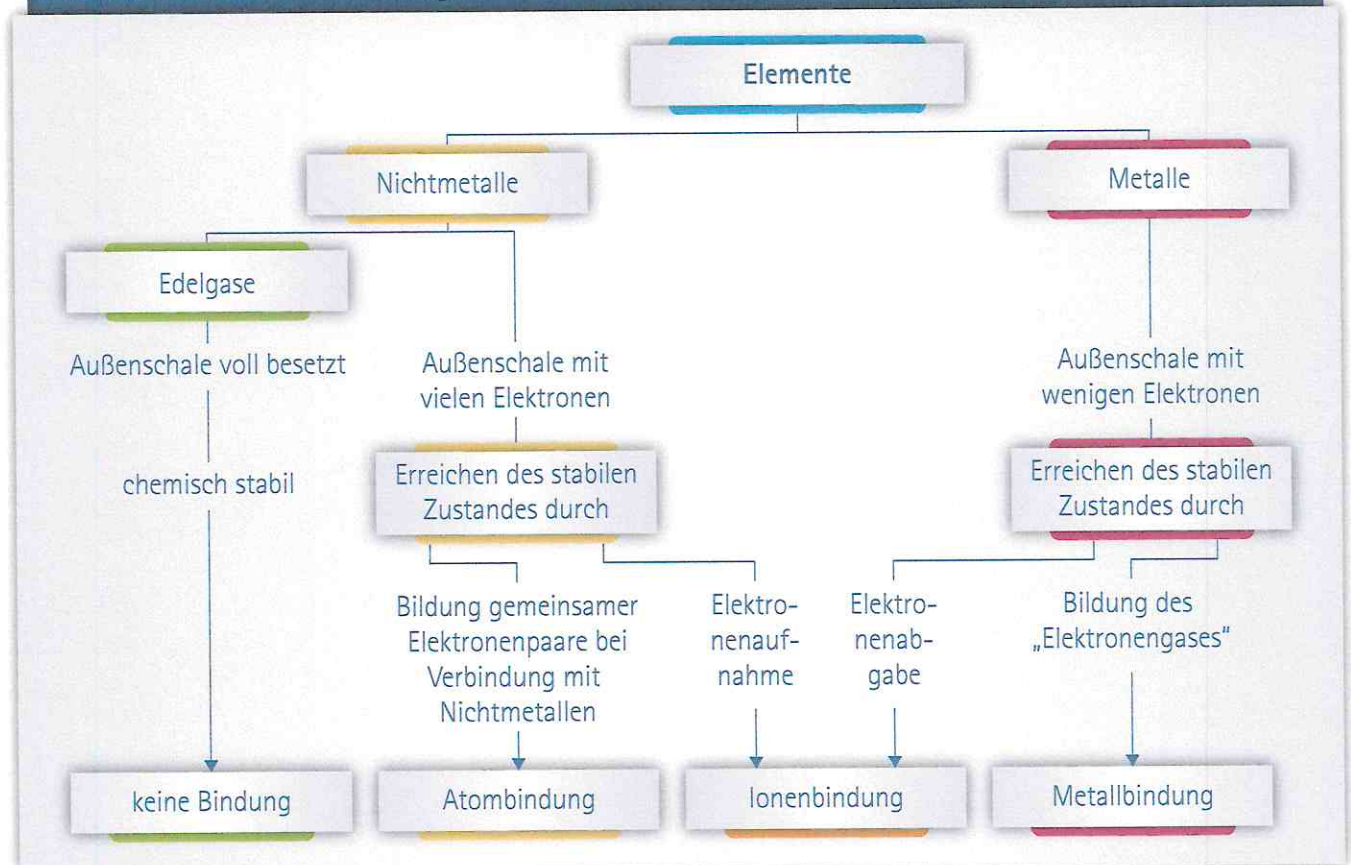
Merke: Legierung



Eine Legierung entsteht, wenn unterschiedliche Metalle oder ein Metall und ein Nichtmetall (z. B. Stahl) zusammengeschmolzen und anschließend abgekühlt werden.

Abbildung 1.8 gibt einen Überblick über die Bindungen.

Abb. 1.8: Überblick über die Bindungen





Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

3DQR: Bindungen 



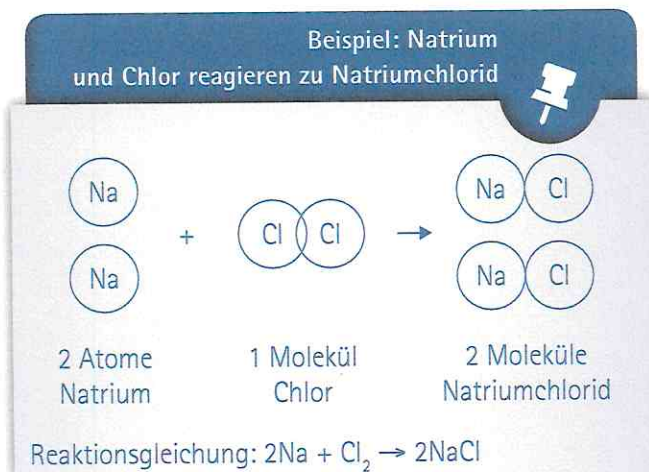
Code scannen bzw. anklicken und mehr erfahren.

Edelgase


Die Elemente der VIII. Hauptgruppe bezeichnet man als Edelgase. Diese Elemente haben eine vollbesetzte Außenschale. Ein solcher Aufbau der Elektronenhülle hat zur Folge, dass die Edelgase chemisch stabil sind und in der Natur nie chemische Verbindungen eingehen.

1.1.2 Chemische Reaktion

Eine chemische Reaktion kann in Form einer **Reaktionsgleichung** dargestellt werden.




Für jede chemische Reaktion gilt das **Gesetz von der Erhaltung der Masse**. Es besagt, dass die Masse der Edukte (Ausgangsstoffe) mit der Masse der Produkte übereinstimmt. Läuft die Reaktion nur ab, wenn Energie zugeführt werden muss, so spricht man von einer **endothermen Reaktion**. Wird hingegen bei der Reaktion Energie freigesetzt, so spricht man von einer **exothermen Reaktion**.

Merke: Chemische Reaktion 

- Bei einer **chemischen Reaktion** entstehen aus Ausgangsstoffen (Edukten) neue Stoffe (Produkte) mit neuen Eigenschaften.
- Jede chemische Reaktion ist mit einem Energieumsatz verknüpft.
- **Synthese** ist die Vereinigung von Stoffen zu einer neuen Verbindung.
- **Analyse** ist die Zerlegung einer Verbindung in ihre Bestandteile:
 - quantitativ: Untersuchung im Hinblick auf den Massenanteil der beteiligten Stoffe
 - qualitativ: Untersuchung im Hinblick auf die Art der beteiligten Stoffe

Die Reaktionsgleichung wird in **Formelschreibweise** dargestellt. Die Formel einer Verbindung (das Molekül) enthält alle Elemente (Atome), die in dieser Verbindung vorkommen. Man bezeichnet sie als **Summenformel**. Der Index hinter einem Elementsymbol besagt, dass das Element (Atom) mehrfach vorkommt. Kommt eine Atomgruppe in einem Molekül mehrfach vor, wird sie in Klammern gesetzt. Der Index hinter der Klammer gibt dann an, wie oft die Atomgruppe im Molekül vorhanden ist.

Beispiele: Summenformel 

- Wassermolekül: H_2O
H ist in dem Wassermolekül zweifach, O ist einfach vorhanden. Der Index 1 wird nicht geschrieben.
- Aluminiumsulfat: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$
In dem Molekül Aluminiumsulfat ist die Atomgruppe SO_4 dreimal vorhanden. Die Atomgruppe besteht aus einem Schwefel- und vier Sauerstoffatomen.

Steht eine Zahl (ein Koeffizient) vor einem Molekül, so tritt dieses Molekül (oder Einzelatom) mehrfach auf: $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$. Das Molekül Wasserstoff besteht aus zwei Atomen und kommt in der Reaktionsgleichung zweimal vor. Die Reaktionsgleichung besagt: Zwei Wasserstoffmoleküle und ein Sauerstoffmolekül reagieren zu zwei Wassermolekülen.



Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

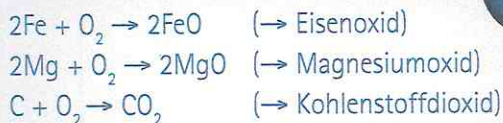
Wichtig für die Prüfungsvorbereitung

Für das Verständnis und die Interpretation von **Reaktionsgleichungen** ist es wichtig, dass Sie die Formelschreibweise kennen.

Oxidation

Die chemische Reaktion eines Stoffes mit Sauerstoff wird historisch als Oxidation verstanden. Das Endprodukt ist das **Oxid** dieser Reaktion.

Beispiele: Oxidation



Will man eine optimale Verbrennung erzielen, genügt häufig nicht die Zufuhr von Luftsauerstoff. Der Sauerstoff muss direkt an den Ort der Verbrennung geführt werden (z. B. Bunsenbrenner, Schweißbrenner). Ist dies nicht möglich, z. B. bei Raketenbrennstoffen, muss der Sauerstoff von **Oxidationsmitteln** geliefert werden.

Merke: Oxidationsmittel

Oxidationsmittel sind sauerstoffreiche Verbindungen, die leicht Sauerstoff abgeben bzw. andere Stoffe oxidieren können (z. B. Kaliumnitrat KNO_3 , Kaliumpermanganat KMnO_4 , Wasserstoffperoxid H_2O_2).

Notwendig sind Oxidationsmittel z. B. in der Pyrotechnik. Bei Erreichen der Reaktionstemperatur ist dann jeder einzelne Reaktionspartner von genügend Sauerstoff umgeben, sodass die Verbrennung überall gleichzeitig erfolgen kann. Die Reaktionswärme wird in kurzer Zeit frei, die Temperatur steigt stärker, und der Druck der entstehenden Gase kann je nach Volumen erhebliche Werte annehmen.

Beispiel: Schwarzpulver



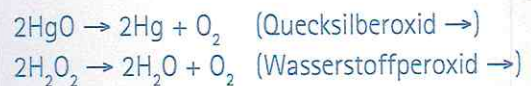
Oxidationen können langsam ablaufen (z. B. Rosten von Eisen), sie können schnell ablaufen (Verbrennung) oder sehr schnell (Explosion). Oxidationsvorgänge sind **exo-**

therme Vorgänge, d. h., es wird Energie freigegeben. Von der Reaktionsgeschwindigkeit ist abhängig, ob die Energiefreisetzung wahrgenommen wird.

Reduktion

Bei einer Reduktion wird einem Oxid Sauerstoff entzogen.

Beispiele: Reduktion



Nur die edlen Metalle können durch einfaches Erhitzen von Sauerstoff befreit werden. Eine Reduktion ist somit die Umkehrung der Oxidation.

Reduktionen finden i. d. R. unter Energiezufuhr statt, d. h., sie sind **endotherm**. **Reduktionsmittel** nehmen leicht Sauerstoff auf, d. h., sie veranlassen die Reduktion.

Merke: Reduktionsmittel

Magnesium, Kohlenstoff, Kohlenstoffmonoxid (CO), Wasserstoff und Aluminium sind häufig benutzte Reduktionsmittel.

Die Gewinnung von Metallen aus oxidischen Erzen, z. B. die Roheisengewinnung im Hochofenprozess, stellt einen typischen Reduktionsvorgang dar. Dem Eisenerz wird dabei über verschiedene Stufen Sauerstoff entzogen, sodass schließlich Eisen entsteht.

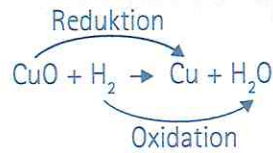
Redoxreaktion

Bei der Reduktion, die mithilfe eines Reduktionsmittels durchgeführt wird, findet eine Oxidation des Reduktionsmittels statt, d. h., eine Reduktion ist stets gekoppelt mit einer Oxidation bzw. umgekehrt. Deswegen spricht man von Redoxreaktionen.

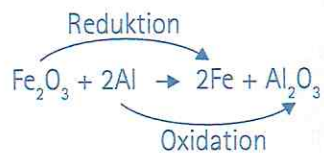


Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

Beispiele: Redoxreaktion



In dieser Reaktionsgleichung ist Wasserstoff das Reduktionsmittel. Er entzieht dem Kupferoxid den Sauerstoff, es entsteht Wasser.



In dieser Reaktionsgleichung ist Aluminium das Reduktionsmittel, es entzieht dem Eisenoxid den Sauerstoff. Es entsteht Aluminiumoxid. (Die Reaktionsgleichung beschreibt die Thermitreaktion, die benutzt wird zum Verschweißen von schwer zugänglichen Stellen, z. B. Eisenbahnschienen.)

In der ersten Reaktion wird dem Eisenoxid der Sauerstoff entzogen, der Kohlenstoff ist das Reduktionsmittel. In der zweiten Reaktion wird der Sauerstoffanteil des Eisenoxids vermindert („reduziert“), das Kohlenstoffmonoxid ist das Reduktionsmittel.

Exkurs: Kohlenstoffmonoxid und Kohlenstoffdioxid

Kohlenstoffmonoxid (CO) ist ein farb- und geruchloses Gas. Es ist leichter als Luft, selbst brennend, sehr giftig (Atemgift). Kohlenstoffmonoxid entsteht bei der Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Brennstoffen. Bei der Eisengewinnung im Hochofen dient es als Reduktionsmittel.

Kohlenstoffdioxid (CO₂) ist ein farb- und geruchloses Gas. Es ist schwerer als Luft, nicht brennbar. Kohlenstoffdioxid entsteht bei der Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Brennstoffen. Es wird oft fälschlich als Kohlensäure bezeichnet (Kohlensäure entsteht, wenn CO₂ mit Wasser reagiert: CO₂ + H₂O → H₂CO₃). Es ist in vielen Mineralquellen enthalten und kommt in flüssiger Form in Druckgasflaschen in den Handel. In fester Form (Trockeneis) wird es als Kühlmittel verwendet. Kohlenstoffdioxid kommt in Feuerlöschern zum Einsatz, als Schutzgas beim Schweißen, als Kühlmittel in Kühlanlagen.

3DQR: Thermitreaktion



Code scannen bzw. anklicken und mehr erfahren.

Merke: Oxidation, Reduktion, Redoxreaktion

Die Aufnahme von Sauerstoff ist eine Oxidation, die Abgabe von Sauerstoff ist eine Reduktion. Oxidation und Reduktion laufen immer gleichzeitig in einer Redoxreaktion ab.

Beispiel: Redoxreaktionen

In der Reduktionszone des Hochofens laufen u. a. folgende Reaktionen ab:

1. $\text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}$
2. $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO} \rightarrow 3\text{FeO} + \text{CO}_2$

Bedingungen für unterschiedliche Reaktionsgeschwindigkeiten

Die Geschwindigkeit chemischer Reaktionen kann sehr unterschiedlich sein. Das Rosten des Eisens verläuft sehr langsam, eine Mehlstaubexplosion hingegen sehr schnell. Der Verlauf einer chemischen Reaktion lässt sich jedoch beeinflussen:

- Die **Reinheit** der beteiligten Reaktionspartner steigert die Reaktionsgeschwindigkeit, z. B. Brennschneiden von Stahl durch den reinen Sauerstoffstrahl.
- Die Größe der Kontaktfläche, die **Korngröße**, die ein Körper zur Verbindung mit seinem Reaktionspartner, z. B. dem Sauerstoff, bietet, beeinflusst die Reaktion: Je mehr Teilchen vom Sauerstoff mit Teilchen des oxidierenden Stoffes gleichzeitig zusammenstoßen können, umso hö-



Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

- her ist die Reaktionsgeschwindigkeit. Staubexplosionen – auch von Mehl, Salz, Metallen – werden bereits durch einen kleinen Funken mit verheerenden Folgen ausgelöst.
- Die **Zündtemperatur** von Brenngasgemischen ist für die Höhe der Oxidationsgeschwindigkeit von Bedeutung: Zünden heißt, **Aktivierungsenergie** zuführen. Je höher dabei die Temperatur ist, umso größer ist die Reaktionsgeschwindigkeit. Die Zahl der Teilchenstöße pro Zeiteinheit nimmt mit höherer Beweglichkeit der Teilchen – also mit höherer Temperatur – zu (Dieselmotor).
 - Auch der von außen erzeugte **Druck** beeinflusst die Reaktionsgeschwindigkeit.
 - **Katalysatoren** sind Stoffe, die die Geschwindigkeit einer chemischen Reaktion erhöhen, dabei selbst aber nicht verbraucht werden (Platin, Palladium, Rhodium im Katalysator des Autos). Auch in biochemischen Reaktionen wirken Katalysatoren häufig beschleunigend mit, Biokatalysatoren sind z. B. Enzyme und Vitamine.

1.2 Auswirkungen der industriellen Nutzung von Wasser, Säuren, Basen und Salzen auf Menschen und Umwelt

1.2.1 Säuren und Basen

Untersucht man wässrige Lösungen von Salzen, Hydroxiden und Säuren auf ihre elektrische Leitfähigkeit hin, so stellt man fest, dass sie den elektrischen Strom leiten. Stromleitende Flüssigkeiten nennt man **Elektrolyte**. Um den elektrischen Strom zu leiten, müssen frei bewegliche Ladungsträger vorhanden sein. In Flüssigkeiten sind dies Ionen. Da das Lösungsmittel (destilliertes Wasser) nicht leitet, müssen Salze, Hydroxide und Säuren aus Ionen aufgebaut sein.

Beispiele: Dissoziation

Kochsalz	$\text{NaCl} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$
Kupfersulfat	$\text{CuSO}_4 \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{Cu}^{2+} + (\text{SO}_4)^{2-}$
Natriumhydroxid	$\text{NaOH} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{Na}^+ + \text{OH}^-$
Calciumhydroxid	$\text{Ca}(\text{OH})_2 \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{Ca}^{2+} + 2\text{OH}^-$
Salzsäure	$\text{HCl} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{H}^+ + \text{Cl}^-$
Schwefelsäure	$\text{H}_2\text{SO}_4 \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} 2\text{H}^+ + (\text{SO}_4)^{2-}$

Beim Lösen in Wasser (Dissoziation) bilden sich diese Ionen. Eine erste umfassende Säure-Base-Theorie (1883) geht auf den schwedischen Physikochemiker Svante Arrhenius zurück. Sie besagt Folgendes:

- **Säuren** sind Verbindungen, die in wässriger Lösung dissoziieren und dabei H^+ -Ionen (Wasserstoffionen bzw. Protonen) abgeben.
- **Basen** sind Verbindungen, die in wässriger Lösung dissoziieren und dabei OH^- -Ionen (Hydroxidionen) liefern.

Die Säure-Base-Theorie von Arrhenius hat allerdings zwei entscheidende Nachteile:

- Die Theorie beschränkt sich auf Wasser als Lösungsmittel.
- Sie berücksichtigt nicht, dass auch Stoffe, die keine OH^- -Ionen liefern können (z. B. Ammoniak NH_3), ebenfalls basische Eigenschaften haben.

Basen sind Stoffe, die in wässriger Lösung alkalische (basische) Reaktionen zeigen. Laugen sind die wässrigen Lösungen der Basen. Basen (Laugen) entstehen beim Lösen wasserlöslicher Metalloxide in Wasser. Basen entstehen auch bei der Reaktion von Alkali- und Erdalkalimetallen mit Wasser. Eigenschaften: ätzend, schmecken bitter, fühlen sich seifig an, Säuren neutralisieren Basen.

Beispiele: Basen

- Kalilauge (KOH): Herstellung von Seifen, Schmierseife, Abbeizmittel
- Calciumhydroxid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$): Löschkalk, Hauptbestandteil von Mörtel
- Natriumhydroxid (NaOH): Abflussreiniger, Herstellung von Kernseife, Abbeizmittel
- Ammoniakwasser (NH_4OH , Lösung von Ammoniak NH_3 in Wasser): auch als Salmiakgeist bezeichnet, ätzt Haut und Schleimhäute, Zusatz in Reinigungsmitteln (Glasreiniger)

Exkurs: Saurer Regen

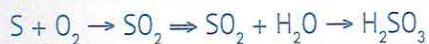
Beim Verbrennen von fossilen Brennstoffen entstehen immer Nichtmetalloxide, z. B. Schwefeldioxid (SO_2), Kohlenstoffdioxid (CO_2) und verschiedene Stickstoffoxide (NO_x), die sich in der At-



Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

Exkurs: Saurer Regen

→ Atmosphäre mit Wasser zu Säuren verbinden. So entsteht z. B. schwefelige Säure beim Verbrennen von Schwefel:



Säuren entstehen, wenn Nichtmetalloxide mit Wasser reagieren. Eigenschaften: ätzend, schmecken sauer, Basen neutralisieren Säuren. Säuren können unedle Metalle und organische Stoffe auflösen, beim Verdünnen mit Wasser findet eine exotherme Reaktion statt.

Beispiele: Säuren

- Salzsäure (HCl): starke Säure, löst viele Metalle unter Bildung ihrer Salze, Metallätzung, Löten, Aufarbeitung von Erzen, Reinigung von Kalkrückständen auf Fliesen, Bestandteil des Magensaftes
- Schwefelsäure (H₂SO₄): stark hygroskopisch (Trocknungsmittel), Herstellung von Dünger, Akkumulatorsäure
- Salpetersäure (HNO₃): löst alle Metalle außer Gold und Platin, Düngemittelherstellung

Merke: Säure und Base

Eine **Säure** ist ein Stoff, der in wässriger Lösung H⁺-Ionen (Wasserstoffionen bzw. Protonen)

abgeben kann (**Protonendonator**). Die H⁺-Ionen bedingen den Säurecharakter.

Eine **Base** ist ein Stoff, der in wässriger Lösung Hydroxidionen abgibt (**Protonenakzeptor**). Die OH⁻-Ionen bilden den Basencharakter. Man spricht auch von alkalischen Lösungen.

pH-Wert

Wasser ist neutral, d.h., es ist weder Säure noch Lauge. Jedoch leitet auch chemisch absolut reines Wasser (ganz schwach) den elektrischen Strom. Grund hierfür ist, dass ein geringer Teil der Wassermoleküle in Ionen zerfallen (dissoziiert) ist: H₂O ↔ H⁺ + (OH)⁻. Genaue Untersuchungen ergaben, dass in 10.000.000 l Wasser 1 g H⁺-Ionen vorhanden sind. Dies entspricht einer Wasserstoffionenkonzentration von 1 g/10.000.000 l = 10⁻⁷ g/l.

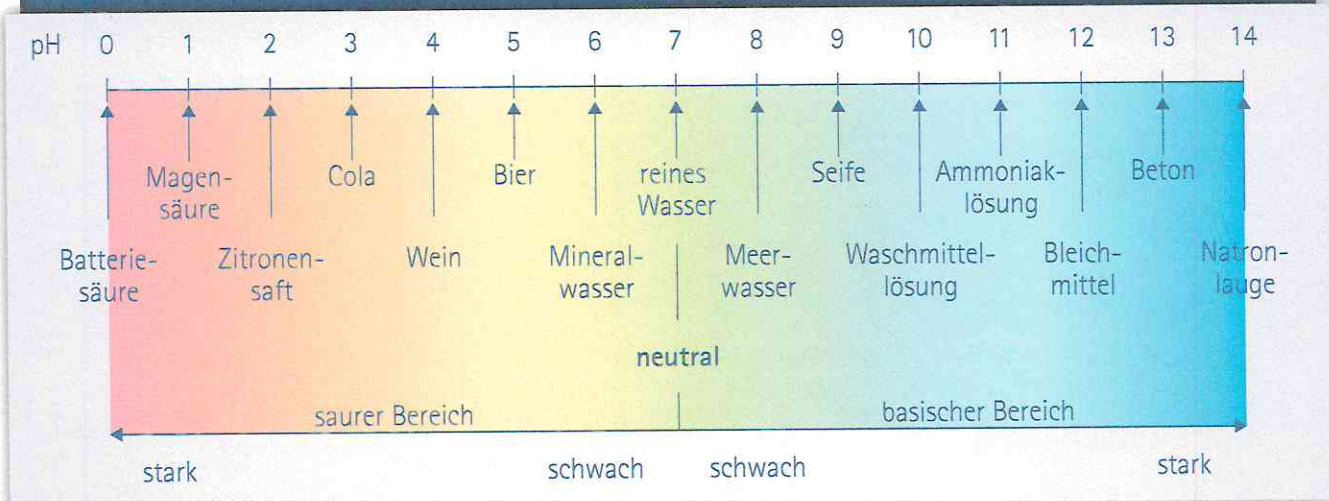
Merke: pH-Wert 7

In neutralem Wasser beträgt die Wasserstoffionenkonzentration 10⁻⁷ g/l. Dieser Konzentration wird der Wert pH 7 (potentia Hydrogenii) zugeordnet. In neutralem Wasser ist die Anzahl der Wasserstoffionen (H⁺) gleich der Anzahl der Hydroxidionen (OH⁻).

Merke: pH-Wert

Der pH-Wert gibt an, wie stark sauer oder basisch eine Lösung ist.

Abb. 1.9: pH-Wert-Skala





Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

Indikatoren

Zum Nachweis der Säuren und Laugen und zur Bestimmung ihrer Stärke benutzt man **Säure-Base-Indikatoren**. Sie ändern bei Anwesenheit einer Säure oder Lauge ihre Farbe. Ein Universalindikator ist ein Indikatorengemisch, das es erlaubt, aufgrund unterschiedlicher Einfärbung eine Aussage über die Stärke einer Säure oder Lauge zu machen. Auch pH-Messgeräte werden zur Bestimmung des pH-Wertes eingesetzt.

3DQR: Indikatoren

Code scannen bzw. anklicken und mehr erfahren.

Merke: Indikatoren

Säure-Base-Indikatoren sind Stoffe, mit deren Hilfe saure oder alkalische Lösungen nachgewiesen und deren Stärke bestimmt werden können. Indikatoren reagieren auf Wasserstoffionen (H^+) oder auf Hydroxidionen (OH^-) unter charakteristischer Farbänderung.

Beispiel: Indikator

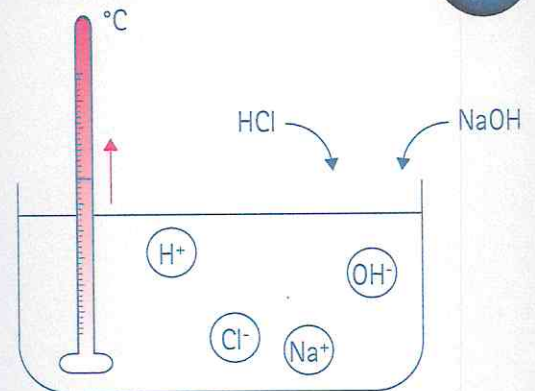
Der Indikator **Phenolphthalein** wird vielfach zum Nachweis basischer Lösungen genutzt. Nicht geeignet ist er zum Nachweis einer neutralen Lösung. (Die Farbumschläge der Säure-Base-Indikatoren finden sich in Formelsammlungen, in denen auch Phenolphthalein aufgelistet ist.) Der Farbumschlag von Phenolphthalein von farblos nach Rosa erfolgt etwa bei pH 8 bis pH 9. Bei pH 7 (neutraler Bereich) ist die Farbe des Indikators farblos, genau wie im sauren Bereich. Dem pH-Wert 7 ist eine eindeutige Farbe nicht zuzuordnen.

Neutralisation

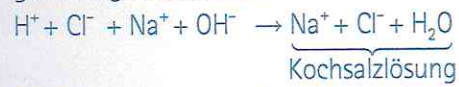
Mischt man eine Säure und eine äquivalente Menge Lauge miteinander (**Achtung: Es entsteht Wärme.**), so neutralisieren sich diese. Dabei verbinden sich die charakteristi-

schen Teilchen der Säuren, die Wasserstoffionen, und die charakteristischen Teilchen der Laugen/Hydroxide, die Hydroxidionen, zu undissoziiertem Wasser: $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$.

Beispiel: Neutralisation von HCl und NaOH



Die Neutralisation wird durch die folgende Reaktionsgleichung beschrieben:



Die Natrium- und die Chloridionen bleiben unverändert in der Lösung. Die Temperatur steigt merkbar an.

Die auf diese Weise entstandenen Salze können leicht oder auch schwer löslich sein.

Merke: Neutralisation

Unter Neutralisation versteht man eine chemische Reaktion von Säure und Base zu Salz und Wasser.
Allgemein: Säure + Base \rightarrow Salz + Wasser
Ein Salz besteht demnach aus einem Basenrest und einem Säurerest.

Salze sind Verbindungen, die aus Ionen eines Metalls und dem Säurerest-Ion einer Säure gebildet sind. Sie entstehen durch die Reaktion von Metallen, Metalloxiden oder Basen mit Säuren. Eigenschaften: Viele Salze enthalten Kristallwasser. Wasserfreie Salze reagieren exotherm beim Lösen in Wasser. Man unterscheidet je nach ihrer Reaktion beim Lösen in Wasser neutrale, basische und saure Salze.



Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

Beispiele: Salze

- Kochsalz (NaOH): Speise- und Streusalz
- Calciumnitrat ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$): Mauersalpeter, Düngemittel, Sprengstoffherstellung
- Calciumsulfat (Gips) (CaSO_4): Schwefelsäure- und Papierherstellung, Düngemittel, Abfallprodukt der Rauchgasentschwefelung

Sicherer Umgang mit Säuren und Laugen

Da Säuren und Laugen v.a. in konzentrierter Form stark ätzend wirken und sehr viele Materialien angreifen, ist es beim Umgang mit Säuren und Laugen zwingend erforderlich, die Sicherheitsvorschriften und Unfallverhütungsmaßnahmen zu beachten. (Sie sind den Sicherheitsdatenblättern zu entnehmen.) Diese Stoffe reagieren bereits mit dem Schweiß der Haut, der Feuchtigkeit der Schleimhäute (Augen, Mund, Atemwege) oder der Luftfeuchtigkeit und wirken dabei stark ätzend.

Merke: Regeln zum Umgang mit Säuren und Laugen

- Schutzbrille, säurefeste Schutzkleidung und evtl. Atemschutz tragen.
- Beim Mischen mit Wasser immer die Säure bzw. Lauge unter Umrühren ins Wasser gießen – nie umgekehrt. Folgender Merksatz kann helfen:
Erst das Wasser, dann die Säure, sonst geschieht das Ungeheure.
- Säuren und Laugen nur in die dafür vorgesehenen Behälter füllen und Behälter mit Namen, Konzentration und Gefahrstoffsymbol beschriften.
- Säuren und Laugen in verschließbaren und speziell dafür vorgesehenen Schränken aufbewahren.
- Zutritt für Unbefugte unterbinden.
- Dämpfe nicht einatmen.
- Bei Kontakt mit Säuren oder Laugen mit viel Wasser spülen.
- Säuren und Laugen sachgerecht entsorgen.

1.2.2 Maßnahmen zur Reduzierung bzw. Optimierung von Einflüssen von Oxidations- und Reduktionsvorgängen

Korrosion

Unter Korrosion versteht man nach DIN EN ISO 8044 die Reaktion eines metallischen Werkstoffes mit seiner Umgebung, die eine **messbare Eigenschaftsveränderung des Werkstoffes** bewirkt und zu einem **Korrosionsschaden**, d.h. zu einer Beeinträchtigung der Funktion des Bauteils führen kann. Diese Reaktion ist in den meisten Fällen elektrochemischer Art.

Man unterscheidet folgende Korrosionsarten:

- **chemische Korrosion:** Korrosionsvorgänge in nicht leitenden Medien, z.B. die Auflösung von Kunststoffen in anorganischen Lösungsmitteln, die Oxidation von Metallen, z.B. das Zundern von Stahl (bei hoher Temperatur reagiert der Luftsauerstoff direkt mit Eisen). Entsteht eine dichte Oxidschicht, so kann diese auch das darunter liegende Metall schützen (z.B. bei Aluminium, Kupfer).
- **elektrochemische Korrosion:** Zwei verschiedene Metalle (bzw. Stoffe) berühren (kurzschließen) sich bei Anwesenheit einer leitenden Flüssigkeit (Elektrolyt).
- **physikalische Korrosion:** Diffusionsvorgänge bestimmter Stoffe aus dem Umgebungsmedium in den Werkstoff, z.B. die gefährliche Wasserstoffversprödung hochfester Stähle

Korrosionsmechanismen

Taucht ein Metall wie Eisen in eine wässrige Salzlösung (Elektrolyt), dann haben die Metallionen (Me^+) das Bestreben, das Metallgitter zu verlassen und in Lösung zu gehen; zurück bleiben Elektronen. Man spricht von **Lösungstension**. Das Metall lädt sich also negativ auf und zwar umso stärker, je mehr positive Metallionen das Gitter verlassen. Dieses **Elektrodenpotenzial** lässt sich messen. Die Potentialdifferenz (elektrische Spannung) zwischen Metall und Prüfnormal wird als **Standard-** oder **Normalpotenzial** des betreffenden Metalls bezeichnet. Führt man die Messung des Normalpotenzials mit vielen Metallen durch und ordnet die gemessenen Spannungswerte der Größe nach an, so erhält man die **elektrochemische Spannungsreihe**



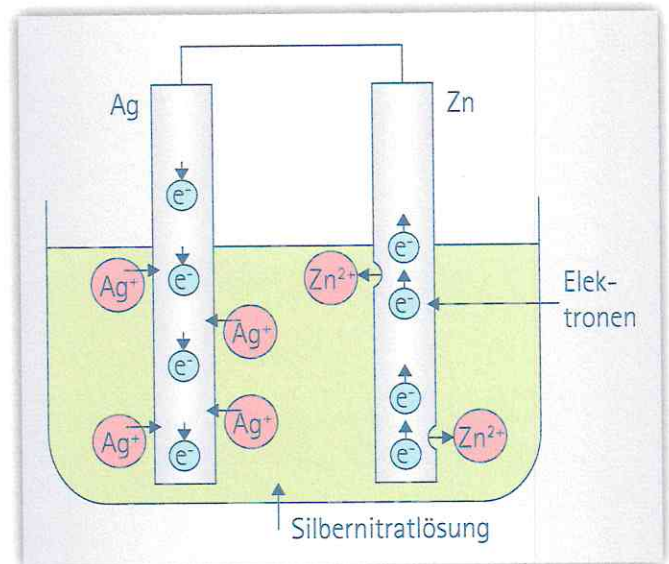
Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

der **Metalle**. Sie hat eine gewisse Bedeutung für das Verständnis und die Vorhersage von Korrosionsprozessen. Je höher das Normalpotenzial eines Metalls ist, desto edler ist es. Das unedlere Metall steht links, das edlere Metall steht rechts in der elektrochemischen Spannungsreihe.

Ist das Metall durch die Lösungstension negativ aufgeladen, wird es für die positiv geladenen Metallionen zunehmend schwieriger, das Kristallgitter entgegen der elektrostatischen Anziehungskraft zu verlassen. Der Auflösungsprozess und damit der Korrosionsprozess kommen zum Stillstand. Würde man jedoch die im Metall zurückgebliebenen Elektronen „verbrauchen“, dann könnten aufgrund der verminderten elektrostatischen Anziehungskräfte wieder weitere Metallionen in Lösung gehen. Tatsächlich laufen an der Metalloberfläche derartige „elektronenzehrende“ Prozesse kontinuierlich ab, sodass ständig Metallionen in Lösung gehen können und sich der Werkstoff allmählich auflöst (korrodiert). Der elektrische Kontakt mit einem edleren Metall wird am Beispiel des galvanischen Elementes näher erläutert.

Beispiel: Galvanisches Element

Werden ein unedles Metall (z. B. Zink, Zn) und ein edles Metall (z. B. Silber, Ag) gemeinsam in eine gut leitende Flüssigkeit (z. B. Silbernitratlösung) eingetaucht und elektrisch leitend miteinander verbunden, dann beobachtet man eine relativ rasche Auflösung des unedlen Metalls, während das edle Metall keinem Korrosionsangriff unterliegt. Weiterhin ist erkennbar, dass sich das unedle Metall schneller auflöst als ohne Kontakt mit dem edlen Metall. Dies lässt sich dadurch erklären, dass positive Metallionen aus dem Kristallgitter des unedlen Metalls (hier: Zink) in Lösung gehen und dabei eine äquivalente Anzahl an Elektronen im Metallgitter zurückbleibt. Am edlen Metall (hier: Silber) laufen hingegen „elektronenzehrende“ Prozesse ab, die positiven Silberionen der Silbernitratlösung werden von der nun negativ aufgeladenen Silberelektrode angezogen, nehmen Elektronen auf und setzen sich als neutrales Silber ab.



Da beide Metalle elektrisch leitend miteinander in Verbindung stehen, man spricht auch von **Kontaktkorrosion**, können die Elektronen ständig vom unedlen Metall (im Beispiel: Zink) zum edlen Metall (im Beispiel: Silber) wandern. Dadurch löst sich das unedle Metall relativ schnell auf und zwar umso schneller, je weiter die Metalle in der elektrochemischen Spannungsreihe voneinander entfernt stehen. Das edlere der beiden Metalle unterliegt hingegen keinem nennenswerten Korrosionsangriff, es ist kathodisch geschützt.

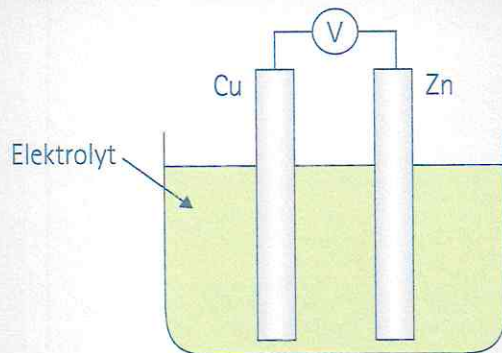
Der **kathodische Korrosionsschutz** wird bspw. zum Korrosionsschutz für in der (feuchten) Erde verlegte Rohrleitungen und Tanks (s. Beispiel „Kathodischer Korrosionsschutz“ auf der übernächsten Seite), für Boiler von Heizungsanlagen oder für Stahlrümpfe von Schiffen angewandt. Als **Opferanode** werden hierbei relativ unedle Metalle wie Magnesium, Aluminium oder Zink verwendet.

Bei einem **galvanischen Element** (Zelle) ergibt sich bei stromloser Messung die Leerlaufspannung aus der Differenz zwischen den Normpotenzialen, was in Abbildung 1.10 auf der folgenden Seite vereinfacht dargestellt ist.



Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

Abb. 1.10: Galvanisches Element
(vereinfachte Darstellung)



Pluspol: Cu
Minuspol: Zn

Berechnung der Potenzialdifferenz:

Normpotenzial Cu: 0,34 V

Normpotenzial Zn: -0,76 V

Potenzialdifferenz: $0,34 \text{ V} - (-0,76 \text{ V}) = 1,1 \text{ V}$

3DQR: Galvanisches Element



Code scannen bzw. anklicken und mehr erfahren.

Merke: Galvanisches Element

Ein galvanisches Element besteht aus zwei unterschiedlichen Metallen, die in einen Elektrolyten eintauchen.

Exkurs: Primär- und Sekundärelemente

Galvanische Elemente, bei denen sich die unedlere Elektrode auflöst, bezeichnet man als **Primärelemente**. Sie sind nicht wieder aufladbar, der Prozess ist nicht umkehrbar.

Sekundärelemente (Akkumulatoren) sind wieder aufladbar. Der chemische Prozess beim Entladen wird durch den Ladevorgang umgekehrt.

Korrosionsschutz

Aufgrund von Korrosion entstehen alleine in Deutschland Schäden in Höhe eines zweistelligen Milliardenbetrages pro Jahr. Daher ist es außerordentlich wichtig, Korrosionsschutz zu betreiben. Ein sinnvoller Korrosionsschutz setzt jedoch voraus, dass die grundlegenden Korrosionsmechanismen bekannt sind. Die Vermeidung von Korrosion und der damit verbundenen Korrosionsschäden kann auf sehr unterschiedliche Weise erfolgen:

- **kathodischer Korrosionsschutz:** mit Opferanoden oder Fremdstromquellen, Vorsorgemaßnahmen: z.B. die Beseitigung von Verschmutzungen, Lackresten, Wassertropfen
- **korrosionsgerechte Werkstückgestaltung:** z.B. enge Spalte vermeiden, in die ein Elektrolyt eindringen kann
- **Verwendung korrosionsbeständiger Werkstoffe:** z.B. nicht rostende Cr- oder CrNi-Stähle
- **Schutzmaßnahmen am Werkstück:** z.B. metallische Überzüge (galvanisieren, metallspritzen, plattieren usw.) (s. Abbildung 1.11 auf der folgenden Seite) oder nicht metallische Überzüge (lackieren, kunststoffbeschichten, emaillieren, brünnieren usw.)
- **Schutzmaßnahmen in den Korrosionsmedien:** z.B. Beseitigung korrosiv wirkender Substanzen, Verminderung des Sauerstoffgehalts

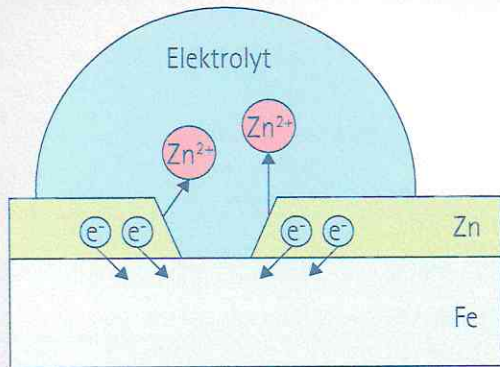
3DQR: Kathodischer Korrosionsschutz



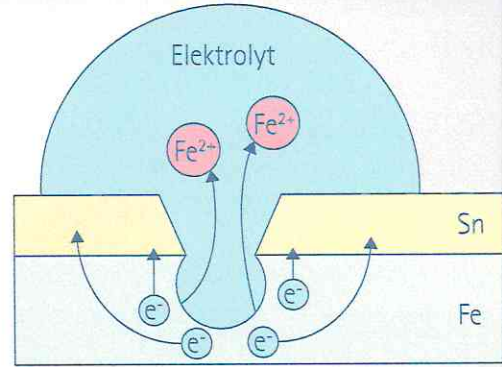
Code scannen bzw. anklicken und mehr erfahren.



Abb. 1.11: „Echter“ und „unechter Schutz“

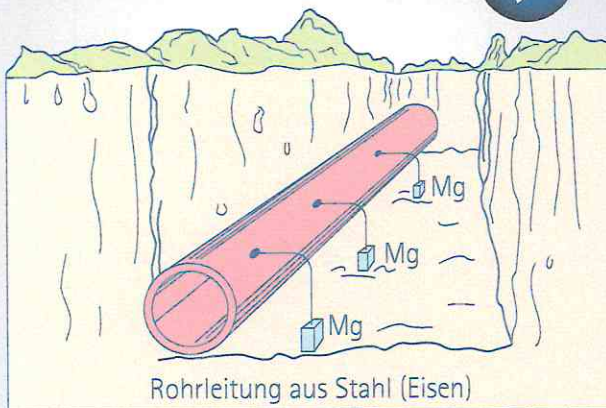


„echter Schutz“: Überzugsmetall unedler



„unechter Schutz“: Überzugsmetall edler

Beispiel: Kathodischer Korrosionsschutz



Eine Rohrleitung aus Stahl, die überwiegend in feuchtem Erdreich verlegt wird, muss gegen Korrosion geschützt werden. Zum Korrosionsschutz wird sie deswegen elektrisch leitend mit Magnesiumplatten verbunden. Da das Magnesium unedler als Stahl (Eisen) ist, löst es sich – da das Element kurzgeschlossen ist – langsam auf und schützt so das Stahlrohr. Die Magnesiumplatten werden als Opferanoden bezeichnet.

1.2.3 Wasser als Lösungsmittel und sekundärer Energieträger

Etwa 3/4 der Erdoberfläche ist von Wasser bedeckt. Man findet es als Grund- und Oberflächenwasser. Alle Lebewesen benötigen Wasser, und in der Atmosphäre kommt Wasser als Wasserdampf vor. Chemisch gebunden findet

man es als Kristallwasser. Wasser ist das bedeutendste Lösungsmittel. Seine Moleküle sind sehr stabil und spalten sich nur unter Zufuhr großer Energiemengen auf.

Im Gegensatz zu allen anderen Stoffen nimmt die Dichte von Wasser bei Temperaturen unter 4°C nicht weiter zu (**Anomalie des Wassers**). Beim Gefrieren vergrößert sich das Volumen um etwa 9% (Frostaufbrüche, Verwitterung). Da die Dichte von Eis kleiner als die des Wassers ist, lagert sich das Eis nicht auf dem Grund ab, sondern schwimmt oben; so können Fische in einem zugefrorenen Teich im Winter überleben. Die Temperatur an der tiefsten Stelle eines Gewässers kann demzufolge nicht unter 4°C sinken.

Wasser findet seine Anwendung als Trinkwasser, Lösungsmittel und Kühlmittel. Die meisten chemischen Reaktionen laufen in wässrigen Lösungen ab. Generell unterscheidet man zwei Wasserarten: **Trinkwasser** als Lebensmittel und **Brauchwasser** für die verschiedensten Anwendungen in der Industrie. Im Einzelnen können folgende Wasserarten unterschieden werden:

- **Destilliertes Wasser**, wie man es z. B. für Dampfbügel-eisen oder Autobatterien benötigt, ist demineralisiertes Wasser. Dafür wird Leitungswasser durch Destillation und anschließende Kondensation von Ionen und Verunreinigungen befreit.
- Destillieren ist zeitaufwendig und wegen der dafür aufzuwendenden Energie unrentabel. Deswegen wird häufig **demineralisiertes Wasser** (andere Bezeichnungen:



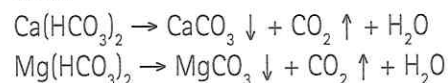
Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

- vollentsalztes Wasser, VE-Wasser oder auch Deionat) eingesetzt. Dieses Wasser wurde in einem Ionenaustauscher gereinigt (s. Abbildung 1.12 auf der übernächsten Seite).
- **Regenwasser:** Es stellt in Gebieten mit geringer Luftverschmutzung das reinste natürliche Wasser dar. Durch Abgase und Rauch wird es jedoch stark verschmutzt. Gerade die Verbindung mit schwefelhaltigen Abgasen (z. B. SO_2) führt zur Bildung der schwefeligen Säure, dem sauren Regen. Dieser ist mitverantwortlich für das Waldsterben und die Beschädigung an Gebäuden und Gegenständen durch seine korrosive Wirkung.
 - **Oberflächenwasser:** Ein Teil der Niederschläge fließt direkt Seen und Flüssen zu, der Rest versickert im Boden. Hierbei werden zusätzlich Verunreinigungen und Mineralien gelöst.
 - **Grundwasser:** Wenn das versickerte Wasser auf wasserundurchlässige Bodenschichten stößt, bildet sich Grundwasser. Das Grundwasser kann durch Pumpen an die Erdoberfläche zurückgebracht werden oder es tritt als Quellwasser an die Oberfläche.
 - **Fluss-, See- und Meerwasser:** Fluss- und Seewasser entsteht z.T. aus Grund- und Oberflächenwasser. Allerdings werden auch Abwässer aus der Industrie und privaten Haushalten in Flüsse und Seen eingeleitet, was bei unvollständiger Aufbereitung der Abwässer zur Verschmutzung führen kann. Das Meerwasser, das den größten Teil des Wassers auf der Erde ausmacht, entsteht im Wesentlichen durch Niederschläge und durch den Zulauf von Flüssen. Das Meerwasser enthält im Vergleich zu anderem Wasser mehr gelöste Bestandteile und wird deshalb auch als **Salzwasser** bezeichnet. Dieses Wasser kann ohne Entsalzung nicht als Trinkwasser genutzt werden. Wird es in größeren Mengen getrunken, entzieht Salzwasser dem Körper Flüssigkeit. Auch für die industrielle Nutzung ist dieses Wasser ungeeignet, da es stark korrodierend wirkt und Ablagerungen in den Anlagen und Leitungen bildet.
 - **Brauchwasser:** Brauchwasser wird in der Industrie und in Privathaushalten genutzt. Um den Wasserverbrauch gering zu halten, sollte es für die industrielle Nutzung in geschlossenen Kreisläufen verwendet werden. Dieses Wasser muss möglichst frei von gelösten Stoffen sein, damit sich in den Anlagen und Rohrleitungen keine Rückstände bilden und Korrosion vermieden wird.
 - **Kesselspeisewasser:** Wasser enthält immer Kohlensäure. Unedle Metalle können den Wasserstoff aus seiner Verbindung verdrängen und dabei an seine Stelle treten. Es entsteht Eisencarbonat. Dieser Prozess verläuft durch die schwache Kohlensäure nur langsam, wird jedoch erheblich beschleunigt durch den im Wasser gelösten Sauerstoff. Dieser bewirkt einen Zerfall des gebildeten Eisencarbonates und die Bildung von Eisenoxid.
Anwendungsmöglichkeiten:
 - Kühlmittel in der Verfahrens- und Fertigungstechnik
 - Energieträger in Form von Dampf und Heißwasser
 - Reinigungs- und Lösungsmittel
 - Werkzeug beim Wasserstrahlschneiden
 - Elektrolyt beim Galvanisieren
 - **Trinkwasser:** Trinkwasser ist für den Menschen unverzichtbar. Es soll farb-, geruch- und geschmacklos sein. Weiterhin muss es keimfrei sein. Es darf schädliche Stoffe, z.B. Schwermetalle und Nitrate, nur in unbedenklichen Mengen enthalten, welche technisch unvermeidbar sind. Ein bestimmter Anteil an Salzen ist jedoch notwendig, da ansonsten der Elektrolythaushalt des Menschen gestört würde.

Wasserhärte

Das in der Natur vorkommende Wasser ist nie ganz rein, da sich im Boden vorhandene Salze, insbesondere Magnesium- oder Calciumsalze, wie MgCl_2 , MgSO_4 , CaSO_4 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, lösen können (**Härtebildner**).

Die **temporäre Härte** oder **Carbonathärte** wird durch Hydrogencarbonate (HCO_3^- -Ionen) hervorgerufen. Sie sind zwar im Wasser gelöst, gehen aber beim Erhitzen in Kohlenstoffdioxid (CO_2) und die unlöslichen Carbonate über:



Diese schwer löslichen Carbonatsalze scheiden sich als unerwünschte Ablagerungen („Kesselstein“) auf der Oberfläche von Rohrleitungen, in Boilern, Kesseln ab. Der Name „temporäre Härte“ (temporär = vorübergehend) rührt also daher, dass sich diese Carbonatsalze durch Erwärmung (kochen) ausfällen lassen und damit die Wasserhärte vermindert wird.



Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

Die **permanente Härte** oder **Nichtcarbonathärte** des Wassers beruht auf den Salzen mit anderen Anionen, z. B. Sulfat- ($(\text{SO}_4)^{2-}$), Chlorid- (Cl^-) oder Phosphationen ($(\text{PO}_4)^{3-}$), die beim Erhitzen in der Lösung bleiben (bleibende Härte).

Merke: Wasserhärte



Die Härte des Wassers wird verursacht durch die Menge der im Wasser gelösten Ca^{2+} - und Mg^{2+} -Ionen.

Die **Gesamthärte** (GH) des Wassers ist die Summe von temporärer und permanenter Härte.

Die **temporäre Härte** kann durch Erhitzen des Wassers entfernt werden. Der Vorgang beruht darauf, dass Hydrogencarbonationen (HCO_3^-) bei erhöhter Temperatur unter Verlust von CO_2 Carbonationen (CO_3^{2-}) bilden, die ausgefällt werden.

Die **permanente Härte** kann durch Erhitzen nicht entfernt werden.

Nachteile von hartem Wasser:

- Bei Erwärmung von hartem Wasser bilden sich die bereits erwähnten unerwünschten Ablagerungen („Kesselstein“) auf der Oberfläche von Rohrleitungen, Boilern, Kesseln usw. Diese Kalkschicht ist ein schlechter Wärmeleiter und isoliert daher das Wasser von der Heizquelle. Die Folgen sind ein steigender Brennstoffverbrauch sowie eine Überhitzung der Kesselbleche, und damit entsteht die Gefahr von Kesselexplosionen.
- Beim Waschen mit hartem Wasser wird viel Seife bzw. Waschmittel nutzlos verbraucht. Je härter das Wasser, desto mehr Waschmittel muss zugegeben werden (s. Dosierungsanleitungen auf Waschmittelpackungen).
- Verstopfung von Rohren durch Kalkablagerungen wird verursacht durch hartes Wasser.

Nachteil von weichem Wasser: In weichem Wasser fehlen die Härtebildner, die eine Art Schutzschicht auf Metallen (Rohrleitungen) bilden. Der im Wasser gelöste Sauerstoff wirkt korrosiv, verursacht Lochfraß.

Maßeinheit der Wasserhärte

Die Wasserhärte wird angegeben als der Gehalt an Erdalkaliumionen, also die Gesamthärte in Mol pro Liter, wegen der geringen Konzentration auch häufig in **Millimol pro Liter (mmol/l)**. Die früher gebräuchliche Härteeinheit Grad deutscher Härte ($^\circ\text{dH}$) ist nicht mehr zulässig. Um den Verbraucher nicht mit für ihn unverständlichen Zahlenwertangaben zu belasten, wird von den Wasserwerken für den allgemeinen Gebrauch die Härte eines Wassers mit einem Härtebereich bezeichnet (weich: 0–1,5 mmol/l, mittel: 1,5–2,5 mmol/l, hart: > 2,5 mmol/l).

Wasserenthärtung

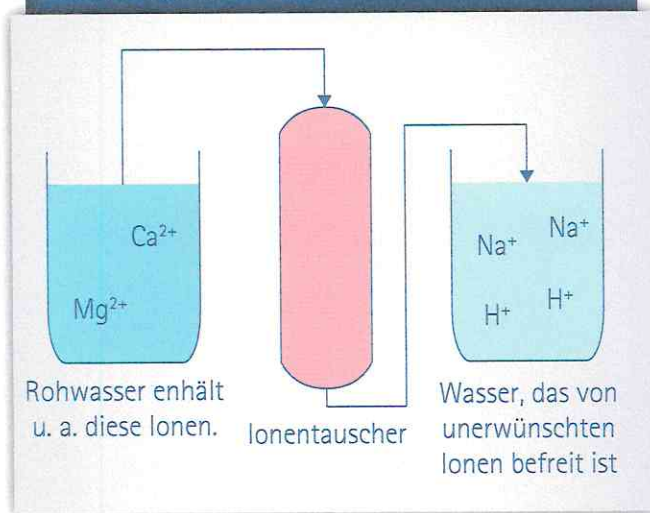
Unter Wasserenthärtung versteht man die Beseitigung der im Wasser gelösten Erdalkaliumionen (überwiegend Ca^{2+} und Mg^{2+}). Hierfür stehen unterschiedlich wirksame **Methoden** zur Verfügung:

- **Erwärmen des Wassers** auf eine Temperatur über 62°C : Diese Methode hat den entscheidenden Nachteil, dass die Carbonatsalze unerwünschte Ablagerungen (Kesselstein) auf der Oberfläche von Rohrleitungen, in Boilern, Kesseln usw. bilden.
- **Zugabe von Zeolithen**: Sie sind in modernen Waschmitteln zur Verringerung der Wasserhärte enthalten. Zeolithe stellen eine Stoffgruppe dar, die aus wasserhaltigen Calcium- oder Natriumaluminiumsilikaten aufgebaut sind. Aufgrund ihrer Gitterstruktur halten Zeolithe Calcium- und Magnesiumionen fest. Dabei werden diese durch Ionenaustausch im Kristallgitter des Zeoliths eingebunden.
- Einsatz von **Ionentauschern** (s. Abbildung 1.12 auf der folgenden Seite): Es ist die wirksamste Methode zur Wasserenthärtung. Ionentauscher-substanzen sind oberflächenaktive Kunststoffe, meist Kügelchen mit einem Durchmesser von einem bis drei Millimetern, z. B. aus Polystyrol oder Polyacrylat (Austauscherharze). Sie geben locker an ihre Oberfläche gebundene Ionen (H^+ , Na^+) in die Lösung ab und nehmen dafür äquivalente Mengen anderer Ionen (z. B. Ca^{2+} und Mg^{2+}) aus der Lösung auf (Kationenaustauscher). Bei Ionentauschern erfolgt ein Austausch nur zwischen Ionen mit gleichsinniger Ladung. Einfach ausgedrückt ersetzt ein Ionentauscher unerwünschte durch unschädliche Ionen.



Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

Abb. 1.12: Ionentauscher



3DQR: Ionentauscher



Wasseraufbereitung

Absolut reines Wasser hat einen sehr hohen spezifischen Widerstand. Das bedeutet, dass die elektrische Leitfähigkeit ein Maß für die Reinheit des Wassers ist. Gewöhnliches Wasser ist wegen seiner Verunreinigungen für viele Zwecke ungeeignet. Die suspendierenden Stoffe, wie auch teilweise Mikroorganismen, können durch **Filtrieren** mit Kies, Sand oder porösem Ton in den Wasserwerken entfernt werden. Durch **Oxidation** unter Luftzufuhr und Abfiltrieren des gebildeten Niederschlags werden Eisen- und Manganverbindungen entfernt.

Die **Desinfektion** des Wassers zur Vernichtung der Mikroorganismen erfolgt durch Zusatz geringer Chlormengen oder durch Ozonisierung. Durch **UV-Bestrahlung** werden Keime von Trink- und Brauchwasser entfernt. Es werden dabei keine Chemikalien eingesetzt. Somit finden keine Geruchs- und Geschmacksbeeinträchtigungen statt. Für chemische Zwecke benötigtes Wasser darf weder suspen-

dierte noch gelöste Bestandteile enthalten. Leitungswasser enthält noch gelöste Salze. Großtechnisch werden Ionenaustauscher eingesetzt, um die gelösten Bestandteile aus dem Wasser zu entfernen. Das erfolgt sowohl durch anorganische Aluminiumsilikate (Permutite) als auch durch organische Wolfatite.

1.2.4 Schutzmaßnahmen für Mensch und Umwelt

Chemie beeinflusst das tägliche Leben. Die natürliche Umwelt wird immer mehr von chemischen Produkten bedroht, angefangen bei Luft- und Gewässerverschmutzung bis hin zum Missbrauch von chemischen Stoffen als Stimulanzmittel.

Der Begriff „Umweltverschmutzung“ wird von Martin Holdgate (1979) wie folgt definiert: „Umweltverschmutzung ist das durch den Menschen verursachte Einbringen von Energie oder Substanzen in die Umwelt, die mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit die menschliche Gesundheit gefährden, lebenden Ressourcen und Ökosystemen Schaden zufügen, Gebäude oder Erholungsgebiete schädigen oder sich auf die legitime Nutzung der Umwelt auswirken.“

Man unterteilt die Umweltschadstoffe in **primäre Schadstoffe**, die die Umwelt direkt schädigen, und in **sekundäre Schadstoffe**, von denen erst infolge chemischer Prozesse Umweltgefahren ausgehen. **Schadstoffquellen** für die Umwelt können sein:

- Landwirtschaft
- Energieerzeugung
- Gasversorgung
- Bergbau und Metallgewinnung
- metallverarbeitende Industrie
- chemische Industrie
- Müllbeseitigung
- Verkehr

Der Umweltverschmutzung muss entgegengewirkt, sie muss vermieden, mindestens jedoch reduziert werden. Einen wichtigen Beitrag zur Reduzierung der Umweltbelastung leisten verschiedene Gesetze und Verordnungen.



Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

So regelt z.B. das **Wasserhaushaltsgesetz (WHG)** den Umgang mit Abwasser. Ein wichtiger Bestandteil ist die **Eigenkontrollverordnung (EKVO)**, nach der Betreiber von Abwasseranlagen Messungen und Kontrollen selbst durchführen müssen. Für die Reinhaltung der Luft ist das **Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)** bedeutend. Es dient zum Schutz vor z.B. schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigung, Lärm, Erschütterungen. Das **Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG)** schreibt vor, die Produktion und den Konsum von Produkten so zu gestalten, dass Abfälle vermieden, unvermeidbare Abfälle einer qualitativ hochwertigen Verwendung zugeführt und nicht verwertbare Abfälle beseitigt werden.

Merke: Kunststoffrecycling



Man unterscheidet:

- werkstoffliches Recycling
(Wiederverwertung thermoplastischer Kunststoffe)
- rohstoffliches Recycling
(z.B. Reduzierung des Koksverbrauchs im Hochofen)
- thermische Verwertung
(Ersatz fossiler Brennstoffe)

Hinweis: Kunststoffe



Den aktuellen Trend, vermehrt biologisch abbaubare Kunststoffe (Biokunststoffe) einzusetzen, sollten Sie kennen.

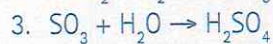
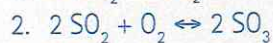
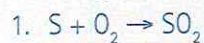


Berufstypische Aufgabe

Auszug aus der Frühjahrsprüfung 2015. Der Rechtsstand wurde ggf. aktualisiert.

Aufgabe 1

Nachfolgend sind die Reaktionsgleichungen zur Herstellung einer Säure aufgeführt:



- Geben Sie den Namen der Säure an, deren Darstellung (Herstellung) in den Reaktionsgleichungen beschrieben wird.
- Handelt es sich in den Reaktionsgleichungen 1. und 2. um Oxidationen oder Reduktionen? Begründen Sie Ihre Aussage.
- Oxidationen sind exotherme Reaktionen.
Erläutern Sie den Begriff „exotherme Reaktion“.
- Die Reaktionsgeschwindigkeit einer Oxidation ist von mehreren Faktoren abhängig.
Nennen Sie zwei Faktoren.



Berufstypische Aufgabe



Auszug aus der Frühjahrsprüfung 2017. Der Rechtsstand wurde ggf. aktualisiert.

Aufgabe 1

Bei der Verbrennung fossiler Energieträger entstehen Gase, z. B. CO und CO₂.

- Geben Sie die Namen der beiden Gase CO und CO₂ an.
- Nennen Sie zu jedem der beiden Gase zwei typische Eigenschaften.
- Trotz der Gefährdung für den Menschen sind die beiden Gase wichtige Reaktionsprodukte. Geben Sie für jedes der beiden Gase zwei technische Anwendungen an.

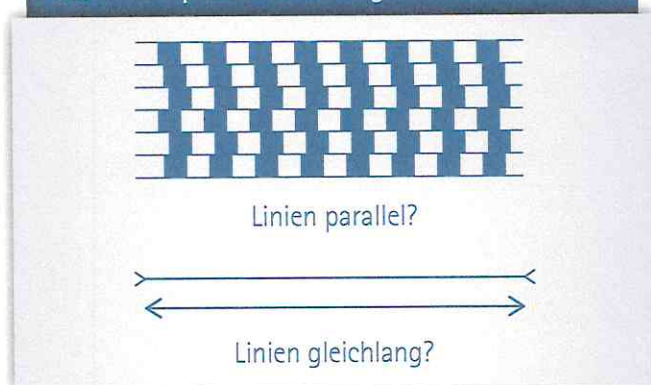
1.3 Auswirkungen des Temperatureinflusses auf Materialien und Arbeitsprozesse

1.3.1 Maß- und Zustandsveränderungen

Internationales Einheitensystem (SI-System)

Die menschlichen Sinne lassen sich nur allzu leicht beeinflussen und täuschen. Wie lang oder wie gerade eine Linie erscheint, hängt z. B. von ihrer Umgebung ab.

Abb. 1.13: Optische Täuschung



Ähnliches trifft z. B. auch auf das Empfinden von Temperaturen zu, nicht zuletzt lassen sich elektrische Ströme nur schwer „erfühlen“. (Achtung: Hier besteht Lebensgefahr.) Um also exakte wissenschaftliche Aussagen über

die Eigenschaften von Gegenständen oder Vorgängen zu erhalten, muss man diese messen. Zum **Messen** benötigt man eine Vergleichsgröße; diese nennt man **Einheit**.

Merke: Physikalische Größe



Kann man Eigenschaften von Gegenständen oder Vorgängen messen, so bezeichnet man diese als physikalische Größen. Wenn eine physikalische Größe gemessen wird, so vergleicht man sie mit einer festgelegten Einheit:
$$\text{physikalische Größe} = \text{Maßzahl} \cdot \text{Einheit}.$$

Wichtig für die Prüfungsvorbereitung



In allen Rechnungsgängen müssen die **Einheiten ersichtlich** sein. Eine physikalische Größe können Sie nur dann richtig deuten, wenn Maßzahl und Einheit geschrieben vorhanden sind.

Der Einfachheit halber werden physikalische Größen i. d. R. nicht mit Worten benannt, sondern es werden ihnen **Formelzeichen** zugeordnet (s. DIN 1304). So wird bspw. anstelle der Benennung „Zeit“ das Formelzeichen t (engl.: time) genutzt. Prinzipiell könnte man nun für jede physikalische Größe eine eigene Einheit definieren. Da jedoch vielen physikalischen Größen (z. B. Geschwindigkeit)



Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

Definitionsgleichungen zugrunde liegen, die die einzelnen Größen miteinander verknüpfen (z. B. Geschwindigkeit = Weg/Zeit), ist es zweckmäßig, Einheiten- oder Maßsysteme zu entwickeln. Die Basis unserer heutigen Einheiten ist das **internationale Einheitensystem** (Système international d'unités oder **SI-System**). Am 20.05.2019 ist das „neue SI-System“ in Kraft getreten. Der Rückgriff auf Naturkonstanten macht die Einheitsdefinitionen nun universell.

Tab. 1.1: Einheitensystem

Basisgröße	Formelzeichen	Basiseinheit	Einheitenzeichen
Länge	l, L, s	Meter	m
Masse	m	Kilogramm	kg
Zeit	t	Sekunde	s
elektrische Stromstärke	I	Ampere	A
Temperatur	T	Kelvin	K
Stoffmenge	n	Mol	mol
Lichtstärke	I_v	Candela	cd

Hinweis: Formel- und Einheitenzeichen

Achten Sie auf den Unterschied zwischen Formelzeichen und Einheitenzeichen.

Beispiel: Formel- und Einheitenzeichen

Verbale Definition: Die Geschwindigkeit ist der Quotient aus Weg und Zeit.

Basisgrößen:

- Weg (Formelzeichen s)
- Zeit (Formelzeichen t)
- Geschwindigkeit (Formelzeichen v)

Definitionsgleichung: $v = \frac{s}{t}$

Basiseinheiten:

- Weg: Basiseinheit Meter, Einheitenzeichen m
- Zeit: Basiseinheit Sekunde, Einheitenzeichen s
- Geschwindigkeit: Einheitenverknüpfung:

$$[v] = \frac{[s]}{[t]} = \frac{m}{s}$$

abgeleitete Einheit: $\frac{m}{s}$

Für viele abgeleitete Einheiten sind Kurzformen eingeführt.

Beispiel: Kurzform der Einheit für die physikalische Größe „Kraft“

Formelzeichen: F

$$[F] = \text{kg} \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \text{N}$$

Hinweis: Einheiten physikalischer Größen

Die Einheiten der physikalischen Größen finden Sie in gängigen Formelsammlungen.

Die klassischen Messmethoden mit Lehren, Messschiebern, Feinzeigern, Höhenmessern usw. reichen nicht mehr aus und werden mehr und mehr durch neue Messverfahren ersetzt, z. B. Koordinatentechnik, Einsatz von Sensoren, Laufzeitverhalten eines Laserstrahles. Dabei ist der Einfluss der Umgebungstemperatur auf den Messvorgang stets zu berücksichtigen.

Temperatur und Temperaturmessung

Den Zustand eines Körpers, der die menschlichen Organe dazu veranlasst, ihn kälter oder wärmer erscheinen zu lassen, nennt man seine Temperatur. Die Temperatur ist im internationalen Einheitensystem (SI-System) eine Basisgröße. Die Temperatur wird üblicherweise in Grad Celsius ($^{\circ}\text{C}$) gemessen.

Dem Schmelzpunkt des Wassers ordnet man die Temperatur 0°C zu, dem Siedepunkt des Wassers die Temperatur 100°C . Der Abstand dieser beiden Fixpunkte wird als Fundamentalabstand bezeichnet. Der hundertste Teil dieses Abstandes ist 1°C .

Die tiefste Temperatur, die erreicht werden kann, liegt bei $-273,15^{\circ}\text{C}$ (**absoluter Nullpunkt**). Diesem absoluten Nullpunkt hat Kelvin die Temperatur 0K zugeordnet. 0°C erhält auf der Kelvinskala den Wert $273,15\text{K}$. Die Celsiusskala und die Kelvinskala unterscheiden sich nur durch die Lage ihres Nullpunktes. Der Temperaturunterschied von 1°C entspricht 1K auf der Kelvinskala. Aufgrund der Konstruktion der Skalen haben Temperaturdifferenzen in $^{\circ}\text{C}$



Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

und K die gleiche Maßzahl. Für die Angabe der Temperatur in der Celsiuskala verwendet man den Formelbuchstaben ϑ (sprich: Theta), für die Angabe der Temperatur in der Kelvinskala (**absolute Temperatur**) wird der Formelbuchstabe T verwendet. Temperaturdifferenzen werden demnach mit $\Delta\vartheta$ bzw. ΔT bezeichnet.

Beispiel: Umrechnung der Einheiten

$$\begin{aligned} \{T\} &= \{\vartheta\} + 273,15 \text{ bzw.} \\ \{\vartheta\} &= \{T\} - 273,15 \\ \vartheta = 20^\circ\text{C} &\quad T = 293,15\text{K} \\ \vartheta = -150^\circ\text{C} &\quad \Leftrightarrow \quad T = 123,15\text{K} \end{aligned}$$

3DQR: Kelvin-Temperatur



Zur Temperaturmessung werden **Thermometer** und zur Messung sehr hoher Temperaturen werden **Pyrometer** eingesetzt. Diese Messgeräte haben Sensoren, die ihre physikalischen Eigenschaften bei Wärmezufuhr bzw. -abgabe verändern. So findet z. B. eine Längenänderung, eine Volumenänderung oder eine Änderung des elektrischen Widerstandes statt.

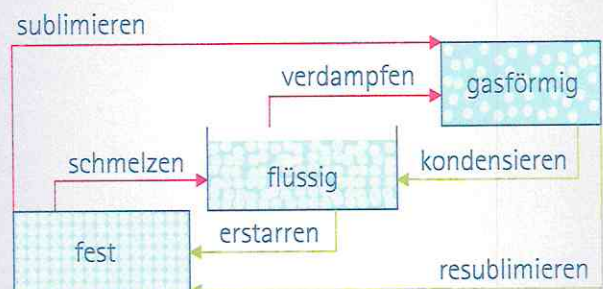
Beispiele: Messgeräte für bestimmte Messbereiche

Alkoholthermometer:	-100 bis 70 °C
Widerstandsthermometer z. B. mit NTC:	-30 bis 150 °C
Thermoelement:	-270 bis 1.600 °C
Strahlungspyrometer:	-50 bis 4.000 °C
(Eine besondere Art des Strahlungspyrometers ist das Infrarotthermometer. Es erfasst die Temperatur berührungslos, indem es die Wärmestrahlung misst, die ein Körper aussendet.)	

Aggregatzustände

Stoffe können in festem, flüssigem oder gasförmigem Zustand vorliegen. Diese verschiedenen Zustände bezeichnet man als Aggregatzustände. In **festem Zustand** können die Atome bzw. Moleküle nur um einen festen Platz schwingen, im **flüssigen Zustand** bewegen sie sich frei und im **gasförmigen Zustand** sind sie unabhängig voneinander. Je nach Aggregatzustand nehmen somit die Atome bzw. Moleküle unterschiedliche Volumina ein und damit ändert sich auch ihre Dichte (s. Abbildung 1.14).

Abb. 1.14: Aggregatzustände



Beispiel: Sublimation und Resublimation

Sublimation: Trockeneis (festes Kohlendioxid) wird direkt gasförmig.
Resublimation: Der Wasserdampf in der Luft wird im Gefrierfach des Kühlschranks direkt zu Eis.

Längen- und Volumenänderung der Körper

Alle Körper verändern ihre Größe unter dem Einfluss einer Temperaturänderung. Diese Volumenänderung beruht auf der Änderung der Bewegungsenergie (innere Energie) und damit auf der Schwingungsweite der Atome.

Längenänderung (feste Körper)

In bestimmten Temperaturbereichen ist die Längenänderung proportional zur Temperaturänderung. Sie kann nach der Formel auf der folgenden Seite berechnet werden.



Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

Formel: Längenänderung Ω

$$\begin{aligned} \Delta l &= l_0 \cdot \alpha_L \cdot \Delta \vartheta \\ \Delta l &= l - l_0 \\ l &= l_0 \cdot (1 + \alpha_L \cdot \Delta \vartheta) \end{aligned} \quad (1.1)$$

- α_L Längenausdehnungskoeffizient
- Δl Längenänderung
- $\Delta \vartheta$ Temperaturdifferenz
- l Länge nach der Änderung
- l_0 Ausgangslänge

Der Proportionalitätsfaktor ist ein Materialkennwert, er heißt **Längenausdehnungskoeffizient**. Er kann innerhalb bestimmter Temperaturintervalle als konstant angesehen werden.

Beispiel: Längenänderung

Ein Stahlrohr hat bei 22 °C eine Länge von 6,8 m. Durch Sonneneinstrahlung erwärmt sich das Stahlrohr auf 52 °C.

a) Berechnung der Verlängerung Δl des Stahlrohres:

$$\begin{aligned} \Delta l &= l_0 \cdot \alpha_L \cdot \Delta \vartheta \\ \Delta l &= 6,8 \text{ m} \cdot 0,000012 \frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot 30 \text{ }^\circ\text{C} \\ \Delta l &= \underline{\underline{0,00245 \text{ m}}} \end{aligned}$$

b) Gesamtlänge l nach der Erwärmung auf 52 °C:

$$\begin{aligned} l &= l_0 + \Delta l \\ l &= \underline{\underline{6,80245 \text{ m}}} \end{aligned}$$

● **Volumenänderung**

Die Längenänderung hat aus den genannten Gründen auch eine Volumenänderung zur Folge. Diese Volumenänderung lässt sich mithilfe folgender Gleichung berechnen.

Formel: Volumenänderung Ω

$$\begin{aligned} \Delta V &= V_0 \cdot \alpha_V \cdot \Delta \vartheta \\ \Delta V &= V - V_0 \\ V &= V_0 \cdot (1 + \alpha_V \cdot \Delta \vartheta) \end{aligned} \quad (1.2)$$

- α_V Volumenausdehnungskoeffizient
- $\Delta \vartheta$ Temperaturdifferenz
- ΔV Volumenänderung
- V Volumen nach der Änderung
- V_0 Ausgangsvolumen

Zwischen dem Längenausdehnungskoeffizienten α_L und dem Volumenausdehnungskoeffizienten α_V besteht der in der folgenden Formel dargestellte Zusammenhang:

Formel: Volumenausdehnungskoeffizient Ω

$$\alpha_V = 3 \cdot \alpha_L \quad (1.3)$$

- α_L Längenausdehnungskoeffizient
- α_V Volumenausdehnungskoeffizient

Längen- bzw. Volumenänderungen spielen in der Technik eine große Rolle. Sie sind bspw. für Maß- und Formänderungen sowie für die Entstehung von Wärmespannungen verantwortlich.

In Bezug auf die Ausdehnung verhalten sich **Flüssigkeiten** bei Temperaturänderung prinzipiell genauso wie Festkörper. Da sie jedoch keine feste Gestalt haben, interessiert bei Flüssigkeiten nur der Volumenausdehnungskoeffizient α_V . Dieser ist im Vergleich zu den Festkörpern jedoch deutlich größer. Bei der Berechnung der Volumenausdehnung von Flüssigkeiten muss i. d. R. auch die Volumenausdehnung des umgebenden Gefäßes (Festkörper) berücksichtigt werden.

Alle **Gase** dehnen sich bei **konstantem Druck** je Grad Temperaturerhöhung um $\frac{1}{273,15} = 0,0037$ des Volumens aus, das sie bei 0 °C einnehmen. V_0 ist also immer das Volumen bei 0 °C.

Formel: Volumenänderung Gase Ω

$$\Delta V = V_0 \cdot 0,0037 \frac{1}{^\circ\text{C}} \cdot \Delta \vartheta \quad (1.4)$$

- $\Delta \vartheta$ Temperaturdifferenz
- ΔV Volumenänderung
- V_0 Ausgangsvolumen bei 0 °C

Im Unterschied zu Feststoffen oder Flüssigkeiten sind Gase jedoch kompressibel. Wenn man ein Gas erwärmt, ändern sich i. Allg. nicht nur die Temperatur und das Volumen, sondern es ändert sich auch der Druck. Im Folgenden sind die Zusammenhänge zwischen Druck, Temperatur und Volumen für **ideale Gase** dargelegt.



Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

Merke: Ideale Gase

Ideale Gase sind Stoffe, bei denen die Wechselwirkungen (Anziehungs- und Abstoßungskräfte) zwischen den Gasmolekülen vernachlässigbar klein sind.

Betrachtet man die Zustände Druck, Volumen und Temperatur von einem Gas vor und nach der Änderung eines Zustandes, so werden diese durch das **allgemeine Gasgesetz** beschrieben.

Formel: Allgemeines Gasgesetz

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \quad (1.5)$$

- p absoluter Druck des Gases
- T Temperatur des Gases
(Achtung: absolute Temperatur!)
- V Volumen des Gases

Hinweis: Allgemeines Gasgesetz

Das allgemeine Gasgesetz (1.5) können Sie folgendermaßen vereinfachen:

- für konstanten Druck ($p_1 = p_2$) – isobare Zustandsänderung: $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$, auch als Gesetz von Gay-Lussac bezeichnet
- für konstantes Volumen ($V_1 = V_2$) – isochore Zustandsänderung: $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$
- für konstante Temperatur ($T_1 = T_2$) – isotherme Zustandsänderung: ($p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$), auch als Gesetz von Boyle-Mariotte bezeichnet

Beispiel: Allgemeines Gasgesetz

Bei einer Temperatur von 18°C befinden sich in einem Pkw-Reifen 13,5l Luft bei einem Reifendruck von 2,15bar (Umgebungsdruck 1 bar). Durch Sonneneinstrahlung steigt die Temperatur des Reifens auf 35°C. Dabei vergrößert sich das Reifenvolumen um 1,7%.

Berechnung des Reifendruckes nach der Erwärmung:

$$\begin{aligned} \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} &= \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \\ p_2 &= \frac{p_1 \cdot V_1 \cdot T_2}{T_1 \cdot V_2} \\ p_2 &= \frac{3,15 \text{ bar} \cdot 13,5 \text{ l} \cdot 308,15 \text{ K}}{291,15 \text{ K} \cdot 13,5 \cdot 1,017 \text{ l}} \\ p_2 &= 3,28 \text{ bar} \\ p &= \underline{\underline{2,28 \text{ bar}}} \end{aligned}$$

Umrechnung der Temperaturen von Celsius nach Kelvin:

$$\begin{aligned} \{T\} &= \{\vartheta\} + 273,15 \\ \{T\} &= 18 + 273,15 \\ T &= 291,15 \text{ K} \\ \{T\} &= \{\vartheta\} + 273,15 \\ \{T\} &= 35 + 273,15 \\ T &= 308,15 \text{ K} \end{aligned}$$

Der absolute Druck im Reifen ist 3,15bar, da der Reifendruck als Überdruck angegeben wird. 2,28 bar ist der Überdruck im Reifen.

1.3.2 Kalorik (Wärmelehre)

Wird die Temperatur eines Stoffes erhöht, so muss für diese Zustandsänderung Energie zugeführt werden (s. Kapitel 2.1). Die physikalische Größe, die die Änderung des Energiegehalts eines Körpers bewirkt, nennt man **Wärme**. Sie erhält das Formelzeichen Q . Die Wärme (Wärmemenge) Q ist nichts anderes als die Energie E mit der Einheit Joule (J).

Durch die Energiezufuhr wird die **innere Energie** des Stoffes erhöht. Vereinfacht ausgedrückt bewirkt die Wärmezufuhr eine stärkere Schwingung (kinetische Energie) der Teilchen, aus denen sich der Stoff zusammensetzt (z. B. der Wassermoleküle beim Wasser). Wird umgekehrt ein Stoff abgekühlt, dann wird ihm Energie in Form von Wärme entzogen. Um die Temperatur eines Stoffes zu ändern, muss also Energie in Form von Wärme zu- bzw. abgeführt werden. Diese Wärmemenge (Q), auch als **sen-**



Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

sible Wärme bezeichnet, ist dabei proportional zur Masse (m) des Stoffes sowie zur Temperaturänderung $\Delta\vartheta$.

Formel: Wärme(menge) Ω

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\vartheta \quad (1.6)$$

- c spezifische Wärmekapazität
- $\Delta\vartheta$ Temperaturänderung des Stoffes
- Q Wärme (Energie)

(Statt $\Delta\vartheta$ ist auch ΔT möglich, da es sich hierbei um eine Temperaturdifferenz handelt, s. auch Kapitel 1.3.1)

Der Proportionalitätsfaktor c ist eine Materialkonstante und wird als **spezifische Wärmekapazität** bezeichnet. Die Einheit der spezifischen Wärmekapazität ist $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$ bzw. $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$ und gibt an, wie viel Kilojoule an Wärme (Energie) zu- oder abgeführt werden müssen, um die Temperatur von 1 kg eines Stoffes um 1°C bzw. 1 K zu verändern.

Beispiel: Wärmemenge Ω

450l Heizöl mit einer Temperatur von 5°C werden auf eine Temperatur von 22°C erwärmt. Bestimmung der erforderlichen Wärmemenge:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\vartheta$$

$$Q = 373,5 \text{ kg} \cdot 2,07 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 17^\circ\text{C}$$

$$Q = \underline{13.143,5 \text{ kJ}}$$

Die Masse des Heizöls wird in einer Nebenrechnung bestimmt:

$$1 \text{ l} = 1 \text{ dm}^3$$

$$m = \rho \cdot V$$

$$m = 0,83 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \cdot 450 \text{ dm}^3$$

$$m = 373,5 \text{ kg}$$

Hinweis: Wirkungsgrad Ω

Die Bereitstellung von Wärme (Energie) ist meistens mit Verlusten verbunden. Diese werden durch den Wirkungsgrad η berücksichtigt. Näheres dazu finden Sie in Kapitel 2.2.

Berühren sich zwei Stoffe unterschiedlicher Temperatur, so tauschen sie Wärme aus. Für die sog. **Mischungstemperatur** ϑ_m zweier Körper ergibt sich daher: Die Wärme, die der Körper höherer Temperatur abgibt, ist genauso groß wie die Wärme, die der kältere Körper aufnimmt.

$$Q_{ab} = Q_{auf}$$

$$Q_1 = Q_2$$

$$m_1 \cdot c_1 \cdot \Delta\vartheta_1 = m_2 \cdot c_2 \cdot \Delta\vartheta_2$$

$$m_1 \cdot c_1 \cdot (\vartheta_1 - \vartheta_m) = m_2 \cdot c_2 \cdot (\vartheta_m - \vartheta_2)$$

$$m_1 \cdot c_1 \cdot \vartheta_1 - m_1 \cdot c_1 \cdot \vartheta_m = m_2 \cdot c_2 \cdot \vartheta_m - m_2 \cdot c_2 \cdot \vartheta_2$$

$$m_1 \cdot c_1 \cdot \vartheta_1 + m_2 \cdot c_2 \cdot \vartheta_2 = m_2 \cdot c_2 \cdot \vartheta_m + m_1 \cdot c_1 \cdot \vartheta_m$$

$$m_1 \cdot c_1 \cdot \vartheta_1 + m_2 \cdot c_2 \cdot \vartheta_2 = \vartheta_m \cdot (m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2)$$

$$\vartheta_m = \frac{m_1 \cdot c_1 \cdot \vartheta_1 + m_2 \cdot c_2 \cdot \vartheta_2}{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2}$$

ϑ_m ist die Temperatur nach dem Wärmeaustausch, die Mischungstemperatur. Für sie gilt: $\vartheta_1 > \vartheta_m > \vartheta_2$.

Formel: Mischungstemperatur unter Vernachlässigung des Wirkungsgrades Ω

$$\vartheta_m = \frac{m_1 \cdot c_1 \cdot \vartheta_1 + m_2 \cdot c_2 \cdot \vartheta_2}{m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2} \quad (1.7)$$

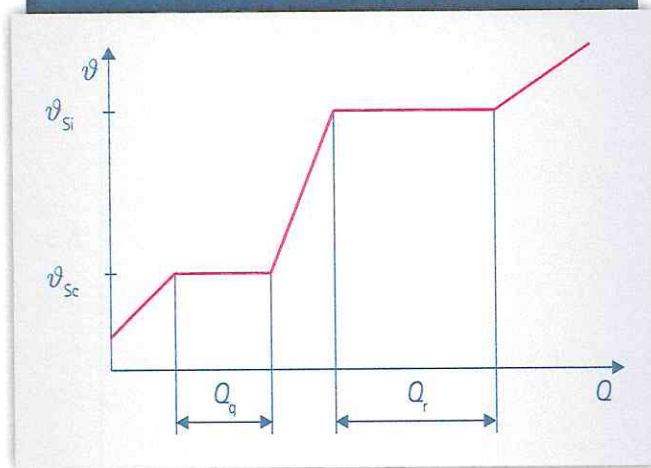
- c_1, c_2 spezifische Wärmekapazitäten der beteiligten Stoffe
- m_1, m_2 Massen der beteiligten Stoffe
- ϑ_1, ϑ_2 Ausgangstemperaturen der beteiligten Stoffe
- ϑ_m Mischungstemperatur

Wärmezufuhr bedeutet nicht immer, dass sich auch die Temperatur ändert. Betrachtet man bspw. ein Eis-Wasser-Gemisch, so bleibt trotz Wärmezufuhr die Temperatur so lange konstant (0°C), bis das gesamte Eis geschmolzen ist. Erst dann beobachtet man eine weitere Temperaturzunahme des Wassers. In analoger Weise bleibt auch die Temperatur von siedendem Wasser so lange konstant (100°C), bis das gesamte Wasser verdampft ist. Diese Beobachtungen zeigen, dass Wärme (Energie) nicht nur zum Erhöhen der Temperatur, sondern auch zum Schmelzen (**Schmelzwärme**) bzw. Verdampfen (**Verdampfungswärme**) benötigt wird. Diese wird beim Abkühlen wieder frei (abgeführt). In Abbildung 1.15 auf der folgenden Seite ist dies grafisch dargestellt.



Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

Abb. 1.15: Schmelz- und Verdampfungswärme



Schmelzwärme (Erstarrungswärme)

Die Energie, die während des Schmelzvorgangs einem Festkörper zugeführt wird, dient zur Änderung der inneren Ordnung der Moleküle oder Ionen sowie des Stoffvolumens. Mit Erreichen der Schmelztemperatur wird die Energie dieser Teilchen so groß, dass sie ihre Plätze im Festkörper verlassen, der Stoff schmilzt. Diese zum Schmelzen erforderliche Energie wird als Schmelzwärme bezeichnet.

Formel: Schmelzwärme



$$Q_q = m \cdot q \quad (1.8)$$

- m Masse des Körpers
- q spezifische Schmelzwärme
- Q_q Schmelzwärme (Erstarrungswärme)

Der **Proportionalitätsfaktor** q ist eine Materialkenngröße und wird als **spezifische Schmelzwärme** bezeichnet. Die Einheit der spezifischen Schmelzwärme ist bspw. J/kg oder kJ/kg und gibt an, wie viel J bzw. kJ an Wärme (Energie) zu- oder abgeführt werden, falls 1 kg des betrachteten Stoffes schmilzt bzw. erstarrt (kristallisiert).

Nach dem Prinzip der Energieerhaltung muss die beim Schmelzen zugeführte Energie (Schmelzwärme) beim Erstarren wieder frei werden. Die dabei frei werdende **Erstarrungswärme** ist betragsmäßig gleich groß wie die Schmelzwärme. Sie wird ebenfalls nach Gleichung 1.8 berechnet.

Verdampfungswärme (Kondensationswärme)

Während des Siedevorgangs einer Flüssigkeit bleibt ihre Temperatur trotz stetiger Wärmezufuhr konstant. Hieraus kann man schließen, dass auch zum Verdampfen Wärme (Energie) notwendig ist. Die während des Verdampfens einer Flüssigkeit zugeführte Energie (Wärmemenge) dient, neben der Vergrößerung des Volumens, insbesondere dazu, den Molekülen oder Ionen den Austritt aus der Flüssigkeitsoberfläche entgegen den in der Flüssigkeit herrschenden Anziehungskräften zu ermöglichen. Die zum Verdampfen erforderliche Energie wird als Verdampfungswärme bezeichnet. Beim Kondensieren wird diese als **Kondensationswärme** wieder frei.

Formel: Verdampfungswärme



$$Q_r = m \cdot r \quad (1.9)$$

- m Masse des Körpers
- Q_r Verdampfungswärme (Kondensationswärme)
- r spezifische Verdampfungswärme

Beispiel: Verdampfungswärme



Zum vollständigen Verdampfen von 4,5 l Wasser der Temperatur 20°C ist folgende Wärmemenge erforderlich:

$$Q = Q_1 + Q_r \quad V = 4,5 \text{ l} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} m = 4,5 \text{ kg}$$

$$Q_1 = m \cdot c \cdot \Delta\vartheta$$

$$Q_1 = 4,5 \text{ kg} \cdot 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 80 ^\circ\text{C}$$

$$Q_1 = 1.504,8 \text{ kJ}$$

$$Q_r = r \cdot m$$

$$Q_r = 2.260 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 4,5 \text{ kg}$$

$$Q_r = 10.170 \text{ kJ}$$

$$Q = \underline{\underline{11.674,8 \text{ kJ}}}$$

Dies bedeutet, dass alleine für das Verdampfen 87% der benötigten Energie aufzuwenden ist.



Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

Merke: Latente Wärme



Zum Ändern des Aggregatzustandes wird Wärme zugeführt bzw. abgegeben. Diese wird mitunter auch als latente Wärme bezeichnet. Dabei bleibt die Temperatur konstant (s. Abbildung 1.15 auf der vorherigen Seite).

Verbrennungswärme

Die Wärmequelle, die am häufigsten genutzt wird, ist die **Reaktionswärme**. Dies ist die Wärme, die bei einer chemischen Reaktion (meistens Verbrennung) frei wird. Jeder Brennstoff besitzt einen spezifischen **Heizwert**. Da die meisten Brennstoffe Feuchtigkeit enthalten, muss diese zunächst verdampft werden. Dazu wird zusätzliche Energie benötigt, die der eigentlichen Warmegewinnung nicht zur Verfügung steht. Unter dem **Brennwert** versteht man den Heizwert zuzüglich der Kondensationswärme des bei der Verbrennung entstehenden Wasserdampfes und der Abkühlungswärme des kondensierten Wassers auf 25 °C.

Formeln: Verbrennungswärme



für feste und flüssige Brennstoffe:

$$Q = m \cdot H_i \quad (1.10)$$

für gasförmige Brennstoffe:

$$Q = V \cdot H_i \quad (1.11)$$

- H_i spezifischer Heizwert
- m Masse der festen oder flüssigen Brennstoffe
- Q Verbrennungswärme
- V Volumen der gasförmigen Brennstoffe

Beispiel: Verbrennungswärme



Bei der Verbrennung von 100 l Heizöl steht folgende Verbrennungswärme für einen Wärmeprozess zur Verfügung:

$$Q = m \cdot H_i$$

$$Q = 83 \text{ kg} \cdot 43.000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q = \underline{\underline{3.569 \text{ MJ}}}$$

Die Masse des Heizöls wird in einer Nebenrechnung bestimmt:

$$m = \rho \cdot V$$

$$m = 0,83 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \cdot 100 \text{ dm}^3$$

$$m = 83 \text{ kg}$$

1.4 Bewegungs-, Antriebs- und Steuerungsvorgänge an Maschinen

1.4.1 Bewegungsvorgänge

Bewegungsvorgänge haben in der Technik eine große Bedeutung. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Einteilung der Bewegungsarten. Alle Bewegungsvorgänge werden durch **räumliche** und **zeitliche Kriterien** beschrieben.

Tab. 1.2: Bewegungsarten

räumliche Kriterien	geradlinig (Translation)	kreisförmig (Rotation)
zeitliche Kriterien	gleichförmig	gleichförmig
	ungleichförmig – gleichmäßig beschleunigt oder verzögert ohne Anfangs-/Endgeschwindigkeit – gleichmäßig beschleunigt oder verzögert mit Anfangs-/Endgeschwindigkeit	ungleichförmig

Hinweis: Bewegungsarten



Im Folgenden wird die kreisförmig ungleichförmige Bewegung nicht näher erläutert, da Sie dafür über tiefgreifendere mathematische Kenntnisse verfügen müssten, was an dieser Stelle zu weit führen würde.

Die Bewegungsmöglichkeiten eines Körpers sind oft durch konstruktive Gegebenheiten eingeschränkt. So be-



Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

schreibt z.B. die Fahrbahn des Werkzeugschlittens einer Drehmaschine lediglich eine **Translationsbewegung**, das Spannfutter einer Drehmaschine hingegen lediglich eine **Rotationsbewegung**. Große Bewegungsmöglichkeiten werden von Robotern gefordert.

Hinweis: Rechenbeispiele

Rechenbeispiele zu den im Folgenden hergeleiteten Formeln finden Sie in Kapitel 3.1.

Gleichförmig geradlinige Bewegung

Bei einer gleichförmig geradlinigen Bewegung legt ein Körper in gleichen Zeitintervallen gleiche Wegstrecken zurück – die Zunahme des Weges ist proportional zur Zunahme der Zeit. Dargestellt wird dies in dem **Weg-Zeit-Diagramm** (s. Abbildung 1.16).

Hinweis: Diagramme

Die zeichnerische Darstellung einer Bewegung in einem Diagramm ist für die Interpretation des Bewegungsablaufs hilfreich. Hierzu können Sie das Weg-Zeit-Diagramm (s - t -Diagramm), das Geschwindigkeits-Zeit-Diagramm (v - t -Diagramm) und das Beschleunigungs-Zeit-Diagramm (a - t -Diagramm) nutzen.

Abb. 1.16: s - t -Diagramm ($v_1 > v_2$)



Merke: Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeit ist der Quotient aus Wegzunahme und Zeitzunahme.

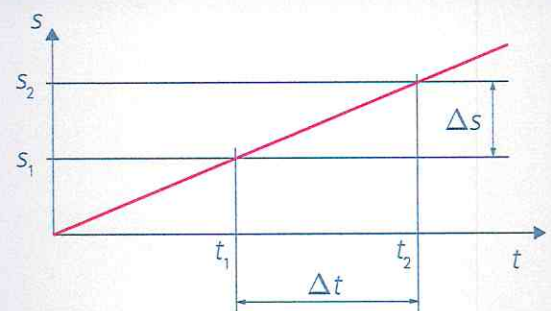
Formel: Geschwindigkeit



$$v = \frac{s}{t} \quad (1.12)$$

s zurückgelegter Weg
 t benötigte Zeit
 v Geschwindigkeit

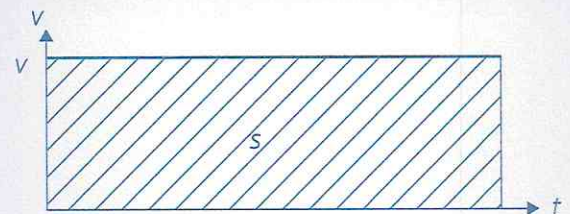
Abb. 1.17: Ermittlung der Geschwindigkeit v aus dem s - t -Diagramm



Aus dem Weg-Zeit-Diagramm ist zu erkennen, dass der Quotient aus dem zurückgelegten Weg (Wegzunahme Δs) und der dazugehörigen Zeit (Zeitzunahme Δt) konstant ist. Dieser Quotient, die Steigung des Graphen (der Geraden) des s - t -Diagramms, ist die Geschwindigkeit.

Die Fläche unter dem v - t -Diagramm (s. Abbildung 1.18) entspricht dem zurückgelegten Weg ($s = v \cdot t$).

Abb. 1.18: v - t -Diagramm der gleichförmigen Bewegung



Die abgeleitete Einheit der Geschwindigkeit ist Meter durch Sekunde (m/s). In der Praxis wird für die abgeleitete Einheit der Geschwindigkeit häufig km/h verwendet. Der Zusammenhang zwischen m/s und km/h kann einfach hergeleitet werden:



Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

$$1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{1}{\frac{1.000}{3.600} \frac{\text{km}}{\text{h}}} = \frac{3.600 \text{ km}}{1.000 \text{ h}} = 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Merke:
Umrechnung Geschwindigkeitseinheiten

$$1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 3,6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

$$1 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{1 \text{ m}}{3,6 \text{ s}} = 0,27 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Beispiel: Gleichförmige Bewegung

s-t-Diagramm einer gleichförmigen Bewegung in mehreren Zeitabschnitten:



v-t-Diagramm der einzelnen Zeitabschnitte:



Im 2. Zeitabschnitt des s-t-Diagramms ist die Steigung $0 \Rightarrow v = 0$.
Im 3. Zeitabschnitt des s-t-Diagramms ist die Steigung kleiner als im 1. Zeitabschnitt: $v_3 < v_1$.
Im 4. Zeitabschnitt hat der Graph eine negative Steigung $\Rightarrow v < 0 \Rightarrow$ der Körper bewegt sich rückwärts.

- Gleichmäßig beschleunigte (und verzögerte) geradlinige Bewegung
- Gleichmäßig beschleunigte Bewegung ohne Anfangsgeschwindigkeit und gleichmäßig verzögerte Bewegung bis zum Stillstand

Die gleichmäßig beschleunigte, geradlinige Bewegung ist der einfachste Fall einer ungleichförmigen Bewegung. Unter einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung versteht man einen Bewegungsvorgang, dessen Momentangeschwindigkeit sich linear (konstant) mit der Zeit ändert, d. h., in gleichen Zeitabschnitten nimmt die Geschwindigkeit um den gleichen Betrag zu. Geschwindigkeit und Zeit sind also proportional zueinander ($v \sim t$).

Merke: Beschleunigung

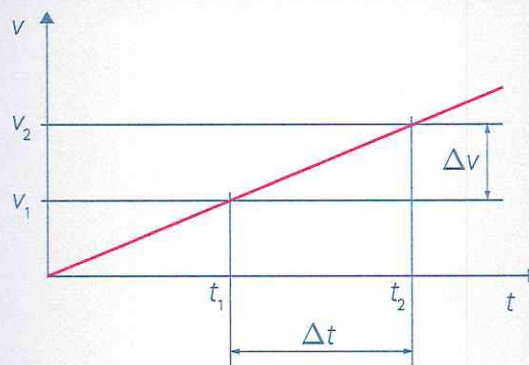
Die Beschleunigung ist der Quotient aus Geschwindigkeitszunahme und Zeitzunahme.

Formel: Beschleunigung Ω

$$a = \frac{v}{t} \quad (1.13)$$

a Beschleunigung in $\frac{\text{m}}{\text{s}}$
 t Zeit
 v Geschwindigkeit

Abb. 1.19: Gleichmäßig beschleunigte Bewegung: v-t-Diagramm, $v_0 = 0$ (aus der Ruhe)



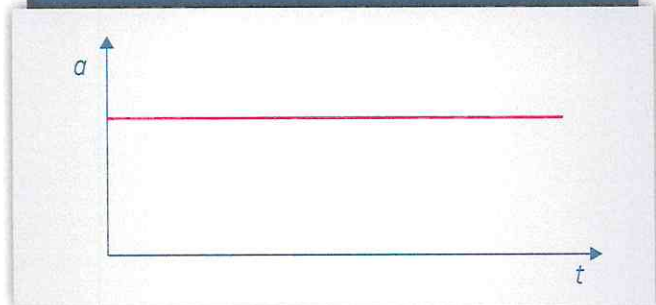
Aus Abbildung 1.19 ist zu erkennen, dass der Quotient aus der Geschwindigkeitszunahme Δv und der dazugehörigen Zeit (Zeitzunahme Δt) konstant (gleichmäßig) ist. Dieser



Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

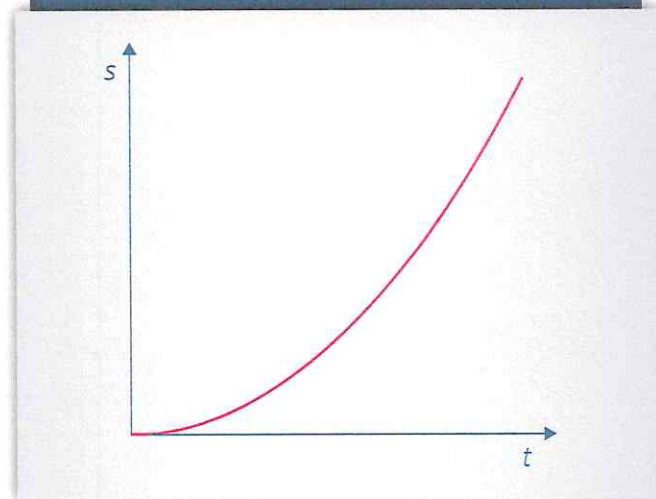
Quotient, die Steigung des Graphen (der Geraden) des v - t -Diagramms, ist die Beschleunigung.

Abb. 1.20: Gleichmäßig beschleunigte Bewegung:
 a - t -Diagramm, $v_0 = 0$ (aus der Ruhe)



Der Graph des s - t -Diagramms der gleichmäßig beschleunigten Bewegung ist eine Parabel.

Abb. 1.21: Gleichmäßig beschleunigte Bewegung:
 s - t -Diagramm, $v_0 = 0$ (aus der Ruhe)



Exkurs: Beschleunigung aus der Ruhe



Ein Fahrradprofi beschleunigt mit etwa $a = 2 \text{ m/s}^2$. Die Beschleunigung $a = 2 \text{ m/s}^2$ bedeutet, dass die Geschwindigkeit des Radfahrers in jeder Sekunde um 2 m/s zunimmt. Erfolgt die Bewegung aus der Ruhe heraus, dann befindet sich zum Zeitpunkt $t = 0$ der Fahrer in Ruhe ($v = 0$). Nach einer Sekunde beträgt seine Geschwindigkeit $v = 2 \text{ m/s}$, nach zwei Sekunden $v = 4 \text{ m/s}$ usw.

Analog zu Abbildung 1.18 entspricht die Fläche unter dem v - t -Diagramm in Abbildung 1.22 (eine Dreiecksfläche) dem zurückgelegten Weg einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung:

$$s = \frac{v \cdot t}{2} = \frac{1}{2} \cdot v \cdot t$$

Daraus lässt sich Folgendes herleiten:

$$1. \quad s = \frac{1}{2} \cdot v \cdot t$$

$$2. \quad a = \frac{v}{t} \rightarrow v = a \cdot t \text{ eingesetzt in 1.}$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

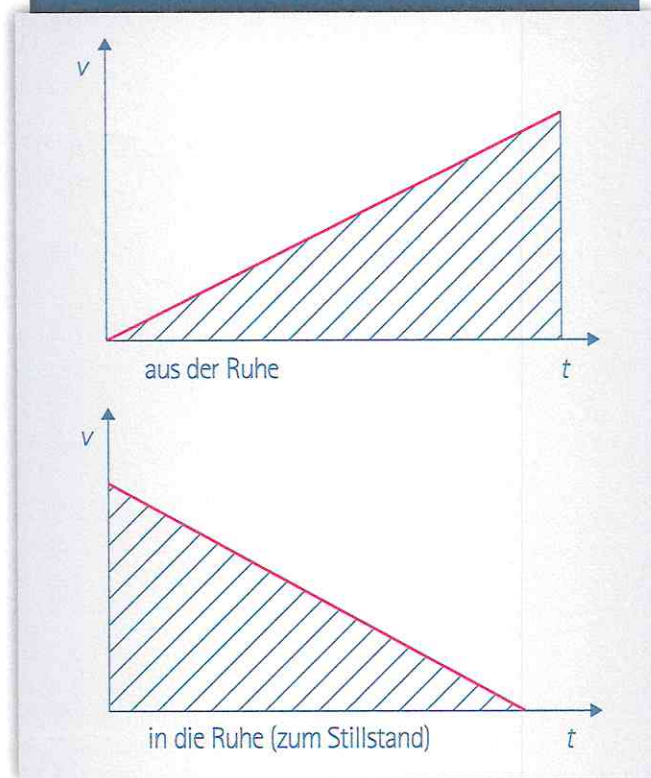
bzw.

$$1. \quad s = \frac{1}{2} \cdot v \cdot t$$

$$2. \quad a = \frac{v}{t} \rightarrow t = \frac{v}{a} \text{ eingesetzt in 1.}$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot \frac{v^2}{a}$$

Abb. 1.22: Gleichmäßig beschleunigte und verzögerte Bewegung, Darstellung des Weges





Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

Formeln: Gleichmäßig beschleunigte und verzögerte Bewegung aus der Ruhe oder zum Stillstand



$$s = \frac{1}{2} \cdot v \cdot t \quad (1.14)$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \quad (1.15)$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot \frac{v^2}{a} \quad (1.16)$$

a Beschleunigung
s Weg
t Zeit
v Geschwindigkeit

Die Formeln 1.13 bis 1.16 gelten auch für die gleichmäßig verzögerte Bewegung und $v_e = 0$.

Freier Fall

Eine besondere Form der gleichmäßig beschleunigten geradlinigen Bewegung stellt der freie Fall dar. Beim freien Fall wirkt auf den Körper nur die Erdanziehung. Die Beschleunigung nimmt einen bestimmten Wert an: $a = g = 9,81 \text{ m/s}^2$ mit $g = \text{Fallbeschleunigung}$ (engl.: gravity). Man erhält sinngemäß folgende Formeln für das Geschwindigkeit-Zeit- und für das Weg-Zeit-Gesetz:

Formeln: Freier Fall



$$v = g \cdot t \quad (1.17)$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \quad (1.18)$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot \frac{v^2}{g} \quad (1.19)$$

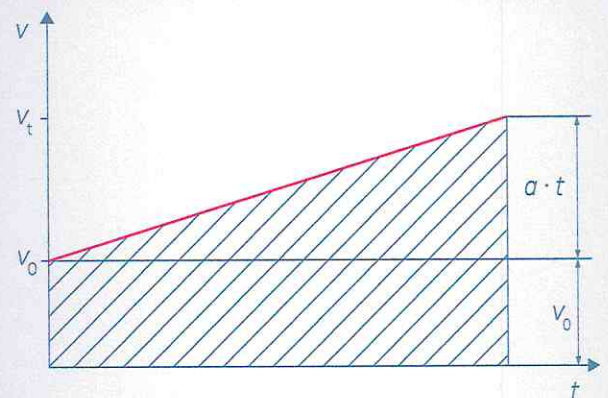
g Erdbeschleunigung mit $9,81 \text{ m/s}^2$
s Weg
t Zeit
v Geschwindigkeit

Die Fallbeschleunigung ist eine vom Ort abhängige, dort aber konstante Größe. An sog. Normorten, z.B. in Zürich, beträgt die **Normalfallbeschleunigung** $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$ oder aufgerundet $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

Gleichförmig beschleunigte geradlinige Bewegung mit Anfangsgeschwindigkeit

Erfolgt eine gleichmäßig beschleunigte Bewegung nicht aus der Ruhe heraus, sondern hat der Körper zu Beginn der Beobachtung bereits eine Anfangsgeschwindigkeit v_0 , dann erhält man die Gesamtbewegung als Überlagerung einer gleichförmigen Bewegung mit einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung, wie die Abbildung 1.23 zeigt.

Abb. 1.23: Gleichmäßig beschleunigte Bewegung mit Anfangsgeschwindigkeit



$$1. \quad v_t = v_0 + a \cdot t$$

Die den Weg kennzeichnende Fläche ist ein Trapez:

$$2. \quad s = \frac{1}{2} \cdot (v_t + v_0) \cdot t$$

Wird die Trapezfläche in ein Rechteck und ein Dreieck zerlegt, ergibt sich:

$$3. \quad s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot (v_t - v_0) \cdot t$$

$$s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot v_t \cdot t - \frac{1}{2} \cdot v_0 \cdot t$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot v_t \cdot t$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot (v_t + v_0) \cdot t$$

bzw.

mit $a = \frac{(v_t - v_0)}{t} \rightarrow (v_t - v_0) = a \cdot t$ eingesetzt in 3.

$$4. \quad s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$



Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

Formeln: Beschleunigte geradlinige Bewegung mit Anfangsgeschwindigkeit Ω

$$v_t = v_0 + a \cdot t \quad (1.20)$$

$$s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \quad (1.21)$$

Verzögert geradlinige Bewegung mit Anfangsgeschwindigkeit:

$$v_t = v_0 - a \cdot t \quad (1.22)$$

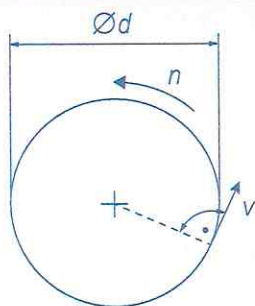
$$s = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \quad (1.23)$$

- a Beschleunigung
- s Weg
- t Zeit
- v_0 Anfangsgeschwindigkeit
- v_t Endgeschwindigkeit

Gleichförmige Kreisbewegung

Von einer gleichförmigen Kreisbewegung spricht man, sofern sich ein Körper auf einer Kreisbahn vom Radius r bewegt und dabei in gleichen Zeitintervallen den gleichen Weg auf dem Kreisumfang zurücklegt. Hierbei bleibt die Umfangsgeschwindigkeit (Betrag der Geschwindigkeit) v konstant. Die gleichförmige Kreisbewegung ist auch eine periodische Bewegung.

Abb. 1.24: Gleichmäßige Kreisbewegung



Bei einer Umdrehung auf einer Kreisbahn legt ein Punkt die Strecke $s = \pi \cdot d$ zurück. Bei N Umdrehungen ist dann der zurückgelegte Weg $s = \pi \cdot d \cdot N$, und mit der dazu benötigten Zeit t ergibt sich die **Umfangsgeschwindigkeit**:

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot N}{t}$$

Den Quotienten $\frac{N}{t}$ bezeichnet man als **Drehfrequenz** (Formelzeichen n). Mit $n = \frac{N}{t}$ ergibt sich die Umfangsgeschwindigkeit zu $v = \pi \cdot d \cdot n = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot n$.

Formel: Umfangs- oder Bahngeschwindigkeit Ω

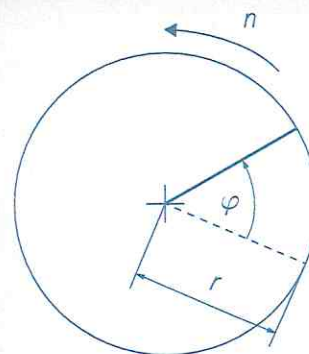
$$v = \pi \cdot d \cdot n \quad (1.24)$$

- d Durchmesser
- n Drehfrequenz, Drehzahl
- v Umfangsgeschwindigkeit

Drehfrequenz: Einheit $\frac{1}{s}$, Drehzahl: Einheit $\frac{1}{\text{min}}$

Bewegt sich ein Körper auf einer Kreisbahn, so überstreicht der Radius in der Zeit einen Winkel.

Abb. 1.25: Drehwinkel der Winkelgeschwindigkeit



Die Änderung des Winkels φ in der Zeit t wird als **Winkelgeschwindigkeit** bezeichnet: $\omega = \frac{\varphi}{t}$

Da in der Umlaufzeit T (Zeit für eine Umdrehung) der Winkel 2π ($\triangleq 360^\circ$) überstrichen wird, gilt für die Winkelgeschwindigkeit Folgendes:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} = 2 \cdot \pi \cdot n$$

Die Winkelgeschwindigkeit ω , auch als **Kreisfrequenz** bezeichnet, ist unabhängig vom Radius. Sie hat in der Schwingungslehre und der Elektrotechnik eine große Bedeutung.

Formel: Winkelgeschwindigkeit Ω

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n \quad (1.25)$$

- n Drehfrequenz in $\frac{1}{s}$
- ω Winkelgeschwindigkeit (Kreisfrequenz) in $\frac{1}{s}$



Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

1.4.2 Hydraulik und Pneumatik

Zur Kraftübertragung (Energieübertragung) verwendet man in der Hydraulik Flüssigkeiten, in der Pneumatik verwendet man dafür Luft.

Kraft

Kräfte kann man nur an ihrer Wirkung erkennen. Die Wirkung einer Kraft ist abhängig von der Richtung, der Größe (Betrag) und dem Angriffspunkt der Kraft. Dabei unterscheidet man die **beschleunigte Wirkung** und die **verformende Wirkung** der Kraft.

Merke: Kraftwirkung



Bei den Kraftwirkungen unterscheidet man die beschleunigte und die verformende Wirkung auf einen Körper.

Das zweite Newton'sche Axiom besagt Folgendes: Wirkt auf einen Körper eine Kraft F , so wird er in Richtung der Kraft beschleunigt. Die Beschleunigung a ist der Kraft F direkt proportional, der Masse m des Körpers umgekehrt proportional.

Formel: Kraft



$$F = m \cdot a \quad (1.26)$$

a Beschleunigung
 F Kraft
 m Masse

Mithilfe der Formel 1.26 ergibt sich damit für die Gewichtskraft (Schwerkraft, Gewicht) folgende Formel:

Formel: Gewichtskraft



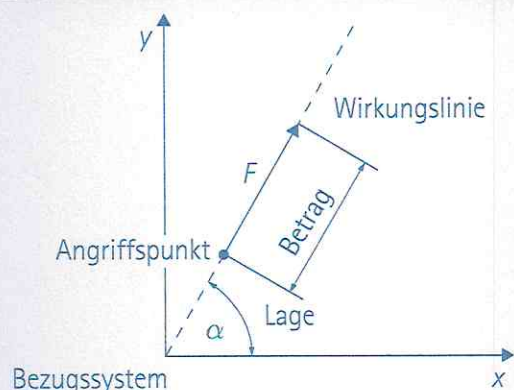
$$F_G = m \cdot g \quad (1.27)$$

F_G Gewichtskraft
 g Erdbeschleunigung
 m Masse

Eine Kraft hat eine **Richtung** und einen **Betrag**, sie ist also eine **vektorielle Größe**. Sie lässt sich durch Pfeile („Kraftpfeil“) darstellen. Die Richtung der Kraft wird durch die Pfeilrichtung und ihr Betrag wird durch die Länge des Pfeils (Vektors) dargestellt (Kräftemaßstab) (s. Abbildung

1.26). Kräfte lassen sich auf ihrer Wirkungslinie verschieben (Zusammensetzung und Zerlegung von Kräften s. Kapitel 3.2.1).

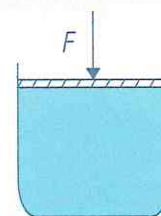
Abb. 1.26: Kräfterdarstellung



Druck (Flächendruck)

Flüssigkeiten und Gase werden als **Fluide** bezeichnet. Die Form der Fluide lässt sich durch relativ kleine Kräfte verändern. Sie nehmen die Form des sie umschließenden Gefäßes ein. Flüssigkeiten sind **inkompressibel**, d.h., sie lassen sich nicht zusammendrücken. Will man auf eine Flüssigkeit eine Kraft ausüben, so muss man die ganze Flüssigkeitsoberfläche erfassen, die „Kraft wirkt pro Fläche“.

Abb. 1.27: Druck



Formel: Druck



$$p = \frac{F}{A} \quad (1.28)$$

A Fläche
 F Kraft
 p Druck



Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

Merke: Einheit des Druckes



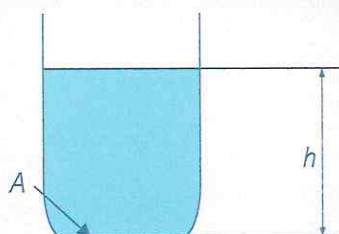
$$1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1 \text{ Pa}$$

$$10 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} = 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 0,1 \text{ MPa}$$

Hydrostatischer Druck

In einer Flüssigkeit nimmt der Druck mit der Tiefe zu. Man bezeichnet diesen von der Gewichtskraft der Flüssigkeit verursachten Druck als **hydrostatischen Druck** (Schweredruck, Tiefendruck, s. Abbildung 1.28).

Abb. 1.28: Hydrostatischer Druck



$$p = \frac{F}{A} = \frac{F_G}{A}$$

$$p = \frac{\rho \cdot A \cdot h \cdot g}{A}$$

$$p = \rho \cdot h \cdot g$$

Für F_G gilt:

$$F_G = m \cdot g$$

$$F_G = \rho \cdot V \cdot g$$

$$F_G = \rho \cdot A \cdot h \cdot g$$

Formel: Hydrostatischer Druck



$$p = \rho \cdot h \cdot g \quad (1.29)$$

- g Erdbeschleunigung
- h Flüssigkeitshöhe
- p Druck
- ρ Dichte

Beispiel: Hydrostatischer Druck



Am Boden eines Wasserbehälters wird ein Druck von 0,1 bar erzeugt. Bestimmung der Höhe des Wasserstandes (der Einfachheit halber wird hier mit $g = 10 \text{ m/s}^2$ gerechnet):

$$p = \rho \cdot h \cdot g$$

$$h = \frac{p}{\rho_w \cdot g}$$

$$h = \frac{0,1 \text{ bar}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h = \frac{1 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}}{0,001 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h = 100 \text{ cm} = \underline{1 \text{ m}}$$

$$1 \text{ bar} = 10 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

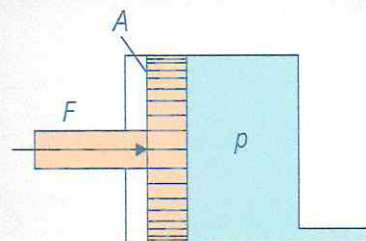
$$\Rightarrow 0,1 \text{ bar} = 1 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$

Grob gesagt vergrößert sich der Wasserdruck je 10 m Wassertiefe um 1 bar.

Kolbenkraft

Dadurch, dass sich Flüssigkeiten nicht zusammendrücken lassen, breitet sich der Druck in Flüssigkeiten nach allen Richtungen in gleicher Größe aus.

Abb. 1.29: Kolbenkraft



Formel: Kolbenkraft



$$F = p \cdot A \quad (1.30)$$

- A Fläche
- F Kraft
- p Druck

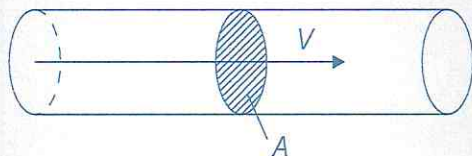
Volumenstrom

Betrachtet wird im Folgenden das Strömen einer Flüssigkeit in einer Rohrleitung bzw. einem Zylinder. Das Volumen einer Flüssigkeit, das in einer bestimmten Zeit durch die Rohrleitung fließt, bezeichnet man als Volumenstrom (s. Abbildung 1.30 auf der folgenden Seite).



Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

Abb. 1.30: Volumenstrom



Formel: Volumenstrom



$$Q = \dot{V} = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{A \cdot s}{t} \quad (1.31)$$

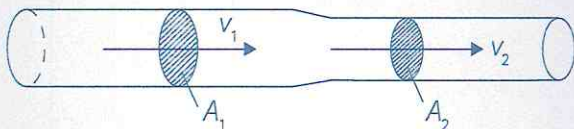
mit $\frac{s}{t} = v$

$$Q = \dot{V} = A \cdot v$$

- A Fläche
- t Zeit
- Q, \dot{V} Volumenstrom
- V Volumen
- v Strömungsgeschwindigkeit

Die **Kontinuitätsgleichung** besagt: Der Volumenstrom ist in einer geschlossenen Rohrleitung immer konstant. Ändert sich der Querschnitt der Rohrleitung, so muss sich auch die Strömungsgeschwindigkeit ändern. Mit $Q_1 = Q_2$ folgt aus Gleichung 1.31 die Formel 1.32 (s. Abbildung 1.31).

Abb. 1.31: Kontinuitätsgleichung



Formel: Kontinuitätsgleichung



$$v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2 \quad (1.32)$$

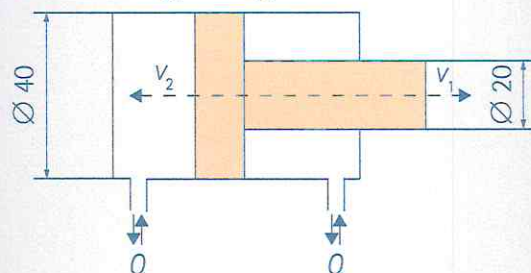
Bei Hydraulikzylindern wird der Strömungsquerschnitt durch einen Kolben abgeschlossen. Die Kolbengeschwindigkeit entspricht somit der Strömungsgeschwindigkeit der Flüssigkeit.

Beispiel: Kontinuitätsgleichung



Dem Hydraulikzylinder einer Spannvorrichtung wird ein Volumenstrom von 2 l/min zugeführt. Der Zylinderdurchmesser beträgt 40 mm und der Durchmesser der Kolbenstange 20 mm. Für die zu bewegenden Produktionsteile (in dm/min) ist die Geschwindigkeit von Bedeutung, mit der der Zylinder aus- bzw. einfährt.

Berechnung von v_{ein} und v_{aus} :



$$Q = A_1 \cdot v_1 \rightarrow v_1 = \frac{Q}{A_1}$$

$$v_1 = \frac{2 \frac{\text{dm}^3}{\text{min}}}{0,126 \text{ dm}^2}$$

$$v_1 = 15,9 \frac{\text{dm}}{\text{min}} = v_{\text{aus}}$$

$$v_2 = \frac{2 \frac{\text{dm}^3}{\text{min}}}{0,0942 \text{ dm}^2}$$

$$v_2 = 21,23 \frac{\text{dm}}{\text{min}} = v_{\text{ein}}$$

Ermittlung der Flächen in einer Nebenrechnung:

$$A_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4}$$

$$A_1 = \frac{\pi \cdot (0,4 \text{ dm})^2}{4}$$

$$A_1 = 0,126 \text{ dm}^2$$

$$A_2 = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4}$$

$$A_2 = \frac{\pi \cdot (d_1^2 - d_2^2)}{4}$$

$$A_2 = \frac{\pi \cdot [(0,4 \text{ dm})^2 - (0,2 \text{ dm})^2]}{4} = 0,0942 \text{ dm}^2$$



Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

Luftverbrauch

Bei pneumatischen Anlagen wird zur Kraftübertragung statt der Flüssigkeit ein kompressibles Gas, i.d.R. Druckluft, verwendet. Meistens handelt es sich um **offene Systeme**, d.h., das Arbeitsmedium strömt nach Abgabe der Druckenergie in die Atmosphäre.

Gase verändern ihr Volumen unter Einwirkung einer Kraft. Sie sind kompressibel. Die **Normalbedingungen** von Gasen sind folgendermaßen definiert: 0 °C und 1.013,25 mbar (meist jedoch 1 bar).

Überdruck bei pneumatischen Anlagen

Der für den Arbeitsprozess verwertbare Druck (Überdruck, Arbeitsdruck) ergibt sich aus der Differenz von absolutem Druck und dem Umgebungsdruck, d.h. dem Luftdruck der Atmosphäre.

Formel: Überdruck



$$p_e = p_{abs} - p_{amb} \quad (1.33)$$

- p_{abs} absoluter Druck
- p_{amb} Umgebungsdruck
- p_e Überdruck

Im luft- bzw. gasfreien Raum (Vakuum) ist der Umgebungsdruck null. Bei pneumatischen Anlagen ist i.d.R. der absolute Druck größer als der Umgebungsdruck, d.h., p_e ist positiv und somit herrscht ein Überdruck. Es kann jedoch auch der Umgebungsdruck für den Arbeitsprozess genutzt werden. Der absolute Druck ist dann geringer als der Umgebungsdruck. Dann nimmt p_e einen negativen Wert an.

Bei Luftdruckzylindern findet ein Luftverbrauch statt (offenes System), der vom Betriebsdruck, der Konstruktion des Zylinders und der Hubfrequenz (Geschwindigkeit v) des Kolbens abhängig ist. Wenn die Luft wieder ausströmt, nimmt sie den normalen Luftdruck ($p_{amb} = 1 \text{ bar}$) an. Der Kolbenstangendurchmesser bleibt aus Vereinfachungsgründen unberücksichtigt.

Abb. 1.32: Einfachwirkender Zylinder

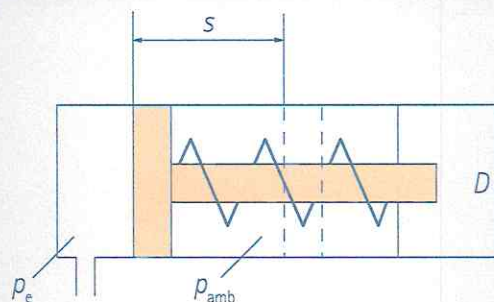
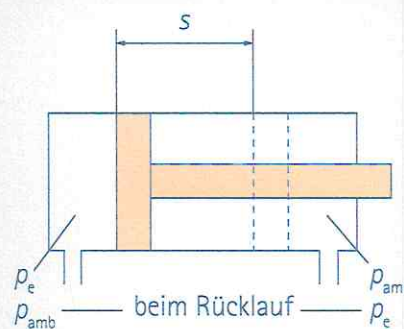


Abb. 1.33: Doppeltwirkender Zylinder



Formeln: Luftverbrauch



einfachwirkender Zylinder:

$$Q = A \cdot s \cdot n \cdot \frac{(p_e + p_{amb})}{p_{amb}} \quad (1.34)$$

doppeltwirkender Zylinder:

$$Q = 2 \cdot A \cdot s \cdot n \cdot \frac{(p_e + p_{amb})}{p_{amb}} \quad (1.35)$$

- A Kolbenfläche
- n Hubzahl
- p_{amb} Umgebungsdruck
- p_e Arbeitsdruck
- Q Luftverbrauch
- s Kolbenhub



1.5 Elektrotechnische Steuerungen in Arbeitsprozessen

1.5.1 Grundgrößen des elektrischen Stromkreises

Elektrische Energie bietet den Vorteil, dass sie in metallischen Leitern über große Entfernungen mit relativ geringen Verlusten weitergeleitet und verteilt werden kann. Des Weiteren kann elektrische Energie mit einem vergleichsweise hohen Wirkungsgrad in andere Energieformen umgewandelt werden.

Elektrische Ladung

Wird ein Glas- oder Kunststoffstab mit einem Tuch gerieben, so werden leichte Gegenstände wie Haare, Federn oder Papierschnitzel vom Glasstab angezogen. Dieses Phänomen erkannten bereits die Griechen beim Reiben von Bernstein (altgriechisch: *élektron*). Durch das Reiben werden dem Gegenstand je nach Werkstoffpaar Elektronen zugeführt oder entzogen (s. hierzu auch Abbildung 1.5 bzw. Abbildung 1.7 in Kapitel 1.1.1). Es entsteht eine elektrische Ladung Q . Die Einheit der elektrischen Ladung ist: Ampere · Sekunde = Coulomb (C).

Merke: Negative und positive Ladung

Werden Elektronen zugeführt, so kommt es zum Elektronenüberschuss, also zu einer negativen Ladung. Eine positive Ladung dagegen liegt bei einem Elektronenmangel vor.

Elektrische Spannung

Positive und negative Ladungen können unter Energieaufwendung voneinander getrennt werden. Die Ladungen versuchen sich jedoch wieder auszugleichen.

Merke: Elektrische Spannung

Das Ausgleichbestreben getrennter Ladungen (zwischen Elektronenüberschuss und Elektronenmangel) bezeichnet man als Spannung.
Formelzeichen: U
Einheit: V (Volt)

Zur **Ladungstrennung**, zur Spannungserzeugung nutzt man in der Technik verschiedene Verfahren:

– **Druck oder Zug in Kristallen (Piezokristall)**: z. B. im Feuerzeug

Bei der Verformung von Kristallgittern durch äußere Kräfte sind die Ladungen innerhalb der Gitterstruktur nicht mehr gleichmäßig verteilt.

– **Licht**: z. B. Solarzelle (Photovoltaik)

In einem Halbleiter entstehen unter Einwirkung von Licht (Strahlungsenergie) freie Ladungsträger. Es kommt somit zu einer Elektronenbewegung, was zu einer Spannungserzeugung führt.

– **chemische Vorgänge**: z. B. Batterie

In einem galvanischen Element (s. auch Abbildung 1.10 in Kapitel 1.2.2) entsteht durch chemische Vorgänge eine Spannung.

– **bewegte Magnete in Spulen**: z. B. Fahrraddynamo, Generator im Kraftwerk

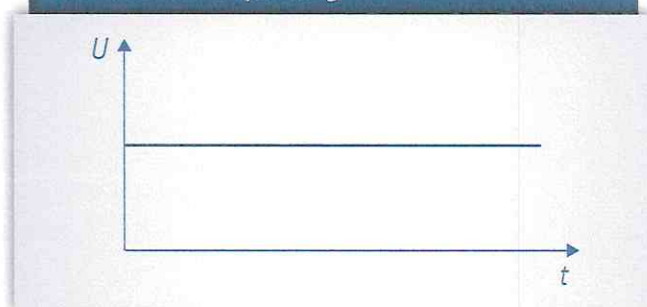
Bewegt sich ein metallischer Leiter in einem Magnetfeld, dann wird im Leiter eine Spannung induziert.

– **Wärme**: Thermoelement

Beim Thermoelement sind zwei unterschiedliche Metalle an einer Stelle fest miteinander verbunden. Bei einer Erwärmung dieser Verbindungsstelle kommt es zu einer Elektronenwanderung von der höheren zur tieferen Temperatur. Da die Elektronenwanderung in den verschiedenen Metallen unterschiedlich stark ist, wird eine Spannung erzeugt.

Man unterscheidet Gleich-, Wechsel- und Mischspannung (s. folgende Abbildungen 1.34 bis 1.36). Eine **Gleichspannung** hat zu jedem Zeitpunkt das gleiche Vorzeichen. Der Betrag (die Größe) muss dabei nicht gleich sein, z. B. bei einer Gleichrichtung. Beispiele: Batterie, Solarzelle, Thermoelement.

Abb. 1.34: Gleichspannung

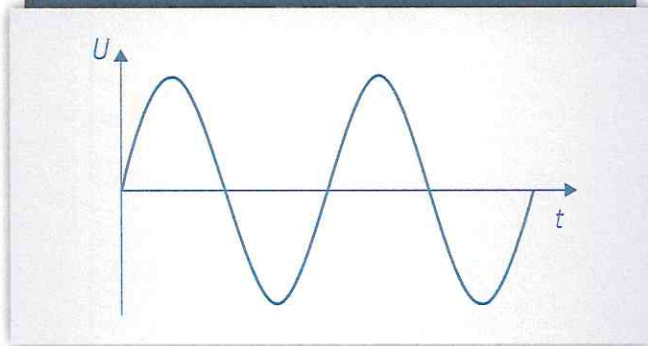




Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

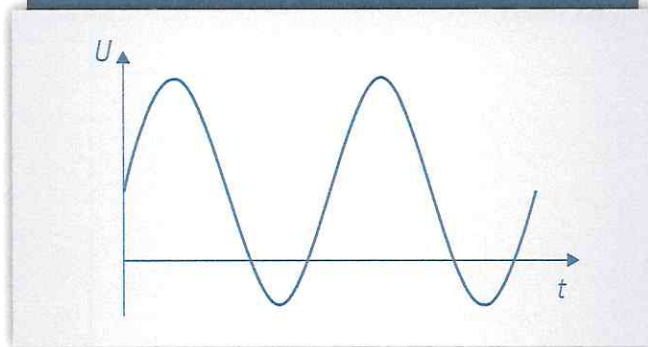
Die Polarität einer **Wechselspannung** wechselt periodisch, der zeitliche Mittelwert ist null. Die positive Fläche ist gleich der negativen Fläche, die von der (hier) sinusförmigen Kurve umschrieben wird. Beispiel: Netzspannung.

Abb. 1.35: Wechselspannung



Eine **Mischspannung** setzt sich z. B. aus einer Gleich- und Wechselspannung zusammen. So enthalten z. B. gleichgerichtete Wechselspannungen einen Gleich- und einen Wechselspannungsanteil.

Abb. 1.36: Mischspannung



3DQR: Elektrische Spannung

Code scannen bzw. anklicken und mehr erfahren.

Elektrischer Strom

Werden zwei unterschiedlich geladene Pole mit einem metallischen Leiter verbunden, so fließen die überschüssigen Elektronen des negativen Pols zum Pluspol, wo ein

Elektronenmangel vorherrscht. Als Leiter können neben Metallen (Elektronenstrom) auch Elektrolyte (Ionenstrom) dienen.

Merke: Elektrischer Strom, Stromstärke



Der **elektrische Strom** ist die gerichtete Bewegung elektrischer Ladungsträger. Die elektrische **Stromstärke** ist die Ladungsmenge, die in einer bestimmten Zeiteinheit durch den Leiterquerschnitt fließt.
Formelzeichen: I
Einheit: A (Ampere)

Formel: Elektrischer Strom



$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.36)$$

- I Stromstärke
- Q Ladungsmenge
- t Zeit

Da der elektrische Strom die Folge einer Spannung ist, entspricht die zeitliche Darstellung der Stromarten den Spannungsarten (s. Abbildung 1.34 auf der vorherigen und Abbildungen 1.35, 1.36 auf dieser Seite).

Elektrischer Widerstand

Bewegen sich die Ladungsträger durch einen Leiter (Metall, Elektrolyt), so setzt der Leiterwerkstoff den Ladungsträgern einen Widerstand entgegen.

Merke: Elektrischer Widerstand



Der elektrische Strom wird durch den Leiterwerkstoff behindert, er bildet einen Widerstand.
Formelzeichen: R
Einheit: Ω (Ohm)

Der Widerstand eines Leiters (Leiterwiderstand) ist nicht nur vom Leiterwerkstoff abhängig. Je länger der Leiter ist, desto größer ist der Widerstand. Je größer der Leiterquerschnitt ist, umso leichter fällt es den Ladungsträgern hindurchzuströmen, d. h., der Widerstand wird kleiner. Unter Vernachlässigung des Wärmeeinflusses gilt für den **Leiterwiderstand** folgende Formel:



Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

Formel: Leiterwiderstand



$$R_L = \frac{\rho \cdot L}{A} = \frac{L}{\gamma \cdot A} \quad (1.37)$$

- A Leiterquerschnitt in mm²
- γ Leitfähigkeit in $\frac{m}{\Omega \cdot mm^2}$
- L Leiterlänge in m
- ρ spez. Widerstand in $\frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$
- R_L Leiterwiderstand in Ω

Der Widerstand eines metallischen Leiters ist auch von der Temperatur abhängig. Nimmt der Widerstand zu, wenn die Temperatur erhöht wird, spricht man von **Kaltleitern (PTC)**, im umgekehrten Fall von **Heißleitern (NTC)**. NTCs werden u. a. als Temperaturfühler verwendet.

Heißleiterkennlinie:

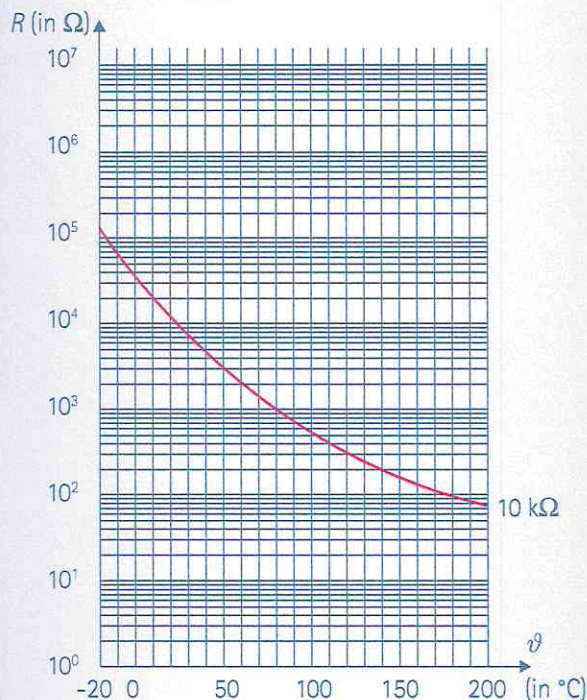
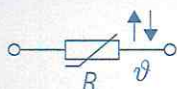
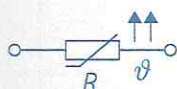


Abb. 1.37: Schaltsymbole eines NTC und PTC



NTC, z. B. für Temperaturfühler (fremderwärmt), Einschaltstrombegrenzung (eigenerwärmt)



PTC, Metalle haben die Eigenschaften eines PTC, z. B. Überlastungsschutz, Stromregelung

3DQR: Heißleiter



Code scannen bzw. anklicken und mehr erfahren.

Beispiel: Heißleiter



Die Widerstandswerte eines NTC (Nennwert 10 k Ω) bei 100°C und bei 25°C sind der Kennlinie zu entnehmen.

Widerstandswert R bei 110°C: $R = 400 \Omega$

Widerstandswert R bei 25°C: $R = 10.000 \Omega$

Hinweis: Messwiderstände



Für Messwiderstände kommt vielfach Konstantan zur Anwendung, weil – das sollten Sie wissen – der spezifische Widerstand dieser Legierung von der Temperatur unabhängig ist. Auch für Heizwiderstände wird Konstantan verwendet.



Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

Ohm'sches Gesetz

Merke: Ohm'sches Gesetz



Die Stromstärke verhält sich proportional zur Spannung und umgekehrt proportional zum Widerstandswert.

Formel: Ohm'sches Gesetz

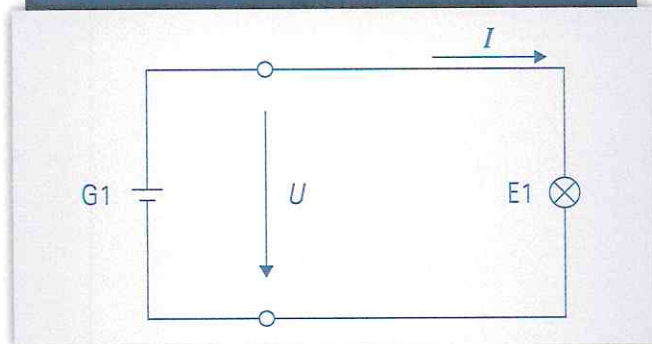


$$I = \frac{U}{R} \quad (1.38)$$

I Stromstärke
R Widerstand
U Spannung

In Abbildung 1.38 ist ein geschlossener Stromkreis mit Batterie (G1, galvanische Zelle) und Verbraucher (E1, Glühlampe) dargestellt. Außerhalb der Spannungsquelle fließt der Strom vom Pluspol zum Minuspol (technische Stromrichtung). Der Spannungspfeil zeigt vom Pluspol zum Minuspol; dies ist hier die Klemmenspannung.

Abb. 1.38: Elektrischer Stromkreis

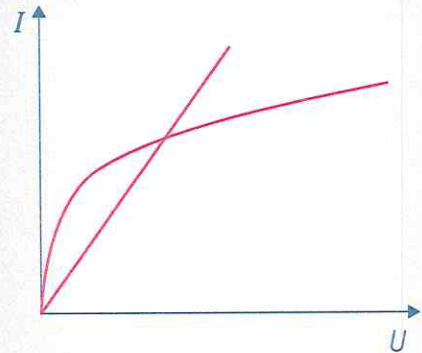


Anfang des 19. Jahrhunderts beobachtete Georg Simon Ohm in Versuchen den **linearen Zusammenhang von Spannung und Stromstärke**, solange sich die Temperatur nicht ändert. Diese Gesetzmäßigkeit nennt man **Ohm'sches Gesetz**.

Stellt man den Strom in Abhängigkeit von der Spannung dar, erhält man das **I-U-Diagramm** eines Verbrauchers. Die Steigung im I-U-Diagramm ist der Kehrwert des Widerstandes, man nennt ihn Leitwert. In Abbildung 1.39 stellt die Gerade die Kennlinie eines temperaturunabhängigen Widerstandes dar (z. B. beim Leiterwerkstoff Konstantan),

die gekrümmte Kennlinie zeigt den Verlauf des Stroms bei der Glühwendel einer Glühlampe.

Abb. 1.39: I-U-Kennlinien von Widerständen



Beispiel: Ohm'sches Gesetz



An eine Glühlampe wird eine Spannung von 2V angelegt – die Lampe leuchtet nicht, dabei fließt ein Strom von 0,13A. Wird eine Spannung von 18V angelegt, leuchtet die Lampe, es wird ein Strom von 0,3A gemessen. Die Widerstandswerte der Glühwendel sind nicht gleich, wie folgende Rechnung zeigt:

$$R = \frac{U}{I}$$

$$R_1 = \frac{2V}{0,13A}$$

$$R_1 = \underline{15,4 \Omega}$$

$$R_2 = \frac{18V}{0,3A}$$

$$R_2 = \underline{60 \Omega}$$

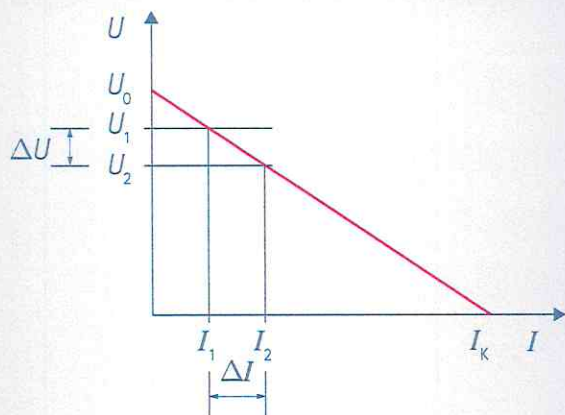
Der Vergleich der Ergebnisse zeigt, dass R_2 größer ist. Durch den größeren Strom wird der Widerstand (die Glühwendel) erwärmt. Der Metalldraht ist ein PTC, der seinen Widerstandswert bei Temperaturerhöhung vergrößert.

Ist eine Spannungsquelle nicht belastet (unbelasteter Zustand, $I = 0A$), misst man an den Klemmen die Leerlaufspannung U_0 . Wird die Spannungsquelle belastet, so sinkt die Klemmenspannung U ab (s. Abbildung 1.40 auf der folgenden Seite). Dieses Problem hat man v. a. bei Starterbatterien (Autobatterie), da diese zum Anlassen des Motors einen sehr großen Strom liefern müssen.



Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

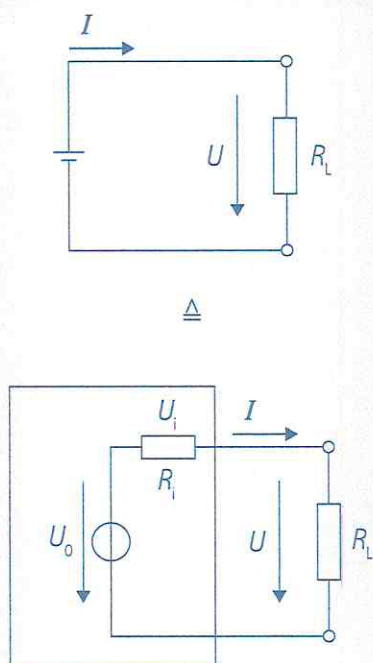
Abb. 1.40: Belastungskennlinie einer Spannungsquelle



- I_1 Strom (Belastungsfall 1)
- I_2 Strom (Belastungsfall 2)
- I_k Kurzschlussstrom
- U_0 Leerlaufspannung
- U_1 Klemmenspannung (Belastungsfall 1)
- U_2 Klemmenspannung (Belastungsfall 2)

Um dies zu erklären, führt man ein Ersatzschaltbild für eine reale Spannungsquelle ein (s. Abbildung 1.41).

Abb. 1.41: Ersatzschaltbild einer Spannungsquelle



Jede Spannungsquelle hat einen Innenwiderstand R_i . An diesem Innenwiderstand entsteht ein Spannungsfall/-verlust, der von der Größe des Stroms abhängt.

$$U_i = I \cdot R_i$$

Ist $R_L = 0 \Omega$ (Kurzschluss), so wird der Strom nur durch den Innenwiderstand R_i begrenzt.

$$I_k = \frac{U_0}{R_i}$$

Merke: Kurzschlussströme



Kurzschlussströme müssen aufgrund ihrer Größe vermieden werden.

Der Innenwiderstand einer Spannungsquelle ist nicht direkt messbar, er lässt sich jedoch aus der Belastungskennlinie (s. Abbildung 1.40) berechnen.

$$R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

$$R_i = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1}$$

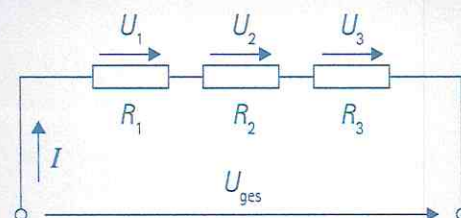
Dazu führt man zwei Belastungsfälle durch ($R_{L1} < R_{L2}$).

Reihen-/Parallelschaltung von Widerständen

Je nachdem, auf welche Weise die einzelnen Verbraucher, d.h. die Widerstände, geschaltet sind, unterscheidet man Reihen- (bzw. Serien-) und Parallelschaltung. Werden Reihen- und Parallelschaltung verknüpft, spricht man von **Gruppenschaltung** oder **gemischter Schaltung**.

Die **Reihenschaltung** von Widerständen ist dadurch gekennzeichnet, dass alle Widerstände hintereinander geschaltet werden. Nur der „Eingang“ des ersten Widerstandes und der „Ausgang“ des letzten Widerstandes sind an die Spannungsquelle angeschlossen. Dies hat zur Folge, dass die Stromstärke an jeder Stelle gleich groß ist. Eine Leiterverzweigung ist nicht vorhanden.

Abb. 1.42: Reihenschaltung





Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

Formeln: Reihenschaltung Ω

In einer Reihenschaltung fließt an jeder Stelle der gleiche Strom I :

$$I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = I \quad (1.39)$$

Die Summe der Teilwiderstände ist gleich dem Gesamtwiderstand R_{ges} :

$$R_1 + R_2 + R_3 = R_{\text{ges}} \quad (1.40)$$

Die Summe der Teilspannungen ist gleich der Gesamtspannung U_{ges} :

$$U_1 + U_2 + U_3 = U_{\text{ges}} \quad (1.41)$$

Die Teilspannungen verhalten sich wie ihre zugehörigen Widerstände:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2} \quad \text{oder} \quad \frac{U_3}{U_{\text{ges}}} = \frac{R_3}{R_{\text{ges}}} \quad (1.42)$$

Die Teilströme verhalten sich umgekehrt wie ihre zugehörigen Widerstände:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} \quad (1.46)$$

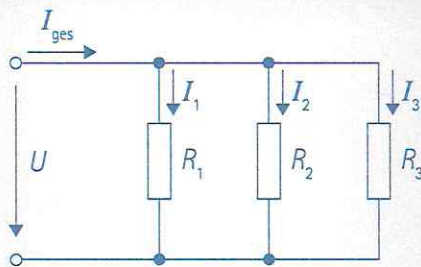
3DQR: Reihen- und Parallelschaltung



Code scannen bzw. anklicken und mehr erfahren.

Bei einer **Parallelschaltung** von Widerständen sind die einzelnen Widerstände parallel angeordnet. Diese Schaltung ist dadurch gekennzeichnet, dass an jedem einzelnen Widerstand die gleiche Spannung anliegt. Jeder Teilwiderstand hat einen Teilstrom zur Folge. Die Teilströme addieren sich zum Gesamtstrom.

Abb. 1.43: Parallelschaltung



Formeln: Parallelschaltung Ω

An parallel geschalteten Widerständen liegt die gleiche Spannung U :

$$U_1 = U_2 = U_3 = U \quad (1.43)$$

Die Summe der Kehrwerte der Einzelwiderstände ergibt den Kehrwert des Gesamtwiderstandes R_{ges} :

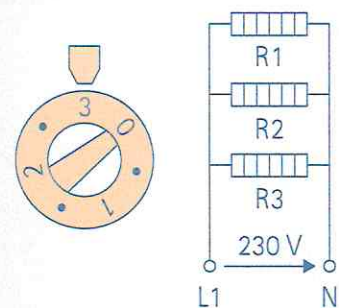
$$\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{R_{\text{ges}}} \quad (1.44)$$

Die Summe der Teilströme ergibt den Gesamtstrom I_{ges} :

$$I_1 + I_2 + I_3 = I_{\text{ges}} \quad (1.45)$$

Beispiel:
Parallelschaltung von Widerständen

Eine Kochplatte mit einem Sieben-Takt-Schalter verknüpft in der sechsten Stufe die Heizwiderstände zu einer Parallelschaltung. Die Widerstandswerte der Heizwiderstände werden messtechnisch folgendermaßen bestimmt: $R_1 = 212 \Omega$, $R_2 = 212 \Omega$, $R_3 = 106 \Omega$. Die Kochplatte ist an die Netzspannung von 230V angeschlossen.



Bestimmung des Gesamtstroms der Kochplatte:

$$\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_{\text{ges}}} = \frac{1}{212 \Omega} + \frac{1}{212 \Omega} + \frac{1}{106 \Omega}$$

$$R_{\text{ges}} = 53 \Omega$$



Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

Beispiel:
Parallelschaltung von Widerständen

Berechnung des Gesamtstroms:

$$I = \frac{U}{R}$$

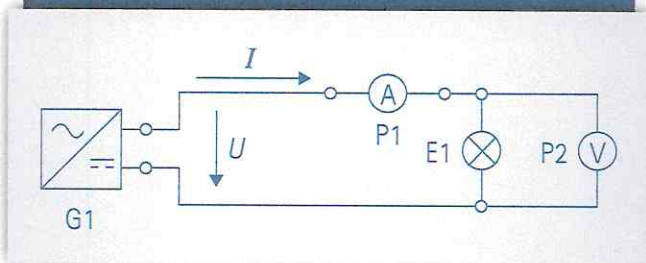
$$I_{\text{ges}} = \frac{230 \text{ V}}{53 \Omega}$$

$$I_{\text{ges}} = \underline{\underline{4,34 \text{ A}}}$$

Messung von Spannung und Strom

In Abbildung 1.44 ist die Messung des Stroms und der Spannung an einer Glühlampe dargestellt. Die Spannungsquelle ist ein Netzgerät (G1). An der Glühlampe, dem Verbraucher, wird die Spannung mit einem **Spannungsmessgerät** (P2) und die Stromstärke mit einem **Strommessgerät** (P1) gemessen. Dabei wird die Tatsache genutzt, dass die Stromstärke in einer Reihenschaltung überall gleich groß ist und dass die Spannung in einer Parallelschaltung konstant bleibt. Daraus ergibt sich, dass das Strommessgerät mit dem Verbraucher in Reihe geschaltet wird. Das Spannungsmessgerät dagegen wird parallel geschaltet.

Abb. 1.44: Messung von Spannung und Strom



Der fließende Strom darf durch den Innenwiderstand des Strommessers nicht behindert werden. Deswegen muss dieser sehr klein sein.

Ein Spannungsmessgerät darf keinen Kurzschluss verursachen. Deswegen muss der Innenwiderstand eines Spannungsmessers sehr groß sein, sodass nach Möglichkeit nur ein sehr kleiner Messstrom fließt.

Merke: Strom- und Spannungsmessgerät

Der Strom wird durch ein Strommessgerät nicht behindert. Der Spannungsfall am Innenwiderstand ist vernachlässigbar klein. Durch ein Spannungsmessgerät fließt ein vernachlässigbar kleiner Strom.

1.5.2 Elektrische Energie

Arbeit und Leistung im Gleichstromkreis

Um eine Spannung (U) zu erzeugen, müssen Ladungen (Q) getrennt werden. Dazu muss Arbeit (W) verrichtet werden. Diese Arbeit ist umso größer, je größer die Spannung und die Ladungsmenge sind: $W = U \cdot Q$

Mit Gleichung 1.36 $I = \frac{Q}{t}$ ergibt sich folgende Formel:

Formel: Elektrische Arbeit



$$W = U \cdot I \cdot t$$

(1.47)

- I Strom
- t Zeit
- U Spannung
- W elektrische Arbeit

Die **elektrische Arbeit** ist die Energie, die einem Gerät (Energiewandler) zugeführt wird. Sie wird meistens in der Einheit kWh angegeben (s. auch Kapitel 2.1 und 2.2). Die elektrische Arbeit (Energie) stellt auch die Abrechnungsgrundlage der Energieversorgungsunternehmen dar.

Formel: Elektrische Arbeitskosten



$$K = W \cdot k$$

(1.48)

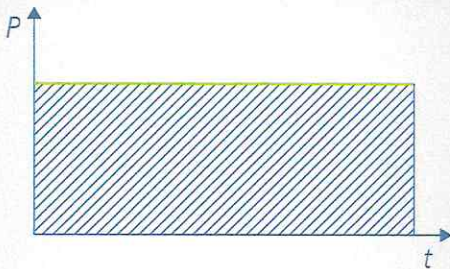
- K (Energie-)Kosten in €
- k Tarif in €/kWh
- W Arbeit in kWh

Die **Leistung** ist die Arbeit, die in einer bestimmten Zeit verrichtet wird (s. auch Kapitel 3.2.3). Die Einheit der elektrischen Leistung ist $VA = W$ (Watt).



Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

Abb. 1.45: Leistung im Gleichstromkreis



Die Fläche unter dem Graphen entspricht der elektrischen Arbeit.

Formel:
Elektrische Leistung für Gleichstrom



$$P = \frac{W}{t} = U \cdot I$$

$$P = I^2 \cdot R \quad (1.49)$$

$$P = \frac{U^2}{R}$$

- I Strom
- P elektrische Leistung
- t Zeit
- U Spannung
- W elektrische Arbeit

Elektrische Geräte entnehmen im Betrieb dem Elektrizitätsnetz elektrische Energie und wandeln diese in eine andere Energieart um. Die dabei vom Gerät umgesetzte Leistung wird vom Hersteller unter Nennbedingungen gemessen und auf einem Leistungsschild angegeben. Diese Leistung wird als **Bemessungsleistung** (früher Nennleistung) bezeichnet. Bei kleineren Maschinen (z. B. Bohrmaschine, Staubsauger) ist dies die aufgenommene Leistung, bei größeren Maschinen (z. B. Elektromotoren) ist dies die abgegebene Leistung.

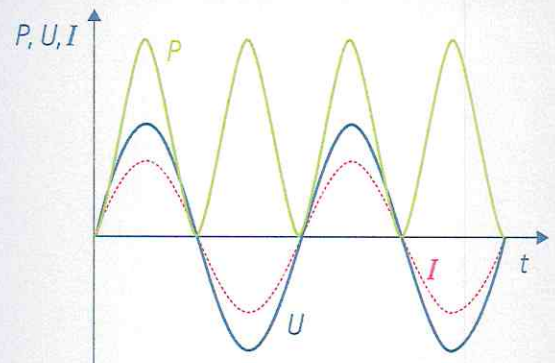
Hinweis: Bemessungsleistung

Beachten Sie, dass die Nennleistung heute als Bemessungsleistung bezeichnet wird. Entsprechend: Nennspannung – Bemessungsspannung, Nennstrom – Bemessungsstrom.

Leistung im Wechselstromkreis mit und ohne Phasenverschiebung

Liegt an einem Heizwiderstand oder einer Glühlampe (ein sog. Ohm'scher Verbraucher) eine Wechsellspannung an, so verlaufen Spannung U und Strom I gleichphasig. Die Leistung P ergibt sich als Produkt aus Spannung und Strom. Sie ist stets positiv (s. Abbildung 1.46). Wird elektrische Leistung in Wärme oder mechanische Leistung umgesetzt, so spricht man von **Wirkleistung**. Die Wirkleistung ist der Mittelwert der Leistung, die Fläche unter dem Graphen P entspricht der elektrischen Arbeit.

Abb. 1.46: Leistung im Wechselstromkreis



Die Leistung bei Gleichstrom und phasengleichem Wechselstrom ist gleich:

$$P = U \cdot I = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R}$$

Finden sich in einem Stromkreis Spulen und Kondensatoren, verlaufen Spannung und Strom nicht mehr phasengleich. Dadurch wird die umgesetzte Wirkleistung verkleinert. Dies wird durch den **Leistungsfaktor $\cos \varphi$** berücksichtigt.

Merke: Phasenverschiebung



Sind Spannung und Strom phasengleich, ist $\cos \varphi = 1$.

Sind Spannung und Strom nicht phasengleich, ist $\cos \varphi < 1$.



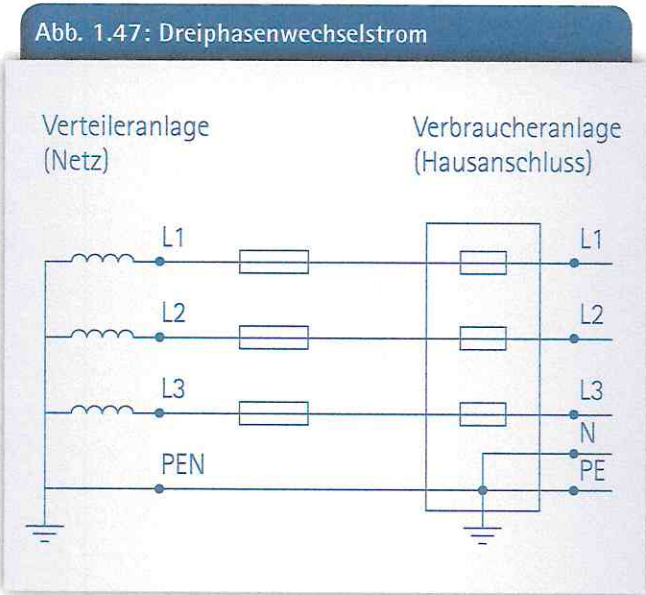
Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

Formel:
Elektrische Leistung bei Wechselstrom Ω

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (1.50)$$

$\cos \varphi$	Leistungsfaktor
I	Strom
P	elektrische Leistung
U	Spannung

Leistung bei Dreiphasenwechselstrom
Bei der Erzeugung und Verteilung der elektrischen Energie ist das dreiphasige Wechselspannungssystem – das **Drehstromsystem** – üblich. Dadurch, dass die Spulen eines Drehstromgenerators um 120° räumlich versetzt sind, sind auch die erzeugten Spannungen um 120° phasenverschoben. Im Niederspannungs-Drehstromnetz ist der Sternpunkt des Transformators geerdet, die Wicklungen des Trafos sind verkettet. Man spricht hier von der **Sternschaltung**. In öffentlichen Verteilernetzen ist am Sternpunkt der PEN-Leiter angeschlossen.



Mit dem Drehstromsystem stehen den Verbrauchern zwei Spannungen zur Verfügung: 230V und 400V:

- zwischen L1 und L2: } **Außenleiterspannungen: 400 V**
- zwischen L2 und L3: }
- zwischen L3 und L1: }
- zwischen L1 oder L2 oder L3 und N: } **Sternpunktspannung: 230 V**

Setzt man die Spannung zwischen zwei Außenleitern zur Spannung zwischen Außenleiter und Neutraleiter ins Verhältnis, erhält man den **Verkettungsfaktor**:

$$\frac{400 \text{ V}}{230 \text{ V}} = 1,739 = \sqrt{3}$$

Drehstromverbraucher (z. B. Drehstrommotoren) können in Stern- oder Dreieckschaltung an das Drehstromnetz angeschlossen werden.

Abb. 1.48: Sternschaltung

$$I_{\text{Str}} = I$$

$$U_{\text{Str}} = \frac{U}{\sqrt{3}}$$

$$P_{\text{y}} = 3 \cdot I_{\text{Str}} \cdot U_{\text{Str}} \cdot \cos \varphi$$

$$P = 3 \cdot I \cdot \frac{U}{\sqrt{3}} \cdot \cos \varphi$$

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Abb. 1.49: Dreieckschaltung

$$U_{\text{Str}} = U$$

$$I_{\text{Str}} = \frac{I}{\sqrt{3}}$$

$$P_{\Delta} = 3 \cdot I_{\text{Str}} \cdot U_{\text{Str}} \cdot \cos \varphi$$

$$P = 3 \cdot \frac{I}{\sqrt{3}} \cdot U \cdot \cos \varphi$$

$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Durch die Verkettung der drei Außenleiterspannungen ist die übertragene Leistung um den Faktor $\sqrt{3}$ (Verkettungsfaktor) größer.



Auswirkung naturwissenschaftlicher und technischer Gesetzmäßigkeiten ...

Formel: Elektrische
Leistung bei Dreiphasenwechselstrom



$$P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \quad (1.51)$$

$\cos \varphi$	Leistungsfaktor
I	Strom
P	elektrische Leistung
U	Spannung

Beispiel:
Leistung bei Stern- und Dreieckschaltung



Drei 80-Ω-Heizwiderstände eines Durchlauferhitzers werden in Stern- und in Dreieckschaltung an das Dreiphasenwechselstromnetz mit 400 V Außenleiterspannung angeschlossen.

Sternschaltung:

$$I = \frac{U_{\text{str}}}{R}$$
$$I = \frac{230 \text{ V}}{80 \Omega} = 2,875 \text{ A}$$
$$P_{\text{Y}} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$
$$P_{\text{Y}} = \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 2,875 \text{ A} \cdot 1$$
$$P_{\text{Y}} = \underline{\underline{1.992 \text{ W}}}$$

Dreieckschaltung:

$$I = \sqrt{3} \cdot I_{\text{str}}$$
$$I = \sqrt{3} \cdot \frac{U}{R}$$
$$I = \sqrt{3} \cdot \frac{400 \text{ V}}{80 \Omega} = 8,66 \text{ A}$$
$$P_{\Delta} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$
$$P_{\Delta} = \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 8,66 \text{ A} \cdot 1$$
$$P_{\Delta} = \underline{\underline{5.999,8 \text{ W}}}$$

Der Vergleich der Leistungswerte zeigt:

$$\frac{P_{\Delta}}{P_{\text{Y}}} = 3$$

Bei gleicher Netzspannung hat ein Verbraucher in Dreieckschaltung die dreifache Leistung wie in Sternschaltung.



Berufstypische Aufgabe

Auszug aus der Herbstprüfung 2017. Der Rechtsstand wurde ggf. aktualisiert.

Aufgabe 3

Sie entnehmen dem Typenschild eines Glühofens für den Laboreinsatz folgende Daten:

- Spannung: $U = 230 \text{ V} \sim$
- maximale Heizleistung: $P_{\text{max}} = 2\,760 \text{ W}$

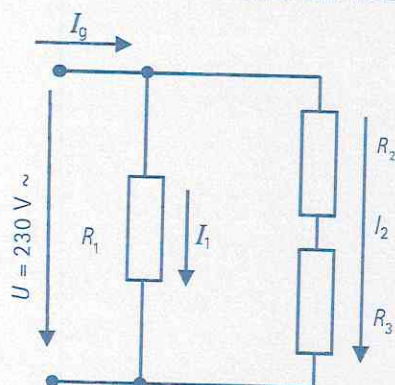
Die drei Heizspiralen aus Konstantandraht, die den Ofen heizen, haben die gleichen Widerstandswerte:

▪ $R_1 = R_2 = R_3$

Der Ofen verfügt über zwei Heizstufen.

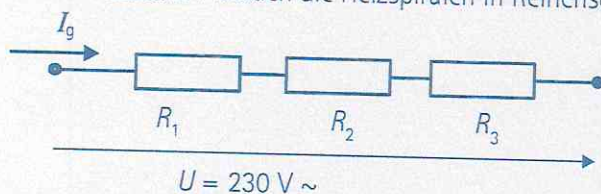
Die maximale Leistung von $2\,760 \text{ W}$ wird in der Heizstufe II erreicht.

a) In der Heizstufe II werden die Heizspiralen wie abgebildet betrieben:



Berechnen Sie alle Stromstärken und den Einzel-Widerstandswert der drei Heizspiralen.

b) In der Heizstufe I werden die Heizspiralen in Reihenschaltung betrieben:



Berechnen Sie den Strom I_g und die Heizleistung, die jetzt erbracht wird.

Hinweis für den Prüfungsteilnehmer: Wenn Sie den Aufgabenteil a) nicht gelöst haben, rechnen Sie mit

$$R_1 = R_2 = R_3 = 30 \, \Omega \text{ weiter.}$$

c) Ein defekter Heizwiderstand muss ersetzt werden. Es steht ein Konstantandraht mit dem Durchmesser $d = 0,25 \text{ mm}$ zur Verfügung.

Berechnen Sie die erforderliche Länge des Drahtes.

Unterschiedliche Energieformen im Betrieb sowie damit zusammenhängende Auswirkungen auf Mensch und Umwelt

2.1 Energieformen

Zum Betreiben von Kraft- und Arbeitsmaschinen muss Energie zur Verfügung gestellt werden. Die Hauptfunktion von **Kraftmaschinen** besteht darin, die zugeführte Energie (chemische, thermische oder elektrische Energie) in mechanische Energie umzuwandeln. Je nach umgesetzter Energieform gibt es verschiedene Arten von Kraftmaschinen (Turbine, Windkraftanlage, Verbrennungsmotor).

Arbeitsmaschinen werden zum Verändern, Verformen und Transportieren fester, flüssiger oder gasförmiger Stoffe verwendet. Bei Arbeitsmaschinen gilt der **Satz von der Erhaltung der Masse**. Dieser besagt, dass in einem geschlossenen System die zugeführte Masse mit der abgeführten Masse identisch ist. In vielen Fällen sind Kraft- und Arbeitsmaschinen direkt gekoppelt, z. B. Werkzeugmaschinen, Pumpen und Verdichter, Hebezeuge und Fördermittel.

Energieträger

Stoffe, die Energie freisetzen können, bezeichnet man als Energieträger. Dies können z. B. Brennstoffe (chemische Energie), strömendes Wasser (kinetische Energie) oder Wasser in einem hoch gelegenen Stausee (potenzielle Energie) sein. Energieträger lassen sich in Primär- und Sekundärenergieträger einteilen. **Primärenergieträger** sind Stoffe, die in der Natur vorkommen und in ihrer ursprünglichen Form Energie bereitstellen. Typische Beispiele sind Kohle, Erdgas, Erdöl, strömendes Wasser, Wind, Sonne und Erdwärme. Diese Energieträger werden nochmals nach ihrer Verfügbarkeit unterteilt: **Regenerative Energieträger** sind unendlich verfügbar (z. B. Wind, Sonne, Wasser), **additive Energieträger** dagegen sind in ihrer Verfügbarkeit begrenzt (z. B. Erdöl und Kohle).

Sekundärenergieträger entstehen durch die Umwandlung von Primärenergieträgern, wodurch ihr Energiegehalt leichter in Arbeitsprozessen genutzt werden kann. Beispiele hierfür sind Benzin, Strom oder Dampf.

Mechanische Arbeit

Der umgangssprachlich gebrauchte Begriff **Arbeit** deckt sich nicht immer mit dem physikalischen Begriff. Arbeit wird im Sinne der Mechanik stets dann verrichtet, wenn eine Kraft längs eines zurückgelegten Weges wirkt.

Formel: Arbeit



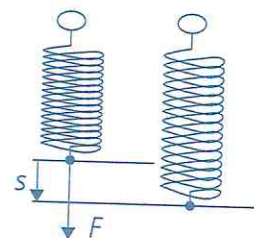
$$W = F \cdot s$$

(2.1)

F Kraft
s Weg
W Arbeit

Um eine Feder zu spannen (Weg s), muss eine Kraft F wirken (s. Abbildung 2.1).

Abb. 2.1: Mechanische Arbeit



Energie

Wird eine Feder mit der Kraft F gespannt, wird ein Weg s zurückgelegt. Es wird an der Feder Arbeit verrichtet, die in der Feder als Energie gespeichert wird. Die gespannte Feder kann jetzt selbst Arbeit (W) verrichten.



Unterschiedliche Energieformen im Betrieb ...

Merke: Energie

Energie ist die Fähigkeit eines Körpers oder eines Systems, Arbeit zu verrichten.

Merke: Arbeit und Energie

Die Größengleichungen zur Berechnung der Arbeit (W) und der Energie (E) sind identisch. Arbeit wird verrichtet, d. h., es handelt sich um einen Vorgang, während sich die Energie auf den Zustand nach dem Verrichten der Arbeit bezieht. Die verrichtete Arbeit entspricht demnach betragsmäßig der anschließend vorhandenen Energie. Auch die Einheiten von Arbeit und Energie müssen identisch sein: $1 \text{ Nm} = 1 \text{ J} = 1 \text{Ws}$.

In der **Mechanik** unterscheidet man folgende Energiearten:

- **potenzielle Energie:** Ein Körper besitzt potenzielle Energie aufgrund seiner Höhe h .
- **kinetische Energie:** Ein sich bewegender Körper besitzt Energie.
- **Spannenergie:** Eine Feder ist um den Weg s gespannt.

Formel: Potenzielle Energie

$$E_{\text{pot}} = F_G \cdot h = m \cdot g \cdot h \quad (2.2)$$

E_{pot} potenzielle Energie (Lageenergie)

Formel: Kinetische Energie

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (2.3)$$

E_{kin} kinetische Energie (Bewegungsenergie)

Formeln: Spannenergie

$$E_F = \frac{1}{2} \cdot F \cdot s \quad (2.4)$$

mit $F = R \cdot s$

$$E_F = \frac{1}{2} \cdot R \cdot s^2 \quad (2.5)$$

E_F Spannenergie (Federenergie)
 R Federrate

In der **Kalorik** spricht man von **thermischer Energie** (s. Kapitel 1.3.2).

Formel: Thermische Energie

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\vartheta \quad (2.6)$$

Q thermische Energie (Wärmemenge)

In der **Elektrotechnik** spricht man von **elektrischer Energie** (elektrische Arbeit) (s. Kapitel 1.5).

Formel: Elektrische Energie

$$W = U \cdot I \cdot t = P \cdot t \quad (2.7)$$

W elektrische Energie (elektrische Arbeit)

Die in einem System gespeicherte Energie bewirkt, dass dieses System Arbeit verrichten kann. Damit die Energie technisch nutzbar wird, ist oftmals eine Energieumwandlung durch **Energiewandler** notwendig.

2.2 Energieumwandlungen in Kraftmaschinen bei unterschiedlichen Energieformen

Energieerhaltungssatz

Wird ein Ball auf die Höhe h gebracht, so ist dazu Arbeit erforderlich. Der Ball besitzt dann aufgrund seiner Lage **potenzielle Energie**. Lässt man den Ball fallen, so nimmt seine Höhe ab, die Geschwindigkeit nimmt zu. Die potenzielle Energie nimmt ab und die **kinetische Energie** nimmt aufgrund der zunehmenden Geschwindigkeit zu. Trifft der Ball auf, so ist die komplette potenzielle Energie in kinetische Energie umgewandelt. Der Ball wird nun zusammengedrückt (gespannt) und die kinetische Energie wird in **Spannenergie** umgewandelt.

In jedem Augenblick dieses Vorgangs gilt, dass die Summe der Energien konstant ist. **Energie geht nicht verloren, sie wird in andere Energiearten umgewandelt.** Diese Aussage gilt allerdings nur in einem abgeschlossenen System. Der Ball erreicht nicht mehr seine Ausgangshöhe, da durch Reibung Wärme entsteht und diese Energie dem System „verloren geht“, also nicht mehr genutzt werden kann.



Unterschiedliche Energieformen im Betrieb ...

Merke: Energieerhaltungssatz

In einem abgeschlossenen System ist die Summe aller Energien konstant. Energie geht nicht verloren und kann auch nicht gewonnen werden.

Wirkungsgrad

Das Beispiel des fallenden Balles zeigt, dass ein gewisser Teil der Energie bei der Energieumwandlung nicht genutzt werden kann, da sie z.B. in Form von Wärmeenergie aufgrund der Reibung „verloren“ geht. Das bedeutet, dass die Energieumwandlung stets verlustbehaftet ist, wobei die „Verlustenergie“ nicht verschwindet, sondern meist in Form von ungenutzter Wärme aus dem System entweicht. Die Beurteilung der Effizienz der technischen Prozesse wird mithilfe des **Wirkungsgrades** η ausgedrückt. Dabei

wird die abgegebene Energie (Nutzenergie) zur zugeführten Energie ins Verhältnis gesetzt (s. auch Kapitel 3.2.3).

Formel: Wirkungsgrad

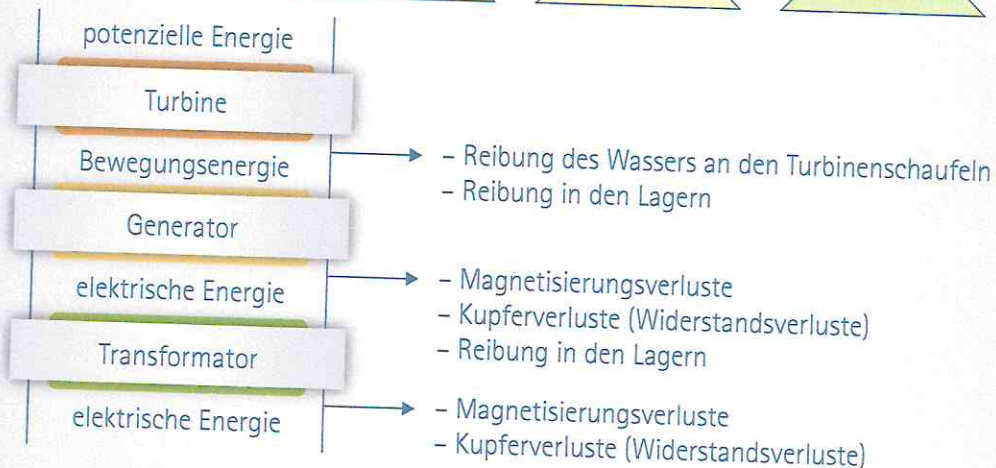
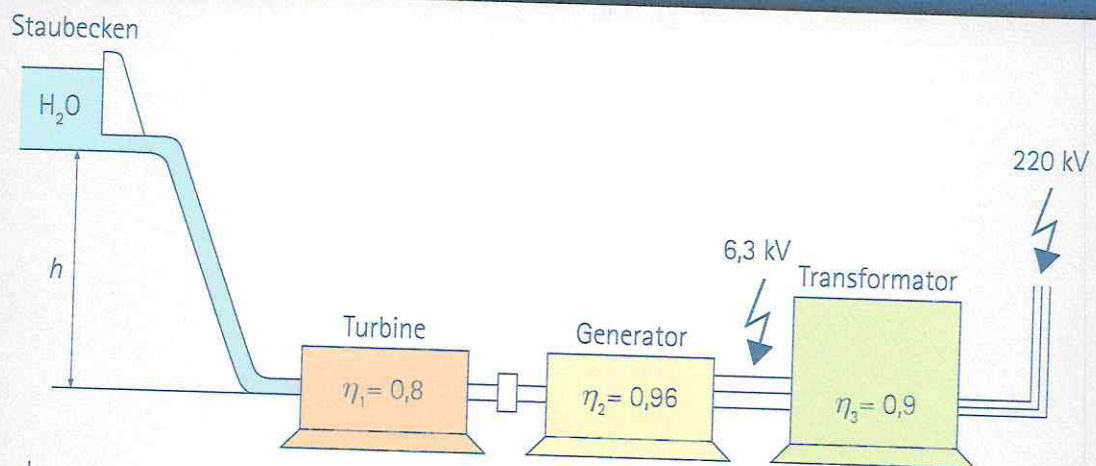
$$\eta = \frac{E_{ab}}{E_{zu}} \quad (2.8)$$

E_{ab} abgegebene Energie (Nutzenergie)
 E_{zu} zugeführte Energie
 η Wirkungsgrad

Hinweis: Wirkungsgrad

Der theoretisch mögliche Wert von 1 (100%) kann in der Praxis nicht erreicht werden. Ihnen sollte daher bewusst sein, dass der Wirkungsgrad immer $\eta < 1$ ($\eta < 100\%$) ist.

Abb. 2.2: Energieumwandlung und Verluste





Unterschiedliche Energieformen im Betrieb ...

3DQR: Energieumwandlung

Code scannen bzw. anklicken und mehr erfahren.

3DQR: Wirkungsgrad

Code scannen bzw. anklicken und mehr erfahren.

Formel: Gesamtwirkungsgrad Ω

$$\eta_{\text{ges}} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \quad (2.9)$$

η Wirkungsgrad

Merke: Gesamtwirkungsgrad

Der Gesamtwirkungsgrad η_{ges} ist immer kleiner als der kleinste Einzelwirkungsgrad.

Energieverbrauch und Energieeinsparmöglichkeiten

Bei allen Anlagen und Verteilsystemen ist auf eine gute **Energieeffizienz** zu achten. Damit ist gemeint, dass ein System dann effizient ist, wenn ein bestimmter Nutzen mit minimalem Energieaufwand erreicht wird. Damit werden Ressourcen geschont und das System arbeitet ökonomisch. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, den Energieverbrauch zu senken und die Energieeffizienz zu verbessern, z. B. **technische Möglichkeiten**:

- **Beleuchtung**: Erneuerung von Leuchtstofflampen durch Austausch der Leuchtmittel, Einsatz elektronischer Vorschaltgeräte, die sich automatisch dimmen

- **Abwärme**: Die Abwärme v.a. bei industriellen Prozessen bietet häufig die Möglichkeit der Wärmerückgewinnung.
- **Lüftungsanlagen**: Anpassung an moderne Standards
- **Druckluftanlagen**: undichte Stellen finden und beheben, mangelhafte Kompressorenregelung beseitigen
- **Heizungsanlagen**: optimieren (erneuern), Raumthermostate optimieren
- **Kühlung**: bei der Prozesskühlung Verdampfungs- und Kondensationstemperatur optimieren, Klimaanlage optimieren und Abwärme nutzen
- **Elektromotoren**: Neue Elektromotoren und Pumpen arbeiten bis zu 40% effizienter als ältere Antriebe.

Auch **politischer Einfluss** kann helfen:

- Förderung energieeffizienter Systeme
- Aufklärung über den Einsatz/Austausch von Energiewandlern im Betrieb (Kraft-Wärme-Kopplung) und Haushalt (moderne Brennwertechnik der Heizungsanlage)

2.3 Alternative Anlagen zur Energieerzeugung

Folgende Gründe sprechen für alternative Anlagen zur Energieerzeugung:

- Die verfügbaren Reserven fossiler Brennstoffe sind begrenzt.
- Durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe entstehen umweltbelastende Stoffe.
- Der Ausstieg aus der Kernenergie ist beschlossen.

Daraus folgt, dass der Energieverbrauch entscheidend gesenkt werden muss, dass neue, umweltfreundliche Anlagen zur Energieerzeugung entwickelt werden müssen und dass die Nutzung der regenerativen Energiequellen erweitert werden muss. Der **Endenergieverbrauch (EEV)** ist durch die steigende Energieproduktivität insgesamt in den letzten Jahren gesunken. Der Wärmeverbrauch ist im langjährigen Trend rückläufig, der Kraftstoffverbrauch ist nahezu konstant. Nur der Stromverbrauch steigt stetig. Der Industriesektor hat den größten Anteil am Verbrauch (Umweltbundesamt).



Unterschiedliche Energieformen im Betrieb ...

Solaranlagen

Solaranlagen nutzen die Strahlungsenergie der Sonne. Die durchschnittlich auf der Erde zur Verfügung stehende Sonnenenergie beträgt $1,36 \text{ kW/m}^2$ bei senkrechter Ausrichtung der bestrahlten Fläche und mittlerer Entfernung zwischen Sonne und Erde. Diese Energiemenge würde ausreichen, um den Energiebedarf der Erde zu decken.

Sonnenenergie kann durch thermische Solaranlagen oder Photovoltaikanlagen genutzt werden. **Thermische Solaranlagen** wandeln die Sonnenenergie in Wärme um. Im Niedertemperaturbereich werden Sonnenkollektoren eingesetzt, die die Strahlung der Sonne absorbieren und sie zur direkten Erwärmung von Wasser oder einem anderen Medium nutzen. Das warme Wasser zirkuliert in einem geschlossenen Kreislauf (Primärkreislauf) und erwärmt über einen Wärmetauscher Wasser in einem Speicher (Sekundärkreislauf). Das warme Wasser im Primärkreislauf kann auch direkt für Heizzwecke genutzt werden. Die absorbierte Sonnenstrahlung liegt z.T. im nicht sichtbaren Wellenlängenbereich, sodass Sonnenkollektoren auch bei bedecktem Himmel Wärmeenergie liefern. Zur Stromerzeugung sind Kollektoren aufgrund der niedrigen Temperatur im Primärkreislauf nicht geeignet. Dafür sind Temperaturen von ca. 400°C erforderlich, mit denen ein Dampfkraftprozess betrieben werden kann. In speziellen Anlagen werden die Sonnenstrahlen über Spiegelsysteme in einem Brennpunkt konzentriert, wo sie auf einen Absorber treffen, der die Wärmeenergie auf ein Trägermedium überträgt (Primärkreislauf). Der Sekundärkreislauf entspricht dann meistens einem konventionellen Dampfkraftprozess.

In **Photovoltaikanlagen** wird Sonnenlicht direkt in elektrische Energie umgewandelt. Fällt Sonnenlicht auf einen Halbleiter (z. B. Silizium), werden im Halbleiter Elektronen freigesetzt. Es bilden sich positive und negative Ladungsträger (Fotoeffekt). Im Inneren entstehen Bereiche mit Elektronenüberschuss bzw. -mangel. Die so entstehende Gleichspannung kann über Kontakte abgenommen werden und beträgt bei einer Siliziumzelle ca. $0,6 \text{ V}$. Die erzeugte Elektrizität kann entweder direkt genutzt, in Akkumulatoren gespeichert oder in Stromnetze eingespeist werden. Bei Einspeisung der Energie in das öffentliche

Stromnetz (Wechselstrom) wird die von den Solarzellen erzeugte Gleichspannung von einem Wechselrichter in Wechselspannung umgewandelt. Der Wirkungsgrad von Solarzellen liegt bei ca. 15 bis 19%, wobei sich aber auch Solarzellen mit einem Wirkungsgrad von 25% im Versuchsstadium befinden. Zur Erreichung größerer Stromstärken bzw. Spannungen werden Solarzellen in Parallel- bzw. Reihenschaltung zusammengefasst.

Windkraftanlagen

Der Ausgleich von Druckunterschieden in der Atmosphäre bewirkt eine Luftströmung. Diese kinetische Energie des Windes kann über Windkraftanlagen in elektrischen Strom umgewandelt werden. Zunächst wird die Strömungsenergie des Windes über einen Rotor in eine Drehbewegung umgewandelt. Je nach vorherrschenden Windverhältnissen und gewünschter Leistung unterscheiden sich die Rotoren im Durchmesser und in der Anzahl der Flügel. Zur Steuerung der Drehzahl lassen sich die Flügel in ihrer Neigung verstellen. Damit Reibungsverluste so gering wie möglich gehalten werden, bilden Rotor und Generator meist eine Einheit. Wegen der geringen Drehzahl des Rotors ist dem Generator ein Getriebe vorgeschaltet, da dieser für die Stromerzeugung eine hohe Drehzahl benötigt. (Aktuelle Anlagen kommen ohne Getriebe aus.) Die ganze Einheit von Rotor, Getriebe und Generator wird drehbar auf einem Turm montiert, sodass sie optimal zur Windrichtung ausgerichtet werden kann. Moderne Anlagen erreichen einen Wirkungsgrad von etwa 45%. Bei einer Nabenhöhe von bis zu 130 m und einem Rotordurchmesser von 115 m leistet eine Anlage bis zu 2,5 MW. (Schwachwindanlagen im Offshore-Bereich haben eine Bemessungsleistung von bis zu 9 MW.) Der optimale Arbeitsbereich liegt bei Windgeschwindigkeiten zwischen 10 und 40 km/h, jedoch muss bei zu hohen Windgeschwindigkeiten die Anlage abgeschaltet werden.

Brennstoffzelle

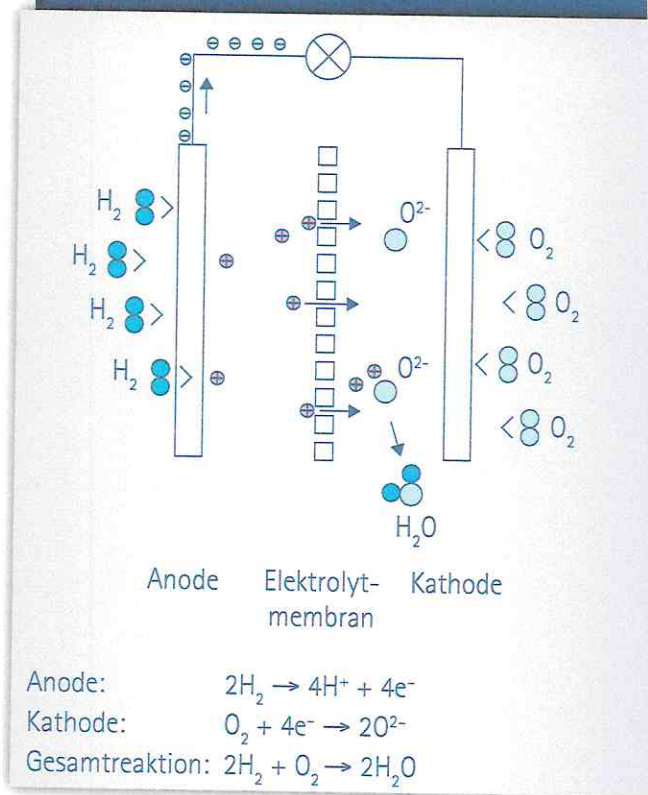
Die Brennstoffzelle ist eine besondere Art eines galvanischen Elementes. Durch ständige Zufuhr von Wasserstoff und Sauerstoff wird chemische Energie direkt in elektrische Energie gewandelt. Vom Prinzip sind alle Zellen gleich aufgebaut. Zwischen zwei Elektroden (der Anode und der Kathode) befindet sich ein Elektrolyt, der den lo-



Unterschiedliche Energieformen im Betrieb ...

neraustausch ermöglicht. Die Elektroden sind über einen äußeren Stromkreis verbunden (s. Abbildung 2.3).

Abb. 2.3: Brennstoffzelle



Bei einer PEM-Brennstoffzelle (Proton Exchange Membrane) wird ein edelmetallhaltiger Katalysator eingesetzt, meistens handelt es sich hierbei um Platin. Ohne das Platin würden Wasserstoff und Sauerstoff nicht miteinander reagieren. Erst die Zufuhr der **Aktivierungsenergie**, z.B. durch einen Funken, würde die Reaktion explosionsartig ablaufen lassen. Der Elektrolyt ist eine Polymermembran, die nur die H^+ -Ionen durchlässt.

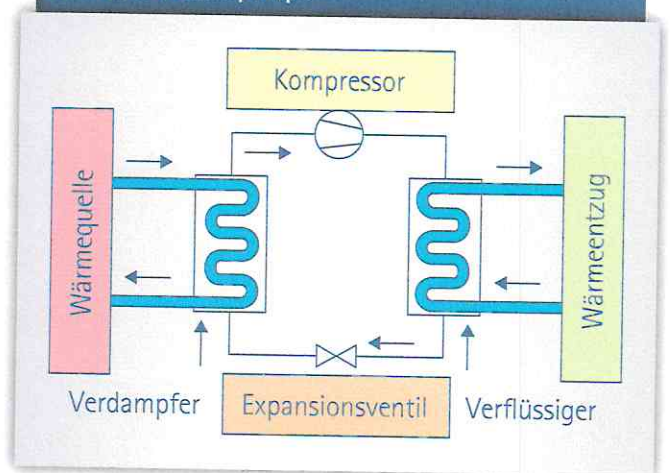
Die wesentlichen Nachteile bei der Brennstoffzelle sind die zurzeit hohen Investitionskosten und die kurze Lebensdauer. Die effektiven Kosten für Strom aus Brennstoffzellen sind noch ca. 40-mal so hoch wie bei Strom aus dem Festnetz.

Wärmepumpen

Verstärkt werden durch die steigenden Energiepreise Wärmepumpen genutzt. Die Wärmerückgewinnung aus Abwasser, Kühlwasser oder aus der Lüftung ermöglicht erhebliche Energieeinsparungen insbesondere bei der Be-

reitstellung von Prozesswärme. Die Wärmepumpe nutzt die Umkehrung des „Kühlschrankeffektes“. Wie im Kühlschrank zirkuliert ein Kältemittel, das bereits bei sehr niedrigen Temperaturen verdampft. Dabei entzieht es der Wärmequelle Wärme. Das verdampfte Kältemittel wird im Kompressor stark verdichtet: Durch den höheren Druck steigt auch die Temperatur. Anschließend wird das Kältemittel verflüssigt, wodurch es die gespeicherte Wärme an das Heizsystem abgibt. Wärmerückgewinnung ist aus dem Erdreich, dem Grundwasser oder der Luft möglich.

Abb. 2.4: Wärmepumpe



Nachhaltigkeit der Ressourcen

Klimawandel, Bevölkerungswachstum und Globalisierung der Märkte führen zu einer verstärkten Nachfrage und Beanspruchung der natürlichen Ressourcen. Die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (acatech) fordert auf ihrer Website: „Die Energiewende stellt Gesellschaft, Wirtschaft und Wissenschaft in Deutschland vor neuartige Herausforderungen. Der effiziente und wirtschaftliche Umbau der Elektrizitätsinfrastruktur steht an.“

Neue Technologien für die Energieerzeugung auf Grundlage erneuerbarer Energien, neue Speichertechnologien und neue Anforderungen an die Verteilung werden in den nächsten Jahren für das deutsche Energiesystem unverzichtbar. Neue Wertschöpfungsketten etablieren sich, neue Arbeitsplätze entstehen und der Bedarf an adäquat ausgebildetem Fachpersonal steigt. Damit einhergehend muss und wird sich der Umgang mit Ressourcen verändern und an einigen Stellen auch intensivieren. Insbesondere betrifft dies die mineralischen und me-

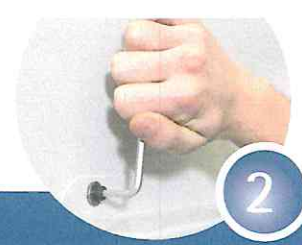


Unterschiedliche Energieformen im Betrieb ...

tallischen Rohstoffe der High-Tech-Industrie sowie die nachhaltige Nutzung der Ressourcen Wasser, Boden und Luft." (Quelle: acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V., www.acatech.de) Ein Energiemanagement wird in Zukunft (nicht nur) von der Industrie benötigt werden.

3DQR: Alternative Energien

Code scannen bzw. anklicken und mehr erfahren.



Auszug aus der Frühjahrsprüfung 2015. Der Rechtsstand wurde ggf. aktualisiert.

Aufgabe 3

Ein Pumpspeicherkraftwerk hat ein Wasserbecken mit einem Nutzgefälle von 45 m. Die Maschinenanlage hat einen Gesamtwirkungsgrad von 85 %. Während der Spitzenbedarfszeit werden in drei Stunden 18 000 kWh elektrischer Energie (Arbeit) benötigt.

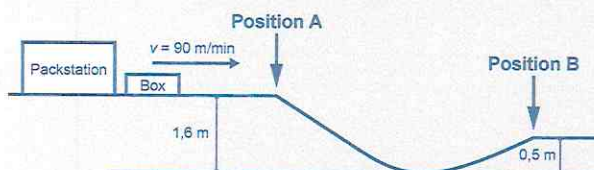
- Berechnen Sie die dazu benötigte potenzielle Energie.
- Berechnen Sie die dafür insgesamt benötigte Wassermasse in Tonnen.
- Berechnen Sie den erforderlichen Volumenstrom (Q) des Wassers in m^3/min .

Auszug aus der Frühjahrsprüfung 2017. Der Rechtsstand wurde ggf. aktualisiert.

Aufgabe 4

Eine Box verlässt mit einer gleichförmigen Geschwindigkeit von 90 m/min die Packstation. Sie bewegt sich auf einer Gleitbahn ab Position A zunächst $1,6 \text{ m}$ nach unten und anschließend $0,5 \text{ m}$ wieder nach oben zur Position B.

Berechnen Sie die Geschwindigkeit der Box an der Position B. Die Reibung wird vernachlässigt.





Betriebs- und fertigungstechnische Größen bei Belastungen und Bewegungen

Wichtig für die Prüfungsvorbereitung



Für das Verständnis technischer Zusammenhänge und deren Umsetzung in der Praxis ist es besonders wichtig, dass Sie **fertigungstechnische Größen berechnen** können.

Beispiel: Konstante Bewegung



Um die 120 m lange Lagerhalle bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 6 km/h zu durchfahren, benötigt ein Gabelstapler die folgende Zeit:

$$v = \frac{s}{t} \qquad 6 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 1,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$t = \frac{s}{v}$$

$$t = \frac{120 \text{ m}}{1,7 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$t = 70,6 \text{ s} = \underline{\underline{1,18 \text{ min}}}$$

3.1 Geradlinige und kreisförmige Bewegungsabläufe

Hinweis: Bewegungsabläufe

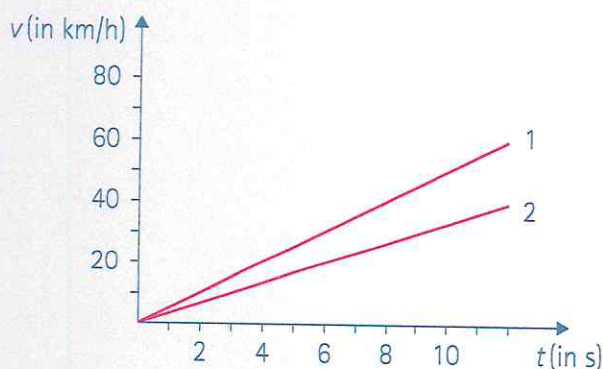


Um Bewegungsabläufe verstehen und beurteilen zu können, müssen diese auch berechnet werden. In Kapitel 1.4 wurden die dazu benötigten Formeln hergeleitet und Ihnen das notwendige Hintergrundwissen vermittelt.

Beispiel: Beschleunigte Bewegung 1



Bei Testfahrten mit einem Pkw wurden Beschleunigungsversuche unternommen. Aufgezeichnet wurden in einem Diagramm die aktuellen Geschwindigkeiten und die benötigten Zeiten:



Die Beschleunigungswerte lassen sich aus den Diagrammen ermitteln.

$$a = \frac{v}{t}$$

$$a_1 = \frac{13,9 \text{ m}}{10 \text{ s} \cdot \text{s}}$$

$$a_1 = \underline{\underline{1,39 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}}$$

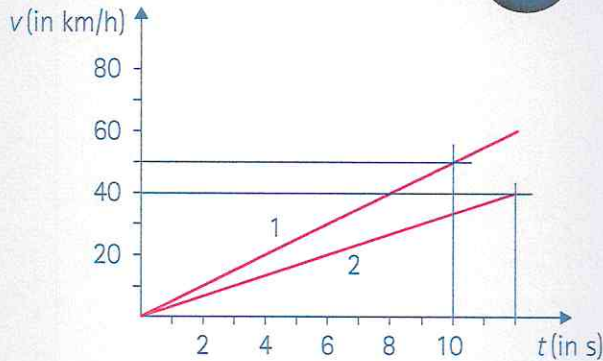
$$a_2 = \frac{11,1 \text{ m}}{12 \text{ s} \cdot \text{s}}$$

$$a_2 = \underline{\underline{0,93 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}}$$



Betriebs- und fertigungstechnische Größen bei Belastungen und Bewegungen

Beispiel: Beschleunigte Bewegung 1



$$t_1 = 10 \text{ s}$$

$$v_1 = 50 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 13,9 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$t_2 = 12 \text{ s}$$

$$v_2 = 40 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 11,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$t = \frac{2 \cdot s}{(v_0 + v_t)}$$

$$t = \frac{2 \cdot 200 \text{ m}}{(37,5 + 33,3) \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 5,65 \text{ s}$$

$$a = \frac{(37,5 - 33,3) \frac{\text{m}}{\text{s}}}{5,65 \text{ s}}$$

$$a = \underline{\underline{0,74 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}}$$

Beispiel: Beschleunigte Bewegung 2

Ein Werkstück wird von der Bearbeitungsmaschine mit einer Geschwindigkeit von 18 m/s ausgestoßen und kommt nach 0,2 s in den Ruhezustand. Dabei legt es folgenden „Bremsweg“ zurück:

$$s = \frac{1}{2} \cdot v \cdot t$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot 18 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0,2 \text{ s}$$

$$s = \underline{\underline{1,8 \text{ m}}}$$

Beispiel: Freier Fall

Kondenswasser tropft vom Dach einer 12m hohen Lagerhalle. Der Wassertropfen benötigt dazu die folgende Zeit (Fallzeit):

$$s = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot s}{g}}$$

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot 12 \text{ m}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}}$$

$$t = \underline{\underline{1,56 \text{ s}}}$$

Beispiel: Beschleunigte Bewegung 3

Am Ende eines Überholvorgangs hat ein Motorradfahrer eine Geschwindigkeit von 135 km/h. Innerhalb von fünf Markierungspfosten (Abstand zweier Pfosten: 50 m) hat er aufgrund seiner Bremsverzögerung wieder eine Geschwindigkeit von 120 km/h. Berechnung der Bremsverzögerung:

$$v_t = v_0 - a \cdot t$$

$$a = \frac{v_0 - v_t}{t}$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot (v_0 + v_t) \cdot t$$

$$v_t = 120 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 33,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_0 = 135 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 37,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Beispiel: Umfangsgeschwindigkeit

Eine Schleifscheibe hat einen Durchmesser von 45 mm. Die Drehzahl der Scheibe beträgt 1.100 min⁻¹.

a) Berechnung der Drehfrequenz (Umdrehungsfrequenz):

$$n = 1.100 \frac{1}{\text{min}}$$

$$n = \frac{1.100}{60 \text{ s}}$$

$$n = \underline{\underline{18,3 \frac{1}{\text{s}} = 18,3 \text{ s}^{-1}}}$$



Betriebs- und fertigungstechnische Größen bei Belastungen und Bewegungen

Beispiel: Umfangsgeschwindigkeit

- b) Berechnung der Geschwindigkeit in m/min, mit der ein Funke die Schleifscheibe verlässt:

$$v = \pi \cdot d \cdot n$$

$$v = \pi \cdot 0,045 \text{ m} \cdot 1.100 \frac{1}{\text{min}}$$

$$v = \underline{\underline{155,5 \frac{\text{m}}{\text{min}}}}$$

Beispiel: Winkelgeschwindigkeit

Eine Welle hat einen Durchmesser von 22 mm und eine Umfangsgeschwindigkeit von 8,25 m/s.

- a) Drehzahl der Welle:

$$v = \pi \cdot d \cdot n$$

$$n = \frac{v}{\pi \cdot d}$$

$$n = \frac{8,25 \text{ m}}{\text{s} \cdot \pi \cdot 0,022 \text{ m}}$$

$$n = 119 \frac{1}{\text{s}} = 119 \text{ s}^{-1} = \underline{\underline{7.140 \text{ min}^{-1}}}$$

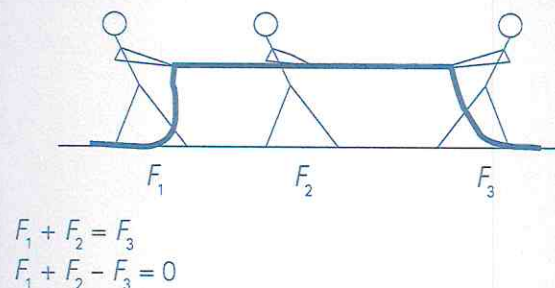
- b) Winkelgeschwindigkeit der Welle:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 119 \text{ s}^{-1}$$

$$\omega = \underline{\underline{747,7 \text{ s}^{-1}}}$$

Abb. 3.1: Kräfte auf gleicher Wirkungslinie



Ist die Summe der wirkenden Kräfte null, dann befindet sich das System im Gleichgewicht.

Liegen die wirkenden Kräfte nicht auf der gleichen Wirkungslinie, müssen sie geometrisch addiert werden. Die **resultierende Kraft (Resultierende F_R)** wird grafisch durch das Kräfteparallelogramm bestimmt. Die Kraft F_2 wird mit ihrem Anfangspunkt an den Endpunkt von F_1 angetragen. Betrag und Richtung werden beibehalten. Betrag und Richtung der resultierenden Kraft F_R zeigt vom Anfangspunkt von F_1 bis zum Endpunkt von F_2 .

Abb. 3.2: Kräfteparallelogramm und geometrische Addition



geometrische Addition (Addition nach Größe und Richtung):

$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$



Zu F_1 wird F_2 nach Größe (Betrag) und Richtung addiert.

3.2 Mechanische Beanspruchungen

Hinweis: Kraftbegriff

In Kapitel 1.4.2 finden Sie Näheres zum Kraftbegriff.

3.2.1 Kräfte und Momente

Kräftezerlegung

Liegen Kräfte auf der gleichen Wirkungslinie, dürfen sie algebraisch (rechnerisch) zusammengefasst werden. Ein Beispiel hierfür ist das Seilziehen (s. Abbildung 3.1).

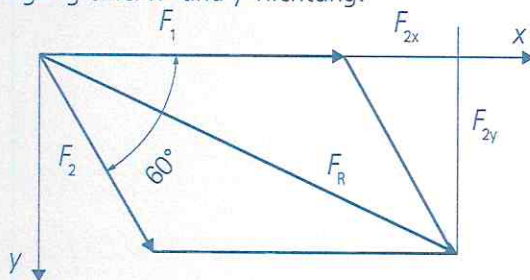
Das Beispiel auf der folgenden Seite (oben) veranschaulicht das Kräfteparallelogramm und die Berechnung von F_R .



Betriebs- und fertigungstechnische Größen bei Belastungen und Bewegungen

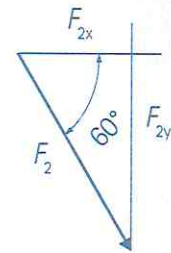
Beispiel: Kräfteparallelogramm, Berechnung von F_R

Festlegung einer x- und y-Richtung:



$$F_R = \sqrt{(F_1 + F_{2x})^2 + (F_{2y})^2}$$

$$F_R = \sqrt{(F_1 + F_2 \cdot \cos 60^\circ)^2 + (F_2 \cdot \sin 60^\circ)^2}$$

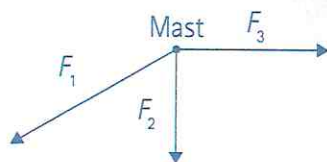


$$F_{2x} = F_2 \cdot \cos 60^\circ$$

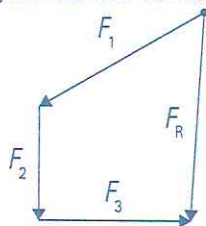
$$F_{2y} = F_2 \cdot \sin 60^\circ$$

Greifen mehrere Kräfte an einem Punkt an, so erfolgt die zeichnerische Lösung durch Parallelverschiebung (Wahl eines Kräftemaßstabes). Die Resultierende ist die vom Anfangspunkt zum Endpunkt gezogene Verbindung.

Beispiel: Mehrere Kräfte auf ungleicher Wirkungslinie



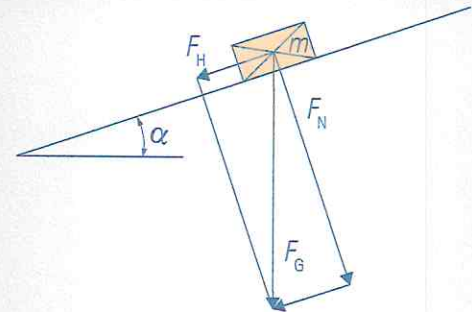
An einem Abspannmast greifen Kräfte unterschiedlicher Richtung an. Der Mast muss die Gegenkraft zur Resultierenden der angreifenden Kräfte aufbringen. Die Resultierende F_R erhält man zeichnerisch, indem man die Kraftpfeile nach Größe und Richtung addiert (s. auch Abbildung 3.2 auf der vorherigen Seite).



$$\vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$$

Befindet sich ein Körper auf einer schiefen Ebene mit dem Steigungswinkel α , so wird seine Gewichtskraft zerlegt in die **Hangabtriebskraft** F_H und die **Normalkraft** F_N .

Abb. 3.3: Schiefe Ebene



F_H Hangabtriebskraft (parallel zum Hang)
 F_N Normalkraft (wirkt senkrecht auf die Unterlage)
 $F_H = F_G \cdot \sin \alpha$
 $F_N = F_G \cdot \cos \alpha$

Beispiel: Schiefe Ebene

Ein Schrägaufzug hat eine Steigung von 8%. Auf ihm befindet sich ein Wagen mit einer Masse von 240 kg, der von einem Seil parallel zur schiefen Ebene gehalten wird.

Haltekraft des Seiles (Hangabtriebskraft):

$$F_H = F_G \cdot \sin \alpha \quad 8\% \Rightarrow \tan \alpha = 0,08 \Rightarrow$$

$$F_H = m \cdot g \cdot \sin \alpha \quad \alpha = 4,57^\circ$$

$$F_H = 240 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \sin 4,57^\circ$$

$$F_H = \underline{\underline{187,6 \text{ N}}}$$



Betriebs- und fertigungstechnische Größen bei Belastungen und Bewegungen

Beispiel: Schiefe Ebene



Normalkraft (benötigt zur Bestimmung der Reibungskraft):

$$F_N = F_G \cdot \cos \alpha$$

$$F_N = m \cdot g \cdot \cos \alpha$$

$$F_N = 240 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \cos 4,57^\circ$$

$$F_N = \underline{\underline{2.346,9 \text{ N}}}$$



Die Reibungskraft F_R ist von der Normalkraft F_N und von der Beschaffenheit der Berührflächen abhängig. Dies wird durch die **Reibungszahl** μ ausgedrückt.

Formel: Reibungskraft



$$F_R = \mu_{(0)} \cdot F_N \quad (3.1)$$

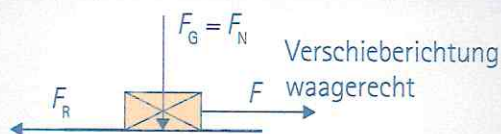
F_N Normalkraft
 F_R Reibungskraft
 μ Gleitreibungszahl
 μ_0 Haftreibungszahl

Kräfte

Reibung(skraft)

Berühren sich zwei Körper, so wirken bei Bewegung Reibungskräfte. Die Reibungskraft wirkt immer der Bewegungsrichtung entgegen.

Abb. 3.4: Reibungskraft



Merke: Haft- und Gleitreibungskraft



Haftreibungskraft > Gleitreibungskraft

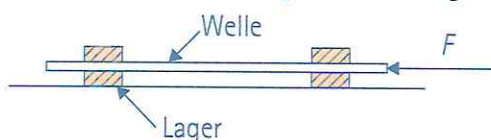
Es werden folgende Reibungskräfte unterschieden:

- **Haftreibungskraft** ist die Kraft, die überwunden werden muss, um den Körper in Bewegung zu versetzen.
- **Gleitreibungskraft** ist die Kraft, die aufgewendet werden muss, um den Körper im Gleiten zu halten.

Beispiel: Reibungskraft



Eine Stahlstange hat eine Masse von 25 kg und ist in zwei Lagern aus Stahl gelagert.



Berechnung der Kraft zum Ansheben:

$$F_R = \mu_0 \cdot F_N = \mu_0 \cdot m \cdot g$$

$$F_R = 0,15 \cdot 12,5 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_R = \underline{\underline{18,4 \text{ N}}}$$

Haftreibung muss überwunden werden:

$$\mu_0 = 0,15$$

Berechnung der Kraft zum Verschieben:

$$F_R = \mu \cdot F_N = \mu \cdot m \cdot g$$

$$F_R = 0,12 \cdot 12,5 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F_R = \underline{\underline{14,715 \text{ N}}}$$

Gleitreibung muss überwunden werden:

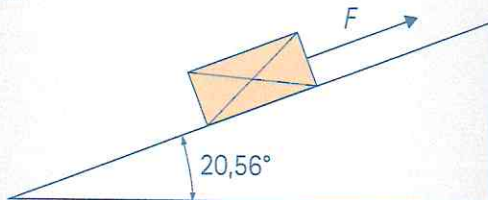
$$\mu = 0,12$$



Betriebs- und fertigungstechnische Größen bei Belastungen und Bewegungen

Beispiel: Verschiebekraft schiefe Ebene

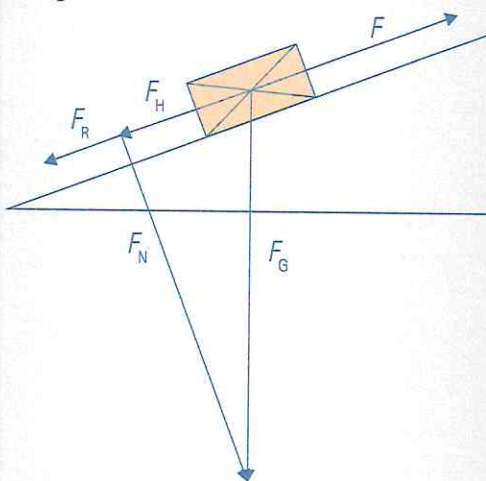
Eine Kiste mit einer Masse von 50kg soll auf einer Rampe mit gleich bleibender Geschwindigkeit bei einer Reibungszahl von 0,55 aufwärts bewegt werden.



Berechnung der Kraft F , die zum Verschieben der Kiste erforderlich ist:

$$\begin{aligned} \sum F &= 0 \\ 0 &= F - F_H - F_R \\ F &= F_R + F_H \\ F &= \mu \cdot F_G \cdot \cos \alpha + F_G \cdot \sin \alpha \\ F &= F_G \cdot (\mu \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) \\ F &= 50 \cdot 9,81 \text{ N} \cdot (0,55 \cdot \cos 20,56^\circ + \sin 20,56^\circ) \\ F &= \underline{\underline{424,9 \text{ N}}} \end{aligned}$$

Darstellung der wirkenden Kräfte:



● Federkraft

Wird eine Feder auseinandergezogen oder zusammengedrückt, so ist dazu eine Kraft erforderlich, die Federkraft F_F . Bei der elastischen Verformung eines Bauteils stehen die Kraft und die Längenänderung in einem proportionalen Verhältnis. Es gilt das **Hooke'sche Gesetz**.

Formel: Hooke'sches Gesetz

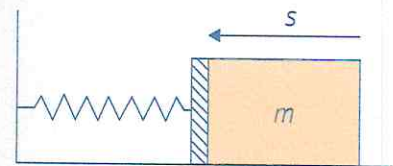


$$F_F = R \cdot s \quad (3.2)$$

F_F Federkraft
 R Federrate (Federkonstante)
 s Weg

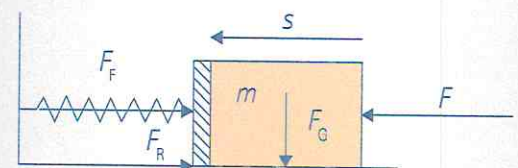
Beispiel: Federkraft

Ein Dämpferelement aus Grauguss mit einer Masse von $m = 50 \text{ kg}$ soll gegen eine Feder um 30 mm verschoben werden. Die Unterlage ist ein waagrecht Stahlblech, die Federrate beträgt $R = 100 \text{ N/mm}$.



Berechnung der Kraft F , die erforderlich ist, um das Dämpferelement in seine Endlage zu bringen:

Darstellung der wirkenden Kräfte:



$$\begin{aligned} F_N &= F_G = m \cdot g \\ F_N &= 50 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \\ F_N &= 490,5 \text{ N} \\ F &= F_F + F_R \\ F &= R \cdot s + \mu \cdot F_N \\ F &= 100 \frac{\text{N}}{\text{min}} \cdot 30 \text{ mm} + 0,18 \cdot 490,5 \text{ N} \\ F &= \underline{\underline{3.088,3 \text{ N}}} \end{aligned}$$

● Beschleunigungskraft

Um einen Körper zu beschleunigen, ist eine Kraft erforderlich (zweites Newton'sches Axiom, s. Kapitel 1.4.2).



Betriebs- und fertigungstechnische Größen bei Belastungen und Bewegungen

Beispiel: Beschleunigungskraft

Ein Pkw mit Anhänger der Masse 1,8t beschleunigt auf waagerechter Straße. In der Anhängerkupplung wirkt eine Kraft von 720N. Der Fahrwiderstand wird vernachlässigt.

Beschleunigung des Pkw:

$$F = m \cdot a$$

$$a = \frac{F}{m}$$

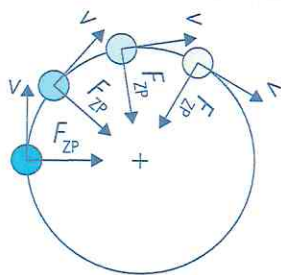
$$a = \frac{720 \text{ N}}{1.800 \text{ kg}}$$

$$a = \underline{\underline{0,4 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}}$$

• Zentripetalkraft, Zentrifugalkraft

Die Rotation einer Masse (s. Abbildung 3.5) ist aus der Sicht eines ruhenden Beobachters nur möglich, wenn eine zentrale Kraft wirkt, die auf den Kreismittelpunkt gerichtet ist. Es ist die Kraft, die z. B. ein Hammerwerfer aufbringen muss, um den Hammer zu halten.

Abb. 3.5: Kreisbewegung



Die Kraft, die zum Mittelpunkt der Bewegung wirkt, wird als **Zentripetalkraft** F_{ZP} bezeichnet. Wäre diese Kraft nicht, würde der Körper tangential wegfliegen. Dies ist beim „Hammerwurf“ zu beobachten. Die Zentripetalkraft ruft eine Gegenkraft hervor, die **Zentrifugalkraft** F_{ZF} . (drittes Newton'sches Axiom: „actio = reactio“). Diese Kraft wird beim „Hammerwurf“ durch das Seil an der Kugel aufgebracht. Die Beträge dieser Kräfte sind gleich.

Formel: Zentripetalkraft, Zentrifugalkraft, Zentrifugalbeschleunigung



$$F_{ZP} = F_{ZF} = F_Z$$

$$F_Z = m \cdot a_z$$

(3.3)

$$a_z = \frac{v^2}{r}$$

a_z Zentrifugalbeschleunigung
 F_{ZF} Zentrifugalkraft
 F_{ZP} Zentripetalkraft
 r Radius
 v Umfangsgeschwindigkeit

Beispiel: Zentripetalkraft

Eine Kugel mit der Masse 20 g wird auf einer vertikalen Kreisbahn (Looping) mit dem Durchmesser 1,2 m bewegt.

Berechnung der Mindestgeschwindigkeit v der Kugel, damit sie auf der Kreisbahn bleibt:

$$F_Z = F_G$$

$$m \cdot a_z = m \cdot g$$

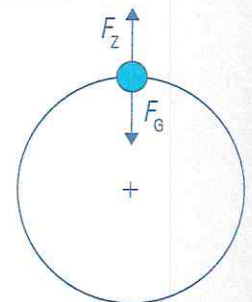
$$m \cdot \frac{v^2}{r} = m \cdot g$$

$$\frac{v^2}{r} = g$$

$$v = \sqrt{r \cdot g}$$

$$v = \sqrt{0,6 \text{ m} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$v = \underline{\underline{2,43 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$



Im obersten Punkt der Bahn muss gelten:

$$F_Z = F_G$$

• Drehmoment – Kraftmoment

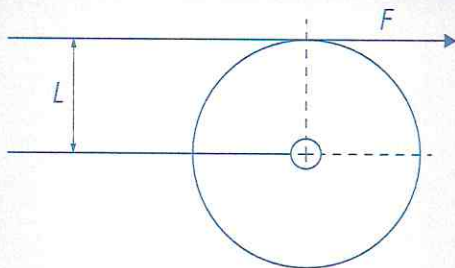
Die Drehung eines Rades ist nur möglich, wenn die Richtung der wirkenden Kraft nicht auf den Mittelpunkt des Rades (die Achse) zeigt. Die Stärke der Drehwirkung wird größer, je größer die Kraft ist und je weiter die Wirkungslinie (parallel zur Tangente an das Rad) der Kraft vom Drehmittelpunkt entfernt ist. Die Größe der Drehwirkung, das **Drehmoment** (s. Abbildung 3.6 auf der folgenden Seite), wird beschrieben durch das Produkt aus der Kraft F und senkrechtem Abstand L (wirksame Hebellänge) ihrer Wirkungslinie zum Drehmittelpunkt – auch als Hebelarm be-



Betriebs- und fertigungstechnische Größen bei Belastungen und Bewegungen

zeichnet. Tritt keine Drehwirkung auf, spricht man von einem Kraftmoment oder einem statischen Moment.

Abb. 3.6: Drehmoment



Merke: Drehmoment

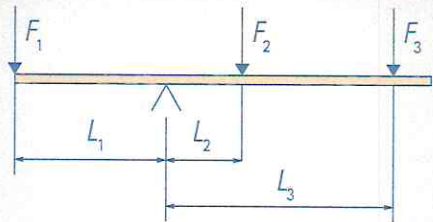
Das Produkt aus der Kraft F und dem senkrechten Abstand L (wirksame Hebellänge) wird als Drehmoment oder Kraftmoment (DIN 1304) bezeichnet.

Formel: Drehmoment

$$M = F \cdot L \quad (3.4)$$

- F Kraft
- L Hebelarm (wirksame Hebellänge)
- M Drehmoment (Moment)

Abb. 3.7: Hebelgesetz



$$\begin{aligned} \sum M_L &= \sum M_R \\ M_1 &= M_2 + M_3 \\ F_1 \cdot L_1 &= F_2 \cdot L_2 + F_3 \cdot L_3 \end{aligned}$$

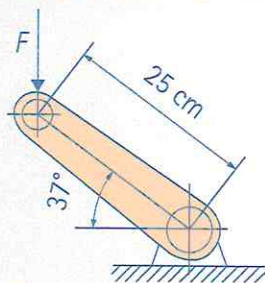
Merke: Hebelgesetz

Wirken an einem Hebel mehrere Drehmomente, so herrscht Gleichgewicht, wenn die Summe der linksdrehenden Momente gleich der Summe der rechtsdrehenden Momente ist.

Die Berechnung der Auflagerkräfte z.B. eines Balkens in A und B (s. Beispiel „Auflager“ auf der folgenden Seite) erfolgt ebenfalls nach dem Hebelgesetz.

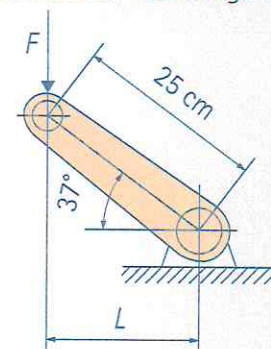
Beispiel: Drehmoment 1

An einem Hebel wird eine Kraft $F = 1.400 \text{ N}$ ausgeübt.



Drehmoment am Hebel:
 $M = F \cdot L$
 $M = 1.400 \text{ N} \cdot 20 \text{ cm}$
 $M = 28.000 \text{ Ncm} = 280 \text{ Nm}$

Berechnung der wirksamen Hebellänge L :

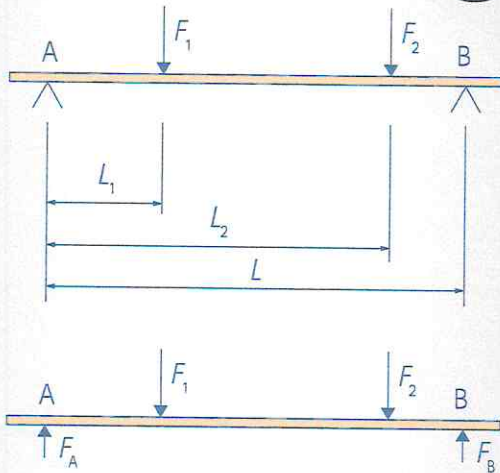


$$\begin{aligned} \cos 37^\circ &= \frac{L}{25 \text{ cm}} \\ L &= 25 \text{ cm} \cdot \cos 37^\circ \\ L &= 20 \text{ cm} \end{aligned}$$



Betriebs- und fertigungstechnische Größen bei Belastungen und Bewegungen

Beispiel: Auflager



Drehpunkt in A:

$$\sum M_{(A)} = 0$$

$$F_1 \cdot L_1 + F_2 \cdot L_2 = F_B \cdot L$$

$$F_B = \frac{F_1 \cdot L_1 + F_2 \cdot L_2}{L}$$

Die Berechnung der Auflagerkräfte erfolgt, indem der Drehpunkt einmal in das Lager A gelegt wird ...

Drehpunkt in B:

$$\sum M_{(B)} = 0$$

$$F_1 \cdot (L - L_1) + F_2 \cdot (L - L_2) = F_A \cdot L$$

$$F_A = \frac{(L - L_1) \cdot F_1 + F_2 \cdot (L - L_2)}{L}$$

... und einmal in das Lager B gelegt wird.

Berechnung von F_3 , damit der Hebel im Gleichgewicht ist:

$$M_1 + M_2 = M_3$$

$$F_1 \cdot L_1 + F_2 \cdot L_2 = F_3 \cdot L_3$$

$$F_3 = \frac{F_1 \cdot L_1 + F_2 \cdot L_2}{L_3}$$

$$F_3 = \frac{20 \text{ N} \cdot 30 \text{ cm} + 10 \text{ N} \cdot 5 \text{ cm}}{40 \text{ cm}}$$

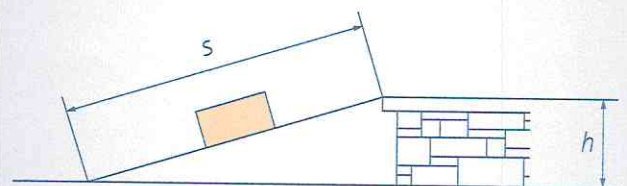
$$F_3 = \underline{\underline{16,25 \text{ N}}}$$

3.2.2 Arbeit und Energie

Die unterschiedlichen Energieformen wurden bereits in Kapitel 2.1 vorgestellt. Um z. B. Maschinen für einen bestimmten Einsatzzweck beurteilen zu können, muss deren Energiebedarf berechnet werden können. In den folgenden Beispielen werden die Formeln angewendet, die in Kapitel 2.1 erläutert wurden.

Beispiel: Hubarbeit

Ein Körper der Masse 45 kg soll auf eine Laderampe der Höhe 1,2 m gebracht werden.



Hubarbeit:

$$W_H = F_G \cdot h = m \cdot g \cdot h$$

$$W_H = 45 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1,2 \text{ m}$$

$$W_H = \underline{\underline{529,74 \text{ Nm}}}$$

Verschiebearbeit längs der schiefen Ebene der Länge 4 m auf die Laderampe unter Vernachlässigung der Reibung:

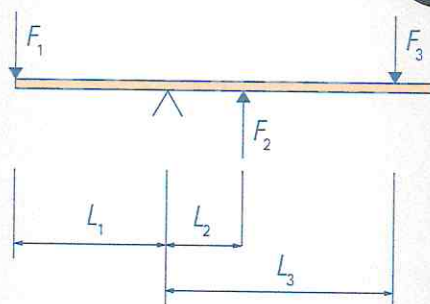
$$W = F \cdot s = F_H \cdot s$$

$$W = F_G \cdot \sin \alpha \cdot s = m \cdot g \cdot \sin \alpha \cdot s$$

$$W = 45 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,3 \cdot 4 \text{ m}$$

$$W = \underline{\underline{529,75 \text{ Nm}}}$$

Beispiel: Drehmoment 2



$F_1 = 20 \text{ N}$	$L_1 = 30 \text{ cm}$
$F_2 = 10 \text{ N}$	$L_2 = 5 \text{ cm}$
	$L_3 = 40 \text{ cm}$



Betriebs- und fertigungstechnische Größen bei Belastungen und Bewegungen

Beispiel: Hubarbeit



$$\sin \alpha = \frac{h}{s}$$

$$\sin \alpha = \frac{1,2 \text{ m}}{4 \text{ m}} = 0,3$$

$$\alpha = 17,46^\circ$$

Verschiebearbeit, wenn der Reibfaktor 0,18 ist:

$$W = W_H + W_R$$

$$W = F_G \cdot h + \mu \cdot F_N \cdot s$$

$$F_N = m \cdot g \cdot \cos \alpha$$

$$F_N = 45 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \cos 17,46^\circ$$

$$F_N = 421,1 \text{ N}$$

$$W = 529,74 \text{ Nm} + 0,18 \cdot 421,1 \text{ N} \cdot 4 \text{ m}$$

$$W = \underline{\underline{832,932 \text{ Nm}}}$$

Der Zahlenwert der Arbeit erhöht sich bedingt durch die Reibung.

Potenzielle Energie des Körpers nach dem Hochheben:

$$E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$$

$$E_{\text{pot}} = \underline{\underline{529,74 \text{ J}}}$$

Mithilfe des Energieerhaltungssatzes ergibt sich sehr häufig ein einfacher Lösungsansatz.

Beispiel: Federarbeit, Federenergie, kinetische Energie

Eine Kugel hat eine Masse von 50 g und liegt auf einer Feder, die um 10 cm gespannt und arretiert ist. Wird die Feder entarretiert, steigt die Kugel auf eine maximale Höhe von 4,5 m.

a) Federrate:

$$W_F = W_H$$

$$\frac{1}{2} \cdot R \cdot s^2 = F_G \cdot h$$

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

$$R = \frac{2 \cdot m \cdot g \cdot h}{s^2}$$

$$R = \frac{2 \cdot 0,05 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 4,5 \text{ m}}{(0,1 \text{ m})^2} = 441,45 \frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2} \cdot \frac{\text{m}}{\text{m}^2}$$

$$R = \underline{\underline{441,45 \frac{\text{N}}{\text{m}}}}$$

b) kinetische Energie der Kugel beim Verlassen der Feder:

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

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot R \cdot s^2 (= F_G \cdot h)$$

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot 441,45 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot (0,1 \text{ m})^2$$

$$E_{\text{kin}} = \underline{\underline{2,21 \text{ J}}}$$

c) Geschwindigkeit der Kugel, wenn sie die Feder verlässt:

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{\text{kin}}}{m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 2,21 \text{ J}}{0,05 \text{ kg}}}$$

$$v = \underline{\underline{9,4 \frac{\text{m}}{\text{s}}}}$$

Beispiel: Kinetische Energie, Reibungsarbeit

Ein Pkw hat eine Geschwindigkeit von 72 km/h und bremst auf trockenem Asphalt mit blockierenden Rädern.

Länge des Bremsweges:

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

$$72 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = F_R \cdot s$$

$$\mu = 0,8$$

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \mu \cdot m \cdot g \cdot s$$

$$\frac{1}{2} \cdot v^2 = \mu \cdot g \cdot s$$

$$s = \frac{v^2}{2 \cdot \mu \cdot g}$$



Betriebs- und fertigungstechnische Größen bei Belastungen und Bewegungen

Beispiel:
Kinetische Energie, Reibungsarbeit

→

$$s = \frac{\left(20 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \cdot 0,8 \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$s = \underline{\underline{25,5 \text{ m}}}$$

3.2.3 Leistung und Wirkungsgrad

Wird eine Arbeit verrichtet, so spielt sehr häufig auch die Zeit, in der die Arbeit verrichtet wird, d.h. die Arbeitsgeschwindigkeit, eine Rolle. Diese wird als **Leistung** bezeichnet. Dabei müssen die Kraft und die Geschwindigkeit in die gleiche Richtung zeigen.

Formeln: Leistung

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F \cdot s}{t} = F \cdot v \quad (3.5)$$

Rotationsleistung:

$$P = M \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \quad (3.6)$$

F Kraft
M Drehmoment
P Leistung
s Weg
t Zeit
v Geschwindigkeit

Damit ergibt sich auch für den Wirkungsgrad (Formel 2.8):

$$\eta = \frac{E_{ab}}{E_{zu}} = \frac{W_{ab}}{W_{zu}} = \frac{W_{ab} \cdot t}{W_{zu} \cdot t}$$

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

P_{ab} wird auch als Nutzleistung (s. Kapitel 1.5.2) bezeichnet.

Beispiel: Leistung, Wirkungsgrad 1

Der Antriebsmotor der Hydraulik eines Hebezeuges muss eine Masse von maximal 1,8t in 12s auf eine Höhe von 6m bringen. Der Wirkungsgrad der Hydraulik beträgt 0,76.

$$P_{abM} = \frac{P_{abH}}{\eta_H} \quad P_{abH} = \frac{W_H}{t} = \frac{m \cdot g \cdot h}{t}$$

$$P_{abM} = \frac{8.829 \text{ W}}{0,76} \quad P_{abH} = \frac{1.800 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 6 \text{ m}}{12 \text{ s}}$$

$$P_{abM} = \underline{\underline{11,617 \text{ kW}}} \quad P_{abH} = 8.829 \text{ W}$$

Beispiel: Leistung, Wirkungsgrad 2

Der Turbine eines Generators werden durch das Fallrohr stündlich 600m³ Wasser zugeführt (s. Abbildung 2.2 in Kapitel 2.2). Die Fallhöhe beträgt 260m.

Elektrische Energie, die in das Netz eingespeist wird:

$$\eta_{ges} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3$$

$$\eta_{ges} = 0,6912$$

$$P_{abTrafo} = \eta \cdot P_{zuT}$$

$$P_{abTrafo} = 0,6912 \cdot 425.100 \text{ W}$$

$$P_{abTrafo} = \underline{\underline{293.829 \text{ W} = 293,8 \text{ kW}}}$$

$$V = 600 \text{ m}^3 \xrightarrow{\text{Wasser}} m = 600.000 \text{ kg}$$

$$P_{zuT} = \frac{W_H}{t} = \frac{m \cdot g \cdot h}{t}$$

$$P_{zuT} = \frac{600.000 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 260 \text{ m}}{3.600 \text{ s}}$$

$$P_{zuT} = 425.100 \text{ W}$$



Betriebs- und fertigungstechnische Größen bei Belastungen und Bewegungen

Beispiel: Elektrische Leistung

Leistungsschild eines Elektromotors:

DIHK			
Typ	3 ~ Mot. Nr.		
Δ 400 V			28 A
15 kW	S1	cos φ = 0,9	
	1.430 1/min		50 Hz
Isol.-Kl. F	IP 33		88 kg
DIN VDE 0530			

Dem Leistungsschild des Motors ist zu entnehmen, dass es sich um einen Drehstrommotor handelt: 3 ~ Mot. Außerdem ist die Bemessungsleistung (mechanische Leistung) angegeben: $P_{ab} = 15 \text{ kW}$.

Elektrische Leistung, die der Motor dem Netz entnimmt:

$$P_{auf} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

$$P_{auf} = \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 28 \text{ A} \cdot 0,9$$

$$P_{auf} = \underline{\underline{17,459 \text{ kW}}}$$

Wirkungsgrad des Motors:

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

$$\eta = \frac{15 \text{ kW}}{17,459 \text{ kW}}$$

$$\eta = \underline{\underline{0,86}}$$

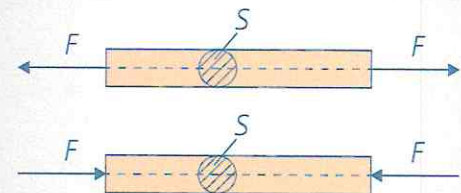
- Biegebeanspruchung (z. B. Balken, Achsen, Wellen)
- Torsionsbeanspruchung (Verdrehung) (z. B. Wellen)

Durch diese Beanspruchungen entstehen in den Bauteilen Spannungen. Diese **Spannungen** dürfen bestimmte werkstoffabhängige Grenzwerte nicht überschreiten, da das Bauteil sich sonst unzulässig verformt oder zerstört wird.

Zug-, Druckspannung

Zug- und Druckkräfte bewirken **Normalspannungen**, d. h., die Kräfte wirken senkrecht zur Querschnittsfläche. Die Berechnung von Zug- und Druckspannung erfolgt in gleicher Weise. Es ist lediglich zu beachten, dass die zulässigen Festigkeitswerte bei Zug- und Druckbeanspruchungen evtl. unterschiedlich sind.

Abb. 3.8: Zug- und Druckbeanspruchung



Formel: Zug-, Druckspannung

$$\sigma_{z(d)} = \frac{F}{S} \quad (3.7)$$

- F Kraft
 S Querschnittsfläche senkrecht zur Zug- bzw. Druckkraft
 $\sigma_{z(d)}$ Zug- bzw. Druckspannung

3.3 Zug, Druck, Torsion, Biegung, Abscherung und Flächenpressung

3.3.1 Mechanische Beanspruchungen

Alle Bauteile werden meist durch unterschiedliche äußere Kräfte belastet, denen sie standhalten müssen. Es werden folgende **Grundbelastungsarten** unterschieden:

- Zugbeanspruchung (z. B. Seile, Zugstangen)
- Druckbeanspruchung (z. B. Stützen, Flächenpressung durch Schrauben)
- Schub- oder Scherbeanspruchung (z. B. Niete, Bolzen)

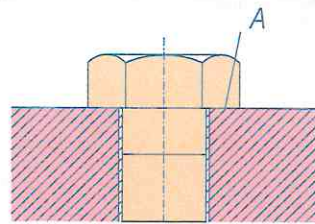
Flächenpressung

Die Flächenpressung ist ein Sonderfall der Druckbeanspruchung. Hierbei berühren sich zwei Flächen. Auch hier steht die Kraft senkrecht zur Fläche. Ist dies nicht der Fall, so muss eine Kräftezerlegung vorgenommen werden. Dabei wird nur der Anteil der Kraft berücksichtigt, welcher senkrecht zur Fläche steht (s. Abbildung 3.9 auf der folgenden Seite).



Betriebs- und fertigungstechnische Größen bei Belastungen und Bewegungen

Abb. 3.9: Flächenpressung



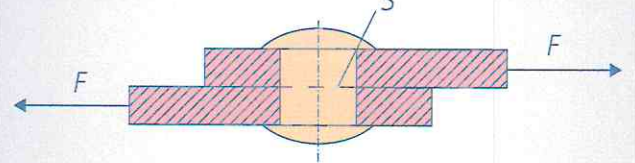
Formel: Flächenpressung

$$p = \frac{F}{A} \quad (3.8) \quad \Omega$$

(s. auch 1.28)

- A Auflagefläche
- F Druckkraft
- p Flächenpressung (Druck)

Abb. 3.10: Schub-, Scherbeanspruchung



Formel: Schub- oder Scherspannung

$$\tau_a = \frac{F}{S} \quad (3.9) \quad \Omega$$

- F Schub- oder Scherkraft
- S Querschnittsfläche parallel zur Schub- bzw. Scherkraft
- τ_a Schub- oder Scherspannung

Beispiel: Flächenpressung

In der Mitte eines Tisches mit vier Beinen liegt ein Werkstück mit der Masse 88 kg, der Tisch hat eine Masse von 62 kg. Ein Tischbein hat einen Durchmesser von 30 mm.

Flächenpressung eines Tischbeins auf den Boden:

$$p = \frac{F}{A} = \frac{F_{\text{GTB}}}{A} \quad F_G = m \cdot g$$

$$p = \frac{367,9 \text{ N}}{0,707 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2} \quad F_G = 150 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$p = 520.472 \text{ Pa} \quad F_G = 1.471,5 \text{ N}$$

$$p = \underline{\underline{520,472 \text{ kPa}}} \quad F_{\text{GTB}} = \frac{1.471,5 \text{ N}}{4}$$

$$F_{\text{GTB}} = 367,9 \text{ N}$$

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$$

$$A = \frac{(0,03 \text{ m})^2 \cdot \pi}{4}$$

$$A = 0,707 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Schub-, Scherspannung

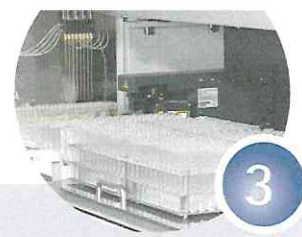
Bei einer Abscherbeanspruchung liegt die Kraft in der betrachteten Querschnittsfläche. Ist die Scherspannung größer als die Scherfestigkeit, werden die Atome bzw. Moleküle im belasteten Querschnitt voneinander verschoben. Dies ist beim Schneidvorgang (z. B. beim Ausstanzen von Formteilen) der Fall.

Biegung und Torsion

Bei den Festigkeitsberechnungen Zug- und Druckspannung, Flächenpressung, Schub- und Scherspannung lässt sich die mechanische Spannung als Maß für die Beanspruchung einfach durch Bildung des Quotienten aus Kraft und Querschnittsfläche bilden. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Kraft über die gesamte Querschnittsfläche gleichmäßig verteilt ist, dass also überall die gleiche Spannung auftritt. Das ist bei den Beanspruchungsarten Biegung und Torsion nicht der Fall, denn hier treten weitere Einflussgrößen auf. Die Größe der auftretenden Biege- bzw. Torsionsspannung ist nicht nur von der Belastungskraft F abhängig, sondern von dem durch diese hervorgerufenen Biege- bzw. Torsionsmoment. Weiterhin hängt der Betrag der Biege- bzw. Torsionsspannung nicht nur von der Größe der Querschnittsfläche ab, sondern v. a. auch von ihrer Form und Lage zur Biege- bzw. Torsionsachse.

Hinweis: Biegung und Torsion

Da Biegung und Torsion sehr fachspezifisch sind, werden sie an dieser Stelle nicht weiter vertieft. Eine ausführliche Darstellung würde den Umfang des Textbandes stark erhöhen. Details finden Sie in der Fachliteratur.



Betriebs- und fertigungstechnische Größen bei Belastungen und Bewegungen

Abb. 3.11: Biege- und Torsionsbeanspruchung

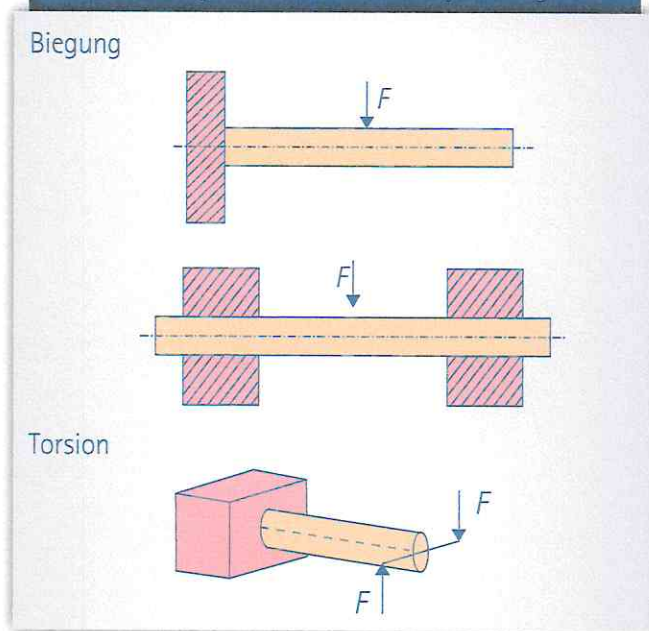
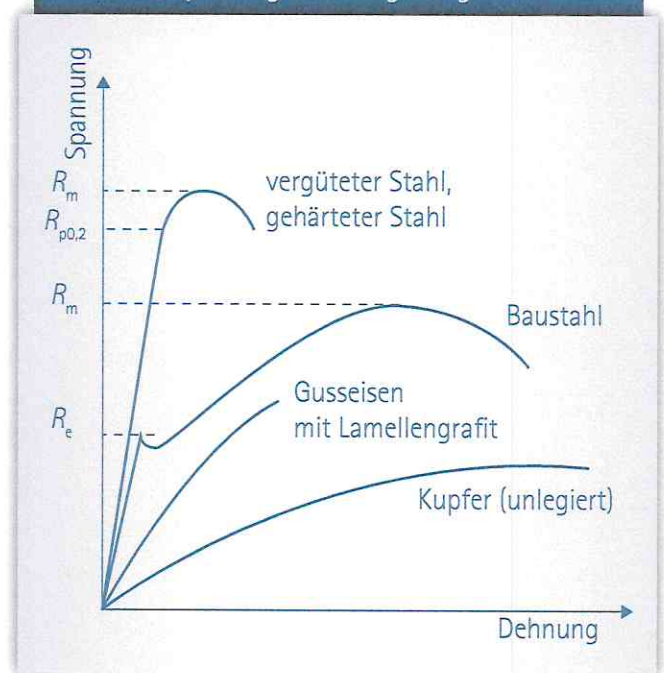


Abb. 3.12: Spannungs-Dehnungs-Diagramm



3.3.2 Werkstoffkennwerte

Die experimentellen Werte für das Verhältnis von Spannung und Dehnung können in einem **Spannungs-Dehnungs-Diagramm** dargestellt werden (s. Abbildung 3.12). Zunächst ist i. d. R. die Spannungs-Dehnungs-Kurve eine Gerade, die den linearen Zusammenhang des Hooke'schen Gesetzes wiedergibt. Nimmt die Spannung noch mehr zu, kommt es bei vielen Werkstoffen zu einer plastischen Verformung, d. h., der Werkstoff wird dabei bleibend gestreckt. Der Punkt, bei dem dieser Vorgang beginnt, wird je nach Werkstofftyp als **Streckgrenze** R_e oder **Dehngrenze** R_p bezeichnet. In der Regel wird die 0,2-%-Dehngrenze verwendet.

Merke: 0,2-%-Dehngrenze

Wird der Werkstoff mit dieser Spannung (s. Abbildung 3.12) belastet, kommt es zu einer Dehnung von 0,2%, die auch nach Entlastung bestehen bleibt.

Belastet man den Werkstoff weiter, steigt die Spannungs-Dehnungs-Kurve bis auf den maximalen Spannungswert an. Dieser entspricht der **maximalen Zugfestigkeit** R_m . Nach Überschreiten der Zugfestigkeit tritt der Bruch ein.

Die tatsächlichen Spannungen in einem Bauteil dürfen bestimmte zulässige Grenzwerte nicht überschreiten, damit die Betriebssicherheit gewährleistet ist. Diese **maximal zulässige Spannung** ($\sigma_{z(d),zul}$, $\tau_{a,zul}$) muss unterhalb der Grenzspannung des Werkstoffes liegen. Je nach Werkstoff kann diese Grenzspannung, die Streckgrenze, die Dehngrenze oder die Zugfestigkeit sein.

Hat der Werkstoff einen ausgeprägten Übergang vom Bereich der elastischen Verformung in den Bereich der plastischen Verformung, so ist die Streckgrenze als Grenzspannung heranzuziehen, denn beim Erreichen der Streckgrenze kommt es zu einer plastischen Verformung, die das Bauteil unbrauchbar macht. Liegt R_e bzw. $R_{p0.2}$ sehr nahe an R_m (spröde Werkstoffe, Gusswerkstoffe, gehärteter Stahl), so ist R_m als Grenzspannung anzusetzen. Die Berechnung der zulässigen Spannung erfolgt, indem die Werte R_e , $R_{p0.2}$ oder $\tau_{a,B}$ durch die Sicherheitszahl ν dividiert werden.



Betriebs- und fertigungstechnische Größen bei Belastungen und Bewegungen

Formeln: Maximal zulässige Spannung Ω

$$\sigma_{z,zul} = \frac{R_e}{\nu} \text{ oder } \sigma_{z,zul} = \frac{R_{p0,2}}{\nu} \text{ oder } \sigma_{z,zul} = \frac{R_m}{\nu} \quad (3.10)$$

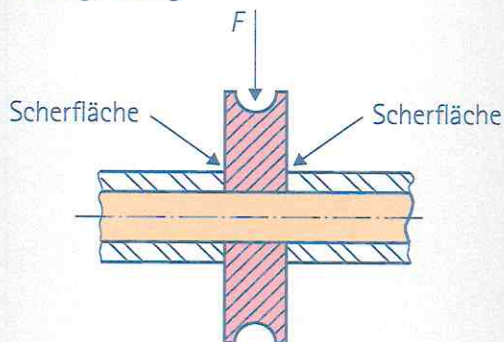
$$\tau_{a,zul} = \frac{\tau_{a,B}}{\nu} \quad (3.11)$$

ν	Sicherheitszahl
R_e	Streckgrenze
R_m	Zugfestigkeit
$R_{p0,2}$	0,2-%-Dehnungsgrenze
$\sigma_{z,zul}$	zulässige Zugspannung
$\tau_{a,zul}$	zulässige Schub- und Scherspannung

Die **Abscherfestigkeit** ist i.d.R. geringer als die Zugfestigkeit eines Werkstoffes. Bei Stahlwerkstoffen mit ausgeprägter Streckgrenze beträgt sie durchschnittlich 80% der Zugfestigkeit.

Beispiel: Scherspannung

Die Achse der Rolle eines Seilzuges hat einen Durchmesser von 12 mm. Die Belastung des Seilzuges beträgt 600 kg.



Scherspannung:

$$\tau_a = \frac{F}{S}$$

$$\tau_a = \frac{m \cdot g}{S}$$

$$\tau_a = \frac{600 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{2 \cdot 113,1 \text{ mm}^2}$$

$$\tau_a = \underline{\underline{26,02 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}}$$

Berechnung der Scherfläche:

$$S = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$$

$$S = \frac{(12 \text{ mm})^2 \cdot \pi}{4}$$

$$S = 113,1 \text{ mm}^2$$

Beispiel: Zugspannung

In einem Zugbolzen ($R_m = 750 \text{ N/mm}^2$) mit dem Durchmesser von 16 mm wirkt eine Zugkraft von 125 kN.

a) auftretende Zugspannung:

$$\sigma_z = \frac{F}{S}$$

$$\sigma_z = \frac{125 \text{ kN}}{201,1 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_z = \underline{\underline{621,6 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}}$$

$$S = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$$

$$S = \frac{16^2 \cdot \text{mm}^2 \cdot \pi}{4}$$

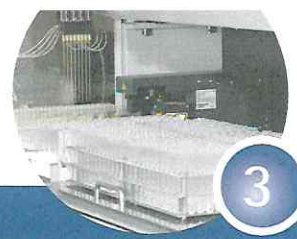
$$S = 201,1 \text{ mm}^2$$

b) zulässige Zugspannung bei vierfacher Sicherheit:

$$\sigma_{z,zul} = \frac{R_m}{\nu}$$

$$\sigma_{z,zul} = \frac{750 \text{ N}}{4 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_{z,zul} = \underline{\underline{187,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}}$$

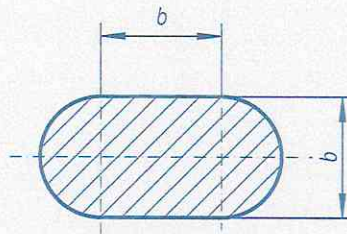


Berufstypische Aufgabe

Auszug aus der Frühjahrsprüfung 2015. Der Rechtsstand wurde ggf. aktualisiert.

Aufgabe 4

Eine Zugstange ($R_e = 225 \text{ N/mm}^2$) wird mit 120 kN belastet. Die zulässige Zugspannung beträgt bei schwelender Belastung $1/3 R_e$.

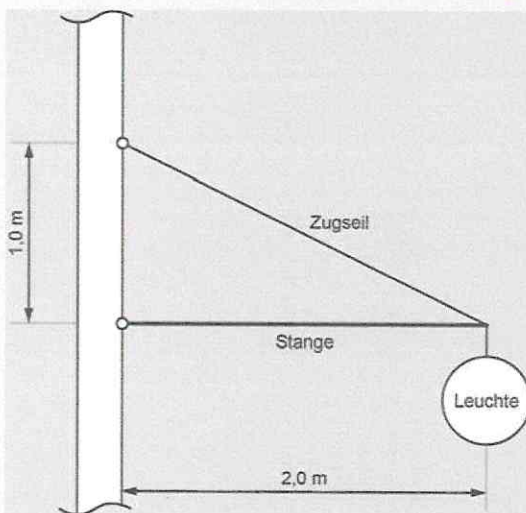


- Berechnen Sie den erforderlichen Querschnitt des Zugstangenquerschnittes.
- Berechnen Sie das Mindestmaß b des skizzierten Zugstangenquerschnittes.

Auszug aus der Herbstprüfung 2017. Der Rechtsstand wurde ggf. aktualisiert.

Aufgabe 5

Eine Leuchte soll an der abgebildeten Aufhängung befestigt werden.



- Die Stange hat eine Masse von $m_{st} = 4 \text{ kg}$.
Die zulässige Kraft im Zugseil wurde mit $F_z = 263,15 \text{ N}$ bestimmt.
Die Masse des Zugseils ist zu vernachlässigen.
Berechnen Sie die zulässige Masse m_l der Leuchte.



Statistische Verfahren und einfache statistische Berechnungen sowie ihre grafische Darstellung

KAPITEL

4

Statistische Methoden basieren auf der Erfahrung, dass bei Massenerscheinungen Gesetzmäßigkeiten nachweisbar sind, die für Einzelereignisse nicht formuliert werden können. Erst wenn man eine größere Zahl von Beobachtungen zu einer Gesamtheit zusammenfasst, ergeben sich evtl. Regelmäßigkeiten und kennzeichnende Werte, die sich an wenigen Einzelbeobachtungen nicht erkennen lassen. Gegenstand der Statistik sind zufallsartige Massenerscheinungen.

Merke: Statistik



Statistische Aussagen beziehen sich nie auf ein Einzelereignis oder eine einzelne Beobachtung, sondern nur auf Gesamtheiten vieler Ereignisse, Beobachtungen, Erhebungen.

Statistische Methoden werden u. a. im Marketing, im Controlling und in der Technik angewandt. Die **beschreibende Statistik** beschäftigt sich mit der Strukturierung und Darstellung von großen Datenmengen sowie der Berechnung von Kennwerten, die für die erhobenen Daten charakteristisch sind. Bei der **analytischen Statistik** werden Stichproben aus einer Menge von Elementen untersucht. Die Auswertung der Stichproben erfolgt so, dass mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit ein Rückschluss auf Eigenschaften für die Gesamtheit der Elemente (Grundgesamtheit) möglich ist.

Voraussetzung für die sinnvolle Anwendung von statistischen Methoden ist, dass es sich bei dem zu untersuchenden Vorgang oder Merkmal um eine **Massenerscheinung** handelt. Außerdem muss das zu untersuchende Merkmal eine **Zufallsgröße** sein. Je größer die Anzahl der untersuchten Einzelfälle ist, umso mehr gleichen sich zufällige Abweichungen aus.

Die **Vorgehensweise** bei einer statistischen Untersuchung gliedert sich i. d. R. in folgende Abschnitte:

- Definition des Ziels der Untersuchung und Festlegung der zu prüfenden Merkmale
- Erhebung des statistischen Datenmaterials z.B. durch Messen oder Zählen
- Aufbereitung der Daten, z. B. durch Sortieren oder Klassieren
- Darstellung der Daten z. B. in Tabellenform oder in Form von Graphen
- Berechnung von Kennwerten
- Interpretation der Daten

3DQR: Qualitätssicherung



Code scannen bzw. anklicken und mehr erfahren.

4.1 Erhebung und Veranschaulichung von Daten

4.1.1 Erfassung von Daten

Festlegung und Auswahl von Merkmalen

Für viele Fragestellungen ist es zweckmäßig, nach bestimmten Merkmalen zu unterscheiden. Dies sind qualitative, komparative und quantitative Merkmale (s. auch Tabelle auf der folgenden Seite):

- **Qualitative Merkmale** sind solche, bei denen die Eigenschaften zur Unterscheidung genannt werden.



Statistische Verfahren und einfache statistische Berechnungen ...

- Merkmalsträger mit **komparativen Merkmalen** lassen sich nach der Intensität der Ausprägung, d. h. nach einem „Mehr-weniger-Prinzip“ in eine Reihenfolge bringen. Das einfachste Beispiel liefert die Notenskala von „sehr gut“ bis „ungenügend“.
- **Quantitative Merkmale** (zuweilen auch variable Merkmale genannt) werden durch Vergleich einer Maßeinheit (metrische Skala) gewonnen. Sie sind also bereits durch ihren Messwert zahlenmäßig bestimmt. Bei quantitativen Skalen werden immer Mengen, also „Quantitäten“ erfasst. Ein Merkmal ist diskret, wenn es nur ganzzahlige Werte annehmen kann, die meistens durch Zählen gewonnen werden. Ein Merkmal ist kontinuierlich, wenn es alle möglichen Werte annehmen kann.

Tab. 4.1: Merkmalsarten

qualitative Merkmale	
nominal	ordinal
z. B. blau/rot	z. B. gut/schlecht
komparative Merkmale	
Rangordnung	
z. B. Schulnoten, Härteskala nach Mohs	
quantitative Merkmale	
diskret	kontinuierlich
z. B. Anzahl der fehlerhaften Teile	Messwerte

Erhebung statistischen Materials

Merkmalswerte sind Ausgangsmaterial für jede statistische Verarbeitung. **Merkmalswerte** werden gewonnen durch:

- Beobachtung
- Befragung
- Experiment

Bei der Gewinnung des Datenmaterials treten z. B. folgende **Erhebungsfehler** auf:

- Beobachtung: Messungenauigkeiten, Manipulationen
- Befragung: Nichtbeantwortung, Falschbeantwortung, Missverständnis
- Experiment: falsch kalibrierte Messgeräte, Planungsfehler

In der Großserie produzierte Teile (z. B. Bolzen) können aus wirtschaftlichen Gründen nicht einzeln auf ihre Merkmale,

wie etwa Durchmesser, geprüft werden. Diese Merkmale sind Zufallsgrößen, da sie sich durch folgende Einflüsse verändern können: Mensch, Maschine, Material, Methode Fertigung, Methode Prüfung, Mitwelt (6M).

Um sicherzustellen, dass die geforderten Merkmalswerte mit hoher Wahrscheinlichkeit erfüllt sind, arbeitet man mit **Stichproben**. In vielen Fällen ist es erforderlich, mit Stichproben zu prüfen, da eine 100-%-Prüfung nicht möglich ist (z. B. in der zerstörenden Werkstoffprüfung oder bei der Funktionsprüfung von Airbags). Die gesamte Menge der Teile, die beurteilt werden soll, bezeichnet man als **Grundgesamtheit**. Eine Stichprobe besteht aus einer Anzahl ausgewählter Teile, die der Grundgesamtheit entnommen werden. Je größer der Stichprobenumfang ist, desto genauer spiegelt die Untersuchung die tatsächliche Beschaffenheit der Grundgesamtheit wider. Allerdings steigen dann auch die Kosten für die Stichprobenentnahme und Auswertung an.

Die Entnahme von Produkten im Rahmen einer Stichprobe muss zufällig erfolgen, d. h., jedes Produkt der Grundgesamtheit muss dieselbe Chance haben, in die Stichprobe zu gelangen. Um Fehler bei der statistischen Untersuchung selbst zu vermeiden, wird zu ihrer Durchführung ein **Versuchsplan** festgelegt. Dieser enthält Angaben über die zu prüfenden Merkmale, den Stichprobenumfang, die Anzahl der Stichproben, AQL-Werte (Acceptable Quality Limit), Angaben zur Durchführung der Messungen usw.

Bei der statistischen Untersuchung müssen folgende **grundlegende Forderungen** erfüllt sein:

- Die untersuchte Grundgesamtheit muss homogen sein, d. h., Produktionsmittel und -bedingungen müssen gleich sein. Messgeräte müssen die gleiche Genauigkeit aufweisen. Die Methoden der Untersuchung dürfen sich nicht ändern.
- Das Prüfmittel sollte in seiner Anzeige $\leq \frac{\text{Toleranz}}{20}$ genau sein.
- Systematische Fehler müssen analysiert und deren Ursachen müssen behoben werden.
- Vergleichsmöglichkeiten für die Beurteilung der Ergebnisse müssen vorhanden sein.



Statistische Verfahren und einfache statistische Berechnungen ...

- Die Auswahl der Stichprobe muss zufällig sein, d.h., dass für jedes Element der Grundgesamtheit die gleiche Wahrscheinlichkeit besteht, dass es ausgewählt wird.
- Der Stichprobenumfang muss der Größe der Grundgesamtheit angepasst sein.

4.1.2 Aufbereitung der Daten

Die unbearbeiteten Daten, die man für eine Untersuchung der Stichprobe erfasst hat, bezeichnet man als **Urliste**. Von diesen Werten kann dann auf die Eigenschaften der **Grundgesamtheit** geschlossen werden.

Eine Urliste ist sehr unübersichtlich und zur Beurteilung der Produktion kaum geeignet. Deshalb werden die Werte der Urliste im ersten Schritt in einer Strich- oder Kreuzliste nach ihrer Größe sortiert. In der so entwickelten **Häufigkeitstabelle** wird dargestellt, wie sich die Häufigkeiten auf die einzelnen Merkmalsausprägungen verteilen. Man spricht deshalb auch von einer **Häufigkeitsverteilung**. Neben den absoluten Häufigkeiten werden meistens auch die relativen Häufigkeiten ermittelt.

Beispiel: Stichprobenverfahren

Bei einem Fertigungslos von 500 Widerständen mit einem geforderten Widerstandswert von $10,0 \Omega$ wird eine Stichprobe von $n = 50$ Widerständen entnommen.

Die Messwerte sind in der Tabelle (Urliste) aufgeführt.

Urliste:

Ifd. Nr.	R (in Ω)	Ifd. Nr.	R (in Ω)	Ifd. Nr.	R (in Ω)	Ifd. Nr.	R (in Ω)	Ifd. Nr.	R (in Ω)
1	9,91	11	10,07	21	10,00	31	9,98	41	10,06
2	9,99	12	9,89	22	10,01	32	10,05	42	9,97
3	10,01	13	9,99	23	10,02	33	10,08	43	10,03
4	9,93	14	10,01	24	9,95	34	9,90	44	10,09
5	10,00	15	10,03	25	9,98	35	9,99	45	9,93
6	10,04	16	9,92	26	10,07	36	10,01	46	10,10
7	10,05	17	9,94	27	10,03	37	9,95	47	10,01
8	9,96	18	10,06	28	9,97	38	9,97	48	10,12
9	10,11	19	10,02	29	10,10	39	10,04	49	10,00
10	10,02	20	10,15	30	10,05	40	10,13	50	10,14



Statistische Verfahren und einfache statistische Berechnungen ...

Beispiel: Stichprobenverfahren



Häufigkeitstabelle:

Ifd. Nr.	R (in Ω)	Strichliste	Häufigkeit absolut (n_i)	Häufigkeit relativ (h_i) (in %)	Summen- häufigkeit absolut (F_i)	Summen- häufigkeit relativ (F_i) (in %)
1	9,89		1	2	1	2
2	9,90		1	2	2	4
3	9,91		1	2	3	6
4	9,92		1	2	4	8
5	9,93		2	4	6	12
6	9,94		1	2	7	14
7	9,95		2	4	9	18
8	9,96		1	2	10	20
9	9,97		3	6	13	26
10	9,98		2	4	15	30
11	9,99		3	6	18	36
12	10,00		3	6	21	42
13	10,01	++++	5	10	26	52
14	10,02		3	6	29	58
15	10,03		3	6	32	64
16	10,04		2	4	34	68
17	10,05		3	6	37	74
18	10,06		2	4	39	78
19	10,07		2	4	41	82
20	10,08		1	2	42	84
21	10,09		1	2	43	86
22	10,10		2	4	45	90
23	10,11		1	2	46	92
24	10,12		1	2	47	94
25	10,13		1	2	48	96
26	10,14		1	2	49	98
27	10,15		1	2	50	100

Um auch die Frage beantworten zu können, wie viele Widerstandswerte größer als z.B. 10,01 Ω sind, wird die Häufigkeitstabelle durch die aufsummierten absoluten

Häufigkeiten erweitert. Die letzte Zelle der relativen Summenhäufigkeit muss 100% ergeben.

Wenn die Datenmenge groß ($n \geq 25$) und unübersichtlich ist (d.h. viele verschiedene Ausprägungen hat), so empfiehlt es sich, einzelne Messwerte in **Klassen** zusammen-

zufassen. Dies kann insbesondere bei quantitativen Merkmalen auftreten. Hierdurch wird die Übersichtlichkeit der Urliste wesentlich verbessert. Die **Anzahl der Klassen** k



Statistische Verfahren und einfache statistische Berechnungen ...

kann grundsätzlich frei festgelegt werden. Als Richtwert gilt $k \approx \sqrt{n}$. Die **Klassenbreite** w ergibt sich, indem man die Spannweite $R = x_{\max} - x_{\min}$ durch die gewählte Klassenzahl teilt.

Formeln: Anzahl der Klassen, Klassenbreite



Anzahl der Klassen:

$$k \approx \sqrt{n} \quad (4.1)$$

Spannweite (Range):

$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (4.2)$$

Klassenbreite:

$$w \approx \frac{R}{k} \quad (4.3)$$

- k Anzahl der Klassen
- n Anzahl der Messwerte der Stichprobe
- R Spannweite (Range) der Stichprobe
- w Klassenbreite

onsverlust verbunden. Grundsätzlich lässt sich als Prinzip bei der Klassenbildung Folgendes festhalten:

Tab. 4.2: Klassenbildung

Klassenzahl	Übersichtlichkeit	Informationsverlust
gering	hoch	hoch
hoch	gering	gering

Die Häufigkeitstabelle wird meist durch die aufsummierten absoluten und relativen Häufigkeiten ergänzt. Dies erweitert die Interpretationsmöglichkeiten der Werte.

4.1.3 Grafische Darstellung der Daten

Die tabellarische Form der Häufigkeitsverteilung ist oftmals nicht sehr anschaulich. Deshalb stellt man die Daten meistens grafisch dar. Die **Häufigkeitsverteilung** lässt sich am einfachsten durch ein Balkendiagramm (Säulendiagramm) visualisieren, ein sog. **Histogramm** (s. Beispiel auf der folgenden Seite).

Durch die Klassierung wird die Häufigkeitstabelle zwar übersichtlicher, sie ist jedoch auch mit einem Informati-

Beispiel: Stichprobenverfahren – Fortführung



$$k \approx \sqrt{50} \approx 7,1$$

$$w \approx \frac{(10,15 - 9,89) \Omega}{7,1} \approx 0,037 \Omega \Rightarrow w = 0,04 \Omega$$

Klassierung:

Ifd. Nr.	R (in Ω) über ... bis	R_{Mitte} (in Ω)	Häufigkeit absolut (n_j)	Häufigkeit relativ (h_j) (in %)	Summen- häufigkeit absolut (F_j)	Summen- häufigkeit relativ F_j (in %)
1	9,88 ... 9,92	9,90	4	8	4	8
2	9,92 ... 9,96	9,94	6	12	10	20
3	9,96 ... 10,00	9,98	11	22	21	42
4	10,00 ... 10,04	10,02	13	26	34	68
5	10,04 ... 10,08	10,06	8	16	42	84
6	10,08 ... 10,12	10,10	5	10	47	94
7	10,12 ... 10,16	10,14	3	6	50	100



Statistische Verfahren und einfache statistische Berechnungen ...

Allgemein bekannt ist der „Durchschnittswert“; gemeint ist damit das **arithmetische Mittel**. Bezieht man den arithmetischen Mittelwert auf die Grundgesamtheit, so erhält er das Formelzeichen μ , bezieht man ihn auf die Stichprobe, erhält er das Formelzeichen \bar{x} .

Formel: Arithmetischer Mittelwert



$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} \quad (4.4)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

n Anzahl der Messwerte der Stichprobe
 \bar{x} arithmetischer Mittelwert der Stichprobenwerte
 x_i i-ter Messwert

Hinweis: Mittelwert (arithmetisch)



Den Mittelwert können Sie mithilfe eines wissenschaftlichen Taschenrechners, der statistische Funktionen besitzt, ermitteln.

Beispiel: Stichprobenverfahren – Fortführung



arithmetischer Mittelwert für die unklassierten Daten:

$$\bar{x} = \frac{1}{50} \sum_{i=1}^{50} x_i$$

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_{50}}{50}$$

$$\bar{x} = \underline{\underline{10,0166 \Omega}}$$

arithmetischer Mittelwert für die klassierten Daten:

$$\bar{x} = \underline{\underline{10,0136 \Omega}}$$

Die Mittelwerte weichen geringfügig voneinander ab. Je gleichmäßiger die Verteilung ist, umso geringer ist die Abweichung von klassierten und nicht klassierten Daten.

Der **Zentralwert** oder **Median** \tilde{x} einer Stichprobe zerlegt die der Größe nach sortierten Messwerte in zwei gleiche Teile und zwar so, dass oberhalb und unterhalb dieses Medianwerts gleich viele Beobachtungspunkte liegen. Der Zentralwert ist also die „Mitte“ der geordneten Urliste.

Ist die geordnete Messwertreihe gradzählig, dann ist der Median das arithmetische Mittel aus den beiden mittleren Werten. Ist die geordnete Messwertreihe nicht gradzählig, dann liegt der Median an der $\frac{n+1}{2}$ -ten Stelle.

Beispiel:

Stichprobenverfahren – Fortführung



Median für die unklassierten Daten:

$$\tilde{x} = \frac{(10,01 + 10,01) \Omega}{2} \quad \begin{array}{l} 25. \text{ Wert: } 10,01 \Omega \\ 26. \text{ Wert: } 10,01 \Omega \end{array}$$

$$\tilde{x} = \underline{\underline{10,01 \Omega}}$$

Median für die klassierten Daten:

$$\tilde{x} = \underline{\underline{10,02 \Omega}}$$

$$\begin{array}{l} 25. \text{ Wert: } 10,02 \Omega \\ 26. \text{ Wert: } 10,02 \Omega \end{array}$$

Der Median ist dem arithmetischen Mittel vorzuziehen, wenn Extremwerte (z. B. Ausreißer) eine statistische Reihe beeinflussen. Weiterhin findet der Median Anwendung, wenn nur wenige Messwerte vorliegen oder eine asymmetrische Verteilung vorliegt.

Streuungsmaße

Das einfachste Streuungsmaß ist die **Spannweite** R (Range), die die Differenz zwischen Maximal- und Minimalwert der Messreihe angibt.

Formel: Spannweite (Range)



$$R = x_{\max} - x_{\min} \quad (4.5)$$

R Spannweite

Beispiel: Stichprobenverfahren – Fortführung



Spannweite für die unklassierten Daten:

$$R = x_{\max} - x_{\min}$$

$$R = (10,15 - 9,89) \Omega$$

$$R = \underline{\underline{0,26 \Omega}}$$



Statistische Verfahren und einfache statistische Berechnungen ...

Beispiel: Stichprobenverfahren – Fortführung

Spannweite für die klassierten Daten:

$$R = x_{\max} - x_{\min}$$

$$R = (10,14 - 9,90) \Omega$$

$$R = \underline{\underline{0,24 \Omega}}$$

Die Aussagekraft der Spannweite wird nur durch die Extremwerte einer Merkmalsreihe bestimmt. Alle weiteren Werte werden bei der Berechnung nicht berücksichtigt. Sie wird deshalb vorzugsweise bei kleinen Stichproben angewendet.

Zur Bestimmung der **Standardabweichung** werden die einzelnen Differenzen zwischen arithmetischem Mittelwert und Merkmalswert gebildet. Diese Abstände werden quadriert, summiert und die Summe wird durch die Anzahl der Merkmalswerte dividiert. Aus dem Ergebnis wird die Wurzel gezogen. Wird die Standardabweichung für die Grundgesamtheit gebildet, erhält sie das Formelzeichen σ . Sie unterscheidet sich geringfügig von der Stichprobenstandardabweichung.

Hinweis: Standardabweichung

Die Standardabweichung (σ und s) können Sie mithilfe eines wissenschaftlichen Taschenrechners, der statistische Funktionen besitzt, ermitteln.

Formel: Standardabweichung der Stichprobe

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4.6)$$

- n Anzahl der Messwerte der Stichprobe
- s Standardabweichung der Stichprobe
- \bar{x} arithmetischer Mittelwert der Stichprobenwerte
- x_i i-ter Messwert

Merke: Standardabweichung

Die Standardabweichung ist das wichtigste Streuungsmaß. Sie lässt sich als durchschnittliche Abweichung (Streuung) der Messwerte vom arithmetischen Mittelwert interpretieren.

Beispiel: Stichprobenverfahren – Fortführung

Standardabweichung für die unklassierten Daten:

$$s = \sqrt{\frac{1}{50-1} \sum_{i=1}^{50} (x_i - \bar{x})^2}$$

$$s = \underline{\underline{0,06368 \Omega}}$$

Standardabweichung für die klassierten Daten:

$$s = \underline{\underline{0,0638 \Omega}}$$

Wegen des Informationsverlustes stimmt die Standardabweichung klassierter Daten nicht mit der Standardabweichung nicht klassierter Daten überein.

4.2.2 Funktionen der Normalverteilung und deren Graphen

Wahrscheinlichkeitsverteilung

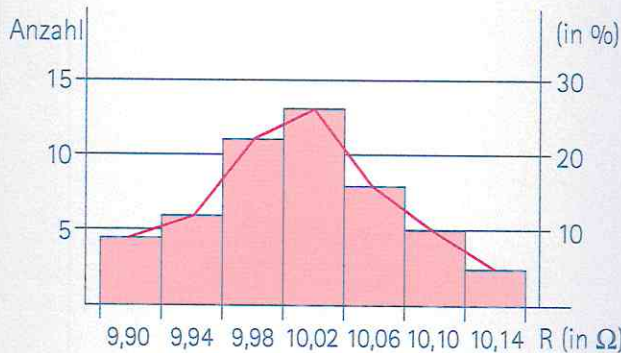
Verbindet man im Histogramm die Klassenmitten miteinander, so erhält man einen Linienzug, der noch Knicke aufweist (s. Beispiel auf der folgenden Seite).



Statistische Verfahren und einfache statistische Berechnungen ...

Beispiel:
Stichprobenverfahren – Fortführung

Balkendiagramm der klassierten Daten:
Widerstandswerte



Je mehr Messwerte vorliegen und je kleiner die Klassenbreiten werden, desto glatter und gleichmäßiger wird der Linienzug. Das Histogramm nähert sich dann immer mehr einer bestimmten Grenzkurve, die der Häufigkeitsverteilung der Grundgesamtheit entspricht. Bei vielen naturwissenschaftlichen und technischen Problemstellungen ist diese Grenzkurve die **Gauß'sche Glockenkurve**.

Anfang des 19. Jahrhunderts wurde diese Verteilungsfunktion durch den deutschen Mathematiker Carl Friedrich Gauß beschrieben. Dies würdigte die Deutsche Bundesbank, indem sie auf dem 10-DM-Schein sowohl das Bild von Carl Friedrich Gauß (1777–1855) als auch die Dichtefunktion und die Formel abbilden ließ.

Abb. 4.1: Gauß'sche Normalverteilung auf dem 10-DM-Schein

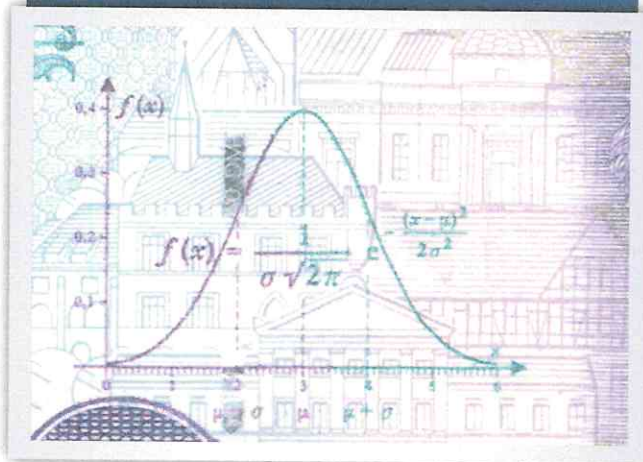
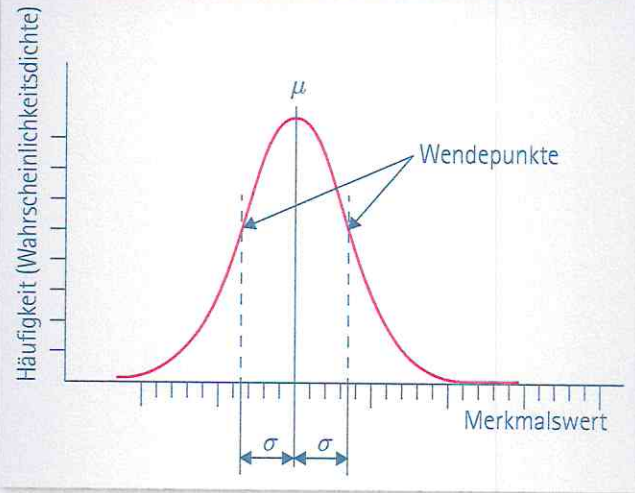


Abb. 4.2: Gauß'sche Normalverteilung



Das Modell der **Normalverteilung** lässt sich wie folgt beschreiben:

- Die Werte sind einer unendlich großen Grundgesamtheit entnommen.
- Das Maximum der Verteilung liegt in der Mitte.
- Die Messwerte sind symmetrisch zum Mittelpunkt angeordnet.
- Mit zunehmender Entfernung zum Mittelwert treten die Werte seltener auf.

Merke: Normalverteilung

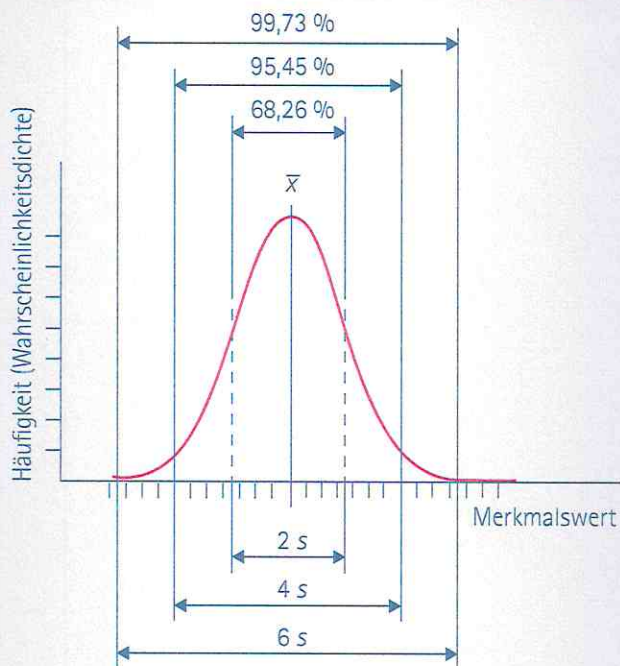
Liegt eine Normalverteilung vor, dann wird sie durch zwei **Kenngrößen** eindeutig beschrieben:

- für die Grundgesamtheit durch
 - den Mittelwert μ und
 - die Standardabweichung σ
- für die Stichprobe durch
 - den Mittelwert \bar{x} und
 - die Standardabweichung s

Die Normalverteilung hat also immer die Form einer Glockenkurve, die jedoch je nach Streuung flacher oder steiler ausfällt. Die Fläche unter der Glockenkurve entspricht der Gesamtzahl aller beobachteten Merkmalswerte, also 100%. Wichtige für die Qualitätssicherung gebräuchliche Flächenanteile sind in der Abbildung 4.3 auf der folgenden Seite dargestellt.



Abb. 4.3: Flächenanteile der Normalverteilung



-1s bis +1s: 2s	68,26%	68,26% der Beobachtungswerte sind zwischen diesen Grenzen zu finden.
-2s bis +2s: 4s	95,45%	95,45% der Beobachtungswerte sind zwischen diesen Grenzen zu finden.
-3s bis +3s: 6s	99,73%	99,73% der Beobachtungswerte sind zwischen diesen Grenzen zu finden.

Beispiel:
Stichprobenverfahren – Fortführung

Für die unklassierten Werte gilt, dass zwischen $\bar{x} - s = 9,95292 \Omega$ und $\bar{x} + s = 10,08028 \Omega$ 68,26% aller Werte liegen.

Für die klassierten Werte gilt, dass zwischen $\bar{x} - s = 9,9498 \Omega$ und $\bar{x} + s = 10,00774 \Omega$ 68,26% aller Werte liegen.

Wahrscheinlichkeitsnetz

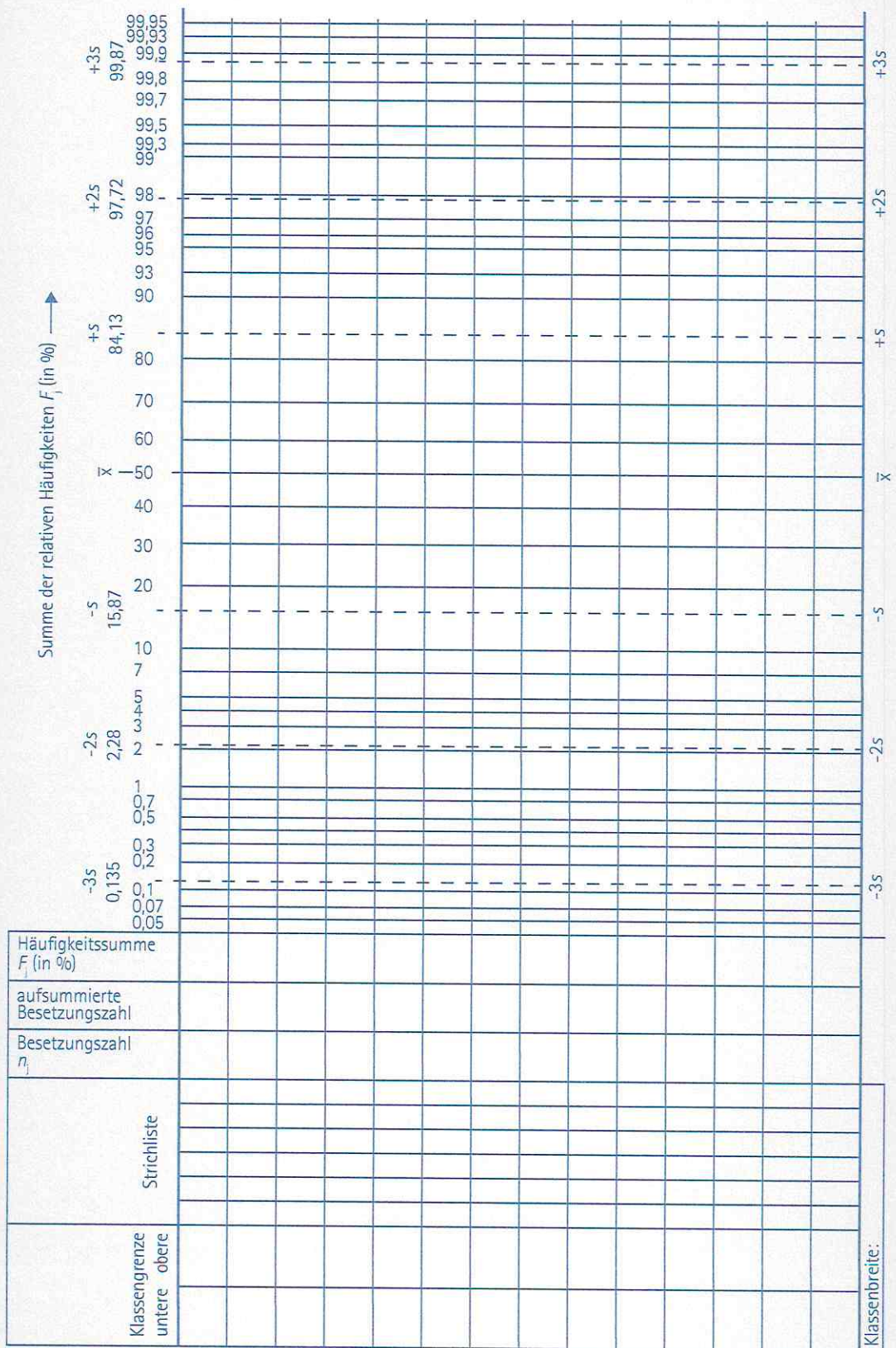
Voraussetzung für alle im Zusammenhang mit der Normalverteilung getroffenen Aussagen ist, dass die Daten der Stichprobe als normalverteilt anzusehen sind. Diese Überprüfung ist auf Grundlage des Histogramms und der Summenkurve nicht immer mit der nötigen Sicherheit möglich. Eine relativ einfache und sichere Methode der Überprüfung auf Normalverteilung ist die Konstruktion der **Wahrscheinlichkeitsgeraden** in einem Wahrscheinlichkeitsnetz (s. Abbildung 4.4 auf der folgenden Seite).

Durch die Veränderung des Maßstabes für die relative Summenhäufigkeit wird die s-förmige Summenkurve zu einer Geraden verzerrt. Daraus folgt: Ergibt die Darstellung der relativen Summenhäufigkeiten im Wahrscheinlichkeitsnetz eine Gerade, kann man davon ausgehen, dass die Werte normalverteilt sind.

Die auf Abbildung 4.4 folgenden Beispiele veranschaulichen das Stichprobenverfahren und die Konstruktion der Wahrscheinlichkeitsgeraden.



Abb. 4.4: Wahrscheinlichkeitsnetz





Statistische Verfahren und einfache statistische Berechnungen ...

Beispiel: Stichprobenverfahren – Fortführung



In das Wahrscheinlichkeitsnetz für die klassierten Werte werden die relativierten Summenhäufigkeiten an der oberen Klassengrenze eingetragen.

- Liegen die eingetragenen Messwerte annähernd auf einer Geraden, dann kann daraus geschlossen werden, dass die Werte des Datensatzes näherungsweise normalverteilt sind.
- Einen Schätzwert für den arithmetischen Mittelwert \bar{x} der normalverteilten Stichprobe erhält man am

Schnittpunkt der Ausgleichsgeraden mit der 50-%-Linie des Wahrscheinlichkeitsnetzes.

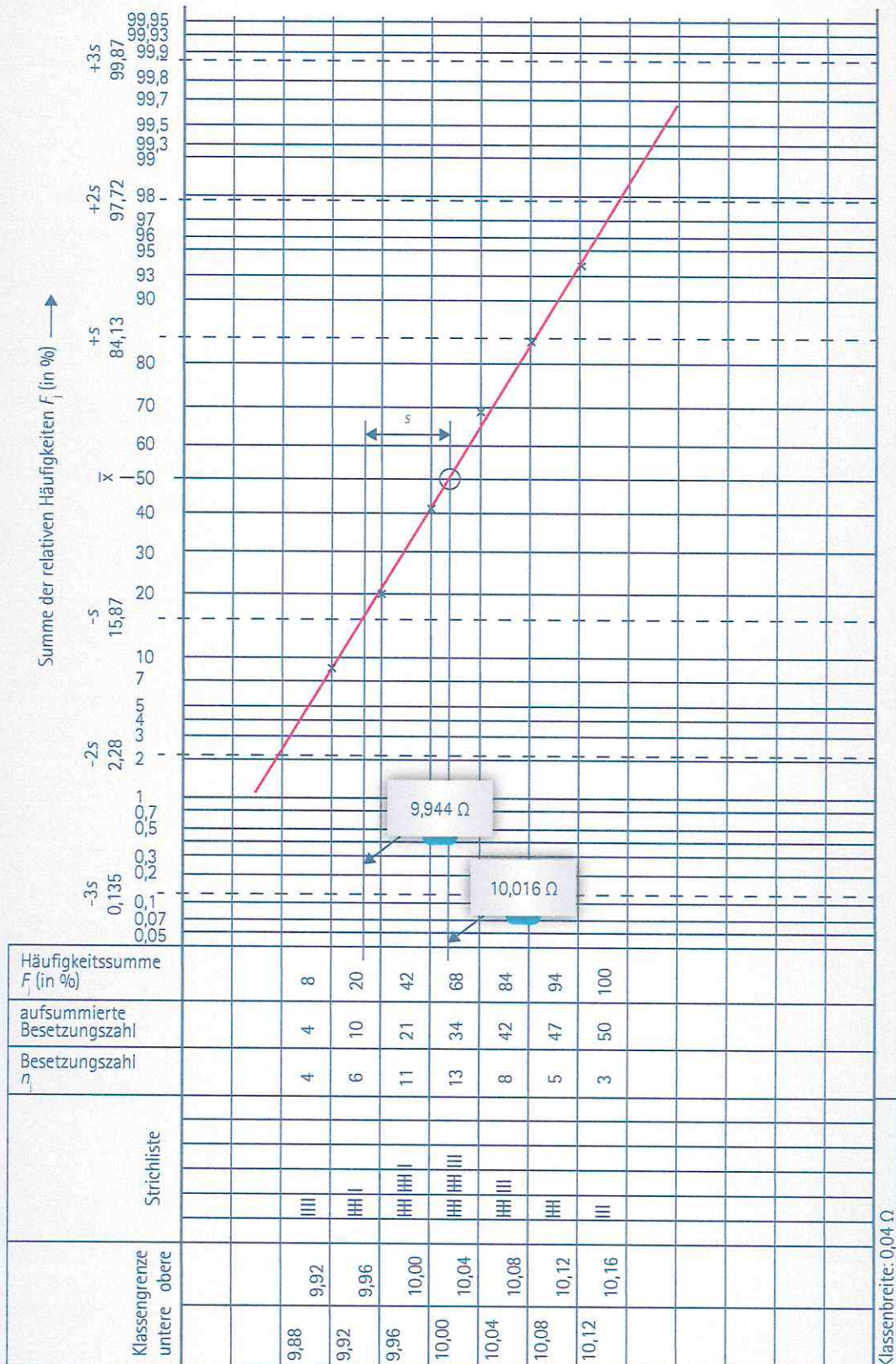
- Einen Schätzwert für die Standardabweichung s der normalverteilten Stichprobe erhält man durch Bestimmung der Breite des Bereichs $\pm s$. Dieser Bereich wird durch die Schnittpunkte der Ausgleichsgeraden mit der 15,87-%-Linie bzw. der 84,13-%-Linie des Wahrscheinlichkeitsnetzes begrenzt.





Beispiel: Stichprobenverfahren – Fortführung

Wahrscheinlichkeitsnetz für die klassierten Daten:





Statistische Verfahren und einfache statistische Berechnungen ...

Beispiel: Stichprobenverfahren – Fortführung



Da die Daten der Stichprobe als normalverteilt anzusehen sind, kann das Modell der Normalverteilung angewendet werden, die statistischen Werte dürfen berechnet werden.

Als Schätzwert für den arithmetischen Mittelwert der klassierten Daten \bar{x} liest man am Schnittpunkt mit der 50%-Linie einen Wert von etwa 10,016 Ω ab. Als

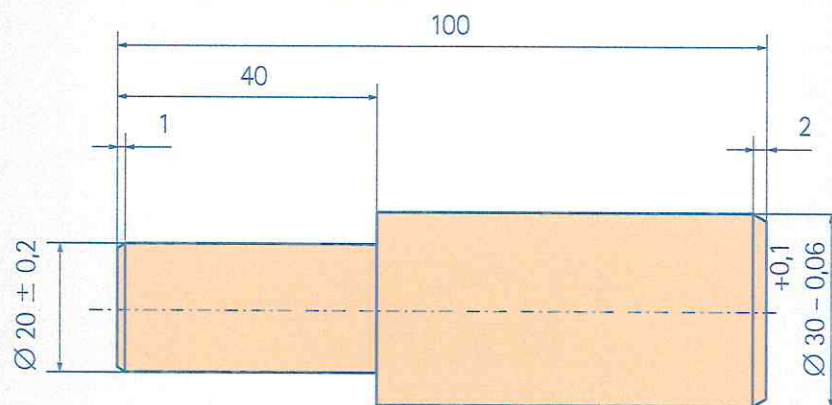
Schätzwert für die Standardabweichung s der normalverteilten Stichprobe erhält man durch Bestimmung der Breite des Bereichs \bar{x} bis $-s$ oder \bar{x} bis $+s$. Dieser Bereich wird durch die Schnittpunkte der Ausgleichsgeraden mit der 15,87%-Linie bzw. der 84,13%-Linie des Wahrscheinlichkeitsnetzes begrenzt und man erhält einen Wert für s von ungefähr 0,072 Ω .



Beispiel: Befestigungsbolzen

Bei einer Grundgesamtheit von 400 der abgebildeten Bolzen wird der rechte Durchmesser überprüft. Hierfür wird eine Stichprobe von $n = 40$ Bolzen entnommen und

vermessen. Die Messwerte sind in der Tabelle (Urliste) aufgeführt.



Urliste:

lfd. Nr.	d (in mm)	lfd. Nr.	d (in mm)	lfd. Nr.	d (in mm)	lfd. Nr.	d (in mm)
1	29,97	11	29,97	21	30,05	31	30,01
2	30,02	12	29,99	22	30,01	32	29,94
3	30,00	13	30,02	23	29,97	33	30,00
4	29,99	14	30,00	24	29,99	34	29,96
5	29,98	15	30,04	25	29,93	35	30,02
6	30,01	16	30,00	26	30,00	36	30,01
7	29,95	17	29,98	27	29,98	37	29,98
8	29,99	18	30,01	28	29,99	38	29,99
9	30,03	19	29,96	29	30,02	39	30,03
10	30,01	20	29,99	30	29,97	40	29,98





Statistische Verfahren und einfache statistische Berechnungen ...

Beispiel: Befestigungsbolzen

Häufigkeitstabelle:

lfd. Nr.	d (in mm)	Strichliste	Häufigkeit absolut (n_i)	Häufigkeit relativ (h_i) (in %)	Summenhäufigkeit absolut (F_i)	Summenhäufigkeit relativ (F_i) (in %)
1	29,93		1	2,5	1	2,5
2	29,94		1	2,5	2	5
3	29,95		1	2,5	3	7,5
4	29,96		2	5	5	12,5
5	29,97		4	10	9	22,5
6	29,98	++++	5	12,5	14	35
7	29,99	++++	7	17,5	21	52,5
8	30,00	+++	5	12,5	26	65
9	30,01	++++	6	15	32	80
10	30,02		4	10	36	90
11	30,03		2	5	38	95
12	30,04		1	2,5	39	97,5
13	30,05		1	2,5	40	100

Spannweite:

$$R = x_{\max} - x_{\min}$$

$$R = 30,05 \text{ mm} - 29,93 \text{ mm}$$

$$R = \underline{\underline{0,12 \text{ mm}}}$$

Median:

$$\tilde{x} = \frac{(29,99 + 29,99) \text{ mm}}{2}$$

$$\tilde{x} = \underline{\underline{29,99 \text{ mm}}}$$

Modalwert:

$$D = \underline{\underline{29,99 \text{ mm}}}$$

Mittelwert (arithmetisches Mittel):

$$\bar{x} = \frac{1}{40} \sum_{i=1}^{40} x_i$$

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_{40}}{40}$$

$$\bar{x} = \underline{\underline{29,9935 \text{ mm}}}$$

Standardabweichung:

$$s = \sqrt{\frac{1}{40-1} \sum_{i=1}^{40} (x_i - \bar{x})^2}$$

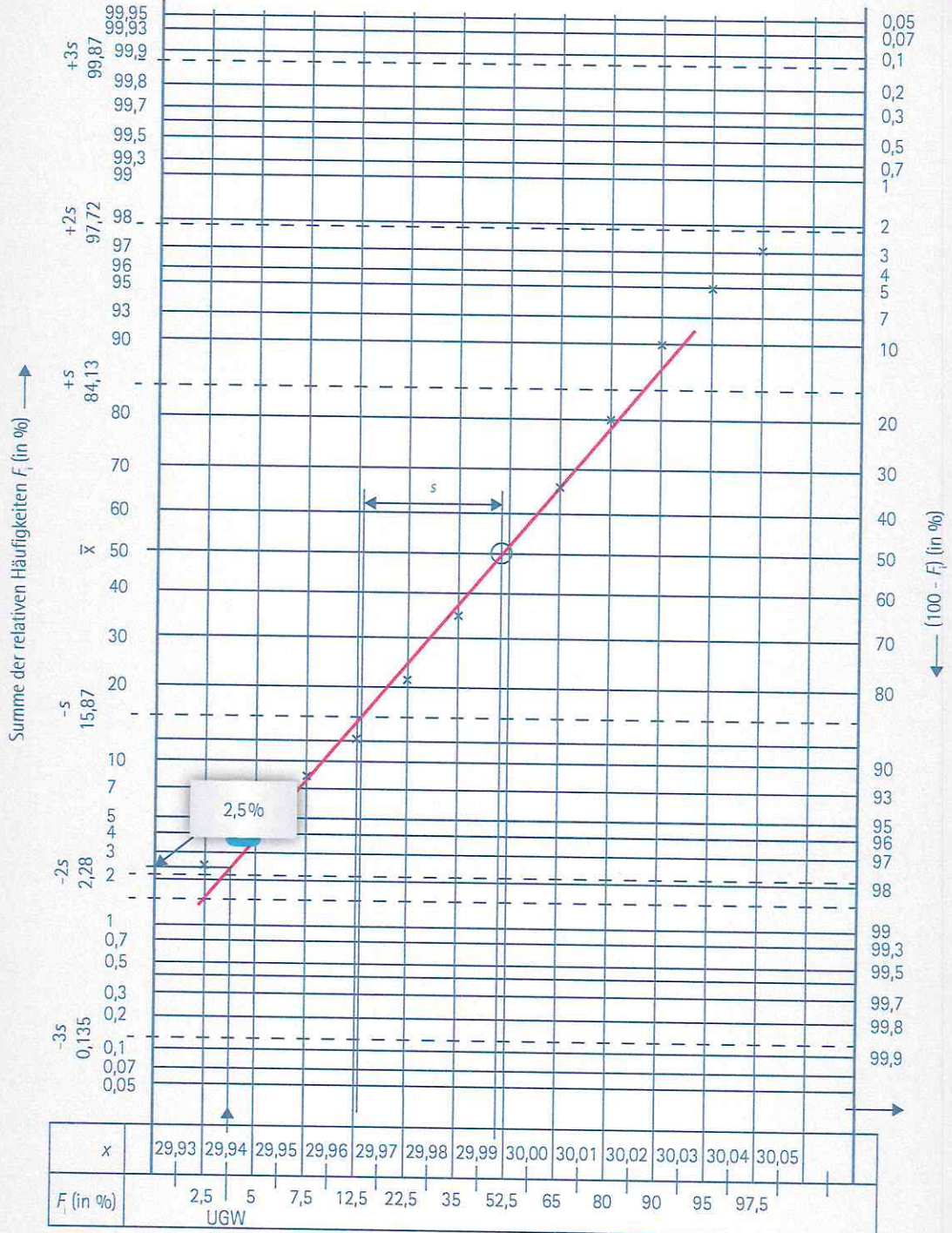
$$s = \underline{\underline{0,02627 \text{ mm}}}$$



Statistische Verfahren und einfache statistische Berechnungen ...

Beispiel: Befestigungsbolzen

Wahrscheinlichkeitsnetz:



$\bar{x} = 29,993 \text{ mm}$, $s = (29,993 - 29,967) \text{ mm} = 0,026 \text{ mm}$

Das Wahrscheinlichkeitsnetz liefert eine Gerade, die Daten können demnach als normalverteilt angesehen werden. Aus dem Wahrscheinlichkeitsnetz ist zu entnehmen, dass aufgrund des unteren Toleranzwertes von 29,94 mm

bei etwa 2,5% der produzierten Bolzen die untere Toleranzgrenze unterschritten wird und die Durchmesser zu klein sind.



Auszug aus der Frühjahrsprüfung 2017. Der Rechtsstand wurde ggf. aktualisiert.

Aufgabe 7

Ein Bildungszentrum erfasst die Lebensdauer der Hochdrucklampen in den Beamern. Für eine Stichprobe von 100 gleichartigen Lampen wurde in das Wahrscheinlichkeitsnetz in der Anlage eine Ausgleichsgerade eingezeichnet.

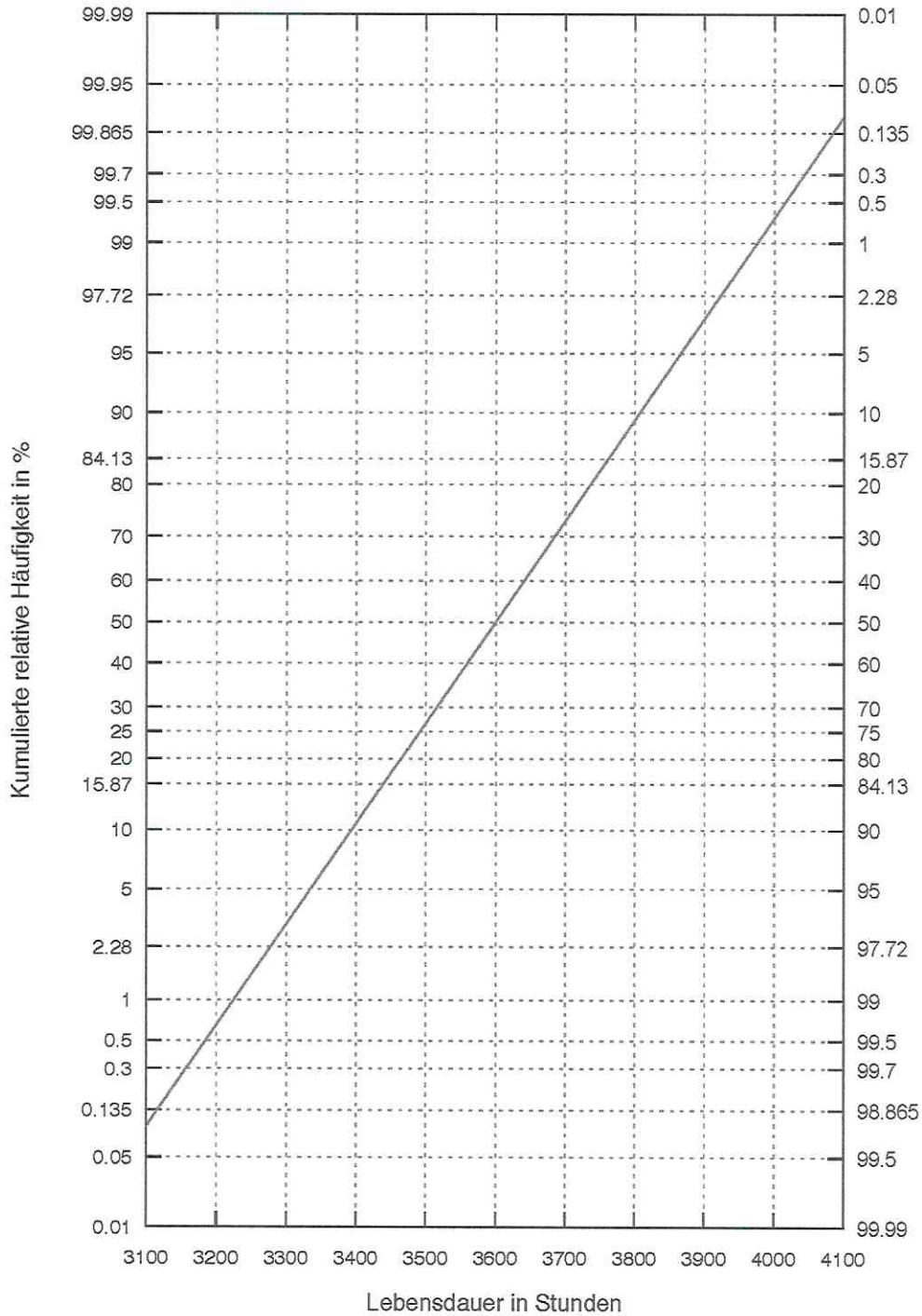
Markieren Sie im Wahrscheinlichkeitsnetz folgende Parameter und geben Sie die abgelesenen Werte an:

- die Grenzen des Intervalls $-3s \leq \bar{x} \leq 3s$ in Stunden,
- den prozentualen Anteil der Lampen, die kürzer als 3 400 Stunden durchgehalten haben,
- den prozentualen Anteil der Lampen, die länger als 3 900 Stunden durchgehalten haben,
- die Standardabweichung der Stichprobe.

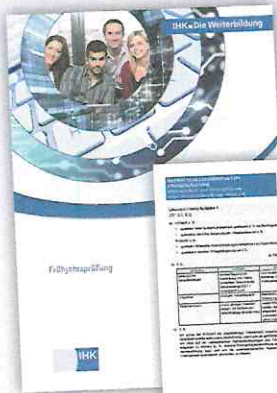


Anlage zu Aufgabe 7

Wahrscheinlichkeitsnetz der Lebensdauer der Lampen



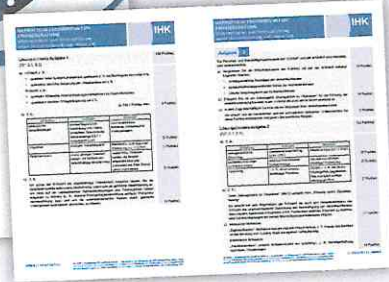
Weitere Materialien für Ihre Prüfungsvorbereitung:



● Aufgaben/Lösungshinweise

Das Lernen mit Aufgaben/Lösungshinweisen ist für eine gezielte und systematische Prüfungsvorbereitung wichtig. Trainieren Sie mit den Originalprüfungen aus Vorjahren unter Echtbedingungen:

- vollständige Originalprüfungssätze
- Angabe der Prüfungszeit und der erreichbaren Punkte
- Lösungshinweise zur Ergebniskontrolle



Alle Aufgabenbände unter

● IHK-Prüfungsvorbereitung

Eine effiziente Vorbereitung auf die schriftliche Prüfung ist der Schlüssel zum Prüfungserfolg. In der IHK-Prüfungsvorbereitung werden Original-Prüfungsaufgaben Schritt für Schritt analysiert und gelöst. Sie lernen:

- verschiedene Aufgabentypen erkennen
- erfolgreiche Lösungsstrategien
- Lernmethoden, Erinnerungstechniken und effizientes Zeitmanagement für Lernphase und Prüfung



Alle Prüfungsvorbereitungsbände unter



● IHK-Grundlagenbände

Das Fundament für Ihren persönlichen Aufstieg ist Ihr Basiswissen, auf dem Sie im IHK-Lehrgang Stück für Stück berufliche Kompetenzen aufbauen. Besonders interessant für alle Quereinsteiger, alle, die gerade am Anfang ihrer Weiterbildung stehen oder nach längerer Zeit wieder in ein bestimmtes Thema einsteigen wollen: die Grundlagenbände der IHKs.

So wird Nachschlagen und Vertiefen leicht gemacht:

- elementare Fachbegriffe
- grundsätzliche Zusammenhänge
- Praxisbeispiele



Alle Grundlagenbände unter



Lösungshinweise

Hinweis: Verlangt die Aufgabe zu „begründen“, zu „erläutern“, zu „beschreiben“, zu „definieren“ o.Ä., wird in der Prüfung eine ausformulierte Lösung erwartet.

Kapitel 1

Lösungshinweis Aufgabe 1 auf Seite 21:

- a) Schwefelsäure
- b) Es handelt sich in beiden Gleichungen um eine Oxidation.
Die Verbindung eines Elementes bzw. eines Stoffes mit Sauerstoff (Sauerstoffaufnahme) wird als Oxidation bezeichnet.
- c) Läuft eine chemische Reaktion ab, wenn Energie freigesetzt wird, so spricht man von einer exothermen Reaktion.
- d) Z. B.:
 - die Reinheit der an der Reaktion beteiligten Stoffe
 - die Größe der Kontaktfläche zwischen den oxidierenden Stoffen
 - die Affinität (Bindungsbestreben) zu Sauerstoff
 - die Temperatur
 - der Druck

Lösungshinweis Aufgabe 1 auf Seite 22:

- a) CO = Kohlenstoffmonoxid, CO₂ = Kohlenstoffdioxid
- b) Eigenschaften, z. B.:
 - CO = Kohlenstoffmonoxid:
 - farblos
 - geruchlos
 - brennbar
 - sehr giftig
 - CO₂ = Kohlenstoffdioxid:
 - farblos
 - geruchlos
 - schwerer als Luft – Erstickungsgefahr
 - trägt zur Erderwärmung bei
- c) Technische Anwendungen, z. B.:
 - CO = Kohlenstoffmonoxid:
 - Reduktionsmittel bei der Roheisengewinnung
 - Herstellung chemischer Produkte, z. B. Methanol
 - CO₂ = Kohlenstoffdioxid:
 - Herstellung kohlenstoffhaltiger Getränke
 - Löschmittel
 - Schutzgas
 - Trockeneis



Lösungshinweis Aufgabe 3 auf Seite 49:

$$a) I_g = \frac{P_{\max}}{U} = \frac{2.700 \text{ V} \cdot \text{A}}{230 \text{ V}} = 12 \text{ A}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_{2,3}}{R_1} = \frac{2R_1}{R_1} = \frac{2}{1}; \text{ mit } R_{2,3} = R_2 + R_3 = 2R_1$$

$$I_1 = 2 \cdot I_2$$

$$I_g = I_1 + I_2 = 2 \cdot I_2 + I_2 = 3 \cdot I_2$$

$$I_2 = \frac{I_g}{3} = \frac{12 \text{ A}}{3} = 4 \text{ A}$$

$$I_1 = 2 \cdot I_2 = 2 \cdot 4 \text{ A} = 8 \text{ A}$$

$$R_1 = R_2 = R_3 \quad \frac{U}{I_1} = \frac{230 \text{ V}}{8 \text{ A}} = 28,75 \Omega$$

$$b) R_g = 3 \cdot R_1 = 3 \cdot 28,75 \Omega = 86,25 \Omega$$

$$I_g = \frac{U}{R_g} = \frac{230 \text{ V} \cdot \text{A}}{86,25 \text{ V}} = 2,67 \text{ A}$$

$$P = U \cdot I = 230 \text{ V} \cdot 2,67 \text{ A} = 614,1 \text{ W}$$

$$c) R = \frac{\rho \cdot L}{A}$$

$$L = \frac{R \cdot A}{\rho} = \frac{28,75 \Omega \cdot (0,25 \text{ mm})^2 \pi \cdot \text{m}}{4 \cdot 0,49 \Omega \cdot \text{mm}^2} = 2,88 \text{ m}$$

Kapitel 2

Lösungshinweis Aufgabe 3 auf Seite 57:

$$a) \eta = \frac{W_{\text{ab}}}{W_{\text{zu}}}$$

$$\eta = \frac{E_{\text{ab}}}{E_{\text{pot}}}$$

$$E_{\text{pot}} = \frac{E_{\text{ab}}}{\eta}$$

$$E_{\text{pot}} = \frac{18.000 \text{ kWh}}{0,85}$$

$$E_{\text{pot}} = \underline{\underline{21.176,5 \text{ kWh}}}$$

$$b) E_{\text{pot}} = m \cdot g \cdot h$$

$$m = \frac{E_{\text{pot}}}{g \cdot h}$$

$$m = \frac{21.176,5 \text{ kWh} \cdot \text{s}^2}{9,81 \text{ m} \cdot 45 \text{ m}} = \frac{21.176,5 \text{ kWh} \cdot 3.600 \text{ kJs}^2}{9,81 \cdot 45 \text{ m}^2}$$

$$m = \underline{\underline{172.693,2 \text{ t}}}$$

$$\begin{aligned} \text{c) } Q &= \frac{V}{t} & V &= \frac{m}{\rho} \\ Q &= \frac{172\,693,2 \text{ m}^3}{180 \text{ min}} & V &= \frac{172\,693,2 \text{ t} \cdot \text{m}^3}{1 \text{ t}} \\ Q &= \underline{\underline{959,4 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}}} & V &= 172\,693,2 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Lösungshinweis Aufgabe 4 auf Seite 57:

$$E_A = E_B$$

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v_A^2 + m \cdot g \cdot h_A = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v_B^2 + m \cdot g \cdot h_B$$

$$v_B = \sqrt{2 \cdot \left(\frac{1}{2} v_A^2 + g \cdot h_A - g \cdot h_B \right)}$$

$$v_B = \sqrt{2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \left(1,5 \frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 + 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1,6 \text{ m} - 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 0,5 \text{ m} \right)}$$

$$v_B = 4,88 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Kapitel 3

Lösungshinweis Aufgabe 4 auf Seite 73:

$$\text{a) } \sigma_{\text{zul}} = \frac{1}{3} R_e$$

$$\sigma_{\text{zul}} = \frac{1}{3} \cdot 225 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 75 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$S = \frac{F}{\sigma_{\text{zul}}}$$

$$S = \frac{120\,000 \text{ N} \cdot \text{mm}^2}{75 \text{ N}}$$

$$S = \underline{\underline{1600 \text{ mm}^2}}$$

$$\text{b) } S = b^2 + b^2 \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$S = b^2 \cdot \left(1 + \frac{\pi}{4} \right) = b^2 \cdot 1,785$$

$$b = \sqrt{\frac{S}{1,785}}$$

$$b = \sqrt{\frac{1600 \text{ mm}^2}{1,785}}$$

$$b = \underline{\underline{29,9 \text{ mm}}}$$

Lösungshinweis Aufgabe 5 auf Seite 73:

Winkel des Zugseils zur Waagerechten: $\tan \alpha = \left(\frac{1 \text{ m}}{2 \text{ m}} \right) = 0,5; \rightarrow \alpha = 26,57^\circ$

vertikale Komponente der Zugseilkraft: $F_v = \sin \alpha \cdot F_z$
 $= \sin 26,57^\circ \cdot 263,15 \text{ N}$
 $= 117,7 \text{ N}$

zulässige Masse der Leuchte: $m_L = \frac{F_v}{g} - \frac{m_{st}}{2}$
 $= \frac{117,7 \text{ N}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} - \frac{4 \text{ kg}}{2}$
 $= 9,99 \text{ kg} \approx 10 \text{ kg}$

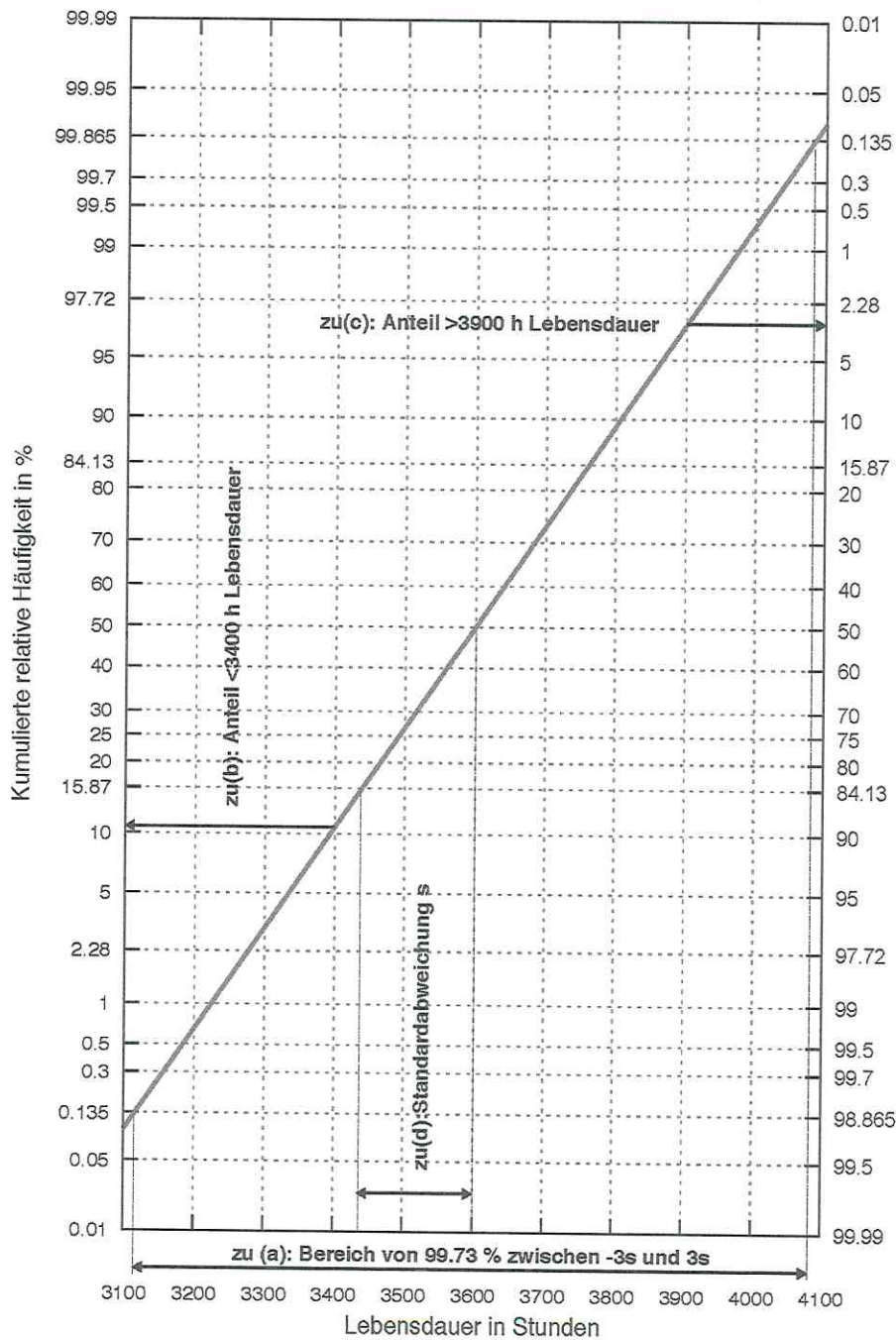


Kapitel 4

Lösungshinweis Aufgabe 7 auf Seite 90:

- a) zwischen ca. 3 120 h und 4 080 h
- b) ca. 11%
- c) ca. 3%
- d) ca. 170 h

Wahrscheinlichkeitsnetz der Lebensdauer der Lampen





Lesen und Vertiefen

Print

Böge, A./Böge, W.: Technische Mechanik: Statik - Reibung - Dynamik - Festigkeitslehre - Fluidmechanik, Springer-Verlag, 32. Aufl., Berlin 2017

Burmester, J./Dillinger, J./Escherich, W., u. a.: Fachkunde Metall, Verlag Europa-Lehrmittel, 58. Aufl., Haan-Gruiten 2017

Burmester, J./Dillinger, J./Escherich, W., u. a.: Rechenbuch Metall – Lehr- und Übungsbuch, Verlag Europa-Lehrmittel, 32. Aufl., Haan-Gruiten 2016

Gomeringer, R./Heinzler, M./Kilgus, R., u. a.: Tabellenbuch Metall – mit Formelsammlung, Verlag Europa-Lehrmittel, 47. Aufl., Haan-Gruiten 2017

Häberle, H. O./Häberle, G./Isele, D., u. a.: Tabellenbuch Elektrotechnik – Tabellen – Formeln – Normenanwendungen, Verlag Europa-Lehrmittel, 28. Aufl., Haan-Gruiten 2018

Digital

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMU): www.bmu.de

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi): www.bmwi.de

Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW): www.bdew.de

Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN): www.din.de

International Organization for Standardization (ISO): www.iso.org

Umweltbundesamt (UBA): www.umweltbundesamt.de

Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. (VDE): www.vde.com

Verein Deutscher Ingenieure e. V. (VDI): www.vdi.de



Stichwörter

- A**ggregatzustand 24
Anion 5
Arbeit 50, 66
-, elektrische 45
Atombindung 6
Atomhülle 4
Atomkern 4
- B**ase 11 f.
Bemessungsleistung 46
Beschleunigung 31
Beschleunigungskraft 63
Bewegung
-, gleichförmig geradlinige 30
-, gleichmäßig beschleunigte 31
Bohr'sches Atommodell 3
Brennstoffzelle 54
Brennwert 29
- C**arbonathärte 18
- D**ehngrenze 71
Dipol 6
Drehfrequenz 34
Drehstromsystem 47
Drehzahl 34
Dreiphasenwechselstrom 47
Druck 35
- E**delgas 8
Edelgaskonfiguration 4
Einheit 22
Elektrolyt 11
Elektron 3
Elektronengas 7
Elementarteilchen 4
Energie 50, 66
-, kinetische 51
-, potenzielle 51
Energieerhaltungssatz 51
Energiewandler 51
- F**all, freier 33
Fallbeschleunigung 33
Federkraft 63
- G**asgesetz, allgemeines 26
Gauß'sche Glockenkurve 82
Gesetz von der Erhaltung der Masse 8
Gleichspannung 39
Gleitreibungskraft 62
Grundgesamtheit 75
- H**aftreibungskraft 62
Hangabtriebskraft 61
Härte
-, permanente 19
-, temporäre 18
Härtebildner 18
Häufigkeitsverteilung 76, 78
Hebelgesetz 65
Heißleiter 41
Heizwert 29
Histogramm 78
- I**ndikator 13
Ionenbindung 5
Ionentauscher 19
Isotop 4
- K**altleiter 41
Kation 5
Kern 3
Klasse 77
Klassenbreite 78
Kolbenkraft 36
Kontaktkorrosion 15
Korrosion 14
-, chemische 14
-, elektrochemische 14
-, physikalische 14
Korrosionsschutz, kathodischer 15
- Kraft 35
Kreisbewegung, gleichförmige 34
Kreisfrequenz 34
- L**adung, elektrische 39
Lagemaß 79
Längenänderung 24
Längenausdehnungskoeffizient 25
Legierung 7
Leistung 68
-, elektrische 46
- M**erkmalwert 75
Metallbindung 7
Mischspannung 40
Mischungstemperatur 27
- N**eutron 3
Nichtcarbonathärte 19
Normalkraft 61
Normalverteilung 82
Nukleon 3
Nullpunkt, absoluter 23
- O**hm'sches Gesetz 42
Opferanode 15
Ordnungszahl 4
Oxid 9
Oxidation 9
Oxidationsmittel 9
- P**arallelschaltung 44
Periodensystem 4
pH-Wert 12
Proton 3
- R**eaktion
-, endotherme 8
-, exotherme 8
Reaktionsgeschwindigkeit 10
Reaktionsgleichung 8



- Redoxreaktion 9
- Reduktion 9
- Reduktionsmittel 9
- Reibung 62
- Reihenschaltung 43
- Reinstoffe 2
- Resultierende 60
- Rotationsbewegung 30
- S**äure 11 f.
- Schadstoffe 20
- Schmelzwärme 28
- Sicherheitszahl 71
- SI-System 23
- Spannenergie 51
- Spannung, elektrische 39
- Spannungsmessgerät 45
- Spannungsreihe, elektrochemische 14
- Statistik
 - , analytische 74
 - , beschreibende 74
- Stichprobe 75
- Stoffe 2
- Streckgrenze 71
- Streuungsmaße 80
- Strom, elektrischer 40
- Strommessgerät 45
- Summenhäufigkeit 79
- T**ranslationsbewegung 30
- U**rliste 76
- V**alenzelektron 4
- Verbrennungswärme 29
- Verdampfungswärme 28
- Verkettungsfaktor 47
- Volumenänderung 25
- Volumenstrom 36
- W**ahrscheinlichkeitsgerade 83
- Wahrscheinlichkeitsnetz 83 f.
- Wahrscheinlichkeitsverteilung 81
- Wärme
 - , latente 29
 - , sensible 26
- Wärmekapazität, spezifische 27
- Wärmepumpe 55
- Wasser
 - Anomalie 17
 - , demineralisiertes 17
 - , destilliertes 17
- Wasseraufbereitung 20
- Wasserhärte 18
- Wechselspannung 40
- Windkraftanlage 54
- Winkelgeschwindigkeit 34
- Wirkleistung 46
- Wirkungsgrad 52, 68
- Z**entrifugalkraft 64
- Zentripetalkraft 64



Ihr Feedback

Bei der **Weiterentwicklung** der IHK-Textbände zählen wir auf **Ihre Meinung**.
Bitte teilen Sie uns Ihre **Hinweise** und **Vorschläge** mit.

Bestellnr.: **510/05-F**

IHK: _____

Name/E-Mail/Telefon: _____
(für Rückmeldung, freiwillig)

Beurteilung des Textbandes

Ist der Inhalt aktuell?	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> weitgehend	<input type="checkbox"/> wenig	<input type="checkbox"/> nein
Ist der Inhalt fachlich korrekt?	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> weitgehend	<input type="checkbox"/> wenig	<input type="checkbox"/> nein
Ist der Text verständlich geschrieben?	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> weitgehend	<input type="checkbox"/> wenig	<input type="checkbox"/> nein
Sind die Abbildungen aussagekräftig?	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> weitgehend	<input type="checkbox"/> wenig	<input type="checkbox"/> nein
Ist der Umfang der einzelnen Themen angemessen?	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> weitgehend	<input type="checkbox"/> wenig	<input type="checkbox"/> nein
Ist der Inhalt praxisnah?	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> weitgehend	<input type="checkbox"/> wenig	<input type="checkbox"/> nein

Anregungen:

Wir danken Ihnen für Ihre Anmerkungen.

Wir sind für Sie da:

DIHK-Bildungs-GmbH, Holbeinstraße 13-15, 53175 Bonn
Tel. 0228 6205-147
feedback.textbaende@wb.dihk.de
www.dihk-bildungs-gmbh.de