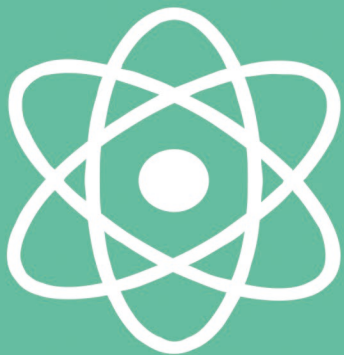


Med



Physik-Skript
zum

MedAT 2018



Inhalt

1	Einleitung.....	2
2	Stichwortliste Physik 2018.....	2
3	Größe und Einheiten	5
3.1	Die physikalische Größe.....	5
3.2	Grundgrößen / Abgeleitete Größen / Einheiten.....	5
4	Atomphysik.....	7
4.1	Atomaufbau	7
4.2	Elektronen und Orbitale	8
4.3	Kernspaltung und Fusion	9
4.4	Radioaktivität.....	10
4.5	Maßzahlen der Kernphysik	11
4.6	Kosmische Strahlung und Antiteilchen.....	13
5	Mikrokosmos	14
5.1	Unschärferelation	14
5.2	Licht/elektromagnetische Strahlung	14
5.3	Teilchen/Welle Dualismus	14
6	Wärmelehre.....	15
6.1	Temperatur	15
6.2	Innere Energie.....	15
6.3	Aggregatzustände der Materie.....	16
6.4	Gasgesetze	16
6.5	Zustandsgleichung	17
6.6	Osmotischer Druck	18
6.7	Hauptsätze der Wärmelehre	18
6.8	Arbeit und Wärme	20
6.9	Wärmekraftmaschinen	21
6.10	Anomalie des Wassers	21
7	Elektrizitätslehre.....	22
7.1	Elektrostatik (ruhende Ladungen)	22
7.2	Gleichstrom (bewegte Ladung)	23
7.3	Wechselstrom	30
7.4	Elektromagnetische Wellen.....	31
8	Schwingungen und Wellen	33

8.1	Pendel	33
8.2	Harmonische Schwingung	33
8.3	Gedämpfte Schwingung	34
8.4	Huygens'sches Elementarwellenprinzip	34
8.5	Harmonische Welle	35
8.6	Überlagerung von Wellen / Interferenz	35
8.7	Polarisation	36
8.8	Stehende Welle	36
9	Optik	37
9.1	Teilchen – Welle-Dualismus	37
9.2	Geometrische Optik	37
9.3	Wellenoptik	41
9.4	Absorption	41
9.5	Physiologische Optik	41
9.6	Optische Geräte	43
10	Mechanik	44
10.1	Grundgrößen der Mechanik	44
10.2	Grundgesetze der Mechanik	44
10.3	Erhaltungssätze der Mechanik	45
10.4	Translation	45
10.5	Rotation	46
10.6	Arbeit, Energie, Impuls, Leistung	47
10.7	Gravitation	47
10.8	Reibung	47
10.9	Dichte	48
10.10	Auftrieb	48
10.11	Gesetz von Bernoulli	48
11	Abbildungsverzeichnis	49

1 Einleitung

Dieses Skriptum soll eine kostenlose und für alle zugängliche Grundlage für die Vorbereitung zum Basiskenntnistest Physik für den Med-AT als Zulassungstest zum Medizinstudium in Österreich bieten. Es ist mittlerweile das vierte Skript, welches im Rahmen des „Skripten-Projektes“ entsteht. Wie haben uns bemüht uns an der offiziellen Stichwortliste für Physik 2018 aus dem VMC, sowie an unseren eigenen Erfahrungen zu den einzelnen Themen zu orientieren und so den Stoff bestmöglich abzudecken.

Trotzdem können wir natürlich keine Garantie für die ausnahmslose Richtigkeit bzw. Deckungsgleichheit mit den beim Aufnahmetest gestellten Fragen übernehmen.

Wir hoffen euch mit diesem Skriptum bei euren Vorbereitungen helfen zu können und wünschen euch viel Erfolg beim Med-AT!

Euer Referat für Studien- und Maturant_innenberatung der ÖH Med Wien

2 Stichwortliste Physik 2018

- Größe und Einheiten
 - Grundgrößen
 - Abgeleitete Größen
 - Einheiten
- Atomphysik
 - Atomaufbau
 - Atomkern
 - Starke Wechselwirkung
 - Schwache Wechselwirkung
 - Elektronen-Orbitale
 - Kernkräfte
 - Kernspaltung
 - Kernfusion
 - Antiteilchen
 - Radioaktive Stoffe
 - Radioaktivität
 - Aktivität
 - Ionisierende Strahlung
 - Absorption ionisierender Strahlung
 - Kosmische Strahlung
- Mikrokosmos (Eigentlich Stichwortliste Chemie)
 - Unschärferelation
 - Licht/elektromagnetische Strahlung
 - Teilchen/Welle Dualismus
- Wärmelehre
 - Temperatur
 - Innere Energie

- Aggregatzustände der Materie
- Osmotischer Druck
- Arbeit und Wärme
- Hauptsätze der Wärmelehre
- Gasgesetze
- Zustandsgleichung
- Wärmekraftmaschinen
- Anomalie des Wassers

➤ Elektrizitätslehre

- Elektrostatik (ruhende Ladungen)
 - Elektrische Ladungen
 - Elektrostatisches Feld
 - Elektrische Spannung
- Gleichstrom (bewegte Ladungen)
 - Stromstärke
 - Elektrische Leiter
 - Ohm'scher Widerstand
 - Ohm'sches Gesetz
 - Kirchhoff'sche Gesetze
 - Elektrische Leistung
 - Elektrische Arbeit
 - Magnetfeld
- Wechselstrom
 - Effektivwert
 - Amplitude
 - Frequenz
- Elektromagnetische Wellen
 - Elektromagnetische Wellen (Frequenzspektrum, Wellenlängen)
 - Ausbreitungsgeschwindigkeit der Elektromagnetischen Welle

➤ Mechanik

- Grundgrößen der Mechanik
- Grundgesetze der Mechanik
- Erhaltungssätze der Mechanik
- Translation
- Rotation
- Arbeit, Energie, Impuls, Leistung
- Gravitation
- Reibung
- Dichte
- Auftrieb
- Gesetz von Bernoulli

➤ Schwingungen und Wellen

- Pendel

- Harmonische Schwingung
- Gedämpfte Schwingung
- Elementarwelle
- Harmonische Welle
- Überlagerung von Wellen
- Stehende Welle
- Polarisation

- Optik
 - Geometrische Optik
 - Wellenoptik
 - Wellen-Teilchen-Dualismus
 - Absorption
 - Optische Geräte
 - Optik des Auges

3 Größe und Einheiten

3.1 Die physikalische Größe

Die physikalische Größe nimmt Bezug auf etwas in der Realität. Dafür benötigt sie 2 Teile, zuerst „was“ wird überhaupt gemessen (Maßeinheit), und anschließend „wie viel“ davon ist hier (Zahlenwert)?



3.1.1 Skalar

Bei den sogenannten skalaren Größen genügt dies, um sie vollständig zu charakterisieren. Denn sie „bewegen“ sich nicht. Zum Beispiel: Zeit, Masse, Ladung, Temperatur, Volumen, Fläche.

3.1.2 Vektor

Die vektoriellen Größen haben die Angewohnheit zusätzlich zu Maßeinheit und Zahlenwert einen Vektor zu benötigen. Bei Kraft, Geschwindigkeit und Beschleunigung ist dies auch notwendig da diese eine „Richtung“ brauchen, in die sie wirken. Symbolisiert ist dies durch einen Vektorpfeil über der Größe. Der Vektor selbst muss zusätzlich angegeben sein.

Als Beispiel: $12 \frac{m}{s}$ bewegt sich eine Kugel in Richtung der x-Achse. Das ließe sich als Vektor dann wie

folgt aufstellen: $\begin{pmatrix} 12 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} m/s = \vec{v}$

3.2 Grundgrößen / Abgeleitete Größen / Einheiten

3.2.1 Die SI-Einheiten

Seit 1960 bemüht man sich ein einheitliches System zu verwenden. Dieses beruht auf 7 Basiseinheiten, welche nicht durch andere Einheiten ausgedrückt werden können.

Größe	Einheit	Abkürzung
Länge	Meter	m
Masse	Kilogramm	kg
Zeit	Sekunde	s
Stromstärke	Ampere	A
Temperatur	Kelvin	K
Lichtstärke	Candela	cd
Stoffmenge	Mol	mol

3.2.2 Die Ableitung von Größen

Die Grundgrößen stehen jeweils für sich alleine. Wenn man allerdings Zusammenhänge ausdrücken will, wie z.B. „wie viele Meter werden in einer Sekunde zurückgelegt“, benötigt man abgeleitete Größen.

$$\text{Größe der Geschwindigkeit} = \frac{\text{Größe der Länge}}{\text{Größe der Zeit}}$$

In diesem Sinne würde sich aus dem SI-System schnell „Meter pro Sekunde“ ergeben. Es gibt jedoch natürlich auch abgeleitete Größen, die mit dem SI-System nichts am Hut haben z.B. Knoten pro

Stunde. (Die Stunde ist keine SI-Größe, weil sie durch einen Umrechnungsfaktor erreicht wird, eine SI-Größe wären „Kilosekunden [ks]“)

3.2.3 Einheiten

Die Einheit dient der Beschreibung einer Größe. Beispielsweise kann die Länge oder der Weg beschrieben werden mit Metern, Fuß, Yard, Fußballfeldern, was man auch immer haben möchte. (Das ist genau der Grund warum das SI-System so toll ist, weil jeder weiß, wie lange 1 Meter ist)

Die Einheiten können dann zusätzlich noch mit einer Vorsilbe modifiziert werden. Diese werden im Mathematik Skript bereits erwähnt, in aller Kürze seien sie auch hier nochmals aufgeführt.

Verkleinerungen			Vergrößerungen		
Faktor	Vorsilbe	Kurzzeichen	Faktor	Vorsilbe	Kurzzeichen
10^{-1}	Dezi-	d	10^1	Deka-	da
10^{-2}	Zenti-	c	10^2	Hekto-	h
10^{-3}	Milli-	m	10^3	Kilo-	k
10^{-6}	Mikro-	μ	10^6	Mega-	M
10^{-9}	Nano-	n	10^9	Giga-	G
10^{-12}	Piko-	p	10^{12}	Tera-	T
10^{-15}	Femto-	f	10^{15}	Peta-	P
10^{-18}	Atto-	a	10^{18}	Exa-	E

Abbildung 1 Vorsilben für die Einheiten¹

4 Atomphysik

Atome bauen die Materie auf. Viele Wechselwirkungen der Materie beruhen auf den Wechselwirkungen der Elektronen (die ganze Chemie). Allerdings gibt es auch Prozesse die eher auf den Kern zurückgehen, wie z.B. Kernfusion, Kernspaltung, Radioaktivität.

4.1 Atomaufbau

Das Atom besteht aus einem Kern, welcher die Protonen und Neutronen enthält, und aus einer Schale, welche die Elektronen enthält.

4.1.1 Atomkern, Protonen und Neutronen

Protonen und Neutronen haben ungefähr dieselbe Masse. Diese ist 2000mal größer als die Masse der Elektronen, weshalb der Atomkern quasi die Gesamtmasse stellt. Protonen und Neutronen werden auch als Nukleonen bezeichnet. Addiert man die Anzahl der Protonen und Neutronen im Atomkern, so ergibt sich die Kernladungs- oder Massenzahl, nach denen das Periodensystem organisiert ist.

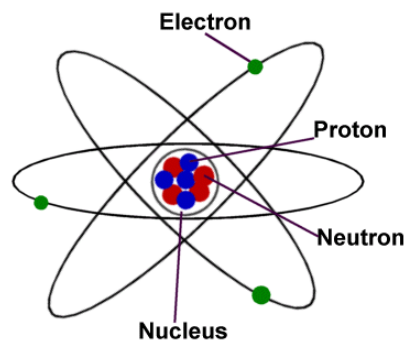


Abbildung 2 Schematischer Aufbau eines Atoms²

In einem neutralen Atom bestimmt die Protonenanzahl die Elektronenanzahl, da Elektronen negativ und Protonen positiv geladen sind.

Die Neutronen sind unerlässlich für den Zusammenhalt des Atomkerns, man kann sie sich quasi als „Kitt“ vorstellen, der das Atom zusammenhält. Sowohl bei zu vielen, als auch bei zu wenigen Neutronen wird das gesamte Gebilde instabil. Atome mit unterschiedlicher Neutronenzahl, aber gleicher Protonenzahl werden Isotope genannt.

4.1.2 Die Wechselwirkungen im Atom

Die Wechselwirkungen wurden früher „Kräfte“ genannt und in starke und schwache Kernkräfte unterteilt. Vor allem bei den schwachen „Kernkräften“ wird sich zeigen, wie hinderlich die Vorstellung des Wortes „Kraft“ in diesem Zusammenhang ist.

4.1.2.1 Die starken Wechselwirkungen

Jedem, der als Kind mit Magneten gespielt hat, wird auffallen, dass in der Natur sich positive und positive Ladungen abstoßen. Wieso tun sie das im Atomkern nicht? Die Antwort ist simpel: Sie stoßen sich schon ab, nur eine andere Wechselwirkung, die stärker ist, drückt sie wieder zusammen.

Die starke Wechselwirkung hat die seltsame Eigenschaft mit größerem Abstand immer stärker zu werden (sie wirkt allerdings nur auf Nukleonen). Die Basis hierfür liefern sogenannte „Gluonen“, die zwischen den Nukleonen hin und herspringen und sie dadurch anziehen.

4.1.2.2 Die schwachen Wechselwirkungen

Es handelt sich dabei um einen Prozess, der im Atomkern Teilchen ineinander „umbauen“ kann (dadurch wird erst der radioaktive Zerfall ermöglicht). Für die schwache Wechselwirkung sind sogenannte „Austauschteilchen“ verantwortlich. Die Reichweite der schwachen Wechselwirkungen ist extrem gering.

4.2 Elektronen und Orbitale

Ein großer Teil dieses Themengebiets findet sich bereits im Chemie-Skript. Hier wird nur nochmal auf das Bohr'sche Atommodell eingegangen und in Richtung der „springenden Elektronen“ ein bisschen erweitert.

4.2.1 Das Bohr'sche Atommodell

Nils Bohr hat 1913 zwei Aussagen getätigt:

1. Es gibt bestimmte Bahnen auf denen Elektronen ohne Energieverlust um den Kern kreisen können. Diese Bahnen haben unterschiedliche Energieniveaus.
2. Bei einem Sprung von einer höheren Bahn auf eine niedrigere wird die Energiedifferenz abgegeben. (in Form einer elektromagnetischen Welle)

Zwischen der Frequenz und der Energie einer elektromagnetischen Welle gibt es einen direkten Zusammenhang.

$$E = h \cdot \nu$$

$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ [Js]}$ (Planksches Wirkungsquantum)
 $\nu \text{ [s}^{-1}\text{]}$ (Frequenz)

Umso höher die Frequenz einer Strahlung umso höher ist deren Energie.

4.2.2 Anregung von Atomen

Ein Elektron befindet sich normalerweise in einem Grundzustand, durch verschiedene Formen von Energie kann es nun angeregt werden:

- Erwärmung (z.B. Glühbirne)
- Zusammenstoß mit anderen Elektronen (z.B. Neon-Röhre)
- Licht (z.B. Fluoreszenz)

Die Anregung selbst ist von außen nicht wirklich erkennbar, was sich allerdings sehr stark äußert ist, wenn das angeregte Elektron wieder in seine Ursprungsbahn zurückkehrt, und dabei die Energiedifferenz in Form von Strahlung abgibt.

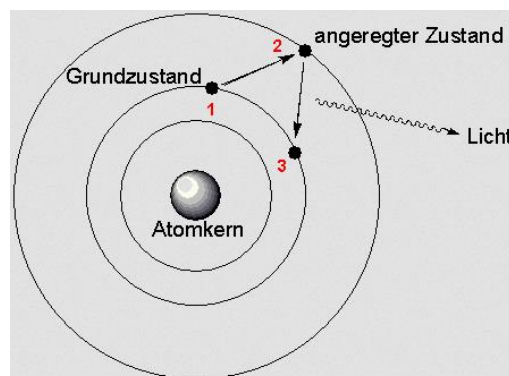


Abbildung 3 Schema der Energie Aufnahme und Abgabe³

4.3 Kernspaltung und Fusion

4.3.1 Die Kernspaltung

Man fand heraus, dass Uran sich beim Beschießen mit langsam fliegenden Neutronen in ungefähr gleich große Teile spaltet, und dabei Energie abgibt.

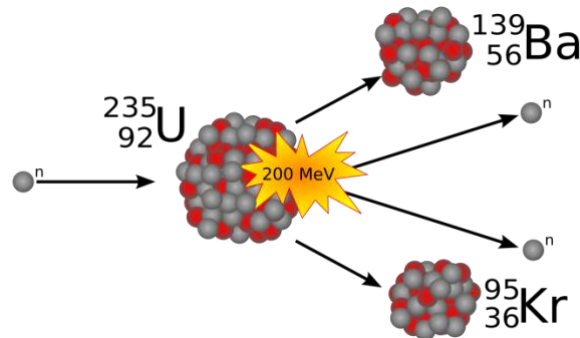


Abbildung 4 Spaltung von Uran in Krypton und Barium⁴

Zusätzlich zur gezeigten Spaltung in Barium und Krypton kann sich das Uran auch in Strontium und Xenon spalten, dabei werden auch immer neue Neutronen frei.

Der Grund für das Auftreten von Energie liegt darin, dass die Bruchstücke fester gebunden sind als die Ausgangsstücke, daher wurde ein stabilerer Zustand erreicht. Diese Energie liegt vor in Form von kinetischer Energie (welche sofort in Wärme umgewandelt wird), Alpha- und Beta-Strahlung.

Es gibt nun 3 Möglichkeiten für die aus der Spaltung entstehenden Neutronen:

1. Sie spalten keine weiteren Kerne. Wenn nicht genug Uran vorhanden ist und die Neutronen nicht gebremst werden, bewegen sie sich einfach weiter im Raum, das Uran unterliegt lediglich seinem alpha-Zerfall
2. Sie spalten 1:1 weitere Urankerne, die Zahl der Spaltungen und deren Energieabgabe bleibt konstant. Dies ist der Soll-Zustand eines Kernkraftwerks.
3. Alle Neutronen spalten weitere Kerne, dadurch steigt die Spaltungsrate exponentiell an und es werden in sehr kurzer Zeit ungeheure Mengen an Energie frei. Dies ist das Funktionsprinzip einer Atombombe.

4.3.2 Die Kernfusion

Die Verschmelzung von leichten Atomkernen wird als Kernfusion bezeichnet. Aus diesem Prozess gewinnt die Sonne ihre Energie. Momentan ist es ein Traum der Wissenschaft einen Fusionsreaktor zu bauen, da dieser mit sehr wenig Material eine gigantische Menge an Energie erzeugen könnte.

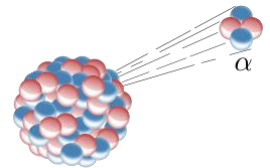
Der Grund für die Energieentstehung bei der Fusion liegt darin, dass die Bindungsenergie in Atomen mit höherer Massenzahl weit höher ist, als die bei niedrigeren Atomen (sie werden durch das Fusionieren quasi „stabiler“). Die Kernspaltung stellt hier den umgekehrten Prozess dar, es werden super-große Atome, welche durch ihre hohe Neutronenzahl instabil sind, zu kleineren stabileren Produkten gespalten.

4.4 Radioaktivität

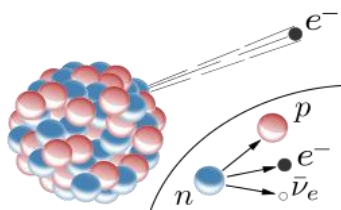
Man bezeichnet den spontanen Zerfall von instabilen Atomkernen als Radioaktivität (lat. „ich strahle“). Es gibt 3 wichtige Strahlungsarten, welche auf den radioaktiven Zerfall zurückgehen:

4.4.1 Alpha-Strahlung⁵

Dieser zählt zu den ionisierenden Strahlungen. Ein Atom sendet ein radioaktives Nukleotid aus, ein Alpha-Teilchen (ein Helium-4-Teilchen ohne Elektronen). Die Massenzahl des Atoms nimmt um 4 Einheiten, die Kernladungszahl um 2 Einheiten ab. Das Atom wandelt sich dabei in ein anderes Element um.



4.4.2 Beta-Strahlung⁶

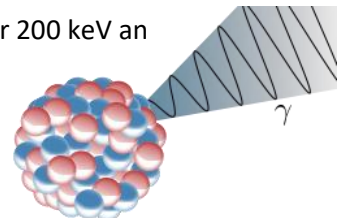


Es handelt sich hierbei um ein Elektron, welches durch Umwandlung eines Neutrons in ein Proton entsteht. Die Kernladungszahl nimmt dabei um eine Einheit zu. Die Energie des Elektrons variiert dabei und ist nicht konstant.

Ebenfalls wie bei der Alpha-Strahlung ist die Beta-Strahlung ionisierend.

4.4.3 Gamma-Strahlung⁷

Diese ist eher ein Sammelbegriff für alle elektromagnetischen Strahlungen, die über 200 keV an Energie haben und aus dem Kern kommen. Der Begriff selbst ist unabhängig von der Art der Entstehung.



Atomkerne können, so wie Elektronenhüllen auch, angeregt sein. In diesem Zustand befinden sie sich meist, nachdem sie einen Alpha- oder Beta-Zerfall durchgeführt haben. Wenn der „angeregte“ Atomkern anschließend wieder in seinen Grundzustand übergeht, gibt er Energie in Form von elektromagnetischer Strahlung ab. Wie auch bei den vorhergehenden Strahlungsarten ist die Gamma-Strahlung ionisierend.

4.4.4 Ionisierende Strahlung

Diese ist ein Allgemeinbegriff für alle Strahlungen die fähig sind aus einem Atom, Elektronen zu entfernen, sodass geladene Ionen oder Molekülreste zurückbleiben.

Der Grund warum man Strahlen in ionisierend und nicht-ionisierend einteilt ist simpel, und zwar die Gefahr, die von der jeweiligen Strahlung ausgeht. Ionisierte Moleküle können sich mit der DNA oder anderen Strukturen verbinden und Mutationen oder andere Gewebeschäden hervorrufen.

Beispiele für solche Strahlenarten:

- Kosmische Strahlung
- Alpha, Beta, Gammastrahlung
- Röntgenstrahlung
- UV-Strahlung
- Freie Protonen und Neutronen

Aus der Gefährlichkeit ergeben sich zwei weitere Aspekte. Wie gefährlich ist eine radioaktive Substanz? (Beschreibende Maßzahlen); wie schütze ich mich davor? (Strahlenschutz)

4.4.5 Strahlenschutz

Fast alle Maßnahmen zum Schutz vor ionisierender und nicht-ionisierender Strahlung zusammen.

- Geringstmögliche Zeit nahe der Strahlenquelle
- Maximaler Abstand zur Strahlenquelle
- Gute Abschirmungsmaterialien zwischen mir und der Strahlenquelle
- Vermeidung von Aufnahme der strahlenden Substanz

Die Gefahr ist auch abhängig von der Strahlung:

- Alpha-Strahlung wird von einem Papier abgehalten, die Gefahr geht von der Aufnahme in den Körper aus.
- Beta-Strahlung wird durch ein Aluminiumblech oder Buch abgehalten.
- Röntgen oder Gammastrahlung hat fast eine unendliche Reichweite, allerdings kann sie abgeschwächt werden, vor allem durch schwere Elemente wie Blei oder Eisen. (Hierfür sind teilweise mehrere Meter Bleiplatten erforderlich.)

4.5 Maßzahlen der Kernphysik

Es wurden natürlich die verschiedensten Maßzahlen geschaffen, um radioaktive Stoffe und deren Auswirkung zu beschreiben.

4.5.1 Exponentieller Zerfall

Der Zerfall jedes einzelnen Atoms ist lediglich vom Zufall abhängig und kann nicht vorhergesagt werden. Allerdings kann man bei der Abschätzung von „größeren“ Mengen bereits ausrechnen, wie viel insgesamt noch vorhanden ist. Der Zerfall folgt der exponentiellen Abnahme.

$$N(t) = N_0 * e^{-\lambda * t}$$

$N(t)$ = Anzahl Kerne nach Zeit t

N_0 = Anzahl Kerne zu Beginn

λ = Zerfallskonstante

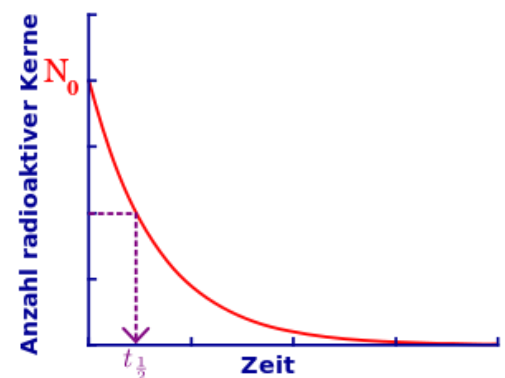
t = Zeit

e = Eulersche Zahl 2,718

4.5.2 Halbwertszeit⁸

Die Halbwertszeit leitet sich aus der Formel für den exponentiellen Zerfall ab (siehe Mathematik-Skript). Die Halbwertszeit gibt an wie lange es dauert, bis nur noch die Hälfte der ursprünglichen Anzahl an Atomkernen vorhanden ist.

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{\lambda}$$



4.5.3 Aktivität

Gibt an wie viele Kerne pro Sekunde zerfallen. Die „neue“ Einheit ist das Becquerel, welches als Zerfälle pro Sekunde definiert ist. Lange hatte sich allerdings das „Curie“ gehalten, welches definiert ist nach der Aktivität von 1g Radium.

$$A = \frac{\text{Zahl der Zerfälle}}{\text{Zeit}}$$

4.5.4 Energiedosis

Die Energiedosis gibt an, wie viel Energie einer Strahlung auf eine bestimmte Masse übertragen wurde.

$$\text{Energiedosis [Gy]} = \frac{\text{Energie [Ws]}}{\text{Mass [kg]}}$$

Das Gray entspricht 1Ws/kg bzw. 1J/kg. Sehr elementar ist die Bündelung der Strahlung, so ist es möglich in der Strahlenbehandlung einen Tumor mit 50Gy zu versorgen. Wäre der gesamte Körper von derselben Energie betroffen, würde es sich um 0,5Gy handeln.

4.5.5 Ionendosis

Gibt an wie viele durch Ionisation entstandene Ladungen pro kg Masse wirken.

$$\text{Ionendosis} \left[\frac{\text{C}}{\text{kg}} \right] = \frac{\text{Ladungen durch Ionisation [C]}}{\text{Masse [kg]}}$$

Die Einheit für die Ionendosis ist das Coulomb pro Kilogramm. Der Vorteil der Ionendosis ist deren direkte Messbarkeit durch einen Geiger-Müller-Zähler.

4.5.6 Dosisleistung

Das einzige Problem an Energie- und Ionendosis ist, dass sie einen Summenwert liefern, der teilweise nicht aussagekräftig ist. Korrigiert ist dies durch die Dosisleistung welche die jeweilige Dosis auf eine Zeiteinheit bezieht.

$$\text{Energiedosisleistung} \left[\frac{\text{Sv}}{\text{s}} \right] = \frac{\text{Energiedosis [Gy]}}{\text{Zeit [s]}}$$

Ein Sievert entspricht 1 Joule pro Kilogramm und ist damit äquivalent dem Gray, nur werden die beiden jeweils für etwas Anderes herangezogen.

4.5.7 Äquivalenzdosis

Diese berücksichtigt die unterschiedliche Gefährlichkeit der einzelnen Strahlenarten durch einen Faktor.

$$D_q = q * D$$

Als Dosis kann die Energie- oder die Ionendosis herangezogen werden. Natürlich kann auch eine Äquivalenzdosisleistung angegeben werden durch Bezug auf die Zeit. Die Einheiten verändern sich nicht und bleiben bei Sievert bzw. Gray

4.5.8 Effektive Äquivalenzdosis

Diesmal wird zusätzlich zur Bewertung der Strahlenart auch das Gewebe gewichtet, welches die Strahlung durchdringt. (Auch hier bleiben die Einheiten gleich.)

$$D_{eff} = w_T * D_q$$

Die Äquivalenzdosis und die effektive Äquivalenzdosis können sehr gut herangezogen werden, um die Gefahren nach einer Strahlenexposition zu beurteilen.

4.6 Kosmische Strahlung und Antiteilchen

4.6.1 Kosmische Strahlung aus dem Weltraum

Es handelt sich hierbei um eine hochenergetische Teilchenstrahlung bestehend aus Protonen, Elektronen und vollständig ionisierten Atomen, welche auf die äußere Erdatmosphäre treffen, sofern sie nicht schon vom Erdmagnetfeld abgelenkt werden.

Die kosmische Strahlung ist für das bekannte Polarlicht verantwortlich, da dort die geladenen Teilchen die Stickstoff- und Sauerstoffatome zum Leuchten bringen.

Die Strahlenbelastung über den Wolken ist weit höher als auf Meeresniveau, weshalb Viel-Flieger eine bedeutende Menge an Strahlung durch den Kosmos erhalten.

4.6.2 Antiteilchen

Zu jeder Art von Elementarteilchen existieren Antiteilchen. Masse, Lebensdauer, Spin und ihre Wechselwirkung sind absolut gleich, jedoch elektrische Ladung, magnetisches Moment und alle ladungsartigen Quantenzahlen genau umgekehrt. Wenn Antiteilchen so wie Teilchen Materie aufbauen, so spricht man von Antimaterie. Wenn ein Antiteilchen und ein Teilchen aufeinandertreffen, so kommt es zu Annihilation (gegenseitige Vernichtung unter Ausstoß von Energie in Form von anderen Teilchen oder Strahlung). Umgekehrt ist es auch durch die sogenannte Paarbildung möglich, dass sich aus einem Teilchen ein Teilchen und ein Antiteilchen entwickeln. Zum Beispiel kann sich ein Photon in ein Positron und ein Elektron umwandeln.

5 Mikrokosmos

Dieses Kapitel wurde aus der Stichwortliste für Chemie hierher exportiert, ganz einfach, weil es bei der Chemie nichts verloren hat und hier inhaltlich besser passt.

5.1 Unschärferelation

Die Heisenberg'sche Unschärferelation besagt, dass zwei komplementäre Aussagen der Quantenphysik nicht gleichzeitig beliebig genau bestimmbar sind. Bekannt sind hierbei vor allem Ort und Impuls. Ich kann entweder bestimmen wo das Elektron gerade ist, oder wohin es sich bewegt. Beides gleichzeitig ist nicht möglich und geht nicht auf Messungenauigkeit zurück, sondern ist prinzipiell in der Quantenphysik so.

5.2 Licht/elektromagnetische Strahlung

Siehe elektromagnetische Welle in diesem Skriptum.

5.3 Teilchen/Welle Dualismus

Manche Objekte in der Quantenphysik verhalten sich gleichermaßen wie eine Welle und wie ein Teilchen, auch wenn sich diese beiden scheinbar gegenseitig ausschließen. Gesehen hat man dies vor allem bei Elektronen, welche sich manchmal wie eine Welle verhalten (Doppelspaltversuch) und manchmal wie Teilchen (Elektrischer Strom).

6 Wärmelehre

Die Wärmelehre (oder auch Thermodynamik genannt) beschäftigt sich mit den geänderten physikalischen Eigenschaften von Materie bei sich ändernder Temperatur.

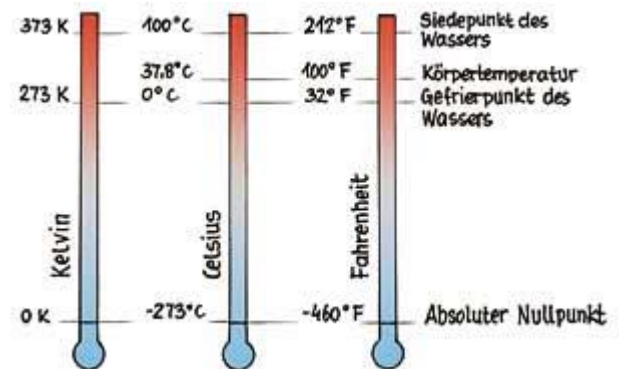
6.1 Temperatur

Die Temperatur spiegelt die kinetische Energie der einzelnen Teilchen eines Stoffes wider. Viele physikalische Größen eines Stoffes sind direkt von der Temperatur abhängig, zum Beispiel elektrischer Widerstand, Dichte, Ausdehnung etc.

6.1.1 Die Temperatur Skalen⁹

Historisch haben sich 2 Temperaturskalen abgeleitet, die Fahrenheit- und die Celsius-Skala. Die Celsius-Skala hat 2 Fixpunkte: den Gefrierpunkt von Wasser mit 0 und den Siedepunkt von Wasser mit 100.

Die Fahrenheit-Skala ist da ein bisschen anders, der erste Fixpunkt entspricht der besten Kältemischung aus Ammoniak, Eis und Salz, welches Daniel Fahrenheit produzieren konnte (Er wollte im Alltag negative Zahlen vermeiden). 0 F entspricht -17,8°C. Der zweite Fixpunkt ist die Körpertemperatur eines gesunden Menschen (35,6°C), welche er auf 96 F definiert hat.



Es hat sich nun ergeben, dass weder die Celsius noch die Fahrenheit-Skala für physikalische Prozesse geeignet sind. Hier kommt die Kelvin-Skala ins Spiel.

Der Nullpunkt der Kelvin-Skala ist der absolute Nullpunkt, bei welchem keine Teilchenbewegung mehr stattfindet, dies entspricht -273,15°C. Ein toller Vorteil der Kelvin-Skala besteht darin, dass eine Änderung um 1 äquivalent ist wie eine Änderung der Celsius-Skala um 1.

6.2 Innere Energie

Um diese verstehen zu können muss man erstmal klarstellen, wo diese gilt: in einem *geschlossenen* System, zum Beispiel einem Luftballon. Die innere Energie ist nun die gesamte Energie, die für thermische Umwandlungsprozesse genutzt werden kann. Welche Energien sind das? Die chemische Energie, die thermische Energie und die Kernenergie. Nicht inkludiert sind hierbei die potentielle und die kinetische Energie, da sich diese auf ein äußeres System beziehen.

Es ist nicht möglich die gesamte Innere Energie eines Stoffes zu messen, da ja unklar ist, wie „hoch“ die Summe ist bzw. in welchem Zahlenraum diese zu finden wäre. Was allerdings schon möglich (und auch relevant) ist, ist die Berechnung der Änderung der Inneren Energie.

Da sich die Innere Energie ändert, wenn an der Umgebung Wärme oder Arbeit ausgetauscht wird ergibt sich:

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W$$

ΔU = Änderung der Inneren Energie [J]
 ΔQ = Änderung der Wärmeenergie [J]
 ΔW = Änderung der Arbeit [J]

6.3 Aggregatzustände der Materie

Als Aggregatzustand werden unterschiedliche Zustände eines Stoffes verstanden, welche sich durch bloße Änderung von Druck und Temperatur ineinander umwandeln können. Von großer Bedeutung sind die drei Zustände **flüssig**, **fest** und **gasförmig**. Obwohl es noch weitere gibt, wollen wir nicht näher darauf eingehen. Bei dem Übergang von einem Aggregatzustand in den anderen spricht man auch von Phasenübergang.

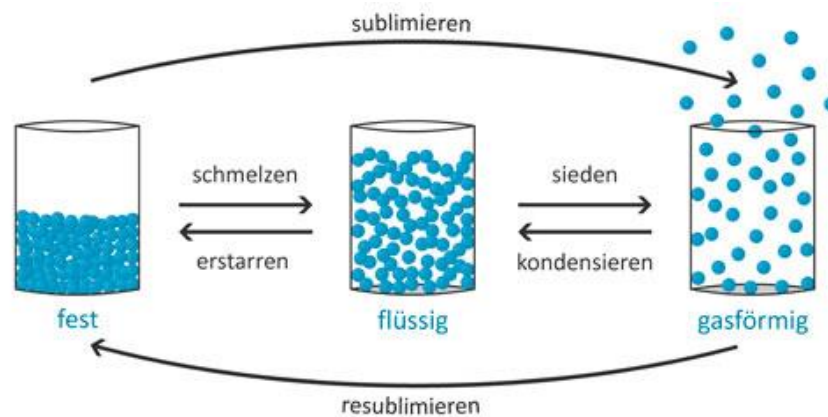


Abbildung 5 Aggregatzustände am Beispiel des Wassers¹⁰

6.3.1 Fest

Es handelt sich hierbei um relativ starre Formen, welche aus Untereinheiten bestehen, die fest miteinander verbunden sind.

6.3.2 Flüssig

Flüssige Stoffe bestehen auch aus Untereinheiten, welche teilweise miteinander interagieren und gegeneinander frei verschieblich sind.

6.3.3 Gasförmig

In einem idealen Gas interagieren die einzelnen Untereinheiten überhaupt nicht miteinander und beeinflussen sich gegenseitig nicht.

Zu beachten ist, dass es ziemlich logisch erscheint, dass Stoffe bei hohen Temperaturen gasförmig werden, wenn man bedenkt, dass die Temperatur ja die Bewegungsenergie widerspiegelt. Bei viel Bewegung braucht man viel Abstand voneinander!

6.4 Gasgesetze

Es reicht aus für unsere Zwecke alle Gase als ideale Gase zu betrachten, was macht ein ideales Gas aus? Ein ideales Gas hat keine Wechselwirkungen untereinander.

In diesem Fall gilt das allgemeine Gasgesetz:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

p = Druck [Pa]

V = Volumen [m^3]

n = Stoffmenge [mol]

R = Gaskonstante (8,31 [J/molK])

T = Temperatur [K]

Merke: **1 mol Gas hat bei Standardbedingungen** (Temperatur = 0°C und Druck = 1 bar) **22,4 Liter Volumen!**

6.5 Zustandsgleichung

Aus der oben angesprochenen allgemeinen Gasgleichung kann man nun einen Haufen weitere Formeln für diverse Zustandsänderungen ableiten. Wichtig: Bei den folgenden Formeln wird immer davon ausgegangen, dass sich die Stoffmenge prinzipiell nicht ändert, und die Gaskonstante auch nicht. (Anmerkung am Rande: Es gibt Konstanten, die temperaturabhängig sind. Wieso man dann das Wort „Konstante“ dafür verwendet, ist mir bis heute schleierhaft, die Gaskonstante ist auf jeden Fall keine davon!)

6.5.1 Isobare Zustandsänderung (Gay-Lussacsches Gesetz)

Wir werden einmal gemeinsam das Gesetz herleiten, bei den weiteren knalle ich euch nur noch die Formel hin und sag euch was konstant bleibt.

Bei einer isobaren Zustandsänderung bleibt der **Druck konstant** und wir gehen davon aus, dass sich die Stoffmenge und die Gaskonstante auch nicht ändern.

$$\begin{aligned} p * V &= n * R * T & | : p \\ V &= \frac{n * R * T}{p} & | : T \\ \frac{V}{T} &= \frac{n * R}{p} = \text{const.} \end{aligned}$$

Da die Stoffmenge n , die Gaskonstante R und der Druck p konstant bleiben, kann man von einem Zustand auf den anderen schließen. Man stelle sich einen Heißluftballon auf einer gewissen Höhe vor. Wenn die Temperatur erhöht wird, so muss zwangsweise das Volumen auch steigen, weil sonst das Ergebnis aus Druck durch Volumen nicht mehr konstant wäre.

Da Druck durch Volumen konstant ist können 2 Zustände, die isobar miteinander verbunden sind, durch das Gleichsetzungsverfahren dargestellt werden:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

6.5.2 Isotherme Zustandsänderung (Boyle-Mariottesches Gesetz)

Die Temperatur bleibt konstant.

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}$$

6.5.3 Isochore Zustandsänderung (Gesetz von Amontons)

Das Volumen bleibt konstant.

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

6.6 Osmotischer Druck

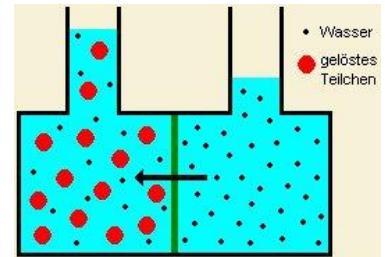
6.6.1 Diffusion

Als Diffusion kann man die Verteilung einer Substanz in einem Volumen verstehen. Wenn man ein Stampferl Meersalz in ein Schwimmbecken kippt, so wird sich das Salz langsam gleichmäßig im gesamten Becken verteilen.

6.6.2 Osmose¹¹

Die Osmose beschreibt nun die Diffusion an einer **semipermeablen** Membran (halbdurchlässig). Wasser kann hierbei die Membran durchdringen, alles andere nicht.

Wenn nun in einem Raum A eine hohe Konzentration an Salz vorliegt, wird das gesamte System versuchen den Konzentrationsunterschied auszugleichen. Dies macht es, indem immer mehr Wasser vom Bereich der niedrigen Konzentration zum Bereich der hohen Konzentration diffundiert.



Der osmotische Druck ist der Druck, der den Fluss des Wassers antreibt. Umgekehrt kann man dies auch als den Druck verstehen, der notwendig wäre, ihn auf der Seite der hohen Konzentration auszuüben, um einen Wassereinstrom zu verhindern.

Der osmotische Druck lässt sich mit einer Analogie zum Gasdruck berechnen:

$$p_{osm} = \frac{n}{V} * R * T$$

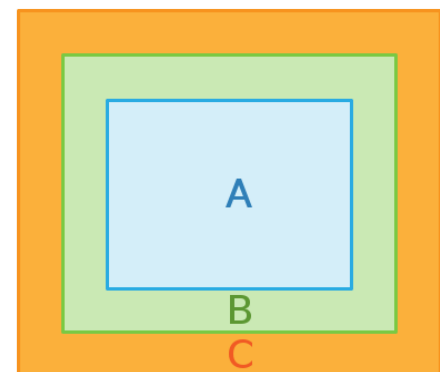
Die Stoffmenge n ist hierbei die Menge der osmotisch wirksamen Teilchen (wenn ich 1mol NaCl löse, sind 1mol Na^+ und 1mol Cl^- osmotisch wirksam, daher 2mol Teilchen).

6.7 Hauptsätze der Wärmelehre

6.7.1 „Nullter“ Hauptsatz der Wärmelehre¹²

Man stelle sich vor, zwei Systeme ständen im thermischen Gleichgewicht. Diese werden als System A und System B bezeichnet, zwischen ihnen kann sich die Wärme frei bewegen. Wenn man nun hinzufügt, dass ein drittes System C mit dem System B in thermischen Gleichgewicht steht, dann besagt der nullte Hauptsatz der Thermodynamik, dass auch das System A und C miteinander im Gleichgewicht stehen.

Anders gesagt: mein Wohnzimmer und mein Heizkörper sind im Gleichgewicht. Wenn ich nun einen Thermometer hinzufüge, der mit meinem Wohnzimmer im Gleichgewicht steht, wird sich nach einer Weile vom Thermometer die Temperatur meines Heizkörpers ablesen lassen.



Was ist so toll an dieser Aussage, die so logisch ist?

Es wird damit quasi festgelegt, dass die Temperatur eine Eigenschaft ist, die nicht an einen Stoff direkt gebunden ist und sich quasi frei bewegen kann!

6.7.2 Erster Hauptsatz der Wärmelehre

Der Erste Hauptsatz der Thermodynamik sagt mehrere Sachen aus:

1. Mechanische Arbeit und Wärme sind ineinander überführbar.
2. Die Innere Energie in einem geschlossenen System ist konstant und kann weder erzeugt noch vernichtet werden.
3. Das System gewinnt oder verliert nur dann an Energie, wenn es selbst Arbeit verrichtet oder andere Dinge erwärmt oder am System Arbeit verrichtet wird bzw. das System erwärmt wird.

Die Formel der Inneren Energie kennen wir schon:

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W$$

ΔU = Änderung der Inneren Energie [J]

ΔQ = Änderung der Wärmeenergie [J]

ΔW = Änderung der Arbeit [J]

Versuchen wir uns das mit praktischen Beispielen vorzustellen:

- Wenn ich einen Löffel lange genug in kaltem Wasser rühre, wird sich nach einer Weile die Kraft, die ich für die Rührtätigkeit aufbringe, in Wärme umwandeln.
- Wenn ich eine geschlossene Tupperwaredose in einem komplett isolierten Zustand habe, wird diese sich weder aufwärmen noch abkühlen und auch nicht explodieren oder implodieren.
- Wenn ein Gas in einem Behälter komprimiere, dann leiste ich daran Arbeit, das System des geschlossenen Behälters hat an Energie zugenommen. (Wenn man einer Sauerstoffflasche das Ventil abschlägt kann man die Arbeit des Systems sogar direkt beobachten).

6.7.3 Zweiter Hauptsatz der Wärmelehre

Auch hier gibt es wieder mehrere Aussagen:

1. Es gibt kein System, wo sich ein System A weiter abkühlt und ein System B dabei aufheizt.
2. Die Gesamtentropie kann nie kleiner werden, sie bleibt entweder gleich oder steigt.
 - a. Was ist denn die Entropie?

Die Entropie ist quasi ein Maß für die Unordnung und kann mit einem Kinderzimmer verglichen werden. Die Unordnung in einem Kinderzimmer wird nie und auf gar keinen Fall von selbst kleiner. Sie bleibt entweder gleich oder steigt.

Es wird nie der Fall eintreten, dass sich eine kaputte Vase von selbst abkühlt, sich zusammenfügt und auf den Tisch wieder hinaufspringt. Dies besagt der zweite Hauptsatz der Thermodynamik.

6.7.4 Dritter Hauptsatz der Wärmelehre

Die einfachste der Aussagen:

- Der Absolute Nullpunkt (0 K) kann nicht erreicht werden

Es handelt sich dabei um eine praktische Aussage, da es einfach nicht möglich ist, den perfekten Kristall zu erschaffen, der keine Unregelmäßigkeiten besitzt, und dessen Entropie dementsprechend Null wäre.

6.8 Arbeit und Wärme

6.8.1 Was ist überhaupt Arbeit?

Fangen wir von hinten an. Wenn ein Weg in einer gewissen Zeit zurückgelegt wird, handelt es sich um eine Geschwindigkeit.

$$\text{Geschwindigkeit} \left[\frac{m}{s} \right] = \frac{\text{Weg} [m]}{\text{Zeit} [s]}$$

Wenn sich nun die Geschwindigkeit in einem gewissen Zeitraum erhöht, sprechen wir von Beschleunigung.

$$\text{Beschleunigung} \left[\frac{m}{s^2} \right] = \frac{\text{Geschwindigkeit} \left[\frac{m}{s} \right]}{\text{Zeit} [s]}$$

Bei einer Beschleunigung von $1m/s^2$ nimmt die Geschwindigkeit pro Sekunde um $1m/s$ zu.

Nun sagen wir einmal, dass ein Stein beschleunigt wird. Jedem logisch denkenden Menschen ist klar, dass dieser Stein am Schädel mit einer Kraft einhergeht.

$$\text{Kraft} \left[kg * \frac{m}{s^2} \right] = \text{Masse} [kg] * \text{Beschleunigung} \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

Wenn man nun davon ausgeht, dass dieser Stein uns nicht am Schädel trifft, sondern eine Mühle, welche dadurch beginnt sich zu drehen, haben wir es bis zum Begriff der Arbeit geschafft.

$$\text{Arbeit} \left[kg * \frac{m^2}{s^2} \right] = \text{Kraft} \left[kg * \frac{m}{s^2} \right] * \Delta \text{Weg} [m]$$

Eine andere Form der Arbeit ist die Volumenarbeit, welche wir in diesem Zusammenhang auch kennenlernen wollen.

$$\text{Arbeit} \left[kg * \frac{m^2}{s^2} \right] = \text{Druck} \left[\frac{kg}{s^2 * m} \right] * \Delta \text{Volumen} [m^3]$$

Jetzt müssen wir nur noch damit klarkommen, dass leider nicht die ganze Welt aus SI-Einheiten besteht:

	SI	Newton	Joule	Watt
Kraft	$kg * \frac{m}{s^2}$	1 N (Newton)		
Arbeit	$kg * \frac{m^2}{s^2}$	1 N*m (Newtonmeter)	1 J (Joule)	1 W*s (Wattsekunde)
Leistung	$kg * \frac{m^2}{s^3}$	1 N*m/s	1 J/s (Joule pro Sekunde)	1 W (Watt)

Der Vollständigkeit halber, weil wir gerade mit Begriffen um uns werfen, nehmen wir noch die Leistung dazu:

$$\text{Leistung} \left[kg * \frac{m^2}{s^3} \right] = \frac{\text{Arbeit} \left[kg * \frac{m^2}{s^2} \right]}{\text{Zeit} [s]} = \frac{\text{Energie}}{\text{Zeit}}$$

6.9 Wärmekraftmaschinen

Eine Wärmekraftmaschine bezieht sich immer auf die Grundlage, dass Wärme fähig ist Arbeit zu leisten. Ein sich ausdehnendes heißes Gas (Wasserdampf) ist fähig einen Kolben zu bewegen.

Interessant ist in diesem Zusammenhang immer der Wirkungsgrad, daher welche Menge an zugeführter Wärme dann tatsächlich in Arbeit umgewandelt wird.

$$\text{Wirkungsgrad } (\eta) = \frac{\text{Arbeit}(W)}{\text{Aufgebrachte Wärmenergie}(Q)}$$

Bei Dampfmaschinen liegt dieser Wirkungsgrad bei 10-20%, bei Dieselmotoren 30-40%, bessere Werte werden nur durch Elektromotoren und Wasserturbinen erreicht, bekanntermaßen werden diese allerdings nicht durch Wärmenergie angetrieben.

Beim Thema der Wärmekraftmaschinen könnte man ziemlich stark in die Tiefe gehen, nachdem sich allerdings gezeigt hat, dass nicht in dieser Tiefe abgefragt wird, halten wir es nicht für sinnvoll hier noch weiter auszuführen.

6.10 Anomalie des Wassers¹³

Wasser hat sein Dichtemaximum bei 4°C, dementsprechend hat Eis eine niedrigere Dichte als das umgebende Wasser. Daher schwimmt Eis. Weitere Einzelheiten dann im Kapitel Mechanik. Hier zur Erfrischung ein Bacardi-Cola mit Eismwürfel, um die Dichteanomalie zu verdeutlichen.



Abbildung 6 Das Mischgetränk Bacardi-Cola besteht aus Rum (weiß) und Coca-Cola im Verhältnis 1:1 meist mit einer Zitrone (hier nicht abgebildet).

7 Elektrizitätslehre

7.1 Elektrostatik (ruhende Ladungen)

Das Wort „Elektron“ kommt aus dem griechischen und heißt Bernstein. Die Griechen haben schon sehr früh Erfahrungen gemacht, dass Bernstein (wenn er gerieben wird) elektrostatische Kräfte besitzt.

7.1.1 Elektrische Ladungen

Aus diversen Experimenten lässt sich ableiten, dass es zwei Ladungen gibt, die sich gegenseitig anziehen. Die negative Ladung resultiert aus einem Elektronenüberschuss und die positive Ladung aus einem Elektronenmangel. Gleichnamige Ladungen stoßen sich ab. Wer als Kind mit Magnetstäbchen gespielt hat, dem ist bewusst, dass die Anziehung entfernungsabhängig ist.

7.1.1.1 Das Coulomb'sche Gesetz

Dieses drückt die Kraft aus, die zwischen 2 Ladungen bei einem gewissen Abstand r wirkt.

$$F = \frac{1}{4 \cdot \pi \cdot \epsilon \cdot \epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

Q_1 und Q_2 = Ladungen (Coulomb)

r = Abstand (Meter)

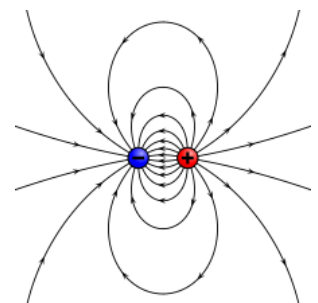
F = Kraft (Newton)

ϵ_0 = Elektrische Feldkonstante ($8,85 \cdot 10^{-12}$)

Umso größer die Ladungen, umso stärker die Kraft, umso größer der Abstand, umso schwächer die Kraft. Die Einheit Coulomb ist dadurch definiert, dass sie die Menge an elektrischer Ladung darstellt, welche in einer Sekunde durch einen Leiter mit einem Ampere fließt.

7.1.2 Elektrostatisches Feld¹⁴

Das elektrische Feld ist der Bereich im Raum um 2 Ladungen, in dem die Coulomb'schen Kräfte wirken. Die elektrischen Feldlinien verlaufen stets von der positiven zur negativen Ladung. Zeichnerisch wird die Stärke des Feldes durch eng beieinander liegende Feldlinien verdeutlicht.



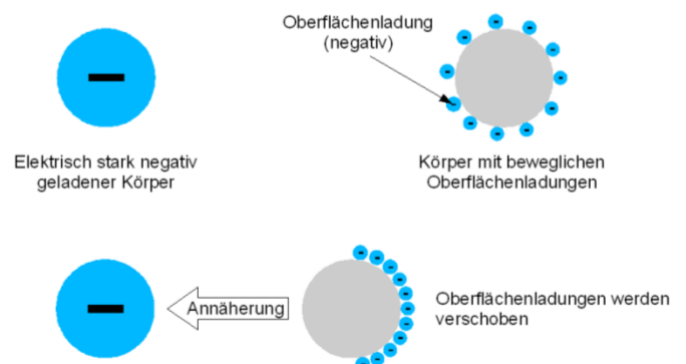
Die elektrische Feldstärke kann man durch das Einbringen einer Probeladung messen.

$$\text{elektrische Feldstärke } E = \frac{\text{coulombsche Kraft } F}{\text{Probeladung } Q}$$

7.1.2.1 Influenz

Als Influenz versteht man den Einfluss, den ein geladener Gegenstand auf die in seinem Bereich liegenden Stoffe ausübt. Beispielsweise kann ein geladener Metallstab einen anderen Metallstab polarisieren.

Elektrische Influenz



7.2 Gleichstrom (bewegte Ladung)

Unter Gleichstrom bzw. bewegten Ladungen versteht man den Fluss von Ladungsträgern. Dies können Elektronen sein, aber auch Ionen in einer Salzlösung.

7.2.1 Elektrische Spannung

Man stellt sich diese am besten vor, indem man an einen Wasserbehälter denkt, der in einer gewissen Höhe hängt und mit einem tiefer liegenden Wasserbehälter über einen Schlauch verbunden ist. Die Potentialdifferenz (bedingt durch die unterschiedlichen Höhen) entspricht der Spannung.

Die elektrische Spannung ist quasi der Druck, der auf den Elektronen lastet zwischen zwei unterschiedlich geladenen Polen.

$$\text{Spannung } U [V] = \frac{\text{Energie } W [J]}{\text{Elektrische Ladung } Q [C]}$$

Durch die Definition könnte man Volt auch als die Energiemenge sehen, die auf einer Ladungsmenge von 1 Coulomb lastet.

7.2.2 Stromstärke

Die Stromstärke wäre bei einer Wasserleitung das Äquivalent zum Volumenstrom, daher wie viel Volumen/Ladung fließt in welcher Zeit durch das Rohr/Leiter. Daraus ergibt sich auch die Formel:

$$\text{Stromstärke } I [A] = \frac{\text{Ladungsmenge } Q [C]}{\text{Zeit } t [s]}$$

Die Einheit 1 Ampere entspricht einer transportierten Ladung von $6,25 \cdot 10^{18}$ Elektronen pro Sekunde.

7.2.3 Elektrische Arbeit

Wenn unter Druck der elektrischen Spannung Ladungsträger bewegt werden, wird Arbeit verrichtet.

$$\text{Arbeit } W [Ws] = \text{Ladungsmenge} [C] * \text{ele. Spannung} [V]$$

Die Ladungsmenge lässt sich sehr einfach berechnen durch die Stromstärke mal der Zeit, daher ergibt sich für die Elektrische Arbeit:

$$\text{Arbeit } W [Ws] = \text{ele. Stromstärke } [A] * \text{Zeit } [s] * \text{ele. Spannung} [V]$$

7.2.4 Elektrische Leistung

Die Leistung entspricht der Arbeit pro Zeiteinheit, demnach ergibt sich:

$$\text{Leistung } [W] = \frac{\text{Arbeit } [Ws]}{\text{Zeit} [s]} = \text{Spannung} [V] * \text{Stromstärke} [A]$$

Es wird schon aufgefallen sein, wir stehen wieder vor dem Dilemma, dass nicht alles in SI-Einheiten angegeben wird, vor allem werden gerne diverse Einheiten für dasselbe verwendet. Vor allem das Watt hat hier große Beliebtheit. Es ist äquivalent zu 1 J/s (Joule pro Sekunde), daher ist Ws (Wattsekunde) gleich einem Joule.

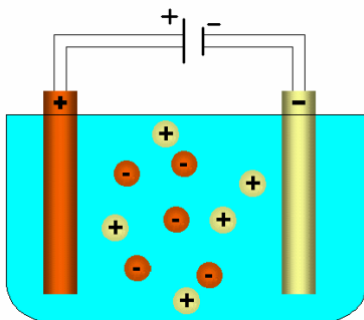
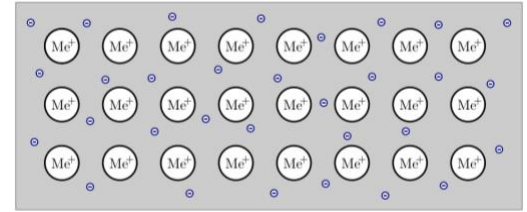
7.2.5 Der elektrische Leiter

Ein elektrischer Leiter ist ein Medium, welches frei bewegliche Ladungsträger besitzt. Den Transport dieser geladenen Teilchen nennt man elektrischen Strom. Man unterteilt leitfähige Materialien in 2 Klassen.

7.2.5.1 Leiter 1.Klasse¹⁵

Metalle und Graphit fallen in die Leiter der ersten Klasse. Diese beruht auf den Eigenschaften des Elektronengases, die Elektronen sind hierbei nur sehr schwach gebunden und relativ frei beweglich.

Die besten elektrischen Leiter sind Silber, Kupfer und Aluminium.



7.2.5.2 Leiter 2.Klasse¹⁶

Bei diesen handelt es sich um Ionenleitern, daher transportieren Ionen die Ladung. Dies kann entweder Salzschnmelzen oder Salzlösungen betreffen. Bei den Leitern 2. Klasse tritt eine stoffliche Veränderung ein, im Gegensatz zu Leitern 1.Klasse.

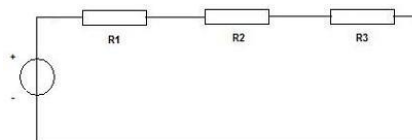
7.2.6 Ohm'scher Widerstand¹⁷

Der elektrische Widerstand deckt sich von der Wortbedeutung her mit dem alltäglichen Begriff des Widerstandes. Im Stromkreis entspricht der Widerstand der Summe aller Einzelwiderstände aller Elemente (Kabel, Lampe, Motor, Heizspirale, Lautsprecher, etc.). Man kann sich gut vorstellen, dass aus einem Loch in einem Staudamm weit mehr Wasser spritzen würde als wenn man in dieses Loch eine Turbine eingesetzt hätte.

Die Einheit des Widerstandes ist Ohm, welches als V/A (Volt dividiert durch Ampere) definiert ist.

$$1 \text{ Ohm } (\Omega) = \frac{1V}{1A}$$

Bei Metallen steigt der Widerstand mit zunehmender Temperatur. Hierbei handelt es sich um einen Teufelskreis, denn durch erhöhten Widerstand steigt der elektrische Verlust in Form von Wärme.



Seriell geschaltete Widerstände summieren sich einfach auf:

$$R_{Ges.} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

7.2.7 Ohm'sches Gesetz

Das Ohm'sche Gesetz ist mehr als eine Formel für den Widerstand, es stellt allgemein eine Verbindung zwischen der Spannung, der Stromstärke und dem Widerstand her.

$$U = R * I$$

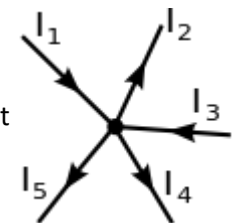
Dies gilt eigentlich nur bei Ohm'schen Leitern, also solchen, bei denen der Widerstand von der angelegten Spannung und Stromstärke unabhängig ist.

7.2.8 Kirchhoff'sche Gesetze

Auf der vorherigen Seite haben wir kurz den seriellen Widerstand bzw. den unverzweigten Stromkreis betrachtet. Für die Parallelschaltung bzw. den verzweigten Stromkreis benötigt man ganz andere Ansätze und diese liefern die Kirchhoff'schen Gesetze.

7.2.8.1 Knotenregel

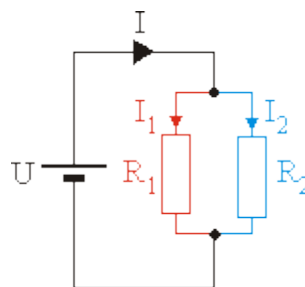
Diese Regel besagt, dass bei sich kreuzenden Stromleitungen die Summe der zufließenden gleich der Summe der abfließenden Stromstärke sein muss. Dies ist relativ klar, wenn man die Stromstärke mit einem Wasserfluss gleichsetzt. Es kann nicht Wasser verschwinden und/oder spontan neu entstehen.



$$I_1 + I_3 = I_5 + I_4 + I_2$$

7.2.8.2 Maschenregel¹⁸

Zuerst sollten wir wissen, was eine „Masche“ ist. Ganz einfach gesagt: Strom auf der einen Seite rein, teilt sich auf mehrere Wege auf, Strom auf der anderen Seite raus.



Die große Aussage hinter der Maschenregel ist, dass die Stromstärke (die „Wassermenge“) sich bei gleichem Widerstand auf alle möglichen Wege gleichmäßig aufteilt. Bei 2 Wegen und einer Stromstärke von 1 Ampere wären das 0,5 Ampere pro Weg. Nach dem Ohm'schen Gesetz ($U = R \cdot I$) gilt dementsprechend:

$$R_1 \cdot I_1 = R_2 \cdot I_2$$

Daraus ergibt sich, dass bei einem hohen Widerstand ein kleiner Strom fließt und bei einem niedrigen Widerstand ein großer Strom.

Um den Gesamtwiderstand zu ermitteln kann man diesmal nicht einfach aufsummieren, sondern muss mit dem Kehrwert rechnen.

$$\frac{1}{R_{Ges.}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

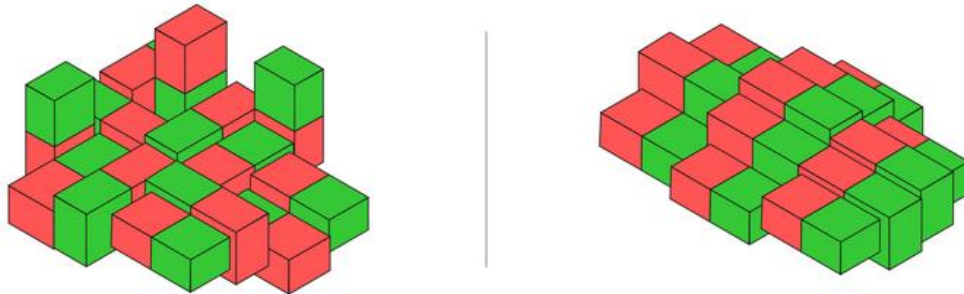
7.2.9 Magnetfeld

Der Magnetismus schafft den Übergang zwischen Bewegung von Elektronen und Bewegung von größerer Materie. Daher kann beispielsweise in einem Elektromotor eine Bewegung erzeugt werden durch Fluss von elektrischem Strom.

7.2.9.1 Der Stabmagnet¹⁹

Gleichnamige Pole stoßen sich ab, ungleichnamige Pole ziehen sich an.

Magnetismus ist in diesem Fall gut erklärbar mit dem Modell der „Elementarmagnete“: man stelle sich vor in manchen Materien (z.B. Eisen) seien lauter kleine Magnete enthalten, die wirt umherliegen. Wenn nun ein starker Impuls von außen kommt, legen sie sich gleichmäßig hin, wodurch der Gegenstand auch magnetische Eigenschaften bekommt.



7.2.9.2 Magnetische Influenz²⁰

Wenn ein Magnet einem magnetisierbaren Stoff nahekommt, so wird der Stoff ebenfalls magnetisiert und bekommt dessen Eigenschaften (allerdings abgeschwächt).

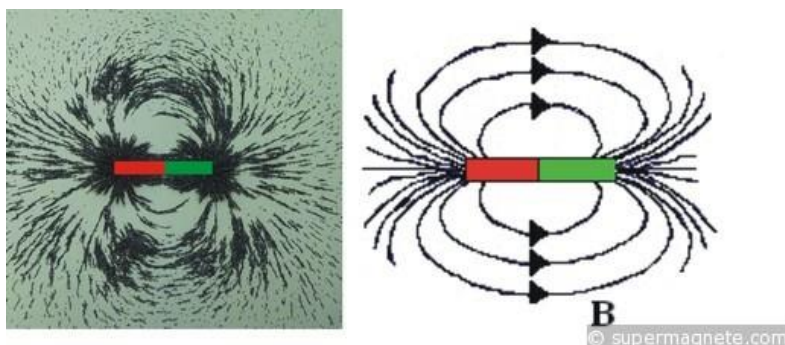
7.2.9.3 Das magnetische Feld²¹

Der Raum, in welchem die magnetischen Kräfte wirken, heißt Magnetfeld. Dieses wird ebenso wie das elektrische Feld durch eine Feldlinienzeichnung beschrieben. Dies kann man gut sichtbar machen durch das Legen eines Magneten unter eine Glasscheibe und das Aufbringen von Eisenspänen.



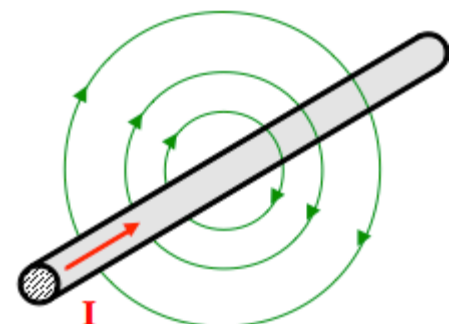
Die Richtung der Feldlinien ist als vom Nord- zum Südpol gehend definiert worden!

Die Stärke des Magnetfeldes drückt man durch die „Feldliniendichte“ aus. (Daher umso mehr Linien in der Grafik, umso stärker der Magnet)



7.2.9.4 Das Magnetfeld und der Strom

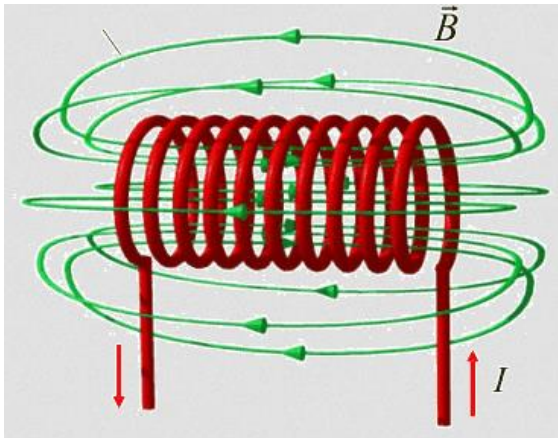
Um jede bewegte Ladung bildet sich ein Magnetfeld. Je höher die Stromstärke (also die „Menge“ an Strom, welche durchfließt), desto höher die Felddichte. Die Feldlinien verlaufen im Gegensatz zum Magnet nicht in den Leiter hinein, sondern bewegen sich darum herum. (Kein Nord- und Südpol)



Die Feldliniendichte nimmt mit dem Abstand zum Leiter proportional ab.

Es hat sich die „Rechte-Hand-Regel“ gut etabliert: Wird der ausgestreckte Daumen der rechten Hand in Richtung der konventionellen Stromrichtung gehalten, so geben die gekrümmten Finger den Verlauf der magnetischen Feldlinien an.

7.2.9.5 Die Stromdurchflossene Spule



Um mit relativ wenig Strom ein starkes Magnetfeld zu erzeugen, eignet sich eine Spule. Hierbei addieren sich die Feldlinien.

Man hat erkannt, dass die magnetische Feldstärke proportional zur Windungszahl, zur Stromstärke und indirekt proportional zur Spulenlänge ist.

$$H = \frac{n \cdot I}{L}$$

H ... Magnetische Feldstärke [A/m]

n ... Windungszahl n []

I ... Stromstärke [A]

L ... Spulenlänge [m]

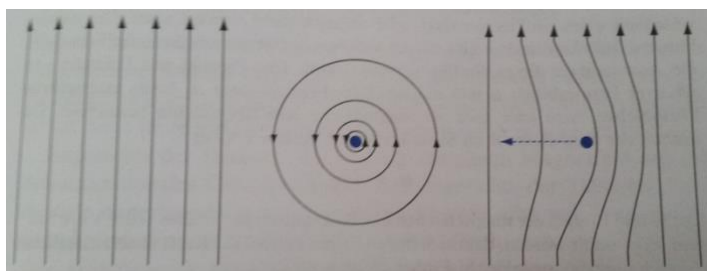
7.2.9.6 Die Lorenz-Kraft²²

Jede bewegte Ladung umgibt sich mit einem Magnetfeld. Wenn jedoch auf die Ladung bereits ein Magnetfeld von außen wirkt, so ergibt sich eine Wechselwirkung: die Lorenzkraft.

Um dies möglichst zu vereinfachen: Sobald durch einen Leiter in einem Magnetfeld Strom fließt, beginnt sich der Leiter aufgrund der „Magnetfeldresonanz“ der bewegten Ladungen selbst zu bewegen.



Um festzustellen wohin sich der Leiter bewegt, eignet sich die 3 Fingerregel. (rechts abgebildet)



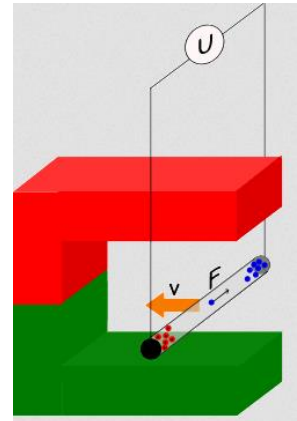
Links in diesem Bild²³ ist ein homogenes Magnetfeld zu sehen, in der Mitte ein stromdurchflossener Leiter mit eigenem Magnetfeld. Im rechten Teil des Bildes sind diese beiden übereinander gelegt. Die Feldlinien in dieselbe Richtung addieren sich und die in Gegenrichtung subtrahieren sich, mit dem Resultat das der Leiter magnetisch in die Richtung gedrückt wird, in welcher sich die Feldlinien aufheben.

subtrahieren sich, mit dem Resultat das der Leiter magnetisch in die Richtung gedrückt wird, in welcher sich die Feldlinien aufheben.

7.2.9.7 Die Induktion

Wir haben nun den Fall kennengelernt, wie ein Magnetfeld auf einen stromdurchflossenen Leiter wirken kann. Nun kommt es zum umgekehrten Fall, nämlich wie ein sich bewegendender Leiter von einem Magnetfeld zu einem Stromfluss im Leiter führt: Die Induktion.

Zu allererst scheint es nicht klar, warum der Stromfluss zustande kommt, wenn man den Leiter hineinschiebt und hinauschiebt und nicht „hin und her“. Der Grund liegt quasi in der umgekehrten Lorentzkraft. Daher findet die Bewegung der Ladung vertikal zur mechanischen Bewegung statt.



Wichtig ist hier noch kurz angemerkt: Der magnetische Fluss entspricht der Menge an Feldlinien, welche andere Feldlinien durchlaufen. Also wie viele Feldlinien meines Leiters durch einen gewissen Querschnitt hindurchkommen. (Dies kann man sich etwas anschaulicher mit einem Stabmagneten in einer Spule vorstellen, wie viele meiner Feldlinien gehen durch den Spulenquerschnitt, natürlich umso mehr umso tiefer der Magnet in der Spule drinsteckt.)

7.2.9.8 Formeln für die Lorentzkraft und die Induktion

Wir haben schon weiter oben die magnetische Feldstärke kennengelernt. Nun ist es allerdings so, dass die Lorentzkraft nicht nur von der Feldstärke abhängig ist, sondern auch von den Eigenschaften des Leiters, welcher vorhanden ist. Um dies mit einzukalkulieren, wurde die magnetische Flussdichte/magnetische Kraftflussdichte geschaffen. Sie berücksichtigt auch das Material, aus welchem der Leiter besteht.

$$B = \mu * \mu_0 * H$$

B ... magnetische Kraftflussdichte in Tesla $\left[\frac{V*s}{m^2} = T\right]$
 μ ... relative Permeabilität des Stoffes $\left[\frac{V*s}{m*A}\right]$
 μ_0 ... magnetische Feldkonstante $\left[\frac{N}{A^2}\right]$
 H ... magnetische Feldstärke [A/m]

Anmerkung: Es ist nicht von Relevanz die Einheiten der relativen Permeabilität und der magnetischen Feldkonstante zu kennen. Magnetische Feldstärke und magnetische Kraftflussdichte reichen allemal aus.

Die Lorentzkraft errechnet sich nun aus der Bewegung, der magnetischen Kraftflussdichte und der Ladungsmenge.

$$F = Q * v * B$$

B ... magnetische Kraftflussdichte in Tesla $\left[\frac{V*s}{m^2} = T\right]$
 v ... Geschwindigkeit der Bewegung [m/s]
 Q ... Ladungsmenge [C]
 F ... Lorentzkraft [N]

Der magnetische Fluss wird bereits oben erklärt, er errechnet sich aus der magnetischen Kraftflussdichte und dem Spulenquerschnitt.

$$\Phi = B * A$$

Φ ... Magnetischer Fluss [V*s]
 B ... magnetische Kraftflussdichte in Tesla $\left[\frac{V*s}{m^2} = T\right]$
 A ... Spulenquerschnitt [m²]

So nun ist die große Frage, welche Spannung induziere ich überhaupt in meine Spule? Dafür ist die Änderung des magnetischen Flusses relevant, falls wir uns erinnern können, die Spannung ist quasi die Energie, welche eine Ladung daran hindert, dorthin zurück zu gehen, wo sie fehlt. Demnach ist es logisch, dass diese Energie umso größer ist, umso schneller wir die Ladung von dort weggenommen haben. (magnetische Flussänderung in Abhängigkeit der Zeit)

$$U_{ind} = -n * \frac{d\Phi}{dt}$$

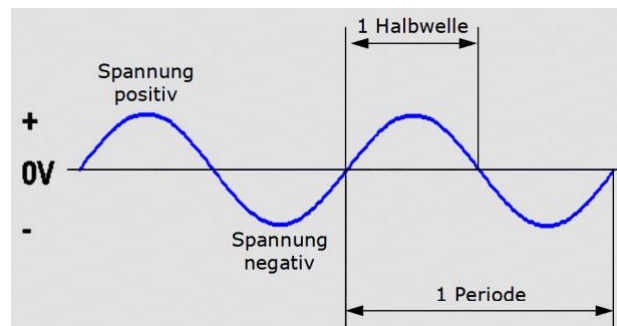
$d\Phi$... Magnetische Flussänderung [V*s]

dt ... Zeitänderung [s]

n Windungszahl der Spule []

7.3 Wechselstrom

Der Hauptgrund, warum Wechsel- und nicht Gleichstrom im Alltag verwendet wird, liegt am Weg der Erzeugung. Wie oben bereits gelernt liefert die Induktion keine konstante Strommenge, sondern eine „Welle/Impuls“, dies könnte natürlich zu Gleichstrom transformiert werden, allerdings gibt es hierfür keinen Grund und einen hohen Energieverlust.



Beim Wechselstrom werden nicht Ladungen von a nach b transportiert, sondern die Elektronen „pendeln“ hin und her, transportiert wird lediglich die Energie.

7.3.1 Effektivwert

Der normale Netzstrom wird immer mit 230 Volt angegeben. Dabei handelt es sich nicht um das Maximum, sondern um den sogenannten **Effektivwert**. Die jeweiligen Effektivwerte für Spannung und Stromstärke erhält man durch Division der Maximalwerte mit der Wurzel von 2.

$$U_{eff} = \frac{U_{Max}}{\sqrt{2}} \quad \text{und} \quad I_{eff} = \frac{I_{Max}}{\sqrt{2}}$$

7.3.2 Amplitude

Die Amplitude ist die maximale Auslenkung einer Welle und entspricht daher U_{Max} und I_{Max} . Beide errechnen sich durch Umkehroperation vom Effektivwert.

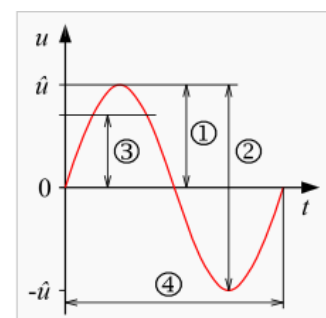
7.3.3 Periodendauer und Frequenz

Die Periodendauer ist die Zeit, welche benötigt wird für eine positive und eine negative Auslenkung (siehe Bild). Der Kehrwert der Periodendauer ist die Frequenz, diese wird traditionellerweise in Hertz angegeben.

$$f = \frac{1}{T}$$

f = Frequenz [Hz bzw. s^{-1}]

T = Periodendauer [s]

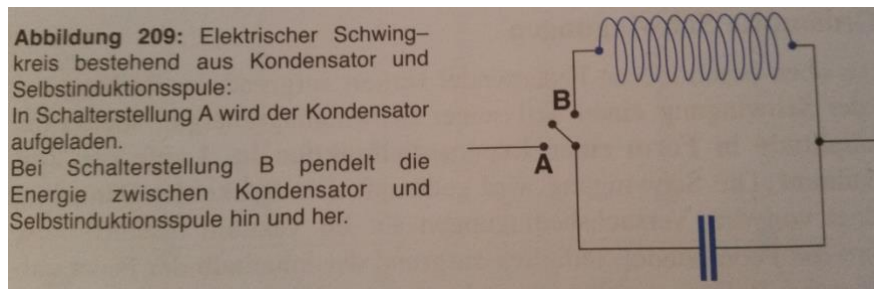


Die Darstellung für sinusförmige Wechselspannung gilt entsprechend auch für den Strom.

- 1 = Scheitelwert, hier auch Amplitude
- 2 = Spitze-Spitze-Wert
- 3 = Effektivwert
- 4 = Periodendauer

7.4 Elektromagnetische Wellen²⁴

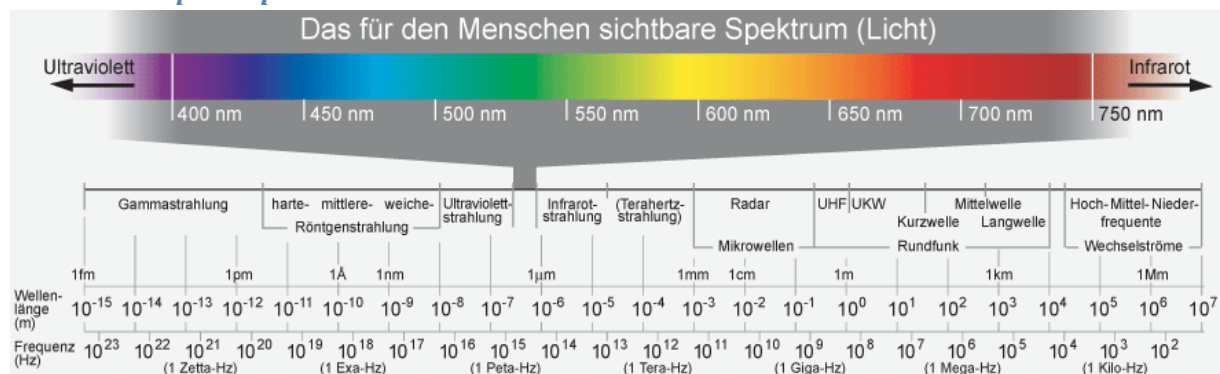
Wir können uns alle vorstellen wie eine Gitarre eine Schwingung erzeugt: Ein Mensch entscheidet die Energie aufzubringen und mit seinem Finger an der Saite zu zupfen. Die Saite beginnt zu schwingen und drückt die Luft um sich herum weg. Durch einen Resonanzkörper (dem Gitarrenbauch) wird dies auch noch verstärkt. Wie kann man sich nun eine elektromagnetische Schwingung vorstellen? Ganz einfach: Es wird kurz Energie aufgebracht und ein Magnetfeld erzeugt, die Energie ebbt ab, das Magnetfeld bricht zusammen und es kommt ein neuer Energieimpuls.



Der Strom bewegt sich in diesem Kreislauf hin und her. Wenn es keinen Widerstand gäbe würde eine perfekte elektromagnetische Welle entstehen, aufgrund des Widerstandes liegt jedoch eine gedämpfte Schwingung vor.

Kurze Anmerkung: Eine Schwingung breitet sich nicht im Raum aus (Gitarrensaite), eine Welle hingegen breitet sich aus (Schallwelle). In diesem Beispiel ist jedoch Welle und Schwingung ein bisschen synonym, weil die elektrische Schwingung direkt eine magnetische Welle auslöst.

7.4.1.1 Frequenzspektrum²⁵

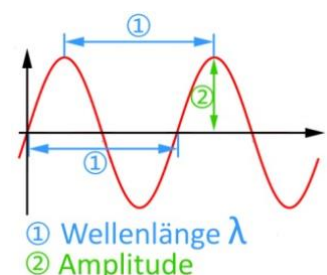


Was sollte man aus dieser Grafik mitnehmen?

- Dass wir im Bereich von 400-700nm sehen können.
- Dass Rundfunk und Wechselströme ziemlich lange Wellenlängen und niedrige Frequenz haben.
- Dass Gamma- und Röntgenstrahlung eine hohe Frequenz und kurze Wellenlänge besitzen.

7.4.1.2 Wellenlänge

Die Wellenlänge ist der Abstand zwischen 2 maximalen Auslenkungen in Metern. Achtung: Vorher beim Strom hatten wir die Zeit auf der X-Achse, diesmal liegt hier eine Entfernung in Metern!



7.4.2 Ausbreitungsgeschwindigkeit und Frequenz

Wir kennen die Frequenz schon von früher, sie beschreibt die „Anzahl“ der Schwingungen pro Sekunde. Wenn man nun die Wellenlänge mit der Frequenz multipliziert erhält man die Ausbreitungsgeschwindigkeit in Metern pro Sekunde.

$$c = f * \lambda$$

c Ausbreitungsgeschwindigkeit [m/s]

f.... Frequenz [Hz bzw. s⁻¹]

λ.... Wellenlänge [m]

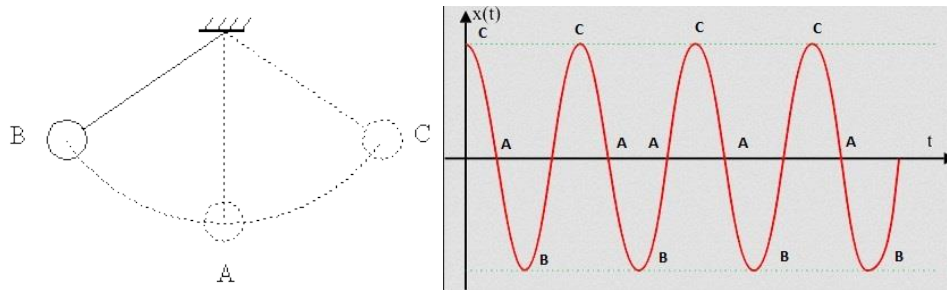
8 Schwingungen und Wellen

Kurz nochmal damit es allen klar ist: **Schwingungen** breiten sich im **Raum nicht** aus (Gitarrensaite), **Wellen** breiten sich im **Raum aus** (Wasserwellen, Schallwellen).

8.1 Pendel^{26,27}

Ein Pendel ist ein Paradebeispiel für eine Schwingung. Um nochmal die Schwingung zu verdeutlichen: Eine Schwingung ist ein sich periodisch wiederholender Vorgang, bei welchem die Schwingungsenergie abwechselnd in verschiedene Formen überführt wird.

Links haben wir die Skizze eines Fadenpendels. Im Punkt B ist die potentielle Energie maximal und die kinetische Energie gleich null. Im Punkt A ist die kinetische Energie maximal und die potentielle Energie minimal. Wenn man dieses Pendel in ein Koordinatensystem überträgt, das auf der X-Achse die Auslenkung und auf der Y-Achse die Zeit festhält, so erhält man ein Bild wie hier rechts dargestellt.



8.2 Harmonische Schwingung

Diese gilt immer dann, wenn die Rückstellkraft proportional zur Auslenkung ist. Dann kommt eine perfekte Sinusschwingung zustande, welche sich auch in der Formel niederschlägt.

Vorher lernen wir noch die Kreisfrequenz kennen, sie ist ähnlich zu einer Geschwindigkeit und gibt wider, „wie viel Kreis wird pro Sekunde durchlaufen?“

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

ω Kreisfrequenz [s^{-1}]
 T Schwingungsdauer [s]

Anmerkung: 2π entspricht der „Strecke“ eines Kreises, dadurch ergibt sich ein Wert, welcher angibt wie schnell eine Schwingung abläuft.

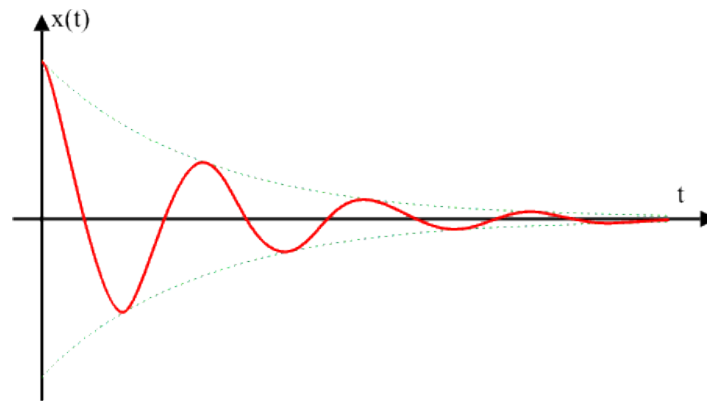
So, da wir die Kreisfrequenz kennen, ist die Berechnung der harmonischen Schwingung ein Klacks:

$$s(t) = s_0 * \sin(\omega * t)$$

$s(t)$ Auslenkung in Abhängigkeit zur Zeit []
 s_0 Maximale Auslenkung []
 ω Kreisfrequenz [s^{-1}]
 t Zeit [s]

8.3 Gedämpfte Schwingung²⁸

Ist die „echte“ Schwingung, weil der Widerstand berücksichtigt wird. Es gibt kaum Schwingungen, die perfekt für längere Zeit sinusartig bleiben. Die Amplitude nimmt in Form einer Exponentialfunktion im Laufe der Zeit ab. Die Schwingung wird gedämpft.



8.4 Huygens'sches Elementarwellenprinzip

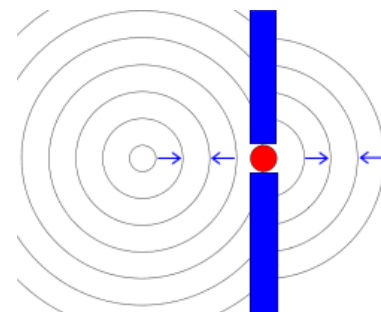
(sehr beliebt beim MedAT!)

Erste Frage: Was ist eine Elementarwelle? Eine Welle die von einem Punkt ausgeht - und zwar kreisförmig. Wer nicht weiß, was das ist, soll zu seinem Waschbecken gehen, Wasser reinlassen, dann warten bis das Wasser ruhig steht und kurz einen Tropfen reinfallen lassen. Man sieht wunderbar wie sich kreisförmig die Wellen ausbreiten.

Christiaan Huygens (1695) hat eine Aussage zu den Elementarwellen getätigt:

„Jeder Punkt einer beliebig geformten Wellenfront kann als Ausgangspunkt von Elementarwellen gesehen werden, die sich mit gleicher Phasengeschwindigkeit und Frequenz wie die ursprüngliche Wellenfront ausbreiten. Die Einhüllende aller einzelnen Elementarwellen bildet die neue Wellenfront.“

Rechts haben wir ein Bild davon: Eine Elementarwelle trifft auf einen Spalt, nach dem Huygens'schen Prinzip ist es nun möglich, dass dieser Teil der ersten Wellenfront, welche auf den Spalt trifft, nun den neuen Ursprungspunkt für die Welle hinter dem Spalt definiert. Mit den Pfeilen ist gemeint, dass die Wellenlänge (Abstand zwischen 2 Amplituden) genau gleichbleibt.

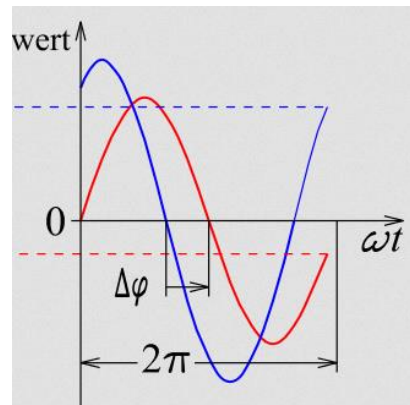


8.5 Harmonische Welle

Siehe Harmonische Schwingung. Ja es gibt eine Formel für die Harmonische Welle, hätte noch nicht gehört, dass die in irgendeiner Form zum MedAT kommt. Merke: Bei der Harmonischen Welle ist nicht nur die Zeit ein variabler Parameter, sondern jetzt auch die Ausbreitungsrichtung.

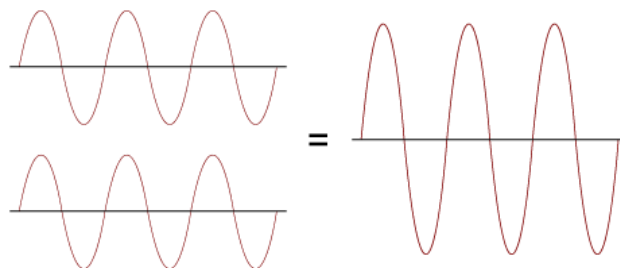
8.6 Überlagerung von Wellen / Interferenz²⁹

Zuerst müssen wir den Begriff der Phasendifferenz kennenlernen, $\Delta\varphi$. Er ist ganz einfach der Unterschied in der Periodendauer zwischen 2 Wellen an einem Punkt. Eine Grafik sagt mehr als tausend Worte.



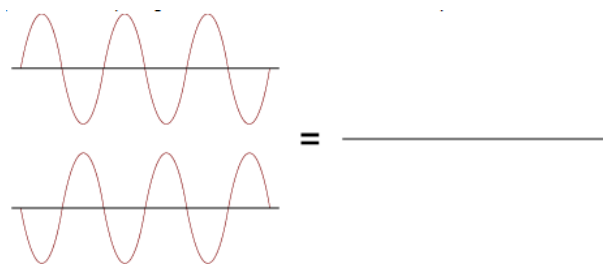
8.6.1 Konstruktive Interferenz³⁰

Wenn die Phasendifferenz ein ganzzahliges Vielfaches der beiden Wellen ist, so treffen Wellenberg auf Wellenberg und Wellental auf Wellental, die Amplituden addieren sich!



8.6.2 Destruktive Interferenz³¹

Wenn die Phasendifferenzen genau ein halbes Vielfaches der beiden Wellen ist, so treffen Wellenberg auf Wellental und sie löschen sich gegenseitig aus (Falls auch die Amplituden genau gleich groß sind!).

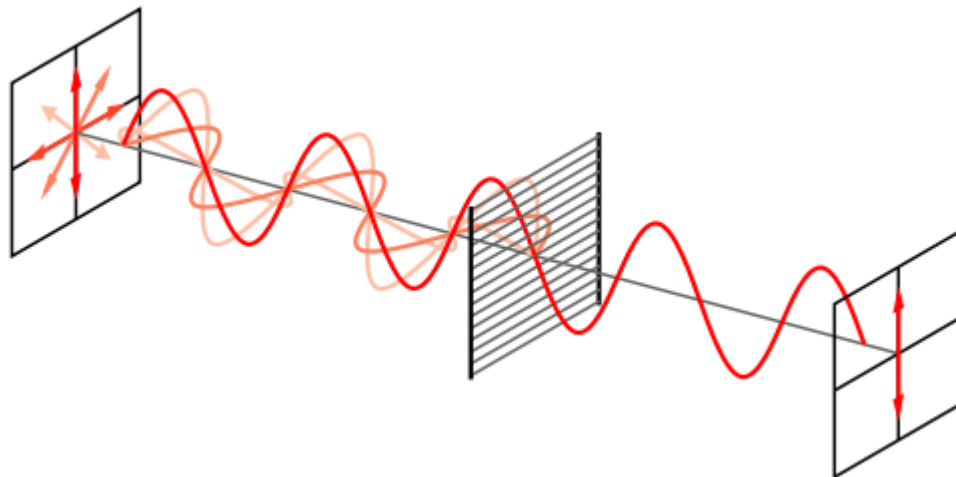


8.7 Polarisation^{32,33}

Um zu verstehen was polarisierte Wellen sind, ist es fundamental zu verstehen, was unpolarisierte Wellen sind.

Unpolarisiertes Licht/Wellen schwingt in alle Richtungen, also: komplettes Chaos, zB. normales Sonnenlicht.

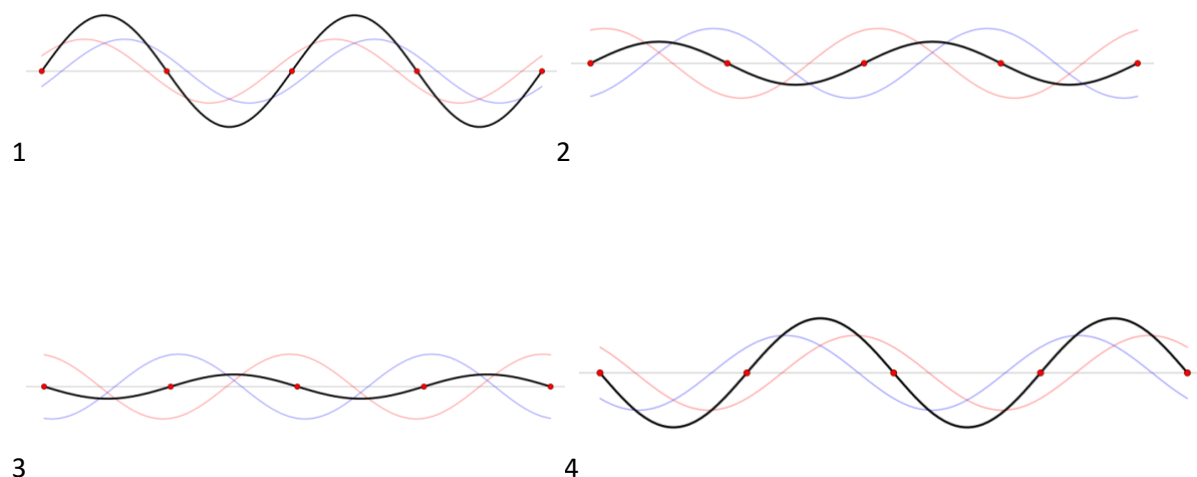
Polarisiertes Licht hingegen schwingt nur in einer einzigen Ebene, dies wird durch einen Polarisationsfilter erreicht.



Schwingungen erfolgen nur in **einer bestimmten Richtung** senkrecht zur Ausbreitungsrichtung.

8.8 Stehende Welle³⁴

Es handelt sich hierbei um eine Welle die an ihrer Ausbreitung im Raum gehindert wird, wieder zurückläuft und immer exakt die gleichen Wellenknoten besitzt. (Wellenknoten = Punkte an der Nulllinie)



Man stelle sich eine Gitarrensaite vor: Wäre sie unendlich lang, so würde sich die Welle ausbreiten. Nachdem sie aber am Gitarrenkopf fixiert ist, ist ihr die Ausbreitung leider nicht möglich, sie schwingt zurück und pendelt sich auf eine stehende Welle ein.

9 Optik

Nachdem wir schon bei der Polarisation das Wörtchen Licht in den Mund genommen haben, wird es nun Zeit für das mit Abstand beliebteste Thema beim MedAT zu beginnen. [Ironie – off]

Leider gibt's immer wieder eine Frage zu den Spiegeln und zur sphärischen Aberration.

9.1 Teilchen –Welle-Dualismus

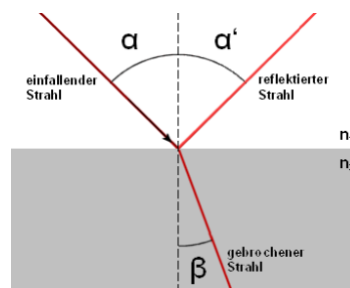
Ganz kurz: Jede Strahlung hat sowohl Wellen-, als auch Teilchencharakter, je nach Betrachtungsweise ändert sich das Ergebnis. Licht kann man entweder als elektromagnetische Welle betrachten oder als Photonenstrahl. Aus diesem Grunde ergibt sich auch die geometrische Optik, welche das Licht als Strahl interpretiert, und die Wellenoptik, welche das Licht als Welle akzeptiert.

9.2 Geometrische Optik

Hierbei wird das Licht komplett als Strahl/Linie interpretiert.

9.2.1 Brechung und Reflexion³⁵

An der Grenze zwischen 2 Materialien wird das Licht nach dem Reflexionsgesetz reflektiert und nach dem Brechungsgesetz gebrochen. Am besten stellen wir uns einen Laser-Strahl vor, welcher auf einen glatten sauberen Eisblock gerichtet wird.



9.2.1.1 Brechung

Lichtbrechung tritt zwischen zwei Materialien auf, in welchem das Licht eine unterschiedliche Ausbreitungsgeschwindigkeit hat. Um nicht immer die Ausbreitungsgeschwindigkeiten herzunehmen (sondern eine solidere Zahl), hat sich stattdessen die Brechzahl/Brechungsindex etabliert.

$$n = \frac{\text{Lichtgeschwindigkeit im Vakuum } (3 \cdot 10^8 \text{ m/s})}{\text{Lichtgeschwindigkeit im betreffenden Medium}}$$

Um nun auf den Ausfallswinkel β zu kommen, hilft uns das Brechungsgesetz von Snellius.

$$\frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)} = \frac{n_2}{n_1}$$

Tritt der Lichtstrahl vom optisch dünnen ins optisch dichte Medium (Luft auf Eis), so wird der Strahl **zum Lot hin gebrochen** (das Lot ist in der Grafik die strichlierte Linie).

Tritt der Lichtstrahl vom optisch dichten ins optisch dünne Medium (Eis zu Luft), so wird der Strahl **vom Lot weg gebrochen**.

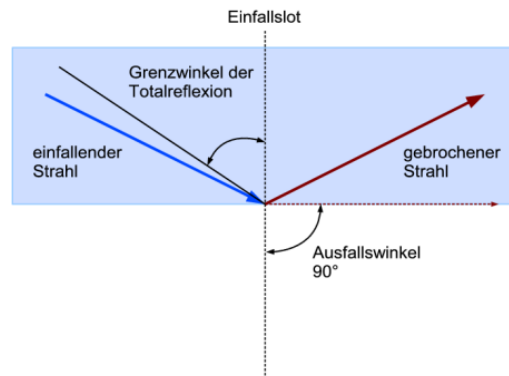
9.2.1.2 Reflexion³⁶

Das erste was wir wissen müssen ist, dass der Einfallswinkel gleich dem Ausfallswinkel ist, daher:

$$\alpha = \alpha'$$

Die Reflexion ist umso stärker, je undurchdringbarer das bevorstehende Material ist, z.B. gute Reflexion an Metallen. Im Normalfall liegt eine Mischung zwischen Reflexion und Brechung vor.

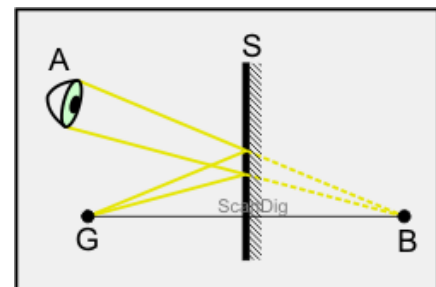
Es gibt einen Sonderfall: die **Totalreflexion**, sie tritt dann auf, wenn der errechnete Ausfallswinkel (Brechungsgesetz von Snellius, siehe oben) größer als 90° ist.



9.2.2 Spiegel

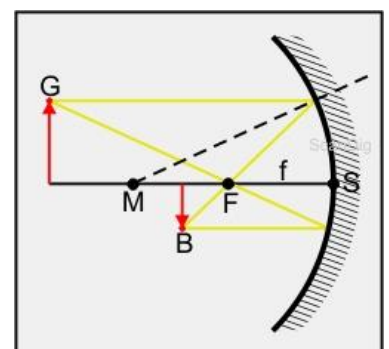
9.2.2.1 Der Ebene Spiegel³⁷

Betrachten wir den Badezimmerspiegel S: Von einem Gegenstand (der Zahnbürste) gehen reflektierte Lichtstrahlen in Richtung des Spiegels. Diese treffen auf den Spiegel und reflektieren auf unser Auge. Unser Gehirn nimmt das allerdings durch unser Auge nicht wahr, sondern denkt, dass auf der anderen Seite des Spiegels (Punkt B) der Gegenstand liegt. B ist für uns im Spiegelbild gleichweit entfernt wie G zum Spiegel. Daher entsteht ein **virtuelles Bild**. (Weil G nicht tatsächlich bei B liegt, sondern gegenüber)



9.2.2.2 Der Hohlspiegel (Konkavspiegel)³⁸

Zuerst: **M** ist der Mittelpunkt des Kreises, welcher durch den Konkavspiegel beschrieben werden würde. **F** ist der Brennpunkt, durch welchen alle Strahlen gehen, wenn der Gegenstand außerhalb des Brennpunktes liegt! **f** ist die Brennweite, welche die Entfernung des Brennpunktes F zum Scheitelpunkt S angibt. Der Scheitelpunkt S ist der Punkt, an welchem der Konkavspiegel liegt. **B** ist ein theoretischer Schirm, an welchem unser Bild aufgefangen wird.



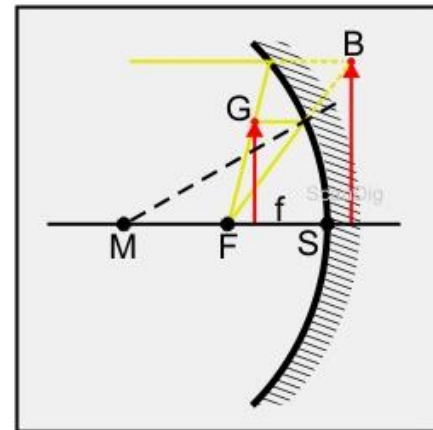
Betrachten wir zuerst den oberen Strahlengang, welcher von unserem Gegenstand (einer aufrechten Zahnbürste) ausgeht, dieser trifft auf den Spiegel und wird durch den Brennpunkt F zu unserem Bild B geschossen. Der obere Teil der Zahnbürste landet in unserem Bild unten.

Der zweite Strahlengang, der untere geht zuerst durch den Brennpunkt und wird dann gebrochen direkt zu unserem Bild B, in Grafik sieht man dies leider nicht, aber dieser Strahlengang landet oberhalb von unserem ersten Strahlengang. Daher das Bild ist **umgekehrt, verkleinert, aber real** (weil es auf der gleichen Seite wie unser Gegenstand G liegt)!

Die eben beschriebene Spiegelung ist beim Hohlspiegel allerdings nur eine Variante. Die zweite tritt dann auf wenn sich der Gegenstand zwischen Brennpunkt und Scheitelpunkt befindet.

Es handelt sich diesmal um ein **virtuelles, vergrößertes aufrechtes Bild**.

Es gibt nun eine Formel, in welcher die Brennweite f , die Bildweite b und die Gegenstandsweite g zusammenkommen. Bei der Brennweite handelt es sich immer um die halbe Strecke zwischen dem Mittelpunkt M und dem Scheitelpunkt S . Bei Bildweite b und Gegenstandsweite g handelt es sich immer um den jeweiligen Abstand des Bildes/Gegenstand vom Scheitelpunkt S .



$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$$

f Brennweite [cm], halber Radius

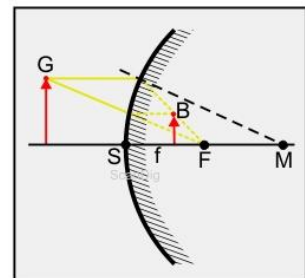
g Gegenstandsweite [cm], Abstand Gegenstand zu Scheitelpunkt

b Bildweite [cm], Abstand Bild zu Scheitelpunkt

9.2.2.3 Der Konvexspiegel

Es gelten fast dieselben Regeln wie beim Konkavspiegel, nur dass diesmal die Außenfläche der Kugel verspiegelt ist und der Gegenstand auch außerhalb der Kugel platziert wird.

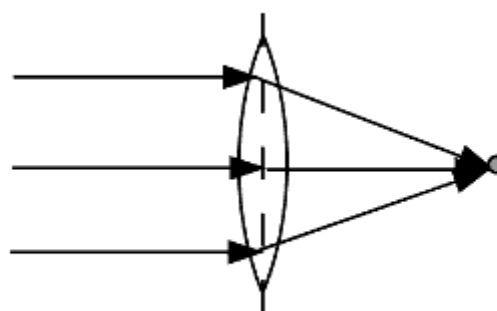
Es entsteht, wie aus der Grafik ersichtlich, ein **virtuelles, aufrechtes, aber verkleinertes Bild**.



9.2.3 Linsen

Eine Linse ist eine Glasplatte, bei welcher die vordere und hintere Begrenzungsfläche gebogen ist. Dadurch brechen sich auch die Lichtstrahlen unterschiedlich.

9.2.3.1 Die Sammellinse (Konvexlinse)^{39,40,41}

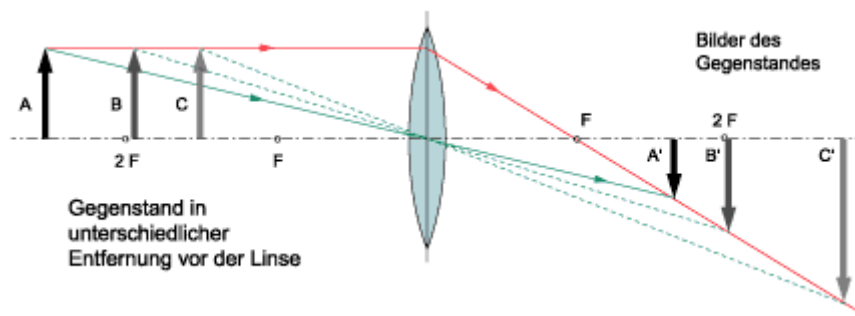


Sammellinse

Der Abstand zwischen der Sammellinsenmitte und dem eingezeichneten Brennpunkt gibt die Brennweite wieder. Die Ebene, auf welcher der Brennpunkt liegt, wird Brennebene genannt, denn sollten die Strahlen eher von oben einfallen wird auch der Brennpunkt tiefer liegen als in der Grafik gezeigt.

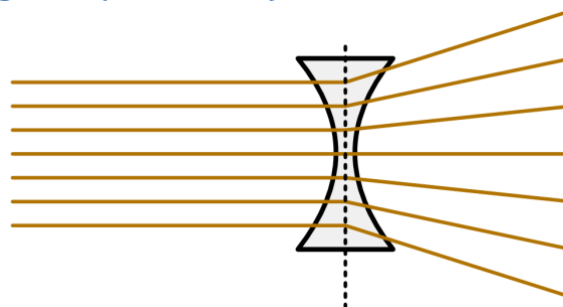
Der Kehrwert der Brennweite f , ist die Brechkraft in Dioptrie ($\text{dpt} = \text{m}^{-1}$).

Es gibt 3 Möglichkeiten der Bildkonstruktion in der Sammellinse, diese sind auswendig zu merken!

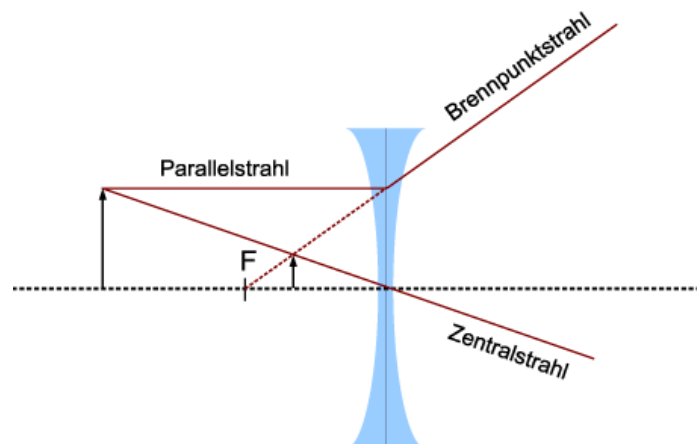


$g > 2f$ Gegenstand ist weiter als $2f$ von Linse entfernt	$f < b < 2f$ Bild liegt zwischen einfacher und doppelter Brennweite	verkleinertes Bild
$g = 2f$ Gegenstand ist $2f$ von Linse entfernt	$b = 2f$ Bild ist $2f$ von Linse entfernt	Bildgröße = Gegenstandsgröße
$f < g < 2f$ Gegenstand ist zwischen doppelter und einfacher Brennweite entfernt	$b > 2f$ Bild ist weiter als $2f$ von Linse entfernt	vergrößertes Bild

9.2.3.2 Die Zerstreuungslinse (Konkavlinse)^{42,43}



Bei der Konkavlinse ergibt sich immer ein virtuelles, verkleinertes Bild, welches innerhalb der einfachen Brennweite liegt.



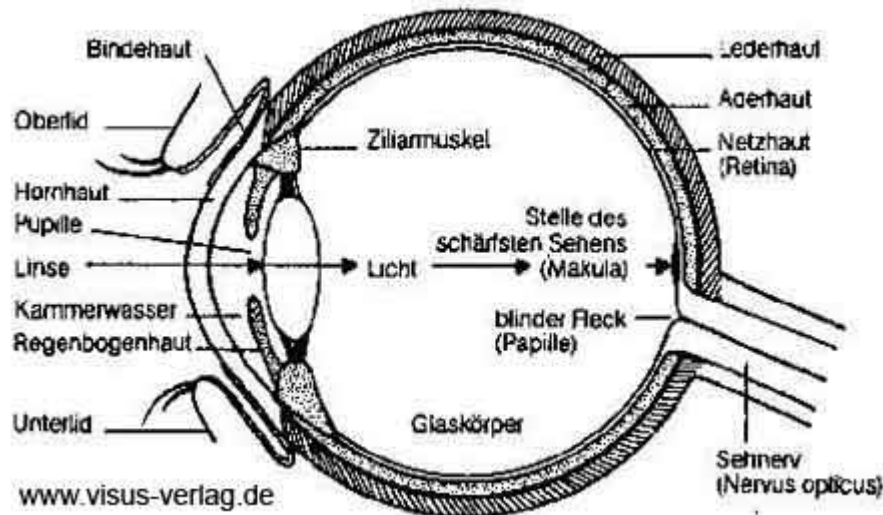
9.3 Wellenoptik

Siehe Huygens'sches Elementarwellenprinzip.

9.4 Absorption

Beschreibt den Prozess der „Aufnahme“ einer elektromagnetischen Welle in einen Stoff. Die Menge der absorbierten Energie ist abhängig von der Wellenlänge und den Eigenschaften des Stoffes (Temperatur, Absorptionsgrad, Material- und Oberflächenbeschaffenheit), ebenso wie auch der Einfallswinkel. Bei der Schwächung handelt es sich um eine exponentiell abfallende Funktion.

9.5 Physiologische Optik⁴⁴

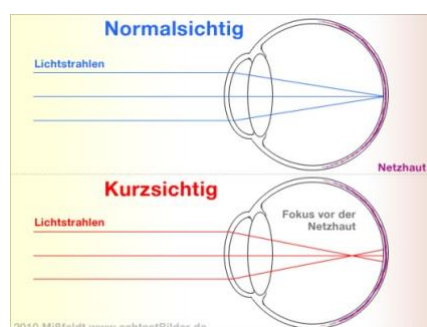


Gebrochen wird das Licht beim Einfall in das Auge durch die Hornhaut, die Linse, das Kammerwasser und den Glaskörper – sie sind die Bestandteile des sog. **dioptrischen Apparats**. Das Licht trifft schließlich auf die Netzhaut, wo es daraufhin in elektrische Nervensignale umgewandelt wird, die über den Sehnerv zum Gehirn weitergeleitet werden. Durch Ziehen der Ziliarmuskeln wird die Linse dünner oder breiter, dadurch kann das Auge „Einstellungen“ (Nah- und Fernakkommodation) betreiben.

9.5.1 Sehstörungen

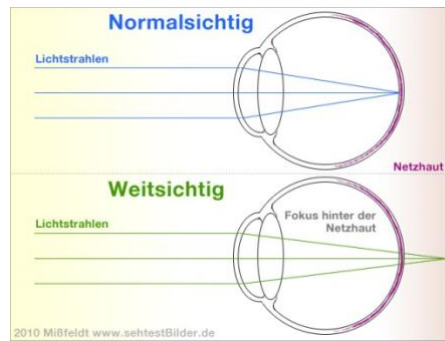
Diese beruhen entweder auf Änderung der Augenform, Linsenänderungen oder Veränderungen in der Netzhaut oder Hornhaut. (Es gibt natürlich weitere Probleme auch, aber die genannten beziehen sich eher auf physikalische Probleme)

9.5.1.1 Kurzsichtigkeit⁴⁵



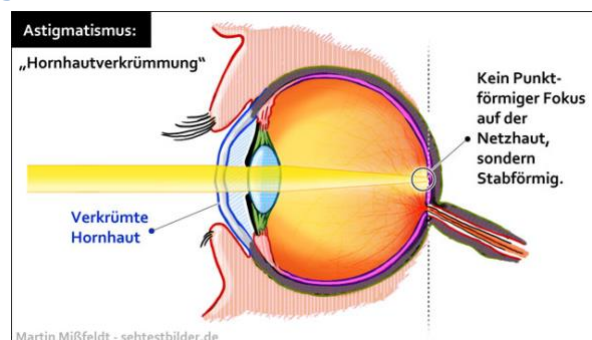
Der Augapfel ist zu lange, die Brechkraft der Linse ist zu stark, zur Korrektur wird eine Konkavlinse benötigt welche den Brennpunkt zur Retina zurücksetzt.

9.5.1.2 Weitsichtigkeit⁴⁶



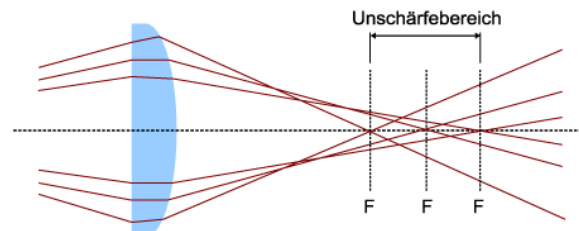
Der Augapfel ist zu kurz, die Brechkraft der Linse zu schwach, zur Korrektur wird eine Konvexlinse benötigt, welche den Brennpunkt nach vorne rückt.

9.5.1.3 Astigmatismus⁴⁷



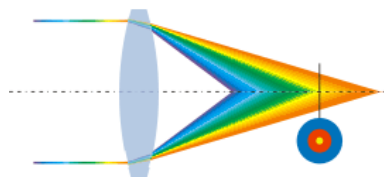
Beim Astigmatismus ist die Hornhaut ungleichmäßig gekrümmt mit dem Ergebnis, dass man einen Punkt nicht als Punkt, sondern als Stab erkennt. Dies kann durch eine Zylinderlinse korrigiert werden.

9.5.1.4 Sphärische Aberration⁴⁸



Dabei handelt es sich um einen Linsenfehler, bei welchem Strahlen am Rande der Linse so stark gebrochen werden, dass diese vor dem Brennpunkt bereits schneiden. Dies kann durch eine asymmetrische Linse korrigiert werden.

9.5.1.5 Chromatische Aberration⁴⁹



Hierbei werden unterschiedliche Farben unterschiedlich gebrochen, mit dem Resultat, dass ein farbverschwommenes Sehen zustande kommt.

9.6 Optische Geräte

Wurde in dem Sinne noch nicht spezifisch geprüft, ein paar Dinge von denen man wissen sollte, dass es sie gibt:

- Fernrohr
- Teleskop
- Mikroskop
- Diaprojektor
- Brille
- Fotokamera
- Lupe
- Etc.

10 Mechanik

Es handelt sich hierbei um eine Disziplin, welche sich mit der Bewegung von Körpern und den dabei wirkenden Kräften auseinandersetzt.

10.1 Grundgrößen der Mechanik

Alle Größen der Mechanik lassen sich von 3 Grundgrößen ableiten, diese sind **Masse, Zeit und Länge**.

Größe	Messverfahren	SI-Einheit
Länge s	Anlegen einer definierten Maßeinheit	Meter
Zeit t	Abzählen von periodischen Vorgängen	Sekunde
Masse	Massenvergleich	Kilogramm

Die Masse darf nicht mit der Schwere verwechselt werden. Die gleiche Masse hat auf dem Mond eine andere Schwere wie auf der Erde.

10.2 Grundgesetze der Mechanik

10.2.1 1.Newtonsches Axiom (Trägheitsgesetz)

Jeder Körper behält seine Geschwindigkeit nach Betrag und Richtung so lange bei, wie er nicht durch äußere Kräfte gezwungen wird, seinen Bewegungszustand zu ändern.

Dies ist ziemlich logisch, wenn man an eine bewegte Kugel im Weltraum denkt. Diese wird ihre Bewegung nicht ändern, solange nicht Kräfte von außen auf sie einwirken.

10.2.2 2.Newtonsches Axiom

Das zweite Newtonsche Axiom postuliert, dass die Kraft die Masse mal der Beschleunigung ist.

$$F = m \cdot a$$

F Kraft [N]
m... Masse [kg]
a Beschleunigung [m/s²]

10.2.3 3.Newtonsches Axiom

Aus einer Kraft resultiert eine gleichgroße Gegenkraft.

Wenn ich mit meiner Faust gegen die Wand schlage, schlägt die Wand mit gleich großer Kraft zurück. Dies spürt man dann in seinen Fingerknochen.

10.2.4 4.Newtonsches Axiom

Alle Kräfte die auf einen Punkt wirken addieren sich vektoriell

Wenn ich einen Ball nach vorne stoße und ihn auch gleichzeitig nach links stoße, wird der Ball diagonal nach links rollen.

10.3 Erhaltungssätze der Mechanik

Es gibt einige Größen, welche gleichbleiben, dies gilt für:

- **Energie**, die Gesamtenergie eines Systems bleibt konstant
- **Impuls und Drehimpuls**, die Vektor-Summe aller Impulse bleibt konstant

Verdeutlichen wollen wir das am Beispiel der Energie: Diese bleibt konstant, Energie kann weder erzeugt noch vernichtet werden. Möglich ist jedoch die Umwandlung von Energie in andere Formen.

10.4 Translation

Die Translation ist die gleichförmige und geradlinige Bewegung in eine Richtung. Sie ist gekennzeichnet durch Impuls, Translationsenergie, Geschwindigkeit und Beschleunigung.

10.4.1 Geschwindigkeit und Beschleunigung

$$\text{Geschwindigkeit} \left[\frac{m}{s} \right] = \frac{\text{Weg} [m]}{\text{Zeit} [s]}$$

$$\text{Beschleunigung} \left[\frac{m}{s^2} \right] = \frac{\text{Geschwindigkeit} \left[\frac{m}{s} \right]}{\text{Zeit} [s]}$$

10.4.2 Impuls

Der Impuls wird umgangssprachlich als „Schwung“ oder „Wucht“ bezeichnet und ist das Produkt aus der Masse mal der Geschwindigkeit.

$$\text{Impuls} \left[kg * \frac{m}{s} \right] = \text{Masse} [kg] * \text{Geschwindigkeit} \left[\frac{m}{s} \right]$$

10.4.3 Potentielle und Kinetische Energie

Die Translationsenergie, auch Bewegungsenergie, ist bekannt unter der Formel:

$$E_{Kin} = \frac{m * v^2}{2}$$

E.... Energie [N*m]
m... Masse [kg]
v.... Geschwindigkeit [m/s]

Man kann nicht kinetische Energie sagen ohne potentielle Energie, hat zwar mit der Translation nicht viel zu tun, aber trotzdem:

$$E_{Pot} = m * g * h$$

E... Energie [N*m]
m...Masse[kg]
g.... Erdbeschleunigung 9,8 [m/s²]
h.... Höhe [m]

10.4.4 Geschwindigkeit- und Streckenfunktionen (einer gleichmäßig beschleunigten Bewegung)

$$v(t) = a * t + v_0$$

Wobei v_0 die Ausgangsgeschwindigkeit zum Zeitpunkt 0 darstellt und a konstant ist.

$$s(t) = \frac{a}{2} * t^2 + v_0 * t + s_0$$

Auch hier stellt s_0 wieder die Strecke zum Zeitpunkt 0 da.

10.5 Rotation

Es handelt sich dabei um eine kreisförmige Bewegung um ein Zentrum. Es gibt Analogons zur Translation.

10.5.1 Geschwindigkeit: Bahngeschwindigkeit und Winkelgeschwindigkeit

$$\text{Bahngeschwindigkeit} \left[\frac{\text{rad}}{\text{s}} \right] = \frac{\text{Kreisteil} [\text{rad}]}{\text{Zeit} [\text{s}]}$$

$$\text{Winkelgeschwindigkeit } w = \frac{\text{Winkel}}{\text{Zeit} [\text{s}]}$$

Es ergibt sich der Zusammenhang, dass die Winkelgeschwindigkeit mal dem Radius die Bahngeschwindigkeit ergibt.

$$v = w * r$$

Für die Umlaufzeit ergibt sich:

$$T = \frac{s}{v} = \frac{2\pi * r}{w * r} = \frac{2\pi}{w}$$

10.5.2 Impuls: Der Drehimpuls

$$L = m * r * v$$

Der Drehimpuls ist das Produkt aus Masse, Radius und Bahngeschwindigkeit und bleibt im System konstant: Wenn man in einem Drehsessel beginnt sich zu drehen und die Beine ausstreckt wird man langsamer, wenn man die Beine wieder anzieht wird man schneller. Wieso? Weil der Drehimpuls konstant bleiben muss und wenn sich halt der Radius halbiert wird die Geschwindigkeit verdoppelt. Siehe Balletttänzer.

10.5.3 Kinetische Energie: Die Rotationsenergie

$$E_{\text{Rot}} = \frac{J * v^2}{2}$$

E.... Energie [N*m]

J... Trägheitsmoment [kg*m²]

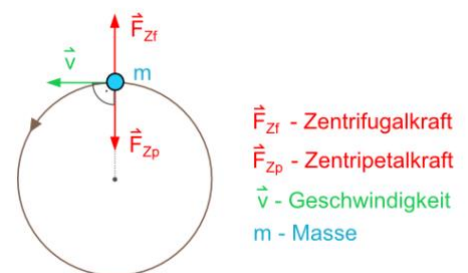
v.... Geschwindigkeit [m/s]

Das Trägheitsmoment ist das Analogon zur Masse und man versteht darunter, wie sehr ein Körper in Drehung bleiben möchte. Dies ergibt sich durch:

$$J = m * r^2$$

10.5.4 Zentripetalkraft und Zentripetalbeschleunigung⁵⁰

Schwirrt ein Punkt an einer Kreisbahn entlang, ändert er ja ununterbrochen seine Bewegungsrichtung. Für diese komplexe Kreisbewegung müssen drei Kräfte wirken. Die Zentrifugalkraft die das Objekt von der Mitte wegzieht und genauso stark ist wie die Zentripetalkraft, welche das Objekt in die Mitte zieht. Die Bahngeschwindigkeit ist zwar keine Kraft, allerdings ist sie das Ergebnis einer Kraft welche den Körper überhaupt dazu gebracht hat um einen Mittelpunkt zu rotieren.



www.maschinenbau-wissen.de

Die Zentripetalkraft ist das Produkt aus der Masse und der Zentripetalbeschleunigung. Die Zentripetalbeschleunigung ist der Quotient aus der Bahngeschwindigkeit und dem Radius.

$$F_Z = m * a_Z = \frac{m * v^2}{r}$$

10.6 Arbeit, Energie, Impuls, Leistung

Siehe: „Arbeit und Wärme“

10.7 Gravitation

Man versteht darunter die Anziehungskraft zwischen 2 Massen.

$$F_G = G * \frac{m_1 * m_2}{r^2}$$

F_G Gravitationskraft [N]

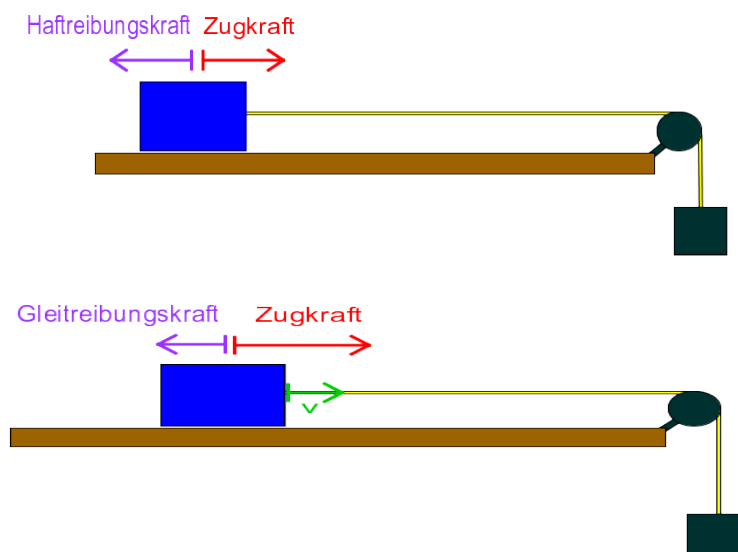
G.....Gravitationskonstante $6,7 * 10^{-11} [m^3 / (kg * s^2)]$

m_1, m_2 ..Massen der beiden Objekte [kg]

r..... Abstand zwischen den beiden Objekten [m]

10.8 Reibung⁵¹

Wir unterscheiden zwischen Haft- und Gleitreibung. Die Gleitreibung ist die Kraft, die wir aufbringen müssen, um einen Schrank konstant zu schieben. Die Haftreibung ist die Kraft, die wir aufwenden müssen, damit wir den Schrank überhaupt erst schieben können.



$$F_{Gleit} = \mu_{Gleit} * F_N$$

$$F_{Haft} = \mu_{Haft} * F_N$$

F_N ist die Normalkraft, welche den Körper senkrecht nach unten drückt, μ sind jeweils immer Koeffizienten, die dimensionslos und materialabhängig sind.

10.9 Dichte

Die Dichte gibt an, wie viel Masse ein spezifisches Volumen eines Stoffes enthält.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

ρ Dichte [kg/m³]
 m Masse [kg]
 V Volumen [m³]

10.10 Auftrieb

Der Auftrieb ist die Kraft, welche auf einen Körper in einer Flüssigkeit/einem Gas wirkt, welcher eine andere Dichte besitzt als dieser. Allgemein lässt sich berechnen:

$$F_A = g * \varphi_{Flü} * V_{Verdrängt}$$

F_A Auftriebskraft [N]
 g Erdbeschleunigung 9,8 [m/s²]
 $\varphi_{Flü}$.. Dichte der Flüssigkeit [kg/m³]
 $V_{Verdrängt}$ Verdrängtes Volumen [m³]

Es gibt nun 3 Varianten, welche auftreten können, wenn ein Körper in eine Flüssigkeit getaucht wird:

- Körper schwimmt $\varphi_{Flü} > \varphi_{Körper}$
- Körper schwebt $\varphi_{Flü} \approx \varphi_{Körper}$
- Körper geht unter $\varphi_{Flü} < \varphi_{Körper}$

10.11 Gesetz von Bernoulli⁵²

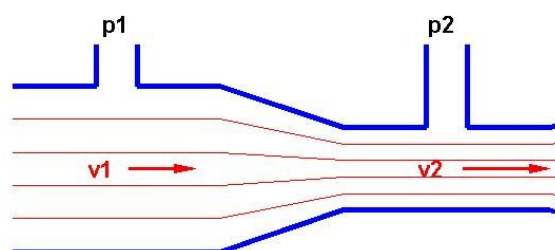
Dieses ist quasi eine Umformulierung des Energieerhaltungssatzes und gilt für reibungsfreie Strömungen (z.B. Rohrleitungen und Flugzeuge). Es besagt, dass der statische Druck, der Schweredruck und der dynamische Druck konstant sein müssen.

$$p_{stat} + p_{Schwere} + p_{dyn} = const.$$

Wenn man nun für die einzelnen Drücke ihre Formeln einsetzt, ergibt sich folgendes:

$$p_{stat} + \varphi * g * h + \frac{\varphi * v^2}{2} = const.$$

Betrachten wir ein Beispiel:



Ebene Rohrleitung (statischer Druck verändert sich nicht), der Radius wird kleiner und die Strömungsgeschwindigkeit steigt. Da die Summe aus statischem Druck, Schweredruck und dynamischen Druck konstant ist, muss p_2 kleiner sein als p_1 , da v_2 höher ist als v_1 .

11 Abbildungsverzeichnis

- ¹ <http://web.physik.rwth-aachen.de/~hebbeker/web-hu-lectures/hu-lectures/www-eep.physik.hu-berlin.de/~hebbeker/lectures/prefix.gif> Aufgerufen: 11.02.2016, 11:44
- ² <http://www.ducksters.com/science/atom.gif> Aufgerufen: 11.02.2016, 12:30
- ³ <http://www.experimentchemie.de/bilder01/versuch-048/atomkern.gif> Aufgerufen: 11.02.2016, 13:36
- ⁴ <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/2c/Kernspaltung.svg/2000px-Kernspaltung.svg.png> Aufgerufen 11.02.2016, 13:50
- ⁵ https://de.wikipedia.org/wiki/Alphastrahlung#/media/File:Alpha_Decay.svg Aufgerufen: 11.02.2016, 14:35
- ⁶ https://de.wikipedia.org/wiki/Betastrahlung#/media/File:Beta-minus_Decay.svg Aufgerufen: 11.02.2016, 14:39
- ⁷ https://de.wikipedia.org/wiki/Gammastrahlung#/media/File:Gamma_Decay.svg Aufgerufen: 11.02.2016, 14:49
- ⁸ https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/6a/Exponential_Decay_of_Nuclei_with_Half-life-de.svg/300px-Exponential_Decay_of_Nuclei_with_Half-life-de.svg.png Aufgerufen: 12.02.2016, 7:45
- ⁹ <https://www.oebv.at/downloads/products/bigbang/ueberblicke/img/18-05.jpg> Aufgerufen: 12.02.2016, 9:47
- ¹⁰ http://www.klassewasser.de/content/language1/img_583/wasserwissen-physik-aggregatzustande-textbild.jpg Aufgerufen: 12.02.2016, 10:31
- ¹¹ <http://www.vias.org/kas/de/img/osmose.jpg> Aufgerufen: 12.02.2016, 11:58
- ¹² <https://de.wikipedia.org/wiki/Thermodynamik#/media/File:Three-systems-for-zeroth-law-of-thermodynamics.svg> Aufgerufen: 12.02.2016, 20:35
- ¹³ https://de.wikipedia.org/wiki/Dichteanomalie#/media/File:Tumbler_of_cola_with_ice.jpg Aufgerufen: 12.02.2016, 21:58
- ¹⁴ https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/df/VFpt_dipole_electric.svg/220px-VFpt_dipole_electric.svg.png Aufgerufen: 12.02.2016, 23:49
- ¹⁵ http://grund-wissen.de/physik/_images/leiter-metall.png Aufgerufen: 15.02.2016, 11:27
- ¹⁶ <http://www.ohg-landau.de/cms/chemie/Elektrolyse.gif> Aufgerufen: 15.02.2016, 11:31
- ¹⁷ <http://www.frustfrei-lernen.de/images/elektrotechnik/unverzweigter-stromkreis.jpg> Aufgerufen: 15.02.2016, 12:00
- ¹⁸ http://www.leifiphysik.de/sites/default/files/medien/ersatz_parallel_komplexschaltkr_gru.gif Aufgerufen: 15.02.2016, 12:33
- ¹⁹ <http://www.grund-wissen.de/physik/elektrizitaet-und-magnetismus/magnetismus.html>, 16.03.2016 8:52
- ²⁰ http://www.bettina-boedefeld.de/images/magnetische_influenz_2.jpg/ 16.03.2016, 8:55
- ²¹ <https://media2.supermagnete.at/terms/medium/pu92.jpg/> 16.03.2016, 9:01
- ²² <https://bbstphysik12.files.wordpress.com/2010/12/linke1.jpg> 16.03.2016, 13:22
- ²³ Volker Harms, Physik für Mediziner und Pharmazeuten, 18. Auflage, Harms Verlag, Seite 163
- ²⁴ Volker Harms, Physik für Mediziner und Pharmazeuten, 18. Auflage, Harms Verlag, Seite 25
- ²⁵ <http://www.sengpielaudio.com/SpektrumLicht01.gif> 16.03.2016, 18:56
- ²⁶ http://www.dieter-heidorn.de/Physik/VS/Mechanik/K07_ArbeitEnergie/K04_Energieerhaltung/svb61b65.gif 17.03.2016, 08:17
- ²⁷ http://www.leifiphysik.de/sites/default/files/medien/unged02_mechanschwing_gru.gif 17.03.2016, 8:38
- ²⁸ http://www.leifiphysik.de/sites/default/files/medien/ged02_mechanschwing_gru.gif 17.03.2016, 8:52
- ²⁹ <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/bc/Rot.-Zeiger2.svg/800px-Rot.-Zeiger2.svg.png> 17.03.2016 09:45
- ³⁰ https://www.univie.ac.at/mikroskopie/1_grundlagen/optik/wellenoptik/5a_konstruktiv.htm 17.03.2016, 09:48
- ³¹ https://www.univie.ac.at/mikroskopie/1_grundlagen/optik/wellenoptik/5b_destruktiv.htm 17.03.2016, 09:48
- ³² <http://gwegner.de/wp-content/uploads/2014/12/500px-Wire-grid-polarizer.svg.png> 17.03.2016, 10:18
- ³³ https://www.univie.ac.at/mikroskopie/1_grundlagen/optik/img_optik/polarisation_linear.png 17.03.2016, 10:19
- ³⁴ https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/7d/Standing_wave_2.gif/220px-Standing_wave_2.gif 17.03.2016, 11:26
- ³⁵ https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/36/Reflexion_Brechung.png 17.03.2016, 11:27
- ³⁶ https://www.univie.ac.at/mikroskopie/1_grundlagen/optik/img_optik/reflexion.png 17.03.2016, 11:25
- ³⁷ <http://www.scandig.info/BilderPat/Reflexion2.gif> 17.03.2016, 19:56
- ³⁸ <http://www.scandig.info/Strahlenoptik.html> 21.03.2016, 8:52

-
- ³⁹ <http://www.physik.wissenstexte.de/linsen.png> 21.03.2016, 12:02
- ⁴⁰ https://www.lernhelfer.de/sites/default/files/lexicon/article_image/BWS-PHY-0569-12.gif 21.03.2016, 12:03
- ⁴¹ <http://www.leifiphysik.de/themenbereiche/optische-linsen> 21.03.2016, 12:06
- ⁴² <http://www.sonnentaler.net/dokumentation/wiss/optik/weiter/linse-bild/images/linse-bild-8.jpg>
21.03.2016, 12:16
- ⁴³ https://www.univie.ac.at/mikroskopie/1_grundlagen/optik/img_optik/bildkonstr_zerstreuung.png
21.03.2016, 12:18
- ⁴⁴ <http://www.visus-verlag.de/augentraining-sehtraining/1-augen/augen-aufbau.jpg> 21.03.2016, 11:34
- ⁴⁵ <http://www.sehtestbilder.de/images/kurzsichtig-auge-netzhaut-fokus.jpg> 21.03.2016, 11:46
- ⁴⁶ <http://www.sehtestbilder.de/images/weitsichtig-auge-brennpunkt-netzhaut.jpg> 21.03.2016, 11:48
- ⁴⁷ <http://www.brillen-sehhilfen.de/auge/images/astigmatismus-hornhautverkruemmung1.jpg> 21.03.2016,
11:51
- ⁴⁸ https://www.univie.ac.at/mikroskopie/1_grundlagen/optik/img_optik/sphaerische_aberration.png
21.03.2016, 11:59
- ⁴⁹ http://olypedia.de/static/images/7/7d/Lens_chromatic_aberration_Wikimedia.png 21.03.2016, 12:00
- ⁵⁰ <http://www.maschinenbau-wissen.de/bilder/skripte/mechanik-kinetik/zentripetalkraft-01.PNG> 21.03.2016,
15:55
- ⁵¹ http://www.chemgapedia.de/vsengine/media/vsc/de/ph/14/ep/einfuehrung/dynamik/kap3_reibung/reibung_01/bilder/gleitreibung.gif 21.03.2016, 16:15
- ⁵² http://hbs-troeller.de/Hydraulik_G3_Bernoulli.jpg 21.03.2016, 16:41