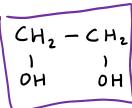


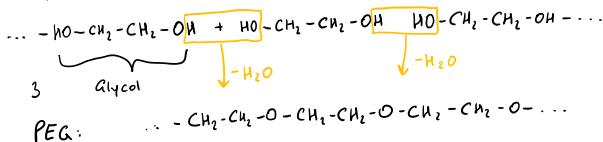
kurzhettig: brennbar, wasserlösliche Flüssigkeiten

Glycol

- gesundheitsschädliche viskose Flüssigkeit
- Frostschutzmittel (Siedepunkt 198°C)
Kühlerflüssigkeit, Autos
- Polyester-Komponente (\rightarrow PET)



Glycol \rightarrow PEG



PEG

- aus Ethylenoxid (GIFTIG!) — lange Ketten
- HO-CH₂-CH₂-O-CH₂-CH₂-O-CH₂-CH₂-O...-OH
- flüssig - Pest, gut wasserlöslich



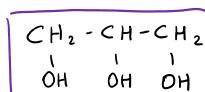
Verwendung

- Wirkstoffträger in Arzneimitteln
- Emulgator für Cremes, Lotionen, Duschgels
- Konservierung (Archäologie)
- Gleit- und Bindemittel (Technik)

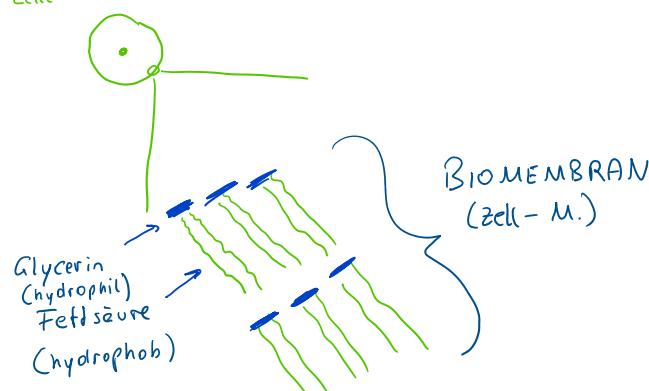
\rightarrow zuhause im Bad PEG suchen ✓

Glycerin (Propantriol)

- süßlich schmeckende zähe Flüssigkeit
- Bestandteil d. Fette
- Verwendung:
 - Kosmetika (Salben, Cremes)
 - Bremsflüssigkeit, Lackherstellung, Tabakindustrie
 - Sprengmittel: „Nitroglycerin“



Zelle:



Propanol & Isopropanol

\rightarrow bei Arzt Abtupfmittel vor z.B.: Impfung

Lösungsmittel, Frostschutz

Bestandteil v. Kosmetika

Fettalkohole

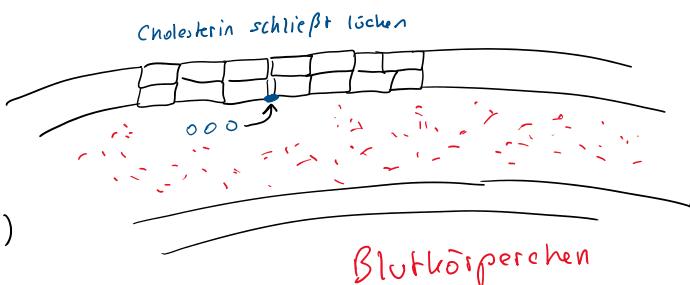
... \dots ungesättigte Alkohole

Fettalkohole

- **Langkettige unverzweigte Alkohole**
- Rohstoff für Tensid-Herstellung
in Shampoos und Duschgels
(„Cetylalkohol“)
- längere Ketten → Wachse

Cholesterin (genl. Cholesterol)

- Körpereigener Ausgangsstoff für:
 - Gallensäure
 - Vitamin D (Calciferol)
 - Sexualhormone (Östrogen, Testosteron)
 - Wichtig bei Blutgerinnung!
- mangelhafte Umsetzung kann zu Arterienablagerungen führen

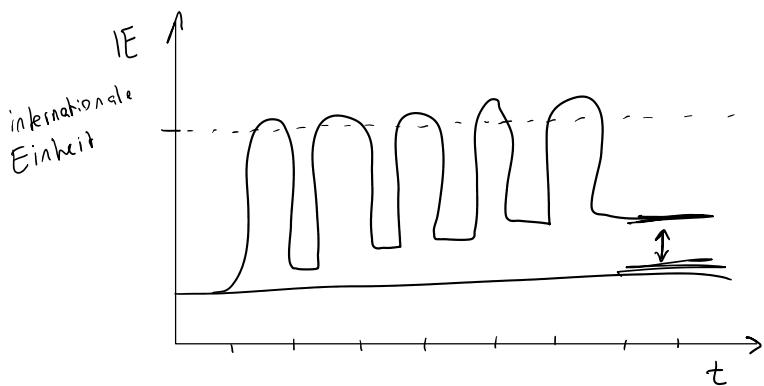


↳ Testosteron → Män. Sexualhormon

↳ Östradiol, Progesteron → weibl. Sexualhormone

↳ Gallensäure

↳ Cortisol → Stresshormon





htlkrems
NW2C Organische Sauerstoff-Verbindungen

Die Bierherstellung

Bier wird aus Wasser, Malz, Hopfen und Hefe hergestellt.

- Malzherstellung**

Reifegetreide wird befeuchtet und zum Keimen gebracht. Dabei entstehen Enzyme (Biokatalysatoren) die die Stärke (Energiespeicher) in Zucker umwandeln können, welcher für das Wachstum der Pflanze benötigt wird. Der Keimvorgang wird nach 2 bis 3 Tagen durch Wärmebehandlung beendet, die Enzyme und der bereits gebildete Zucker bleiben erhalten. Das so entstandene Malz wird noch geschrotet.
- Einmaischen**

Das Malz wird mit Wasser versetzt und 2 bis 3 Stunden bei Temperaturen von 50 bis 70 °C gehalten. Dabei entfallen die verschiedenen Enzyme ihre volle Wirkung. Sie zerlegen die restliche Stärke des Malzes in Zucker, welcher sich im Wasser auflöst. Im Lauterbetrieb wird die Flüssigkeit, die Würze, von den unlöslichen Malzbestandteilen abgetrennt. Die ausgekochte Mälze (Trebern) dient als Viehfutter.
- Hopfen und Würzekochen**

Die süße Würze wird mit Hopfen oder Hopfenextrakt versetzt (< 1 %) und gekocht. Dabei fallen unerwünschte Stoffe aus „ausfallen“ = in einen festen Aggregatzustand übergehen und die Würze wird steril (keimfrei). Diese Stammwürze wird noch einmal filtriert (geläutert) und rasch abgekühlt.
- Vergärung**

Zur Würze wird nun die Hefe zugesetzt. Diese einzelligen Pilze können bei Sauerstoff-Mangel den Zucker effektiv in Ethanol und Kohlendioxid (CO_2) umwandeln. Dies geschieht großen gekühlten Gartanks bei 5 bis 15 °C. Die Gärung dauert 3 bis 7 Tage:

$$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 2 \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 2 \text{CO}_2 + \text{Energie}$$

Durch die Vergärung bei relativ tiefen Temperaturen geht viel CO_2 in Lösung. Abschließend wird noch einmal filtriert.
- Ablöschung**

Nun ist aus der Würze ein alkoholisches, kohlensäurehaltiges Getränk geworden, das in Fässer, Flaschen oder Dosen abgefüllt werden kann.
- Biertyphen**

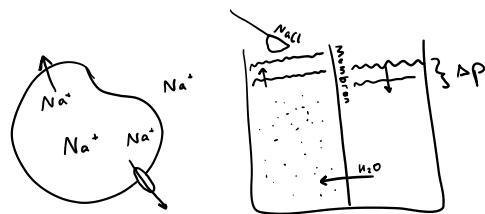
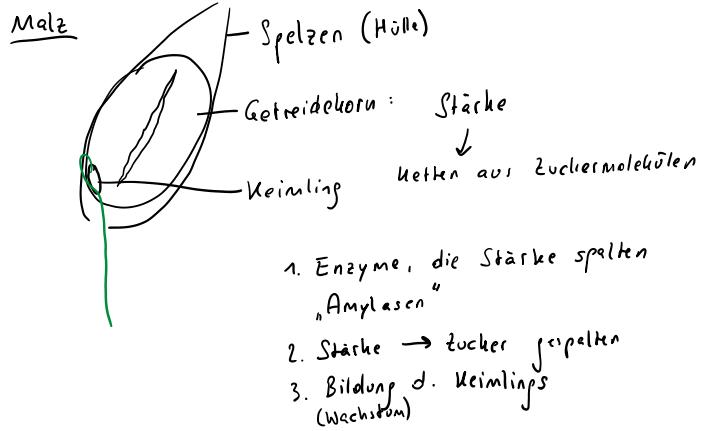
Biere werden nach dem Gärverfahren, dem Ethanolkonzept und der Getreideart eingeteilt.

Wir unterscheiden die bei uns am meisten konsumierten untergärigen Biere (die Hefe sinkt am Ende der Gärung auf den Boden) von den obergärigen Biern, die bei höheren Temperaturen (10 – 15 °C) vergoren werden und wo die Hefe aufschwimmt. Obergärige Biere sind Weißbier, Altbier, Ale und Porter (dunkle irische Biere).

Schankbiere enthalten 3,5 bis 4,5 % Ethanol, Märzenbiere um die 5 %, Spezial- und Bockbiere noch mehr. Plötzbiere sind stärker gehopft und maximal vergoren (kein Restzucker). Biere vom Wiener Typ mäßig süßlich, Münchner Biere starker süß – sie enthalten noch Malzzucker. Die Bezeichnung „Stammwürze“ gibt den Zuckergehalt der Würze vor der Vergärung an.

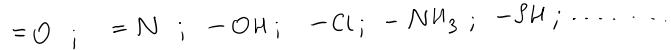
Weiß- oder Weizenbiere werden unter Zusatz von Welzmalz hergestellt.

Bierbrauen 16.06.2020

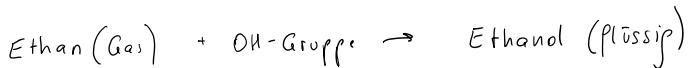
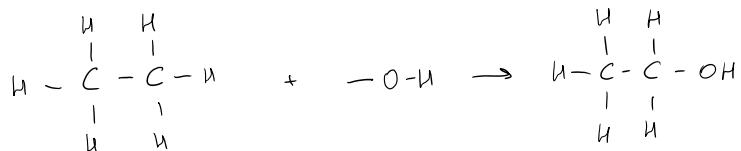


Für **dunkle Biere** wird beim Einmaischen ein Anteil Malz zugesetzt, das bei höheren Temperaturen getrocknet wurde. Dabei entstehen aus dem Zucker teilweise dunkle Farb- und Aromastoffe. Meist wird noch mit Zuckercouleur nachgefärbt.

Funktionelle Gruppen



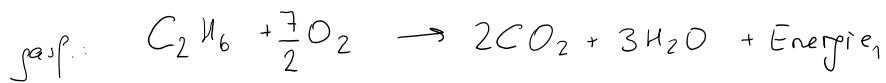
→ gibt Kohlenwasserstoff neue, typische Eigenschaften



Stoffgruppe	Funktion. Gruppen	Endung	typische Vertreter
Alkohole	-OH	-ol	Ethanol, Glycol
Carbonyl-Verbindungen	$\begin{array}{c} \text{C=O} \\ \\ \text{H} \end{array}$ $\begin{array}{c} \text{C=O} \\ \\ \text{H} \end{array}$	-al -on	Formaldehyd Aceton
Carbonsäuren	$\begin{array}{c} \text{C=O} \\ \\ \text{OH} \end{array}$	(carbon)-säure	Essigsäuren, Fettsäuren
Ester	$\begin{array}{c} \text{C=O} \\ \\ \text{O-C-} \end{array}$	-ester	Fruchtester, Fetle, Polyester
Ether	$\text{R-O-R}'$	-ether	Diethylether
Ringverbindungen	-O- im Ring		im Zuckermoleköl

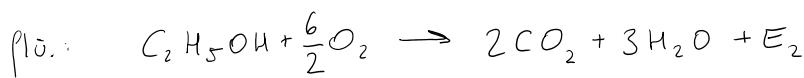
Alkohole sind eine STOFFGRUPPE ; kein Getränk

Eigenschaften Alkohol:



↑
mehrere

$$E_1 > E_2$$



(+) (-)

Wasserstoffbrücken machen Alkohol flüssig → Siedepunkt höher als bei Moleküle sind polar → OH-Gruppe ist hydrophil; Kohlenwasserstoff-Kette ist hydrophob

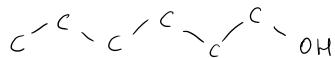
entsprechenden Alkanen

rophob

kurzhettige Alkohole sind gut wasserlöslich



längerhettige Alkohole sind eher wasserunlöslich



mehrwertige Alkohole: süßlicher Geschmack

meisten Alkohole giftig!
kurzhettigen

Methanol \rightarrow zukünftiger Benzinersatz aber sehr giftig ($50\% \rightarrow \text{Tod}$)

$\overbrace{\text{LD50}} \rightarrow 50/\text{kg}$



50% sterben
nach 4h

Vorkommen

- bei Verfärbung von Obst
- trockene Destillation von Holz

Eigenschaften

- klare Flüssigkeit; Siedepunkt 65°C

Herstellung

- aus Synthesegas: $\text{CO} + 2\text{H}_2 + \text{Energie} \rightarrow \underline{\underline{\text{CH}_3\text{OH}}}$

Verwendung

- Treibstoffzusatz, Biodiesel-Herstellung
- wichtiger Ausgangsstoff für Formaldehyd, Kunststoffe

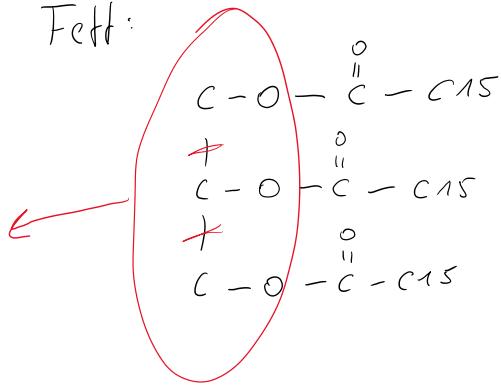
Diesel:



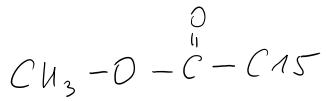
Fett:



Fett:

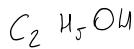


+ Methanol



Methylester-ölsäure

Ethanol



Vorkommen

- im faulenzen Obst

Eigenschaften

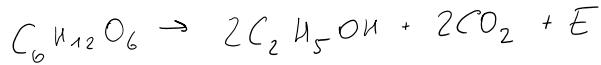
- klare, brennbare Flüssigkeit
- Siedepunkt 78°C
- gutes Lösungsmittel

Verwendung

- Haushalt: Trinkalkohol, Parfums, Deos
- Treibstoff, Brennstoff
- Chemierohstoff, Lösungs- und Extraktionsmittel
- Ausgangsstoff Essigsäure, Fruchtester, ...

Herkunft

- biotechnologisch:
durch Vergärung zuckerhaltiger Lösungen mit Hefe



→ für Lebensmittel

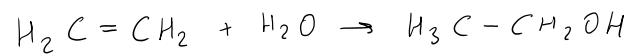
Rohstoffe: Obst, Zuckerrübe, verzuckerter Getreide (Mais)

Zukunft: Holzverzuckerung?

Biosprit: Ethanol aus Zuckerröhr-Anbau in Brasilien

• chemisch:

Addition von Wasser an Ethen (+Katalysator):



aus Methanol

Jahresproduktion Welt: ca. 30 Mio T

Organische Rohstoffe

Montag, 17. Mai 2021 08:44



3. Organische Rohstoffe

Bei organischen Rohstoffen handelt es sich um Rohstoffe auf Kohlenstoffbasis. Diese können einen fossilen Ursprung haben, aber auch nachwachsen.

3.1 Fossile Rohstoffe

Die fossilen Energieträger sind aus Biomasse entstandene Stoffe, die, durch Sedimentschichten von der Atmosphäre abgeschlossen (Sauerstoffschluss), nicht verrotten konnten und so ihre chemische Energie erhielten. Fossile Energieträger sind Kohle, Erdgas, Erdöl und Methanhydrat (eisartige Substanz aus Wasser und Methan). Allen fossilen Energieträgern ist gemeinsam, dass sie nur in begrenztem Maß vorhanden sind und ihre Verwendung mit CO₂-Emissionen verbunden sind. Fossile Rohstoffe stellen heut zu Tage nach wie vor den wichtigsten Rohstoff zur Energiegewinnung dar. Siehe Abbildung 1.

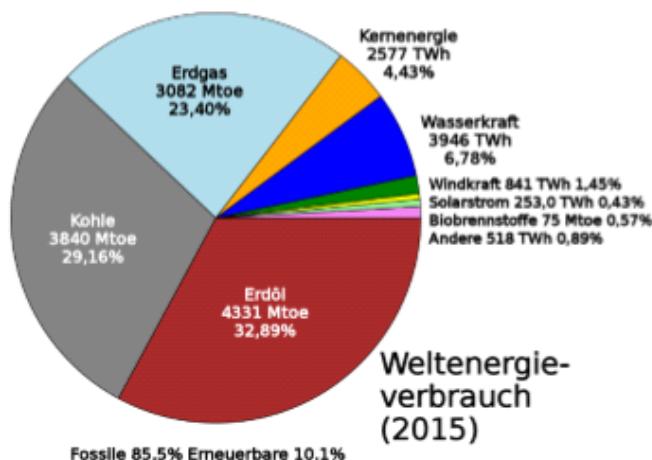


Abbildung 1, Weltenergieverbrauch 2015

Wie in Abbildung 1 ersichtlich wurden 2015 etwa 85 % des weltweiten Energiehungers aus fossilen Brennstoffen gedeckt. Im Folgenden wollen wir uns die drei wichtigsten fossilen Rohstoffe etwas genauer ansehen.

3.1.1 Erdöl

Erdöl ist einer der wichtigsten Energieträger der Menschheit. In den letzten Jahrzehnten ist die Menge an gefördertem Erdöl massiv angestiegen, siehe Abbildung 2.

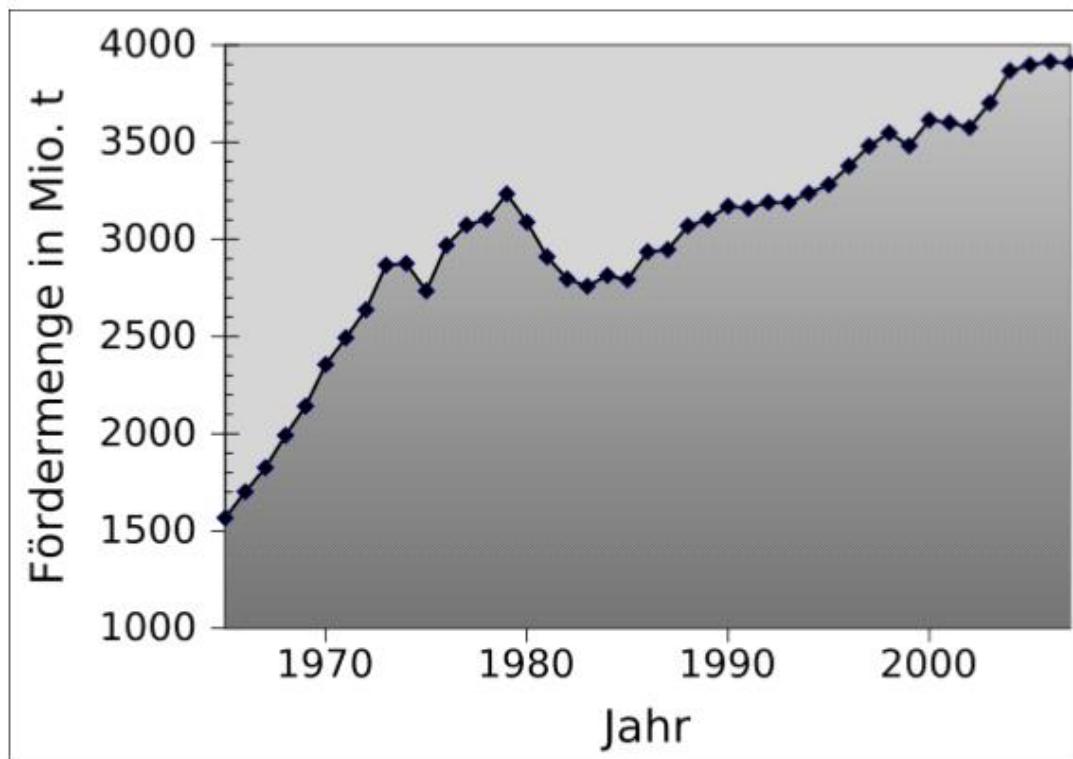


Abbildung 2, Erdölfördermenge pro Jahr

Aber wie ist Erdöl chemisch zusammengesetzt?

3.1.1.1 Chemische Zusammensetzung

Bei Erdöl handelt es sich um ein sehr komplexes Gemisch. Abhängig vom Förderstandort kann die chemische Zusammensetzung variieren, siehe Abbildung 3.

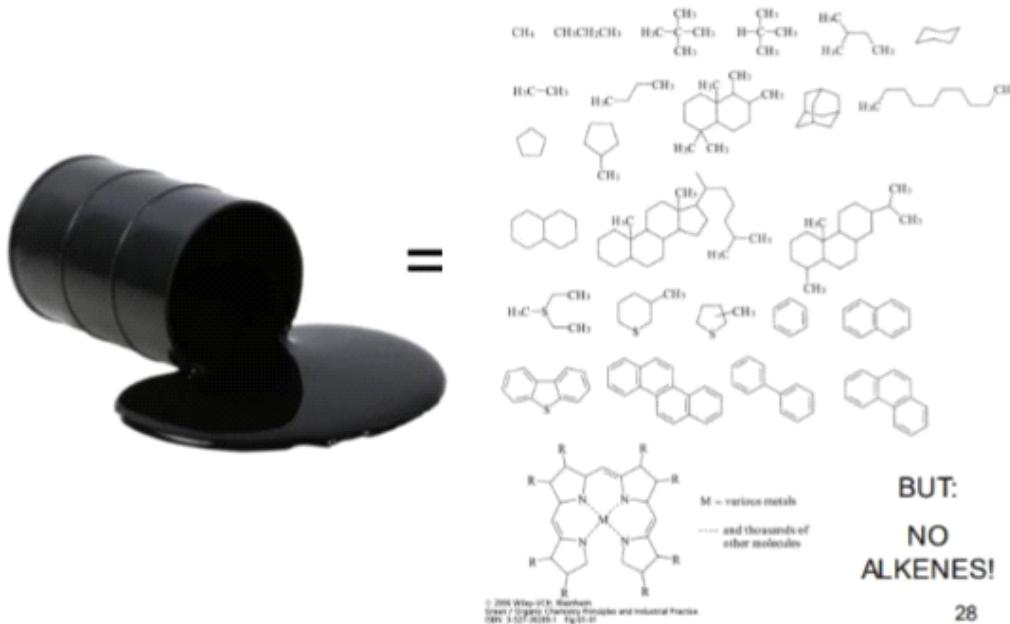


Abbildung 3, Rohöl aus dem Kaukasus, Mittleren Osten, Arabischen Halbinsel und Frankreich

Grundsätzlich lässt sich jedoch sagen, dass Erdöl durch Plankton und andere Kleinstlebewesen in Meeressedimenten entstanden ist, und dass unraffiniertes Erdöl

aus mehreren tauschend verschiedenen Stoffen besteht. Großteils handelt es sich bei diesen um lineare und verzweigte Alkane, Cycloalkane und Aromaten, jedoch keine Alkenen. In der nachfolgenden Abbildung 4 sind mögliche Inhaltsstoffe dargestellt.

Petroleum (Crude Oil)



28

Abbildung 4, Mögliche Inhaltsstoffe von Rohöl

In der folgenden Tabelle sind die Inhaltsstoffe nochmals nach chemischen Elementen aufgeschlüsselt.

Element	Anteil (%)
Kohlenstoff	83-87
Wasserstoff	10-14
Stickstoff	0,1-2
Sauerstoff	0,1-1,5
Schwefel	0,5-6
Metalle	<1000 ppm

Wie wir sehen, besteht Erdöl aus vielen verschiedenen Verbindungen. Aber was kann man aus Erdöl machen? Diese Frage führt uns zur sogenannte „Petrochemie“. Bevor wir uns aber mit den möglichen Produkten beschäftigen können, stellt sich die Frage, wie die Rohstoffe überhaupt chemisch voneinander getrennt werden können? Immerhin gehört ins Auto beispielsweise kein Kerosin.

3.1.1.2 Aufbereitung

3.1.1.2.1 Entsalzung

Im ersten Schritt wird das Rohöl entsalzt. Dafür wird eine Rohöl-Wasser-Emulsion erzeugt. Die Salze lösen sich daraufhin im Wasser und können so aus dem Rohöl entfernt werden. Im nächsten Schritt werden die unterschiedlichen molaren Massen zur Trennung ausgenutzt.

3.1.1.2.2 Rohöldestillation

In der folgenden Abbildung 5 wird die Rohöldestillation gezeigt.

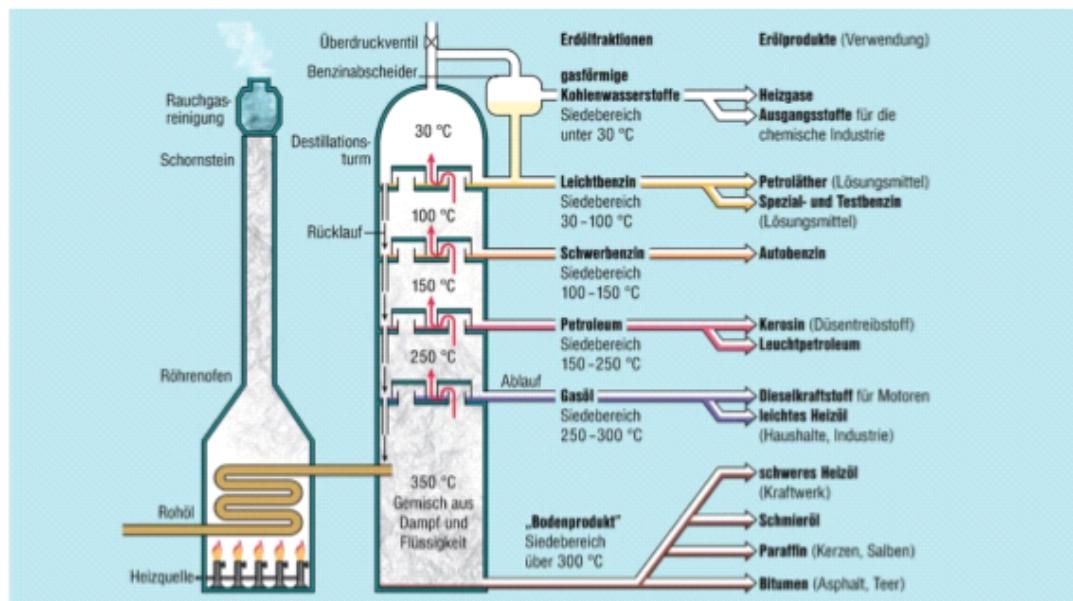


Abbildung 5, Rohöldestillation und Aufschlüsselung nach Produkten

Bei der Rohöldestillation wird das Rohöl im ersten Schritt im Röhrenofen auf etwa 400 °C erhitzt. Anschließend werden die einzelnen Komponenten im Destillations-turm (auch Rektifikationskolonne genannt), nach ihren Siedepunkten, getrennt. Dabei handelt es sich um eine Gegenstromdestillation (Rektifikation). Dabei können mehrere verschiedene Böden eingesetzt werden, in Abbildung 5 handelt es sich um sogenannte Glockenböden. Diese sind nochmals schematisch in Abbildung 6 dargestellt.

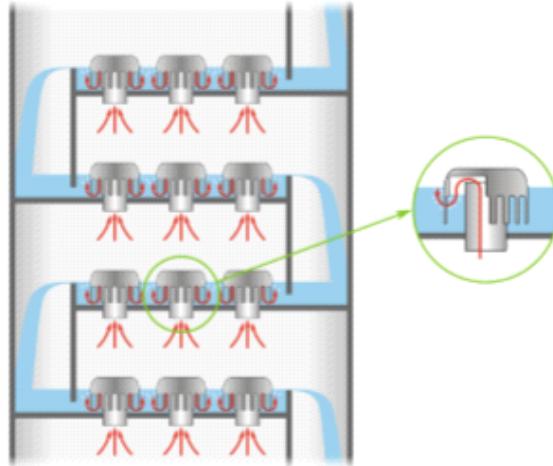


Abbildung 6, Schematische Darstellung der Rektifikation mit Glockenböden

Die Rektifikation beruht darauf, dass die Komponenten mit einem niedrigen Siedepunkt aufsteigen, und jene Substanzen, welche einen Siedepunkt über der Bodentemperatur aufweisen, am jeweiligen Boden in den flüssigen Zustand wechseln. Also je nach Siedepunkt gehen die Bestandteile auf verschiedenen Böden in den flüssigen Zustand über. Dadurch, dass es sich hier um keine klassische Destillation, sondern um eine Gegenstromdestillation handelt kann eine wesentlich kosteneffizientere Trennung erreicht werden. Wichtig ist zu erwähnen, dass auf jedem Boden eine konstante Temperatur herrscht (siehe Abbildung 5).

Wie in Abbildung 5 ersichtlich werden die einzelnen Fraktionen je nach ihrem Siedepunkt auf verschiedenen Höhen aus der Kolonne (Maximalhöhe von etwa 50 m) abgeführt. Oben werden die Leichtflüchtigen (niedriger Siedepunkt) Komponenten erhalten, unten die Schwerflüchtigen (hoher Siedepunkt). Also umgangssprachlich formuliert: Oben kommen die kleinen Moleküle raus, unten die Großen.

Wichtig ist, dass alle Komponenten Anwendungszwecke haben! Jedoch tritt das Problem auf, dass die Nachfrage nach den leichtflüchtigen Komponenten wesentlich größer ist als die nach den schwerflüchtigen Komponenten. Wie mit diesem Problem umzugehen ist, und welche Produkte aus Erdöl überhaupt hergestellt werden können, wird in der Sparte der Petrochemie behandelt.

3.1.1.3 Petrochemie - Erdöl

Die Petrochemie beschäftigt sich mit der Weiterverarbeitung der Destillationsprodukte und Erdgas. Beginnen wir mit den im Überschuss vorhandenen schwerflüchtigen Komponenten. Die Frage wie dieser Überschuss technisch genutzt werden kann führt uns zum Thema „Cracking“.

3.1.1.3.1 Cracking

Als Cracking wird das Zerlegen von Kohlenwasserstoffen (KW) in Kleine bezeichnet. Dies kann entweder thermisch oder katalytisch geschehen. Generell entsteht dabei aus einem gesättigten KW ein neues Alkan und ein Alken. Dieser Vorgang wird im folgenden Gif, Abbildung 7, und dem YouTube Link veranschaulicht.

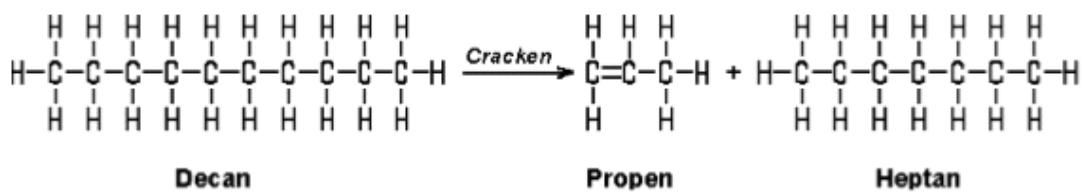
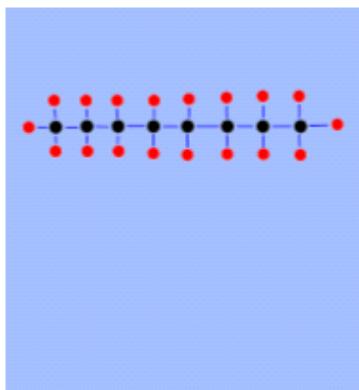


Abbildung 7, Beim cracken eines Alkans entsteht ein Alken und ein kleineres Alkan

<https://www.youtube.com/watch?v=qbmOrWx1Qm4>

3.1.1.3.1.1 Thermisches Cracking

Beim thermischen Cracken geht es darum, die Kohlenwasserstoffe durch hohe Temperaturen zu zerlegen.

Einschub:

Die gemessene Temperatur gibt die kinetische Energie der einzelnen Teilchen an. Dies wird durch die folgende Formel beschrieben:

$$E = \frac{3}{2} k_b T = \frac{m * v^2}{2}$$

$$[E] = J$$

$$[k_b] = 1,38 * 10^{-23} \frac{J}{K} \text{ Boltzmann - Konstante}$$

$$[T] = K \text{ Temperatur}$$

Da sich bei hohen Temperaturen die KW-Ketten immer mehr zu bewegen beginnen, wird die kinetische Energie der einzelnen Kettenstücke (bei sehr hohen Temperaturen sogar der einzelnen Atome) so groß, dass die Kette ab einem bestimmten Punkt bricht. So entstehen aus großen KW kleine KW.

3.1.1.3.1.2 Katalytisches Cracking

Katalytische Crackverfahren haben gegenüber den thermischen Verfahren mehrere Vorteile: Sie benötigen kleinere Apparate und geringe Temperaturen und laufen mit höherer Geschwindigkeit. Es wird in zwei katalytischen Crack-Verfahren unterschieden: Hydrocracken und Fluid-Catalytic-Cracken (FCC). Diese beiden Verfahren werden hier aufgrund ihrer Komplexität nicht näher behandelt. Kurz: Hydrocracken crackt mit Wasserstoff, FCC mit Zeloith-Katalysator.

Anschließend werden die erhaltenen Produkte noch veredelt und dann zur Tankstelle oder anderen Industrieanlagen gebracht. Beim Veredlungsprozess werden unerwünschte Komponenten wie schwefel-, stickstoff- oder sauerstoffhaltige Substanzen entfernt.

<https://www.youtube.com/watch?v=t4W9z2zYhKA>

Aber bevor wir uns nun mit den Weiterverarbeitungsmöglichkeiten des Erdöls beschäftigen wollen, kommen wir noch zu den beiden anderen großindustriell relevanten fossilen Rohstoffen.

3.1.2 Erdgas

Bei Erdgas handelt es sich hauptsächlich um _____ jedoch können auch andere kleine gasförmige Alkane wie _____ usw. auftreten. Es können jedoch auch Verbindungen wie Schwefelwasserstoff _____, Stickstoff _____ und Kohlendioxid _____ auftreten. Die konkrete Zusammensetzung ist genau wie beim Erdöl abhängig von der Lagerstätte. Wenn Erdgas direkt aus dem Boden kommt und noch nicht technisch bearbeitet worden ist, spricht man von _____. In der nachfolgenden Abbildung 8 wird die Zusammensetzung von zwei verschiedenen Rohgasproben gezeigt (n- bedeutet unverzweigtes Alkan, i- bedeutet verzweigtes Alkan (i=iso)).

Komponente	Erdgas 1	Erdgas 2
N ₂	0,51	4,85
CO ₂	0,67	0,24
C1	91,94	83,74
C2	3,11	5,68
C3	1,26	3,47
i-C4	0,37	0,30
n-C4	0,34	1,01
i-C5	0,18	0,18
n-C5	0,11	0,19
C6	0,16	0,09
C7+	1,35	0,25
Summe	100	100

Abbildung 8, Zusammensetzung zweier verschiedener Erdgase, Quelle: Kaasa (1978), Allen (1952); aus Manning, Thompson: Oilfield Processing of Petroleum, vol. 1, 1991

Einschub: Auch der größte Teil des vom Menschen genutzten Heliums wird aus Rohgaslagerstätten gewonnen.

3.1.2.1 Erdgas Förderung

Wie in der folgenden Abbildung 9 ersichtlich kommt Erdgas oft gemeinsam mit Erdöl vor und ist leicht zu fördern. Dann spricht man von _____ Lagerstätten. Jedoch kann sich Erdgas auch in Gesteinen ansammeln, wodurch die Förderung wesentlich schwieriger und teurer wird, man spricht von _____ Lagerstätten. Ebenfalls kann Erdgas und Erdöl nicht nur an Land, sondern auch vom Meeresboden gefördert werden, man spricht von _____.

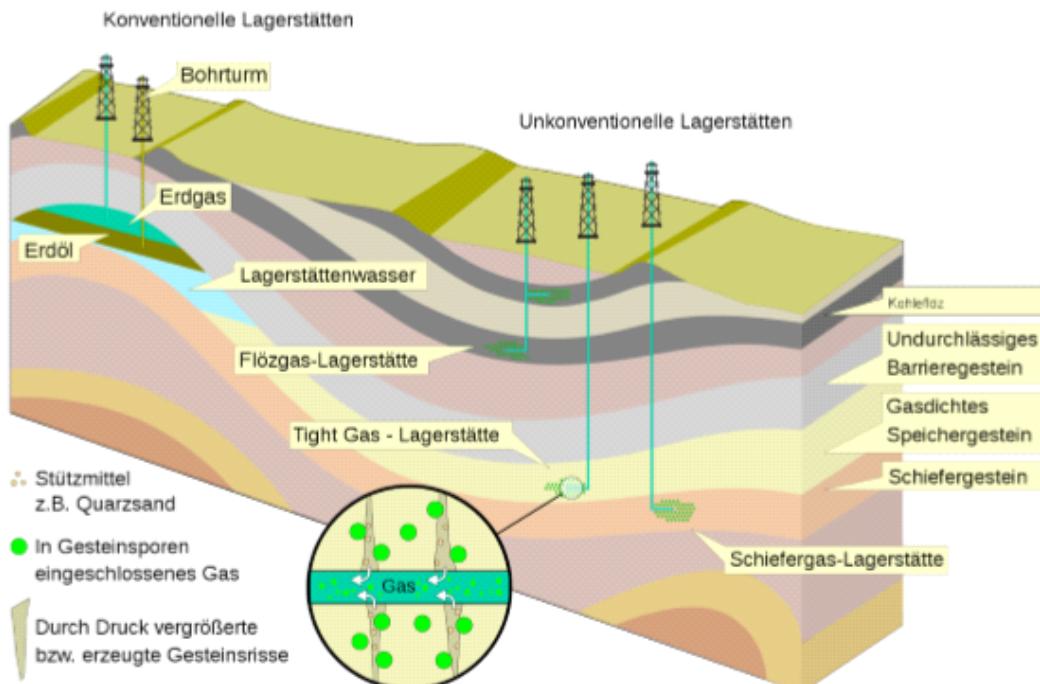


Abbildung 9, Konventionelle und unkonventionelle Lagerstätten

3.1.2.1 Förderung aus konventionellen Lagerstätten

Die Förderung aus konventionellen Lagerstätten ist verhältnismäßig _____. Mit dem Bohrturm wird ein Loch mit einer Tiefe von bis zu 6000 m (in Ausnahme Fällen auch tiefer) gebohrt, und anschließend das Erdgas gefördert. Da dieses unter Druck steht kommt es von selbst aus dem Loch. Da jedoch der Druck in der Lagerstätte mit der geförderten Menge abnimmt, kann es sein, dass hier Verfahren zur Druckerhöhung angewendet werden (beispielsweise weitere Bohrungen oder Einbau von Verdichtern).

3.1.2.1.2 Förderung aus unkonventionellen Lagerstätten

Bei unkonventionellen Lagerstätten handelt es sich um Erdgasvorkommen, welche nur mit erheblichem _____ gefördert werden können, beispielsweise Schiefergestein oder Flöz. Jedoch können auch diese Lagerstätten durch sogenanntes Fracking erschlossen werden.

3.1.2.2.1 Fracking

Fracking ist keine Bohrtechnik, sondern ein Verfahren, mit dem sich Erdgas aus _____ lösen lässt.

Um das Gas aus dem Gestein zu lösen, muss der Untergrund _____ werden. Vor dem Fracking wird daher zunächst bis zu fünf Kilometer in die Tiefe gebohrt, dann horizontal in die gasführende Gesteinsschicht. Anschließend wird in die horizontale Bohrung mit einem enormen Druck von bis zu _____ ein Gemisch aus _____, _____ oder _____ und diversen _____ gepresst. Dabei bekommt das Gestein Risse und Erdgas tritt aus diesem aus. Siehe Abbildung 10.

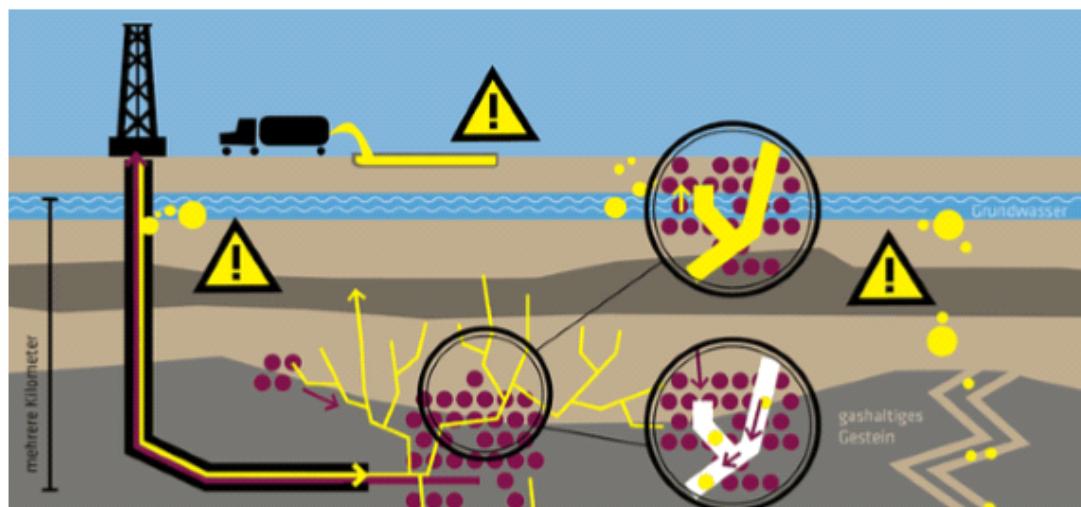


Abbildung 10, Aufbrechen von gashaltigem Gestein durch Fracking, Gelb Chemikalien, Rot Erdgas

Wie in Abbildung 10 ersichtlich hat das Fracken teilweise verheerende _____. Diese röhren daher, dass beim Fracken auch diverse _____ zugesetzt werden, welche den Förderungsprozess erleichtern. Eine Liste der möglichen Fracfluide kann auf der Homepage des Bundesverbands für Geothermie eingesehen werden (<https://www.geothermie.de/bibliothek/lexikon-der-geothermie/f/fracfluid.html>). Ohne auf die jeweiligen chemischen Vorgänge einzugehen, kann Fracking aufgrund der hohen Anzahl und Dichte an benötigten Bohrungen, sowie den Fracfluiden zu Verunreinigungen von _____ (Lecks in den Rohren), _____ (Fracfluide werden in diese eingeleitet) und der _____ (Fracfluide, welche am Bohrloch austreten, oder Unfälle beim Transport der Chemikalien)) führen. Ebenfalls können beim Fracken auch vermehrt _____ auftreten.

Das aus dem Boden strömende Rohgas kann, aufgrund von _____, nicht direkt genutzt werden. Da wir, wie immer, für technische Anwendungen möglichst reine Produkte wollen, wird das Rohgas aufbereitet.

3.1.2.2 Aufbereitung

3.1.2.2.1 Vorbehandlung

Bei der Erdgasaufbereitung wird das Gas im ersten Schritt vorbehandelt. Bei diesem Prozess werden unerwünschte flüssige und feste Bestandteile wie _____ und _____ entfernt. Dabei wird aus dem Rohgas Erdgas erhalten.

3.1.2.2.2 Reinigung

Bei diesem Prozess werden saure Komponenten wie _____ und _____ entfernt (sauer, da sie mit Wasser Säuren bilden, hier Schwefelsäure und Kohlensäure).

3.1.2.2.3 Trocknung

Damit das Erdgas wasserfrei ist (bei Anwesenheit von Wasser können sich feste Gashydrate wie Methanhydrat bilden, ebenfalls kann es zur Korrosion von beispielsweise Pipelines führen) wird es getrocknet. Dieser Prozess kann entweder mit _____ oder _____ (=wasseranziehend) wirkenden Chemikalien durchgeführt werden.

3.1.2.2.4 Fraktionierung

In diesem Schritt werden die einzelnen Komponenten des Erdgases _____ (zB.: Methan, Ethan, Propan).

Anschließend können die jeweiligen Komponenten transportiert und verkauft werden.

Anmerkung: Es wurden hier nicht alle Aufbereitungsschritte, sondern lediglich die wichtigsten und einfachsten behandelt. Detailliertere Angaben zum Aufbereitungsprozess können in einer Präsentation der Firma EDL zum Thema Gastechnik nachgelesen werden.

https://www.poerner.at/fileadmin/user_upload/downloads/EDL/EDL_Pres_Gastechnology_de.pdf

Bevor wir uns mit den technischen Produkten aus Erdöl und Erdgas beschäftigen wollen, wollen wir uns noch den dritten wichtigen fossilen Rohstoff etwas genauer ansehen, Kohle.

3.1.3 Kohle

Bei Kohle handelt es sich um ein festes schwarz bis bräunliches _____, welches aus grober pflanzlicher _____ entstanden ist. Die Umwandlung findet im Laufe der Zeit in verschiedenen Sedimenten statt (erst kommt die Biomasse in einen Sumpf, wodurch sich mit der Zeit Torf bildet, eine Vorstufe von Kohle). Die Umwandlung von organischem Material zu Kohle wird als _____ bezeichnet. Der Kohlenstoffgehalt der entstehenden Kohle steigt mit der _____ des Vorgangs und mit zunehmender _____ an. Dies bringt uns zur chemischen Zusammensetzung von Kohle. In der folgenden Abbildung 11 ist typische Kohle dargestellt.



Abbildung 11, Kohle

3.1.3.1 Chemische Zusammensetzung

Bei Kohle handelt es sich um eine großteils aus Kohlenstoff bestehende Substanz, welche je nach Dauer der Inkohlung einen unterschiedlichen Kohlenstoffgehalt aufweist. Siehe folgende Tabelle.

Kohle	Kohlenstoffgehalt (%)
Braunkohle	65-75
Flammkohle	75-81
Gasflammkohle	81-85
Gaskohle	85-88
Fettkohle	88-90
Magerkohle	90-92
Anthrazitkohle	>92

Steinkohle (auch schwarzes Gold genannt) ist in der Tabelle nicht gelistet, da sie einen Kohlenstoffgehalt von über _____ aufweist, und in die in der Tabelle gezeigten Kohlearten aufgeschlüsselt wird.

Abgesehen von _____ enthält Kohle auch _____ (zB.: Carbonate wie CaCO_3 , Silikate wie SiO_2 , usw.), _____ und _____ (hauptsächlich bestehend aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Schwefel, Stickstoff usw.). Der chemische Aufbau von Kohle wird in der folgenden Abbildung 12 gezeigt (hypothetische Struktur!).

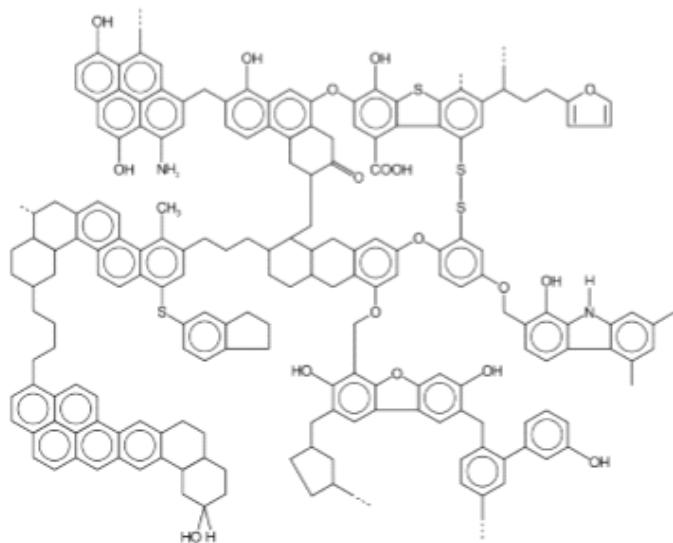


Abbildung 12, Möglicher Aufbau von Kohle, Ring im Cyclohexan bedeutet, dass es sich um konjugiertes Cyclohexatrien handelt (auch Benzol oder Benzen genannt)

Beim Verbrennen von Kohle bleibt im Regelfall _____ zurück. Bei Asche handelt es sich um _____ wie CaO oder Fe₂O₃, welche beim Verbrennen durch Reaktion der Metalle mit dem Luftsauerstoff, oder durch Zersetzung von _____ entstehen. Kohlenstoff selbst wird bei der Verbrennung wie folgt umgesetzt.

Nun zum Förderprozess.

3.1.3.2 Kohleförderung

Wie in Abbildung 1 ersichtlich handelt es sich bei Kohle um einen der Hauptenergielieferanten der Menschheit. In den folgenden Abbildungen 13 und 14 wird die jährliche Fördermenge von 1981-2019 dargestellt.

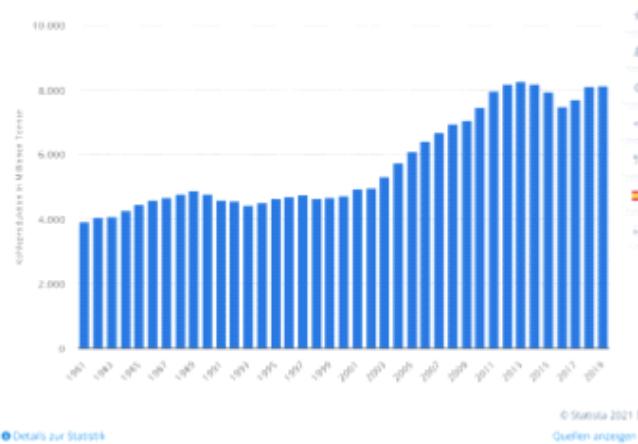


Abbildung 13, Menge an gefördeter Kohle von 1981-2019 in Millionen Tonnen

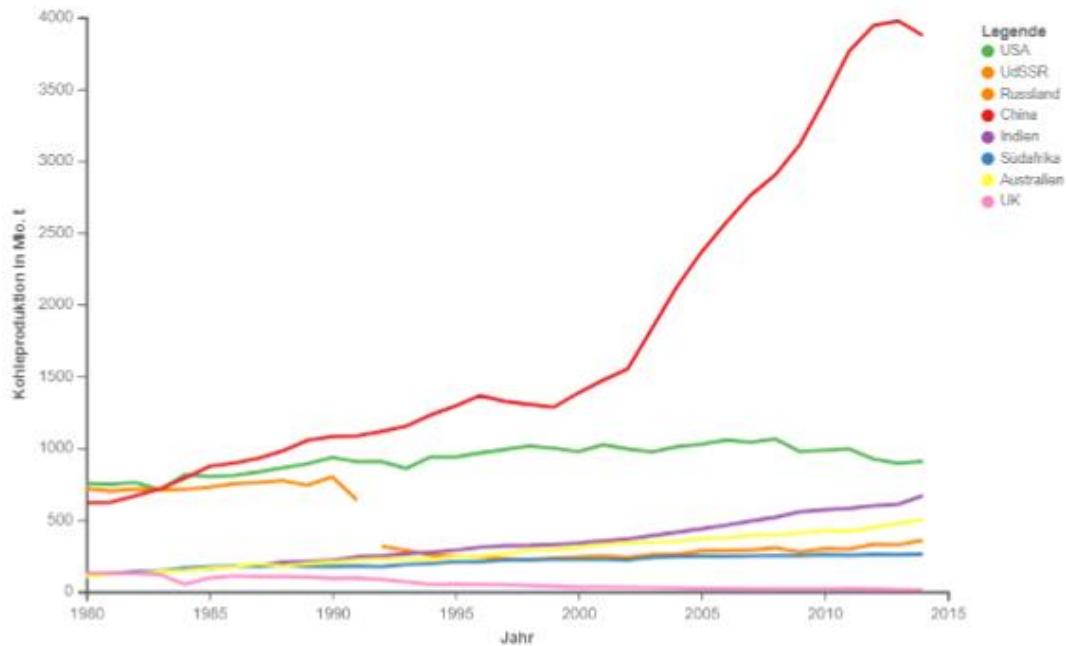


Abbildung 14, Fördermenge aufgeschlüsselt nach Nationen

Kohle wird entweder im _____ (oberflächennahe Gewinnung von Bodenschätzen) oder im _____ (Gewinnung von Bodenschätzen welche tief unter der Erdoberfläche liegen) gefördert. In Abbildung 15 und 16 ist ein Schaufelradbagger wie er bei der Förderung eingesetzt wird ersichtlich.



Abbildung 15, Schaufelradbagger im Vergleich zu einem normalen Bagger



Abbildung 16, Schaufelradbagger, l=225 m, h=96 m, b=45 m, Nennförderleistung=240000 m³/d

Nach der Förderung wird die Kohle bei der sogenannten _____ von _____ getrennt. Dabei wird sie zerkleinert und mithilfe von _____ unter Zusatz von _____ aufbereitet. Dies funktioniert, da Kohle eine geringere _____ hat als andere Gesteine aus dem Berg.

Ebenfalls kann Kohle auch durch sogenannte _____ erzeugt werden. Dabei wird Holz unter Sauerstoffausschluss erhitzt. Da das Fördern von Kohle jedoch preiswerter ist, wird dieses Verfahren nur sehr selten eingesetzt.

Im nächsten Schritt werden wir zu den Produkten, welche aus Erdöl, Erdgas und Kohle gewonnen werden, kommen.

3.1.4 Produkte aus fossilen Rohstoffen - Petrochemie

Die meisten chemischen Erzeugnisse lassen sich aus etwa _____ verschiedenen Grundchemikalien aufbauen. Um diese zu erlangen wird Erdgas und vor allem Erdöl eingesetzt. Kohle hat selbst weniger Relevanz für die Synthese.

3.1.4.1 Kohle

Kohle hat wenig relevanten Nutzen im Bezug darauf chemische Produkte zu synthetisieren (Wasserstoff und Kohlenmonoxid kann durch Umsetzung von Kohle und Wasser erzeugt werden, ebenfalls wird Koks (Kohle mit sehr hohem Kohlenstoffgehalt) daraus gebildet). Kohle wird primär in Kraftwerken zur Stromerzeugung _____. Siehe Abbildung 17 und 18.



Abbildung 17, Kohlekraftwerk

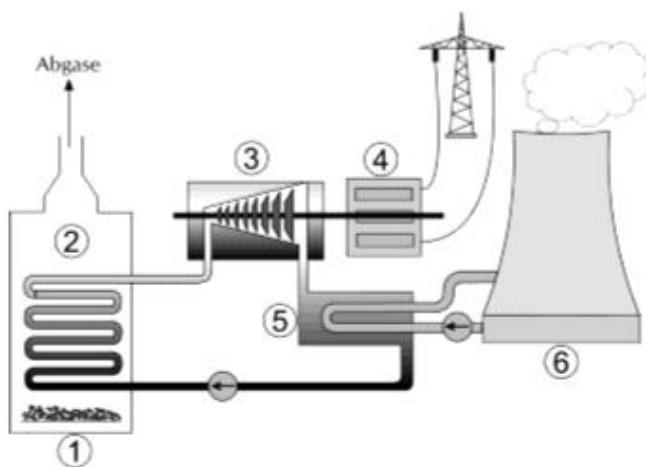


Abbildung 18, Vereinfachter Aufbau eines Kohlekraftwerks

Wie in Abbildung 17 ersichtlich wird Wasser im _____ (1&2) zum Sieden gebracht und mit dem entstehenden Wasserdampf eine _____ (3) angetrieben, welche mit einem _____ (4) Strom generiert. Anschließend wird der Dampf in einem

_____ (5) wieder abgekühlt, bis das Wasser _____ um es anschließend erneut zu _____ (1&2). Für die Abkühlung des Dampfes wird der Kühlturm (6) benötigt.

Jedoch kann Kohle auch in flüssige Kohlenwasserstoffe umgewandelt werden. Dieser Prozess wird als _____ bezeichnet. Bei der einfachsten Version der Kohleverflüssigung wird Kohle mit Wasserstoff H₂ mittels Katalysatoren hydriert und es werden flüssige Kohlenwasserstoffe wie Heizöl und Treibstoffe erhalten. Dieses Verfahren wird aber nur bei Erdölmangel angewendet.

3.1.4.2 Erdgas

Organische Analytik

Mittwoch, 12. Mai 2021 14:37

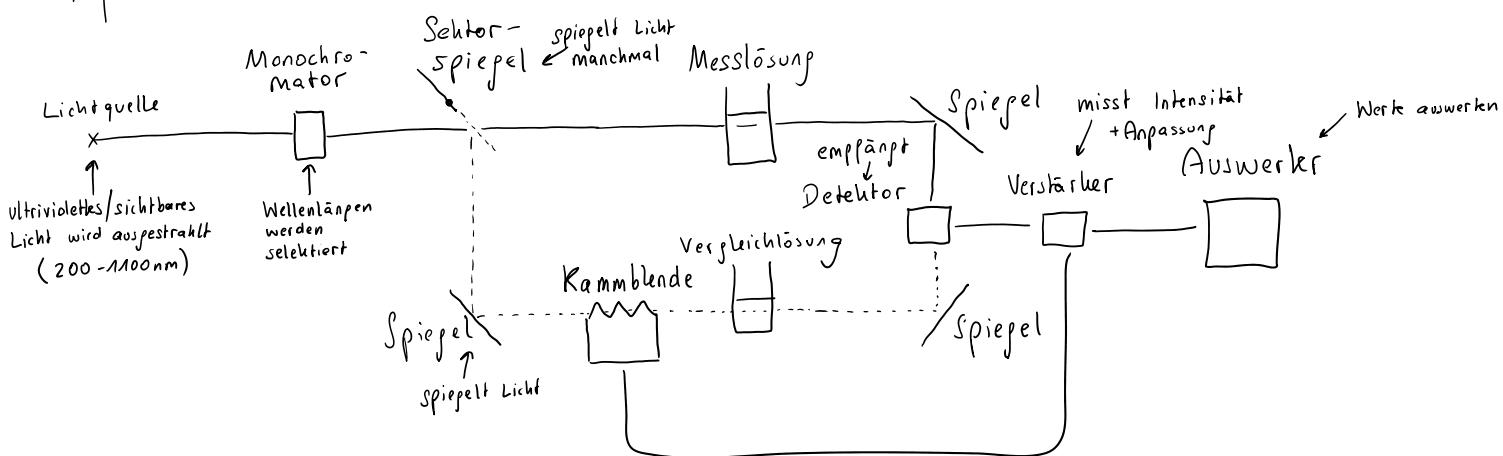
UV/VIS

= Ultraviolet / Visible (= sichtbar)

Methode:

Moleküle werden mit elektromagnetischen Wellen im Bereich sichtbares und ultraviolettes Licht bestrahlt → Valenzelektronen angeregt

Aufbau:



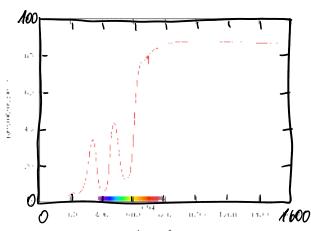
Lambert-Beer'sche Gesetz:

Abschwächung der Intensität in Bezug auf Anfangsintensität bei Durchgang durch Medium mit absorbierender Substanz in Abhängigkeit von Konzentration und Schichtdichte.

$$E_\lambda = \log_{10} \left(\frac{I_0}{I_t} \right) = \varepsilon_\lambda \cdot c \cdot d$$

Annotations: Intensität d. einfallenden Lichts (Intensity of incident light), Stoffmenge Konzentration (Molar concentration), Intensität d. transmittierten Lichts (Intensity of transmitted light), Schichtdicke (Layer thickness), spektraler Absorptionskoeffizient bei Wellenlänge λ .

ausgewertetes Spektrum:

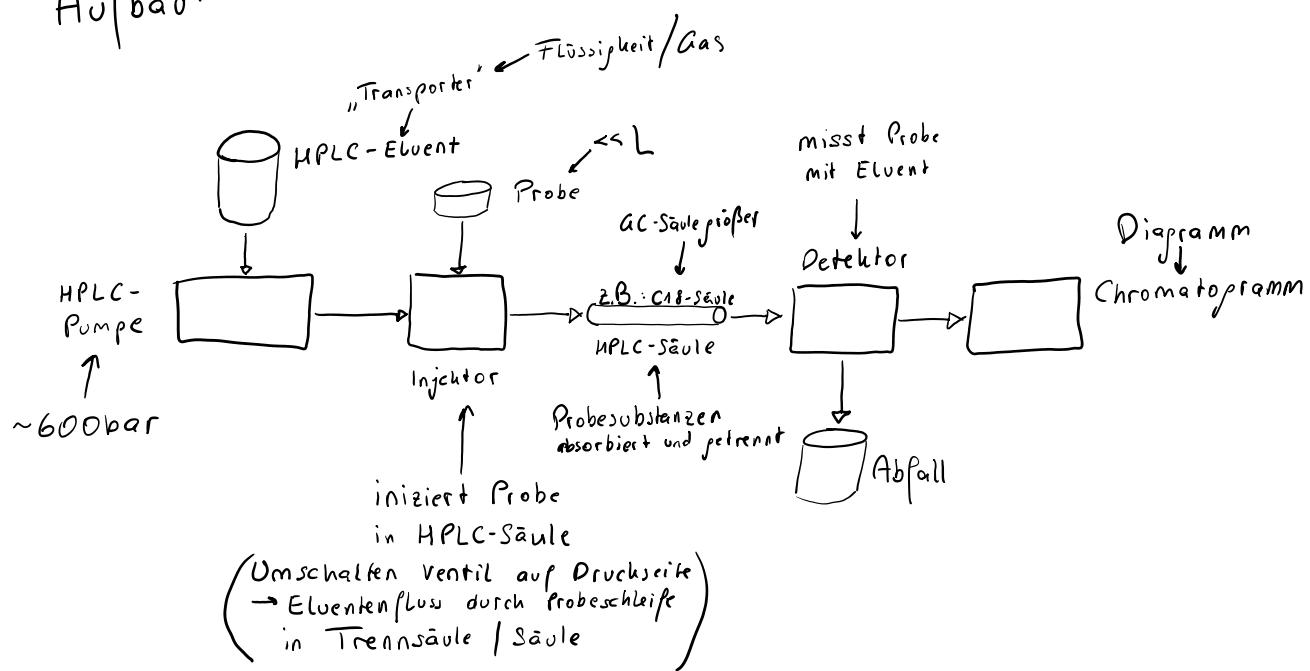


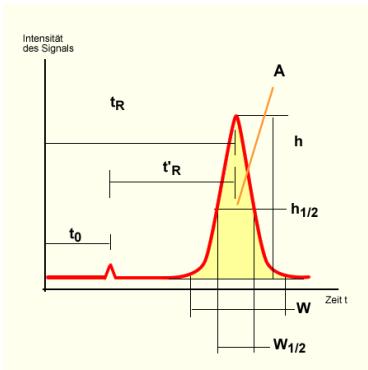
UV/VIS-Spektrometer werden eher für qualitative Analysen verwendet.

Hochdruck-Flüssigkeitschromatographie und Gaschromatographie

Unterschied: HPLC kann im Unterschied zur GC, die eine sehr gute Trennmethode für verdampfbare Stoffe ist, auch nicht flüchtige Substanzen analysieren.

Aufbau:



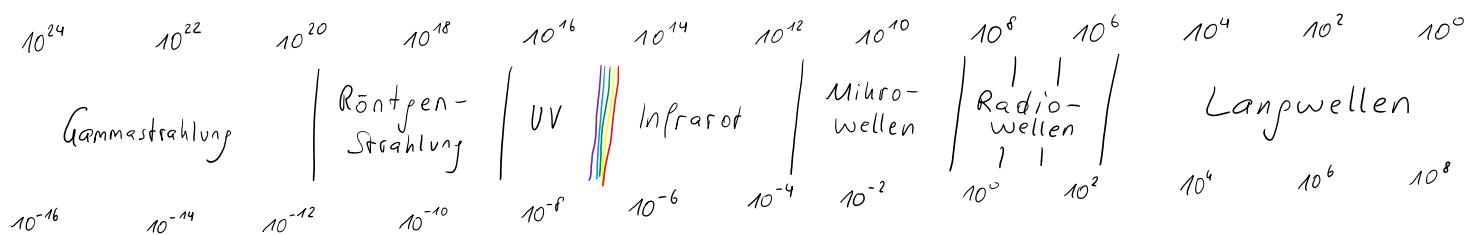


HPLC wird eher für
quantitative Analysen verwendet.

GC kann für qualitative und
quantitative Analysen verwendet werden

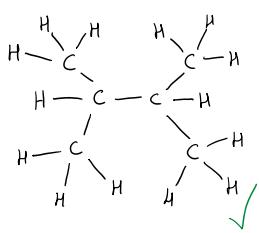
Infrarot-Spektroskopie

Grundlage: Anregung von Energiezustände in Molekülen

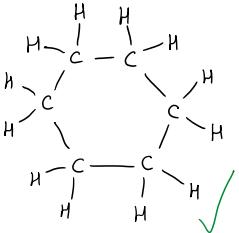


Wasserstoff zuordnen

2-3-Dimethylbutan

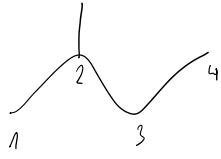


Cyclohexan

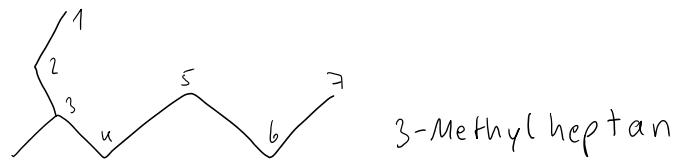


Es gibt nur 4-bindige Kohlenstoffe!

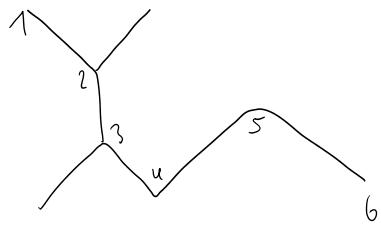
Summenformel	Strukturformel	Skelettformel
C_2H_6	$\begin{array}{c} H & H \\ & \\ H-C & -C-H \\ & \\ H & H \end{array}$	—
$C_3H_8(OH)_3$	$\begin{array}{c} OH & OH & OH \\ & & \\ H-C & -C & -C-H \\ & & \\ H & H & H \end{array}$	<p>Handwritten skeletal structure of propanetriol (1,2,3-propanetriol). It shows a three-carbon chain with a hydroxyl group on each carbon.</p>
C_2H_5OH	$\begin{array}{c} H & H \\ & \\ H-C & -C-OH \\ & \\ H & H \end{array}$	<p>Handwritten skeletal structure of ethanol. It shows a two-carbon chain with a hydroxyl group attached to one of the carbons.</p>
C_4H_8O	$\begin{array}{c} O \\ \\ H-C & -C & -C-H \\ & & \\ H & H & H \end{array}$	<p>Handwritten skeletal structure of propanone (acetone). It shows a three-carbon chain with a carbonyl group (C=O) at one end.</p>
C_4H_9OH $C(CH_3)_3OH$	$\begin{array}{c} CH_3 \\ \\ CH_3-C-OH \\ \\ CH_3 \end{array}$	<p>Handwritten skeletal structure of tert-butanol. It shows a central carbon atom bonded to four methyl groups (four single lines) and one hydroxyl group (one wedge).</p>
C_4H_{10}	$\begin{array}{c} H \\ \\ H-C & -H \\ & \\ H-C & -C & -H \\ & & \\ H & H & H \end{array}$	<p>Handwritten skeletal structure of neopentane. It shows a central carbon atom bonded to four methyl groups (four single lines).</p>
$C_5H_8ClO_2H$	$\begin{array}{c} Cl \\ \\ H-C & -C & -C & -C=O \\ & & & \\ H & H & H & OH \end{array}$	<p>Handwritten skeletal structure of chloroacetyl acid. It shows a five-carbon chain with a chlorine atom on the first carbon, a carboxylic acid group (-COOH) on the fourth carbon, and a hydroxyl group (-OH) on the fifth carbon.</p>



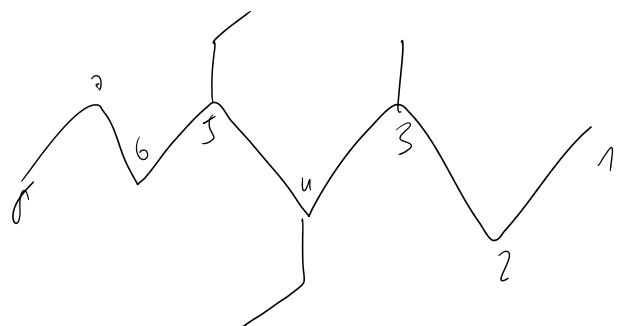
2-Methylbutan



3-Methylheptan

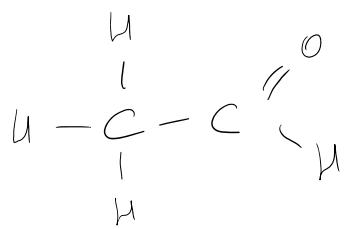


2,3-Dimethylhexan

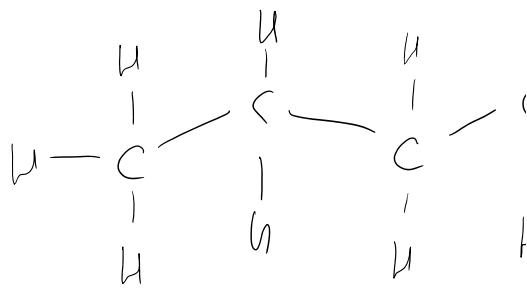


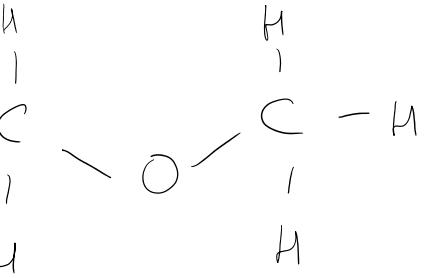
4,5-Diethyl - 3 - Methyloctan

Ethanal

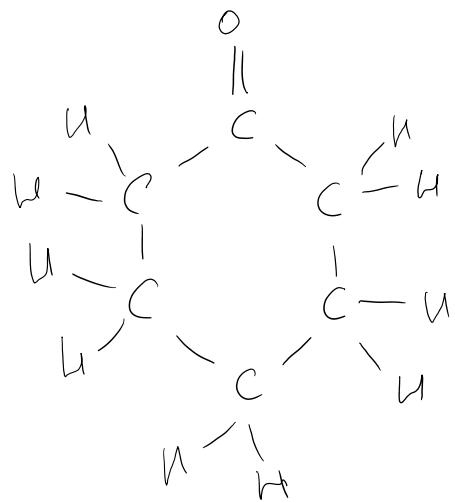


n-Butyl methylether

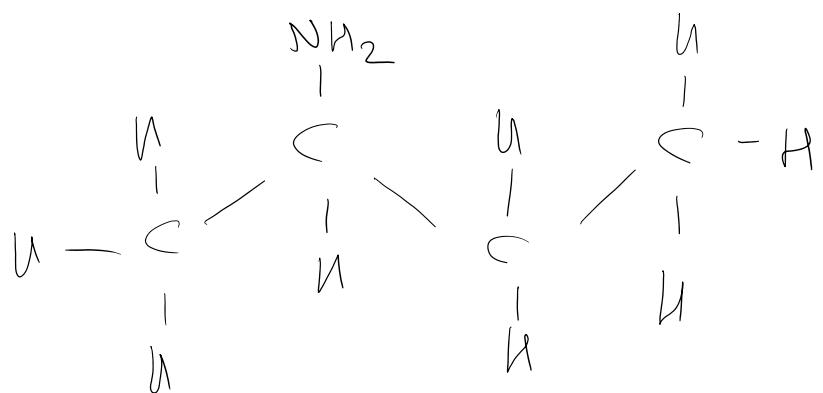




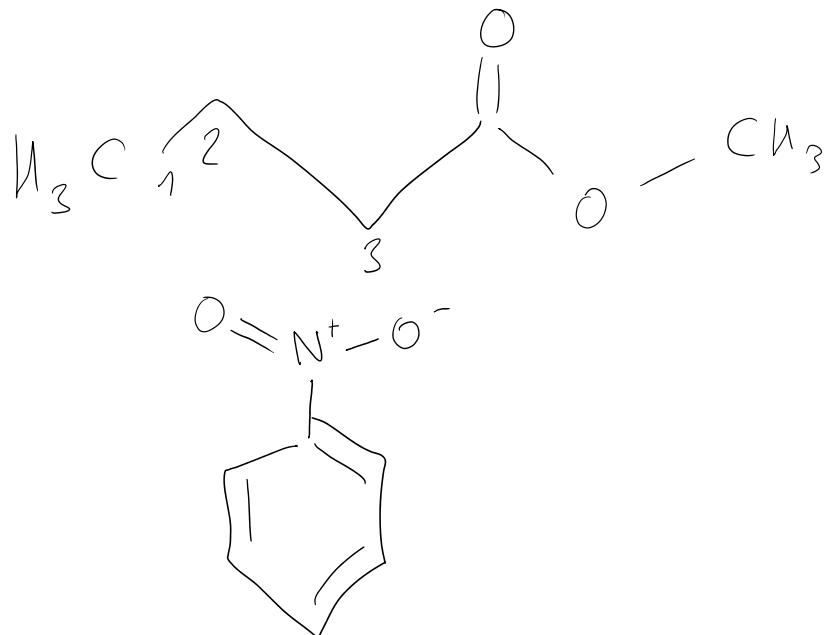
Cyclohexanon



Butan-2-Amin

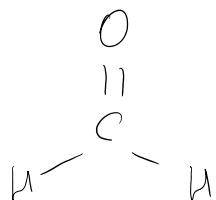


Butansäuremethylester

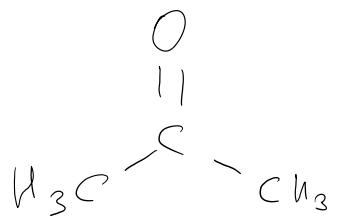


Nitrobenzen

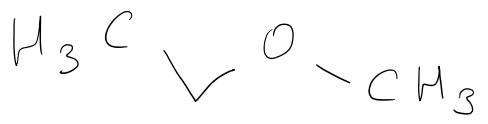
Methanal



Propan - 2 - on



Ethylmethylether



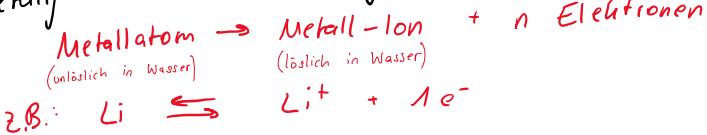
Elektrochemische Eigenschaften d. Metalle

WU: Eigenschaften der Metalle

- undurchsichtig, grau, glänzend
- biegsam, formbar
- elektrische Leitfähigkeit
- Wärmeleitfähigkeit

Atomare Ebene

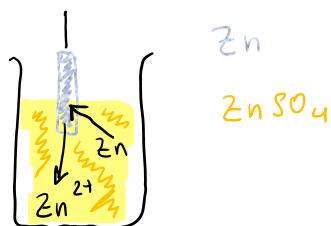
Metallpitter; Metallatome geben leicht e^- ab:



elektrochemische Spannungsreihe

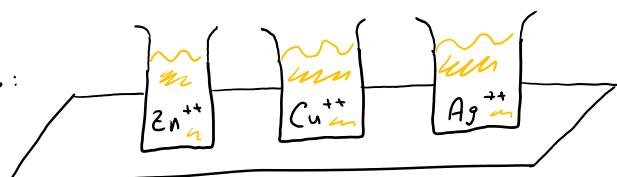
Metalle in ihren Metallsalz-Lösungen

- Metalle lösen sich langsam auf
- Gleichzeitig passiert eine ebenso große Abscheidung von gelösten Ionen an der Metall-Oberfläche.
- Es lösen sich mehr Zink-Atome als Kupfer-Atome



Schülerversuch: Metalle / Salzlösungen

Skizze:



	Cu	Zn	Ag	
Cu ⁺⁺	—	mit Cu beschichtet	—	Ag ... sehr edel Cu ... edel Zn ... unedel
Zn ⁺⁺ (Fe ⁺⁺)	—	—	—	
Ag ⁺⁺	grün-schwarze Schicht viel!	schwarzer Belag viel!	—	

10. Experiment: Cu länger in Cu: matt

Abscheidung:



Auflösung:



↳ Unedle Metalle gehen leicht in Lösung.
Edle Metalle scheiden sich gerne als Feststoff ab.

Batterien

- nicht aufladbar
- Zink-Kohle-Batterie
 - für alle Anwendungen ohne größere Ansprüche
- Alkalibatterie
 - konstante Spannung
- Lithiumbatterie
 - die Dauerhafte - in Stand-PCs für Uhr, BIOS
- Silber-Silberoxid-Zelle
 - klein und vielseitig - Uhren

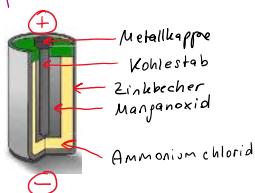
Akkumulatoren

- wieder aufladbar
- Bleiakkumulator
 - viel Strom in kurzer Zeit
- Nickel-Cadmium-Akku
 - unempfindlich und wartungsfrei
- Lithium-Ionen-Akku
 - klein, leicht und viel konstanter Strom

Brennstoffzellen

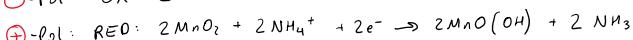
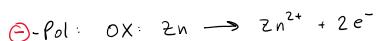
kann auch Strom produzieren

Aufbau Batterie:

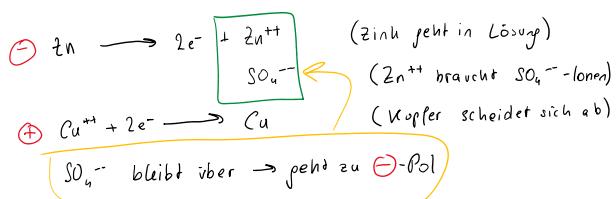


Zink-Kohle-Batterie

- für einfache Anwendungen
- Spannung: 1,5V ; fällt langsam ab



Schülerversuch

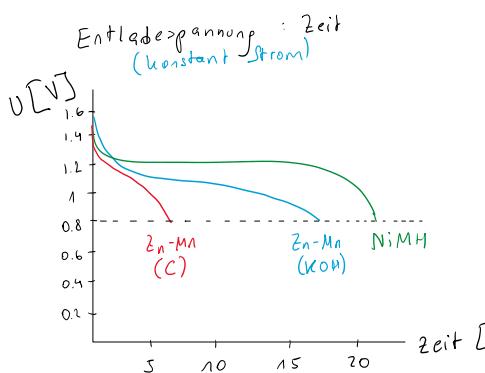


bei Verdoppelung → sollten 2V sein
Teslen: 1,5V

Cu edler als Zn

Entladungsspannung : Zeit
(konstanter Strom)
 U_{AV}

Alkalibatterie



Alkalibatterie

- Verbesserung der Zink-Braunstein-Zelle
- höhere Kapazität
- bessere Belastbarkeit
- längere Lagerfähigkeit

Manganoxid

Nickelmetallhydrid
Lithium-Ionen-Akku

Blei-Akku

"Autobatterie"

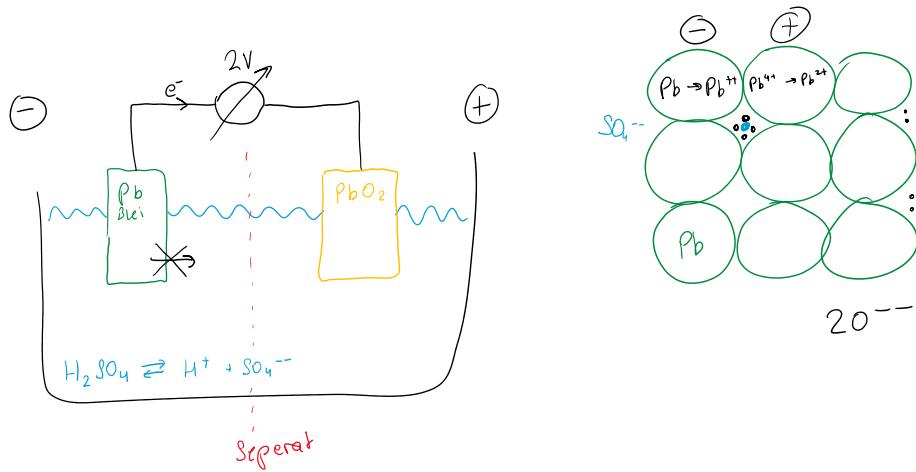
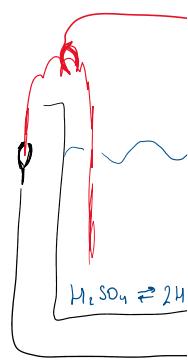
Eigenschaften: 2V/zelle

- Vorteile:
- hohe Stromstärke (Startmotor)
 - hohe Lebensdauer
 - viele Lade-Zyklen
 - keine Volumen-Änderung
 - billige Rohstoffe

- Nachteile:
- Gefahr Kurzschlüsse
 - H₂-Entwicklungen möglich
 - Selbstentladung
 - Gewicht

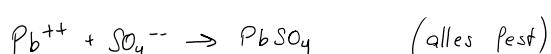
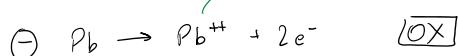
(V)

Blei-Akku



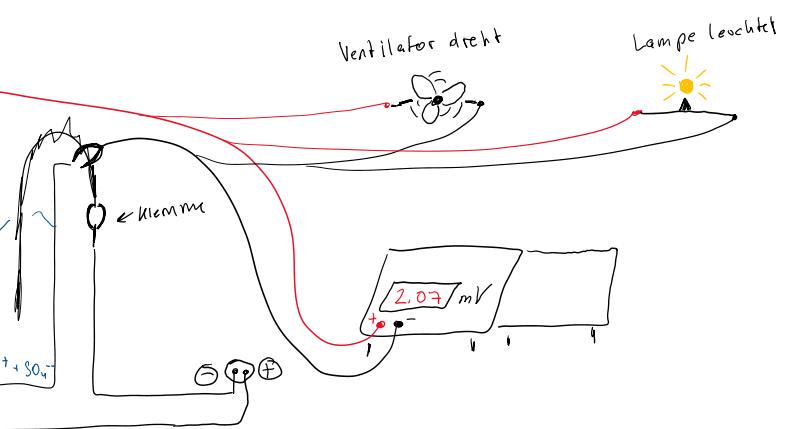
8.3.2021

Sichtbare Ebene:

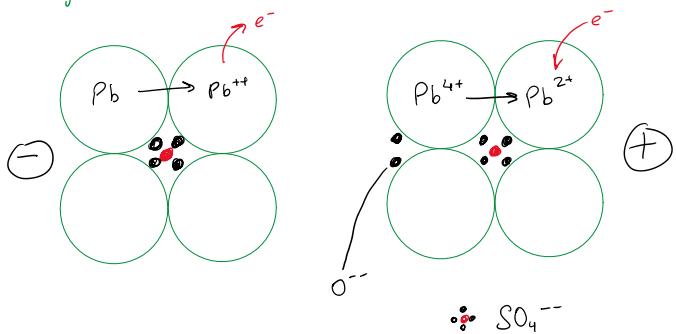


Atomare Ebene:

Metallgitter:



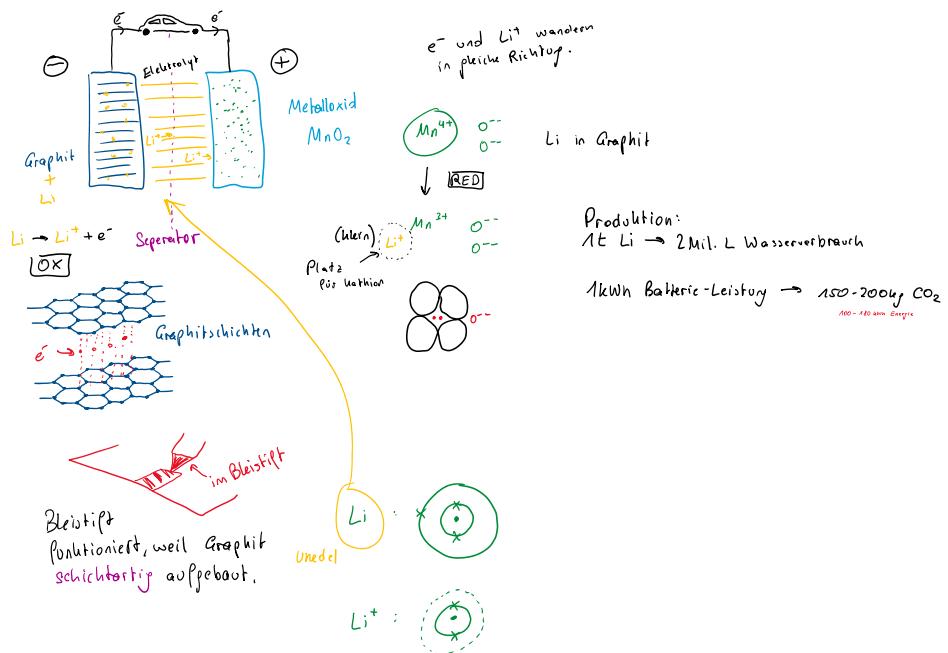
Atomare Ebene: Metallgitter



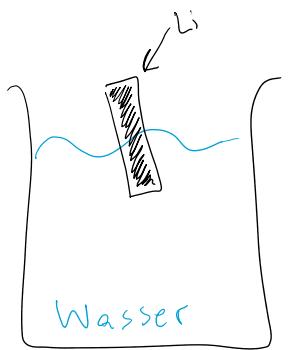
09.03.2021

Lithium-Ionen-Akku (Elektroautos)

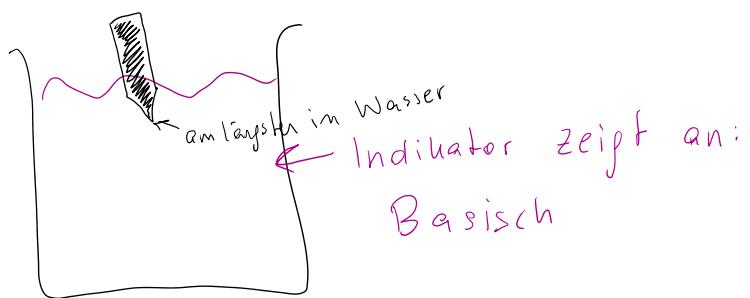
- Eigenschaften:
- Spannung ca. 3V
 - hohe spezifische Energie: 120-180 Wh/kg
 - Elektrolyt: organisches Lösungsmittel (Ethylencarbonat)
 - oft wiederaufladbar
- kein Memory-Effekt



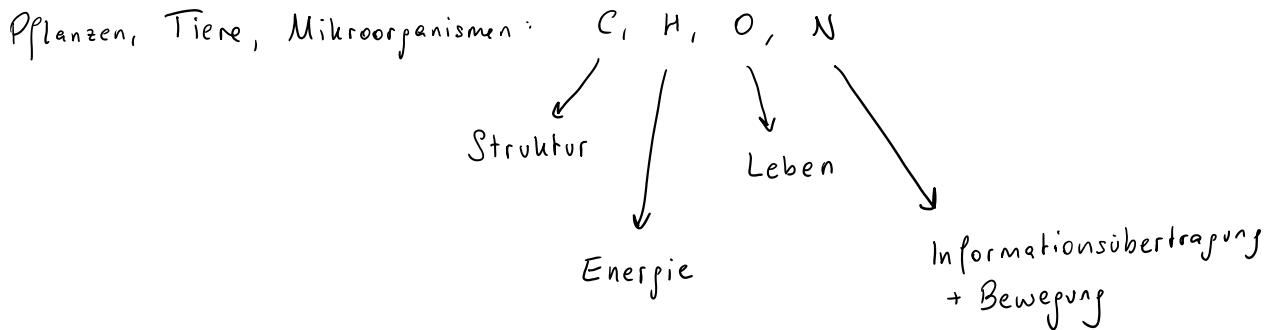
(V) Lithium-Akku



i löst sich auf



= Chemie der Kohlenstoffverbindungen



Überblick über organische Chemie

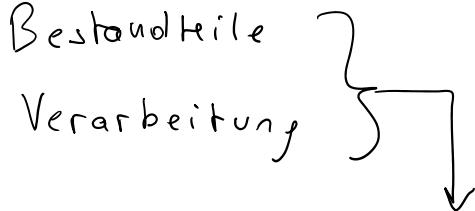
Kohlenstoff

↪ als Element: Diamant, Graphit, Kohle

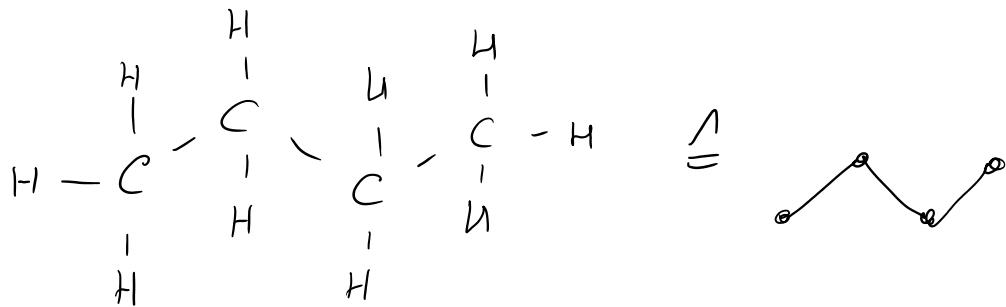
↪ in Verbindungen: CO, CO₂ und Carbonate

Erdöl und Erdgas

Vorkommen, Entstehen, Förderung



Kohlenwasserstoffverbindungen



organische Sauerstoffverbindungen

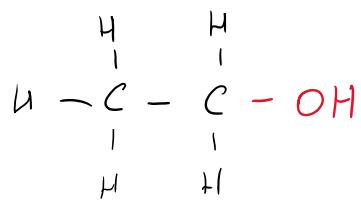
Alkohole

Zucker

Carbonsäuren
und Ester



Fette



NÄHRUNG

organische Stickstoffverbindungen

- Aminen, Amide, „Vitamine“

- Aminosäuren „Proteine“

BEWEGUNG
INFORMATION

langkettige Biomoleküle

Fette, Zucker, Proteine, DNA, RNA

} BIOTECHNOLOGIE



Crude oil (Petroleum)

Formation

How Petroleum and Natural Gas Were Formed

tiny plants and animals died and settled on the ocean floor. They were covered by layers of sediment and rock.

Over millions of years, the remains were buried deeper and deeper. The pressure from the rock layers caused the oil and gas to move. We drill down through the layers of sedimentary rock to reach the rock formations that contain oil and gas deposits.

Where we find oil ...

Deposits

- oil reservoir rock (trapped oil)
- worldwide, esp. Arab peninsula
- oil shales
- natural gas reservoirs
- water containing salts

Accompanied with

- dissolved gasses
- natural gas sometimes
- water, containing salts

3.Jpg. Petroleum - CLL

Production

Survey

- geological surveys
- looking for porous sediment rocks
- seismic tests
- core analysis
- success 10 to 25 %

Exploration

- max. 50 % possible
- to raise the yield: filling the deposit with water or steam, sludge, detergents, CO₂

„peak oil“

maximum of oil production

- of a source
- of whole the oil
- Worlds

The Peak of World Oil Production

THE GROWING GAP

Estimated Recovery vs. Production

Estimated recoverable oil reserves vs. cumulative production

3.Jpg. Petroleum - CLL

Petroleum Processing

Crude oil

- thousands of various compounds
- mainly hydrocarbons (HC)
- aliphatic, cycloaliphatic, alkenes, aromatic HC's, compounds similar to natural ones (biological origin)
- sulfur containing compounds

Refinery

- industrial plant for processing crude oil - to get more useful products
- distillation → fractionating column
- vacuum distillation
- forming products

Ambiental distillation

- Crude oil is heated up to 350 °C
- Distillation: separation is in a fractional column performing atmospheric pressure processes at a time
- Separation of fractions and separation process

Separation process

- Gaseous parts rise, are partly dissolved in the condensed liquids and condense itself at the condensing temperature
- the more the pressure the better the separation
- this leads to a "fraction": a mixture of substances with about the same boiling point
- Temperature in the column: at the bottom 350 °C; at the top <100 °C

Products:

- residue from first distillation
- condensed in distillation column at lowered pressure
- vacuum-gas oil → Cracking process → fuels
- medium weight gas oil → fuel for heating
- heavy weight residue: fuels for ships and industry, asphalt base

3.Jpg. Petroleum - CLL

Erdöl (Petroleum, Crude oil)

Entstehung: aus abgestorbenen Meeresorganismen (Plankton) die in großen Meeres Tiefen (>300m) absinken und nicht verrotten können (kein Licht, kein Sauerstoff).

Langsame Umwandlung in Kohlenwasserstoffverbindungen

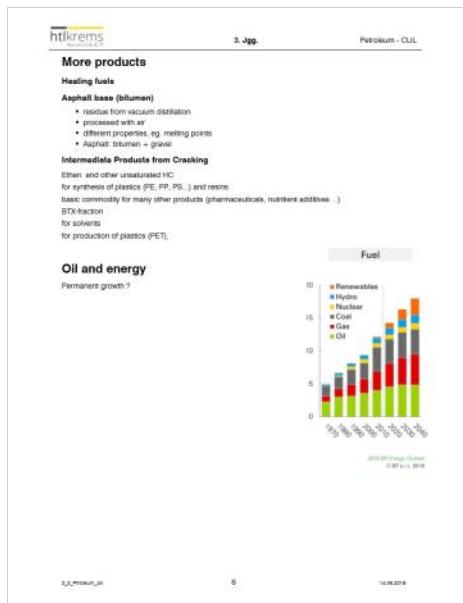
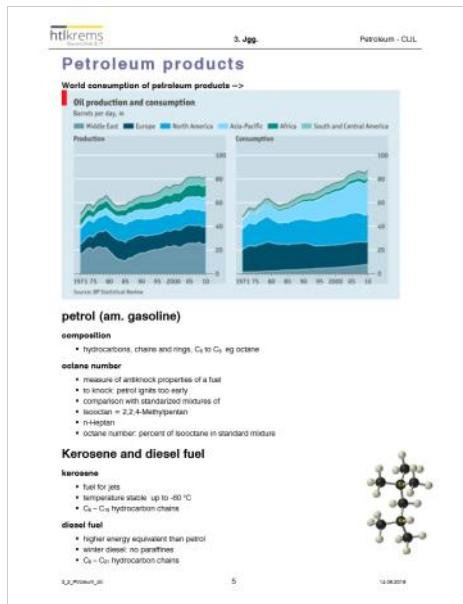
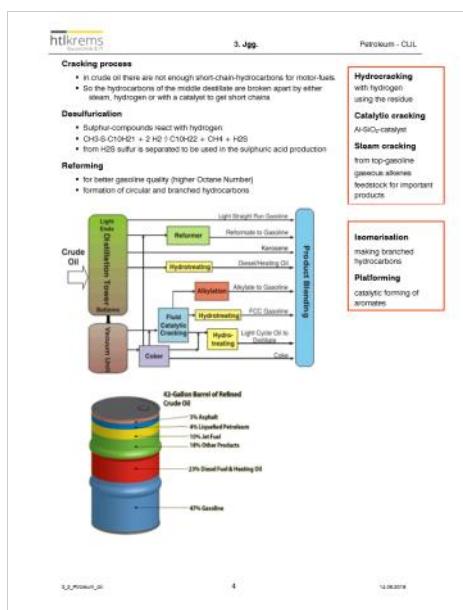
geologische Prozesse: Druck, erhöhte Temperatur fördern dies.

→ Sedimentbildung: organische Stoffe

+ anorganische Sedimente (Sand, Ton, Kalk,...)

gebildetes Erdöl

- 1) bleibt im Sediment (\rightarrow ölsande + Ölschiefer)
- 2) wandern und verteilt sich an unterhalb einer undurchlässigen Schicht („normale“ Erdöl - Vorkommen)



Natural Gas

Deposits

- "wet gas" together with petroleum
- a byproduct in producing petroleum
- can form large gas reservoirs

Natural gas was found in Europe first in 1844 in Vienna

Formation

- various theories
- found in marine sediments

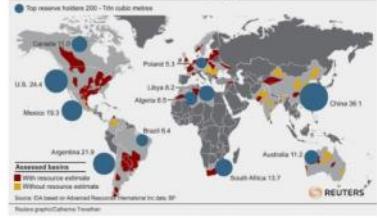
Composition:

- > 90% methane CH₄
- H₂O, He, ethane, propane, ...

Shale gas

<http://www.chiapaperpetrology.com/Preliminary.php>

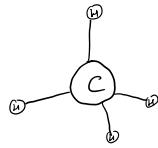
Global shale gas basins, top reserve holders



strukturbildend

Bindungen:

- 4 AußenElektronen
- 4 Bindungen (tetraedisch angeordnet)



Vorkommen:

Element: Graphit, Diamant, Fullerene (im Ruß)

Verbindung: Kohle, CO, CO₂, Kohlensäure, Carbonate (z.B.: Kalk CaCO₃)

Der meiste Kalk in den Kalkbergen ist entstanden aus Ablagerungen von kleinen Meerestieren. 1 Mil. Jahre Δ ca. 1 km Schicht

organische Verbindungen:

Alkohol, Citronensäure, Zucker, Aminosäuren, Fettsäuren, ...

Kohlenhydrate, Fette, Proteine, DNA, ...

Vorkommen:

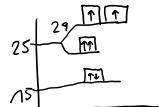
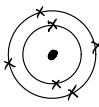
- Element: Graphit, Kohle, Diamant
- Verbindungen:
 - CO , CO_2
 - Erdgas (CH_4), Erdöl (CxH_{2x})
 - Organische Stoffe: Harnstoffe, Alkohole, Carbonatsäure, Zucker, Fett, Kohlenhydrate, Proteine, DNA/RNA, ...
 - Biomasse: Bakterien, Viren, Einzeller, Pilze, Pflanzen, Tiere, Menschen

Mensch besteht aus 4 Elementen: C, H, O, N
↓ | ↓ | ↓ |
Struktur Leben Bewegung Information

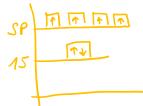
in Zelle

im Gewebe

Element C:



Sp-Hybrid
einfach besetzte
Orbitale
↓
4 Bindungen



tetraedisch
angeordnet

- Kohlenstoff ist in der Natur strukturbildend.
(bringt Struktur rein)

Der biogenen Theorie zur Erdölkentstehung gemäß ist **Erdöl** aus Meeresorganismen (Plankton) entstanden, die starben, absanken und auf dem Meeresboden von Sedimenten bedeckt wurden. Durch Absinken der Sedimente wurden diese organischen Materialien hohem Druck und hoher Temperatur ausgesetzt.

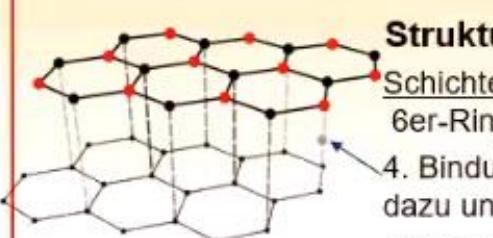
Entstehung: vor Millionen von Jahren:
Algen sterben (Plankton)
↓
sinken zu Boden des Meeres
↓
→ Sankt + Ton = Erdölmutter erken
↓
mit der Zeit immer mehr Schichten darüber
↓
hohe Temperatur: große Moleküle werden zusammengepresst
↓
Öl ist leichter → steigt nach oben
↓
Heute kann abgepumpt werden

Vorkommen: Saudi-Arabien, Russland, China, USA, Kanada



Graphit

Diamant

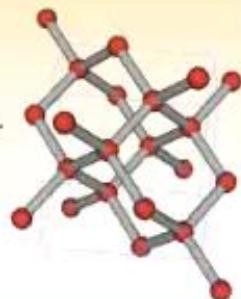


Struktur

Schichten:
6er-Ringe in Ebene,
4. Bindung rechtwinkelig
dazu und schwächer
dieses Elektron beweglich

Struktur

Atomgitter mit
Atombindung – Tetraeder
4 gleiche Bindungen



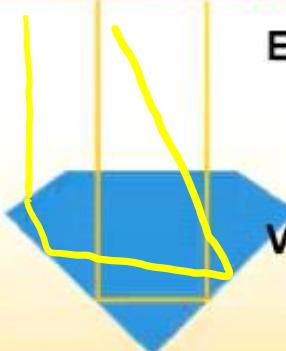
Eigenschaften

- schwarz, glänzend
- weich, spaltbar
- elektrisch leitend !

Verwendung

- Bleistift-Minen
- Elektrodenmaterial
- Schmiermittel
- Carbonfasern

htlkromsca 1 Mio t/Jahr, Welt



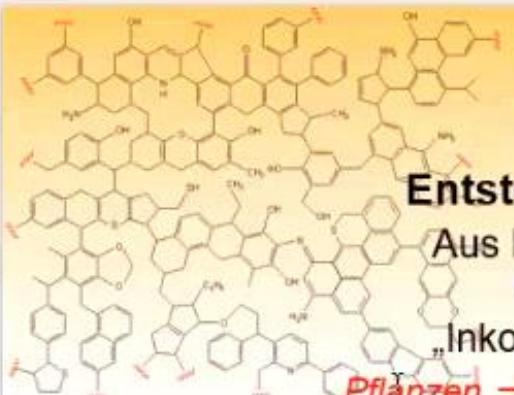
Eigenschaften

- durchsichtig, lichtbrechend
- hart, schwer spaltbar
- Nichtleiter

Verwendung

- Schmuck (Brillanten)
- Bohrkronen (Stein-, Glasbohrer), Trennscheiben
- Schleifmittel

Kohlenstoff



Kohle

Entstehung

Aus Pflanzen des Erdmittelalters

5 - 500 Mio. J.

„Inkohlung“:

Pflanzen → Holz → Torf → Braunkohle → Steinkohle/Anthrazit



Zusammensetzung

- Gemisch stark vernetzter meist ringförmiger Kohlenwasserstoffe

Verwendung

- Brennstoff
Verkehr, Kraftwerke, Heizen, Kochen
- Kohleentgasung (trockene Destillation)
→ Koks, Teer, Gaswasser, Gas (H_2 , CH_4 , CO)
- Kohlevergasung
Synthesegas: Kohle + Wasser
Produkte CO und H_2 als Grundstoffe für
organische Synthesen: Kunststoffe, Treibstoffe, brennendes Kohlebergwerk
Arzneimittel, H_2 für Ammoniak → Düngemittel



Kohlendioxid CO_2



Eigenschaften:

- ungiftig, erstickend
- unbrennbar
- Dichte größer als Luft



Verwendung

- „Kohlensäure“ in Getränken
- Schutzgas, Löschmittel
- Lösungsmittel

Vorkommen

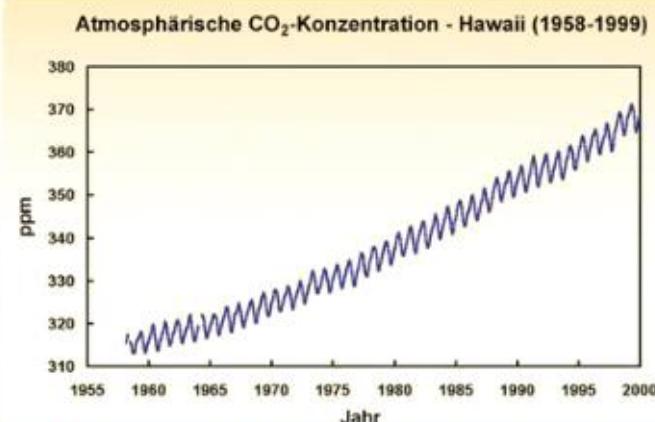
- Abgas bei Verbrennungen
Vulkane
- beim Kalkbrennen, *Zementherstellung*
- Endprodukt der Atmung – daher
auch bei *Gärung und Fäulnis*

Kohlendioxid CO₂

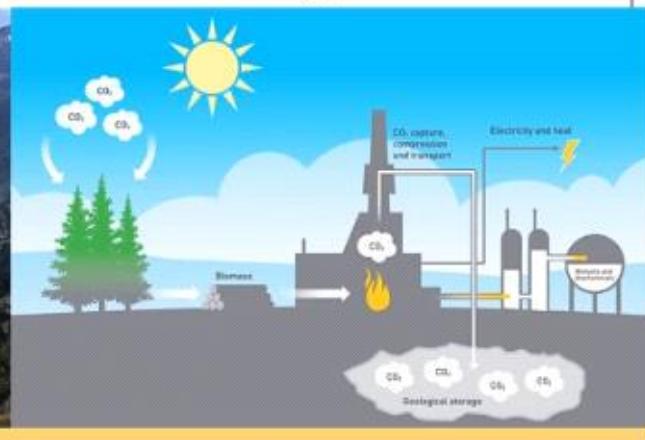


Bedeutung

- Treibhausgas
verringert Wärmeabstrahlung
- „Klimaveränderung“
Ende einer Kaltzeit
+ CO₂ aus Verbrennung von
Kohle und Erdöl

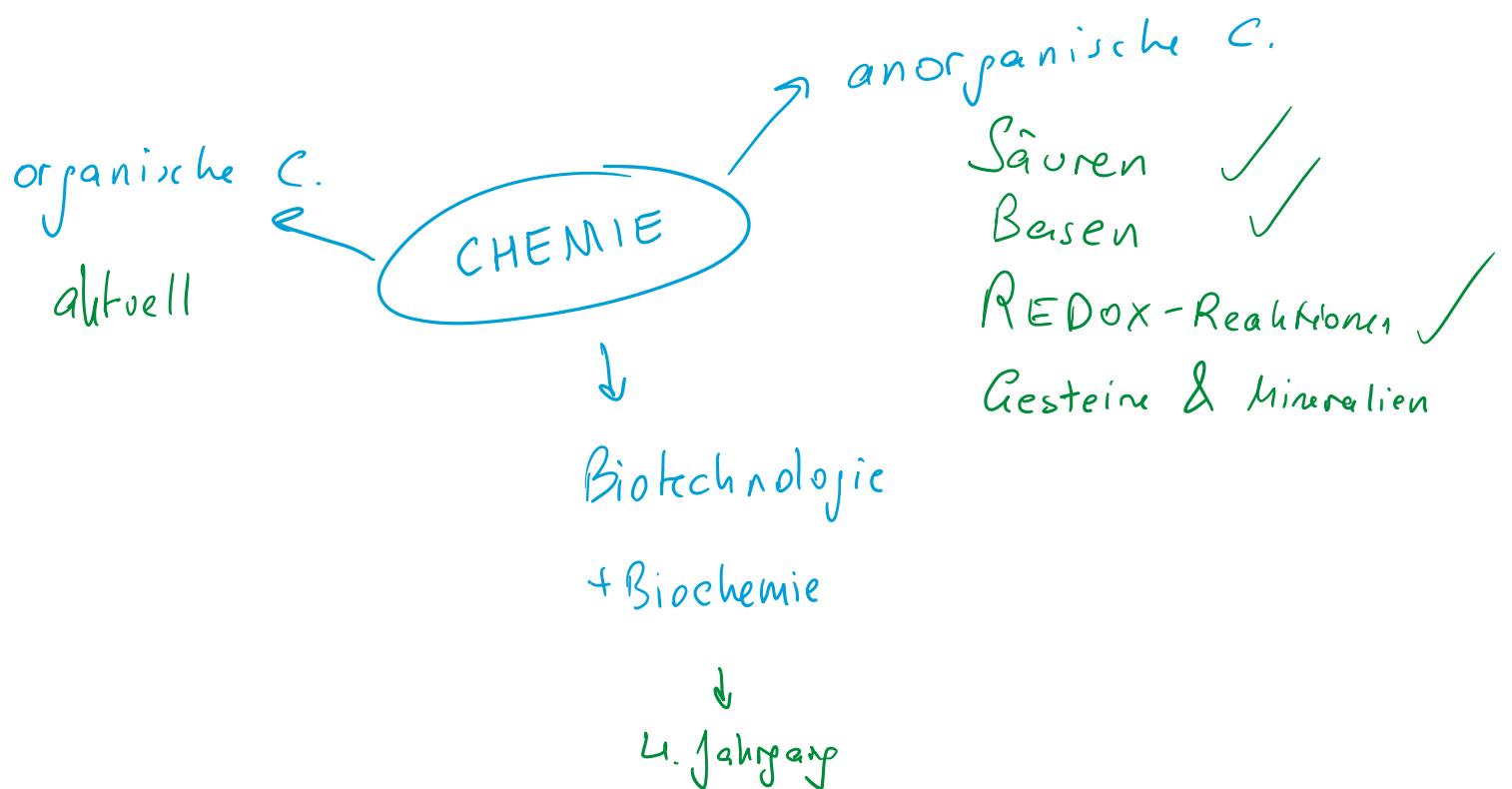


Bauerbach & H.



Übersicht Chemie

Dienstag, 6. April 2021 10:09



Periodensystem

Montag, 22. Februar 2021 09:21

Periodensystem der Elemente

1	1 1,0 H Wasserstoff	2											13	14	15	16	17	18
2	3 6,9 Li Lithium	4 9,0 Be Beryllium	5	6	7	8	9	10	11	12	13 10,8 B Bor	14 12 C Kohlenstoff	15 14 N Stickstoff	16 16 O Sauerstoff	17 19 F Fluor	2 4 He Helium		
3	11 22,9 Na Natrium	12 24 Mg Magnesium	3	4	5	6	7	8	9	10	13 26,9 Al Aluminium	14 28 Si Silicium	15 30,9 P Phosphor	16 32 S Schwefel	17 35,5 Cl Chlor	18 39,9 Ar Argon		
4	18 39,3 K Kalium	20 40 Ca Calcium	21 45 Sc Scandium	22 47,8 Ti Titan	23 50,9 V Vanadium	24 52 Cr Chrom	25 54 Mn Mangan	26 55,8 Fe Eisen	27 58,9 Co Cobalt	28 58,7 Ni Nickel	29 63,5 Cu Kupfer	30 65,4 Zn Zink	31 69,7 Ga Gallium	32 72,6 Ge Germanium	33 74,9 As Arsen	34 78,9 Se Selen	35 79,9 Br Brom	36 83,8 Kr Krypton
5	37 85,5 Rb Rubidium	38 87,6 Sr Strontium	39 89,0 Y Yttrium	40 91,2 Zr Zirkonium	41 92,9 Nb Niob	42 95 Mo Molybdän	43 97,9 Tc Technetium	44 101 Ru Ruthenium	45 102 Rh Rhodium	46 106 Pd Palladium	47 107 Ag Silber	48 112 Cd Cadmium	49 114 In Indium	50 118 Sn Zinn	51 122 Sb Antimon	52 127 Te Tellur	53 126,9 I Jod	54 131 Xe Xenon
6	35 133 Cs Caesium	56 137 Ba Barium	*	72 178,5 Hf Hafnium	73 180,9 Ta Tantal	74 183,8 W Wolfram	75 186 Re Rhenium	76 190 Os Osmium	77 192 Ir Iridium	78 195 Pt Platin	79 197 Au Gold	80 200 Hg Quicksilber	81 204 Tl Thallium	82 207 Pb Blei	83 209 Bi Bismuth	84 209 Po Polonium	85 210 At Astat	86 222 Rn Radon
7	87 223 Fr Francium	88 226 Ra Radium	**	104 261 Rf Rutherfordium	105 262 Db Dubnium	106 266 Sg Seaborgium	107 264 Bh Bohrium	108 269 Hs Hassium	109 268 Mt Meitnerium	110 273 Ds Darmstadtium	111 272 Rg Roentgenium	112 113 Cn Copernicium	114 115 Uut Ununtrium	116 117 Fl Flerovium	118 119 Uup Ununpentium	119 120 Lv Liverovium	117 118 Uus Ununoctium	118 119 Uuo Ununoctium
	57 138,9 La Lanthan	58 140 Ce Cer	59 140,9 Pr Praseodym	60 144 Nd Neodym	61 145 Pm Promethium	62 150 Sm Samarium	63 152 Eu Europium	64 157 Gd Gadolinium	65 159 Tb Terbium	66 162 Dy Dysprosium	67 165 Ho Holmium	68 167 Er Erbium	69 199 Tm Thulium	70 173 Yb Ytterbium	71 175 Lu Lutetium			
	89 227 Ac Actinium	90 232 Th Thorium	91 231 Pa Protactinium	92 238 U Uran	93 237 Np Neptunium	94 244 Pu Plutonium	95 Am Americium	96 Cm Curium	97 Bk Berkelium	98 Cf Californium	99 Es Einsteinium	100 Fm Fermium	101 Md Mendelevium	102 No Nobelium	103 Lr Lawrencium			

SMÜ 16.03.2021

Saturday, June 19, 2021 9:32 AM

smü	Elektrochemie	Name: Felix Schneider	Datum: 16.03	Klasse: 2AHIT
Wie funktioniert die Zn-Kohle-Batterie (Zn/Braunstein-Zelle)? Erkläre Entstehung und Verbrauch der Elektronen möglichst genau, mache auch eine Zeichnung. Welche Typen gibt es? 6P 3				
<p>seperator (Membran)</p>	$\text{Zn} \xrightarrow{\text{Ox.}} \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$; die Elektronen wandern zur Kohle; $\text{Cu}^{\text{II}} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$ (Kohle scheidet sich ab) So e^- wandert durch Membran zu Zn-Seite \rightarrow Ladungsausgleich (Zn-Kupfer-Batterie \rightarrow Alkalibatterie)	$\text{RED: } \text{Cu}^{\text{II}} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$		
Wie verhalten sich Metalle in Metallsalz-Lösungen? 2P 1 Sie lösen sich langsam auf; gleichzeitig scheiden sich ebensoviiele Ionen ab (bilden Schicht auf Metall) (matt) verbleibende!				

Name: Felix Schneider Klasse: 2AH1T Datum: 3.5.21

1, Gib jeden zweiten Vertreter der homologen Reihe an (Name und Summenformel) und gib auch an, ob der Siedepunkt mit steigender Molekülgröße steigt oder fällt. (12P)

Metan (CH_4), Propan (C_3H_8), Pentan (C_5H_{12}),
Heptan (C_7H_{16}), Nonan (C_9H_{20}) /

Siedepunkt fällt mit steigender Molekülgröße.

10P

2, Ergänze die Summenformel/Strukturformel/Skelettformel. (8P)

Summenformel	Strukturformel	Skelettformel
$\text{C}_4\text{H}_7\text{OF}$ ✓		
$\text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH}$ ✓		
C_3H_8		
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ✓		

75P

Bonusfrage: Wieso entsteht Erdöl nicht an der Erdoberfläche? (1P)

weil nicht genug Druck entsteht auf

Berechung Note

Freitag, 26. November 2021 14:11

$$\begin{array}{r} \text{Testpunkte + Mitarbeit} \\ \hline 3 \\ \hline 20 \\ \\ \text{Testpunkte + Mitarbeit} \\ \hline 30 \end{array}$$

Test.docx

Dienstag, 12. Oktober 2021 20:49



- 1) Berechne die Masse eines Federpendels, wenn die Federkonstante $50 \frac{N}{m}$ beträgt und die Feder sich 8-mal in 2 Sekunden auf und ab bewegt (3P)!

$$\begin{aligned} k &= 50 \frac{N}{m} & \text{ges: } m \\ f &= 4 \text{ Hz} \\ m &= \frac{50}{(2 \cdot \pi \cdot 4)^2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{TI: } m &= 0,079 \dots \text{ kg} \\ m &\approx 79 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\text{Formel: } f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$\sqrt{\frac{k}{m}} = 2\pi f$$

$$\frac{k}{m} = (2\pi f)^2$$

$$\begin{aligned} k &= (2\pi f)^2 \cdot m \\ m &= \frac{k}{(2\pi f)^2} \end{aligned}$$

- 2) Was sind Harmonische Schwingungen (1P), gibt mind. zwei Beispiele an (1P)!

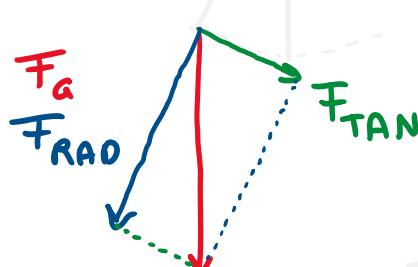
Schwingungen, die sich durch

- Sinus darstellen lassen
- Rückskillgröße haben
- Schematisiert durch rotierendem Zeiger

Fadenpendel
Federpendel
Schaukel

- 3) Zeichne die Skizze eines Kräfteparallelogramms ca. maßstabsgerecht, wenn $\varphi_0 = 20^\circ$, $l = 5\text{cm}$ und $m = 0,5\text{kg}$ betragen (3P)! Gibt die Größen F_{RAD} und F_{TAN} an (2P)!

$0,5\text{kg}$



$$F_{RAD} = -m \cdot g \cdot \cos(\varphi)$$

$$F_{RAD} = -0,5 \cdot 9,81 \cdot \cos(20)$$

$$\text{TI: } F_{RAD} = -4,609 \dots \text{ cm}$$

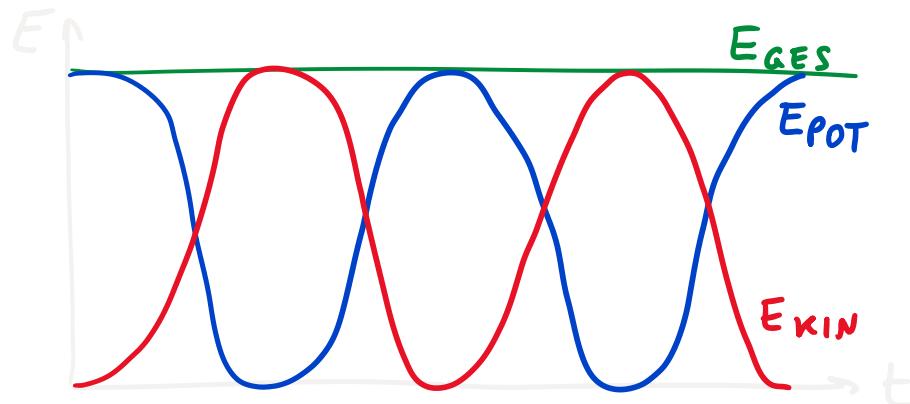
$$F_{TAN} = -m \cdot g \cdot \sin(\varphi)$$

$$F_{TAN} = -0,5 \cdot 9,81 \cdot \sin(20)$$

$$\text{TI: } F_{TAN} = -1,677 \dots \text{ cm}$$

$$(F_a = -4,905 \text{ cm})$$

- 4) Zeichne alle drei Energien eines reibungsfreien Pendels (Zahlen egal) (2P). Welche Energie(n) werden umgewandelt in andere Energie(n) (1P)?



E_{POT} wird in E_{KIN} umgewandelt.

Zusatzfrage:

War der Test schwer (1P)?

Ja!

VIEL SPASS!

13-12P: Sehr gut; 11-10P: Gut; 9-8P: Befriedigend; 7-6P: Genügend; <5P: Nicht genügend

Punkteschlüssel:

- 1)
 - 1P Umformung Formel
 - 1P Frequenz herauslesen
 - 1P richtig Berechnen
- 2)
 - 1P Erklärung (mind. 2 der 3 Aufzählungspunkte)
- 3)
 - 1P g_0 ca. richtig ($10^\circ - 40^\circ$)
 - 1P Länge ca. richtig (3cm - 7cm)
 - 1P F_a ca. richtig (2cm - 7cm)
 - 1P F_{RAD} (ACHTUNG: DEG
nicht: RAD)
- 4)
 - 1P E_{GES} richtig
 - 0,5P E_{ROT} richtig (nicht vertauschen)
 - 0,5P E_{KIN} richtig

0,5P E_{KIN} richtig verstauschen)

+ 1P Zusatzfrage

Name: Felix Schneider Klasse: 3AHIT Datum: 14.10

1. Test

1851 glaubt Foucault, dass sich die Erde dreht. Um dies zu zeigen, baut er ein Riesenpendel (Foucaultsches Pendel) mit Länge 67m und Masse von 28 kg.

a, Berechne Frequenz f und Periodendauer T. Gib auch die dazugehörigen Einheiten an. (8P)

$$\text{FAP: } f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{l}} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{9,81}{67}} = 0,0608 \dots \text{ Hz } (\frac{1}{s})^{20}$$

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{0,06} = 16,420 \dots \text{ s} \quad [P] = \frac{1}{s} \quad 8P$$

A: Das Fadenpendel schwingt 1 mal alle 16,42 Sekunden. $[T] = \text{s}$

b, Foucault hebt das Pendel auf 3 m an und lässt es los. Berechne die Auslenkung nach 200 Sekunden. Gib auch die dazugehörigen Einheiten an. (6P)

$$y(0) = 3 \text{ m} \quad y(200) = ? \quad t = 200 \text{ s} \quad y(t) = y(0) \cdot \sin(\omega \cdot t + \frac{\pi}{2})$$

$$y(\infty) = 3 \cdot \sin(2\pi \cdot 0,06 \dots \cdot 200 + \frac{\pi}{2}) = 1,277 \dots \text{ m} \quad [y] = \text{m}$$

c, Zeichne ein Diagramm in welchem die Gesamtenergie des Pendelvorgangs sowie der Zusammenhang von kinetischer und potenzieller Energie veranschaulicht wird (es tritt keine Dissipation auf). Beschrifte auch die Achsen mit den dazu passenden Einheiten. (8P)

$(E_{\text{pot}} = +m \cdot g \cdot h = \text{kg} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot \text{m})$
 $(E_{\text{kin}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \text{kg} \cdot (\frac{\text{m}}{\text{s}})^2)$

Epot wird in Ekin umgewandelt. $8P$

d, Nachdem das Pendel 3 Tage lang geschwungen ist, wird deutlich, dass sich die Amplitude verringert hat. Warum? (2P)

Wegen der Abklingkonstante \cdot Zeit, je mehr Zeit vergeht, desto schwächer schwingt das Pendel. $2P$
 Minus vor Abklingkonstante!

e, Begründe weshalb der Versuch von Foucault nicht mit einem Federpendel möglich wäre, welches als Masse ein 2 m langes und 0,3 m breites Holzstück aufweist. (6P)

weil ein Federpendel er

- 1) Gravitation nicht berücksichtigt $24P$
- 2) nicht hin und her schwingt und man so nicht sehen kann, dass das Pendel in andere Richtung schwingt.

Bonusfrage: Begründe warum Popcorn in der Mikrowelle poppt. (1P)

Wellen treffen auf Popcorn; Popcorn - op Seite 1 von 1
 Elektron springt auf höhere Ebene; springt irgendwann wieder zurück \rightarrow gibt Photon ab \rightarrow vielleicht hört man das? ;)

$$X > 0,9199$$

$$0,78 - 0,9199$$

$$0,64 - 0,7799$$

$$0,501 - 0,6399$$

$$X < 0,501$$

$$\rightarrow \frac{24}{30} = 0,8 \rightarrow \underline{\text{Gut}}$$

Test, am 14.01.2022

Donnerstag, 20. Januar 2022 08:58

Name: Felix Schneider Klasse: 3AH1T Datum: 14.1.2022

2. Test

1. Welche 2 Bauteile werden benötigt, um eine Spannung zu induzieren? (4P)

Magnet, Leiter (z.B.: Spule) 4P
(wenn kein zusätzliches Teil: Wechselspannung, weil Rotation)

2. Wie kann diese induzierte Spannung in Bezug auf die Elektronen erklärt werden? Nennen auch welche Kraft, bei der EM-Induktion, auf die Elektronen wirkt. (4P)

die Elektronen bewegen sich aufgrund der Lorentzkraft 2P
 $F = q \cdot v \cdot B$ $F = l \cdot I \cdot B$ Wenn sich ein Elektron zeitliche Änderung der Flussdichte 2P

3. Stelle den charakteristischen Funktionsverlauf einer Wechselspannung schematisch dar und begründe, wieso diese ihre charakteristische Form annimmt. Um welchen Funktionstyp handelt es sich? (7P)

SINUSKURVE (Trigonometrie) 2P
der Nordpol ist je nach Phasenwinkel/Zeit weiter weg von der Spule 2P
(dadurch variiert U von +U- und -U+) 4P

4. Erkläre anhand der Elektronenbewegung inwiefern sich Wechsel- von Gleichspannung unterscheidet. (4P)

Wechselspannung = Elektronen sammeln sich bei einem Pol (von - zu +) und wechseln dann Flussrichtung 4P
Gleichspannung = e^- fließen immer in gleiche Richtung (U ist konstant) 1P

5. Nenne den Unterschied zwischen Stromstärke I und Spannung U? Gib auch die Einheiten dieser Größen an. (4P)

volt [U] V: Potenzialdifferenz zwischen Polen (+/-) 4P
Ampere [I] A: (Anzahl an) Elektronen; Stärke der Elektronenströmme je größer, desto mehr Platz brauchen 1P

6. Begründe wieso Hochspannungsleitung statt von Hochstromleitungen verbaut werden. (4P)

Hochstrom: NT: viel zu schwer, weil Elektronen mehr Platz brauchen 1P

Hochspannung: sind nicht so schwer mit Transformatoren Spannung / Stromstärke variabel ($P=U \cdot I$) 1P

7. Auf welcher physikalischen Grundlage basieren Induktionsöfen und erkläre, weshalb es zu einer Erwärmung kommt. (3P)

(elektrische Energie \rightarrow Wärme.)

Wirbelströme (Rotationsbewegung d. e^-) 2P
es wird Strom (Spannung) induziert in einer Spule, diese erzeugt ein Magnetfeld. Die Energie (Verlust) ist in Form von Wärme.

Bonusfrage: Begründe, weshalb Wolken schweben. (1P)

weil Dampf leichter ist als Luft 2P or

Teststoff

Donnerstag, 23. Dezember 2021 08:44

Elektrisches Feld + | -

Magnetfeld

stromdurchflossener Leiter

3/4 Formeln

Elektromagnet

Lorentzkraft $F = Q \cdot v \cdot B$

Leiterschakel



Magnet in Spule \rightarrow Strom

Dreiphasenwechselstrom (Windrad) (Generator)

Elektromotor

Lenz'sche Regel

Wirbelströme (Metall schmelzen, Essen warm machen)

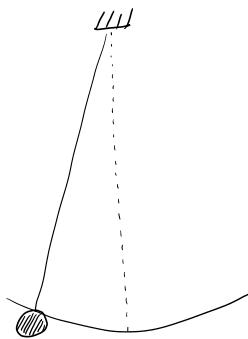
Transformator

$$(P = U \times I)$$

$$\frac{10}{1} \frac{10 \times 1}{1 \times 10}$$

Hochspannungsleitung
Hochstromleitung

Fadenpendel

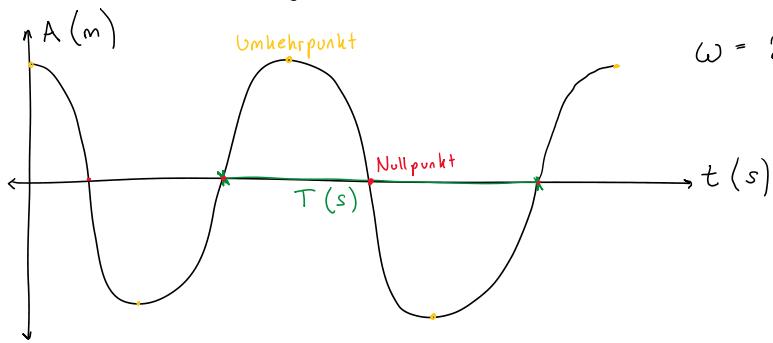


V	$l\text{ (m)}$	$m\text{ (kg)}$	$\tau\text{ (s)}$
1	0,47	0,5	1,43
2	0,17	0,5	1,05
3	0,47	0,1	1,40
4	0,17	0,1	1,00

$$\rho = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{g}{l}}$$

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

Eigenfrequenz ρ (Hz) beim Fadenpendel ist abhängig von Längen $l\text{ (m)}$ und Fallbeschleunigung $g\text{ (m/s}^2)$ jedoch nicht von der Masse $m\text{ (kg)}$.



$$\omega = 2\pi\rho$$

→ Zusammenhang zwischen Eigenfrequenz ρ (gibt an wie oft das Pendel pro Zeiteinheit schwingt) und Kreisfrequenz ω (überstrichener Phasenwinkel pro Sekunde)

ω ... Kreisfrequenz



Pendelrechnung:

$$l = 14\text{ m}$$

$$\rho = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{10\frac{1}{s^2}}{14\text{ m}}} = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{1,4\frac{1}{s^2}}$$

$$\rho = 0,13\text{ Hz} \stackrel{!}{=} 0,13\frac{1}{s}$$

$$[\text{Hz}] = \frac{1}{s}$$

Federpendel

abhängig von:

- Federkonstante
- Masse

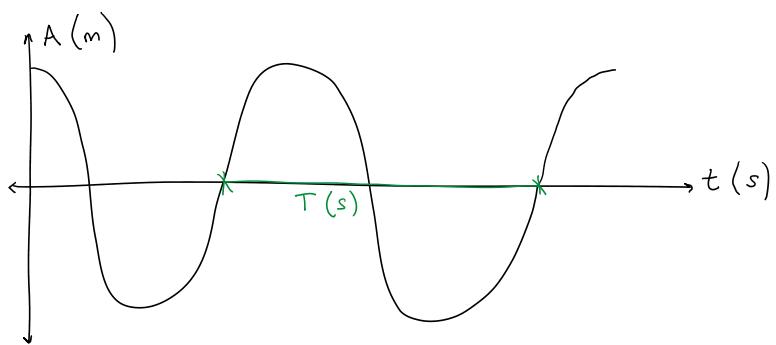
verz

verz
iteinheit)

$$\rho = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}} \quad [k] = \frac{N}{m} \quad \leftarrow$$

	$y \text{ (cm)} [t(y)] = s$	$m \text{ (kg)} [t(m)] = s$
F1	klein 0,9	0,5 0,9
F1	groß 0,9	1 1,2
F2		0,5 0,45
F2		1 0,6

Die Eigenfrequenz ρ in Hz ist abhängig von der Federkonstante k in $\frac{N}{m}$ und der Masse m in kg, jedoch nicht von der Gravitation g in $\frac{m}{s^2}$.



$$k = 400 \frac{N}{m}$$

$$m = 1 \text{ kg}$$

$$\rho = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{400 \frac{N}{m}}{1 \text{ kg}}}$$

$$\rho = \frac{1}{2\pi} \cdot 20 = \frac{10}{\pi} \approx \underline{\underline{3 \text{ Hz}}}$$

$$\sqrt{\frac{N}{m \cdot \text{kg}}} = \sqrt{\frac{\text{kg} \cdot m}{s^2 \cdot m \cdot \text{kg}}} = \sqrt{\frac{1}{s^2}} = \frac{1}{s}$$

$$T = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{3} \underline{\underline{s}}$$

Harmonischer Oszillator

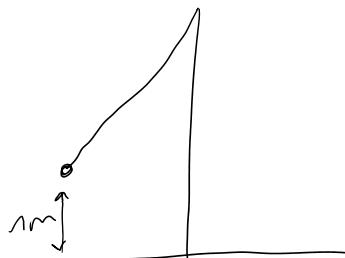
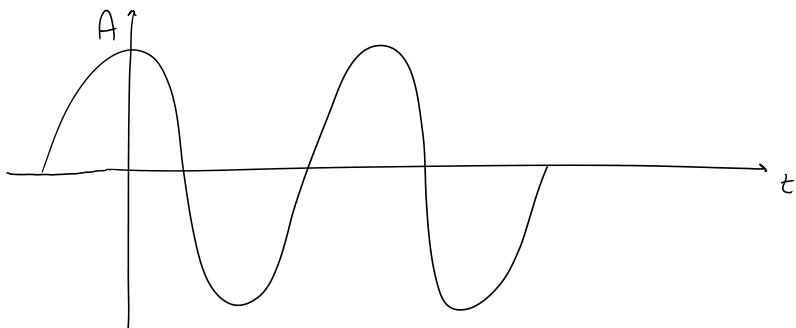
$$\Delta F = k \cdot \Delta x$$



Alle von uns besprochenen Schwingungen sind harmonisch

- sinusförmig ←
- lineare Rückstellgröße (keine Quadrate) k nicht k^2 ←
- können mit rotierendem Zeiger schematisch werden ←

$$\sin(\alpha)^2 + \cos(\alpha)^2 = 1$$



$$y(+)=y_0 \cdot \sin\left(\omega \cdot t + \frac{\pi}{2}\right)$$

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

$$y(10) = 1 \cdot \sin\left(2\pi \cdot 0,19 \cdot 10 + \frac{\pi}{2}\right)$$

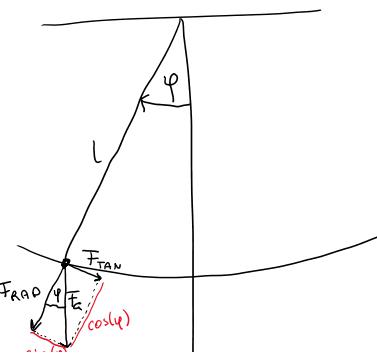
$$y(10) = 0,809 \dots \text{m}$$

Kraftansatz des Pendels

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

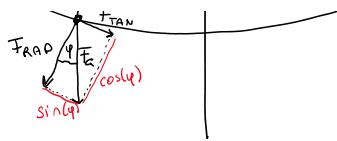
$$\vec{F} = m \cdot \vec{g}$$

$$F_{\text{RAD}} = -m \cdot g \cdot \cos(\varphi)$$



$$F_{RAD} = -m \cdot g \cdot \cos(\varphi)$$

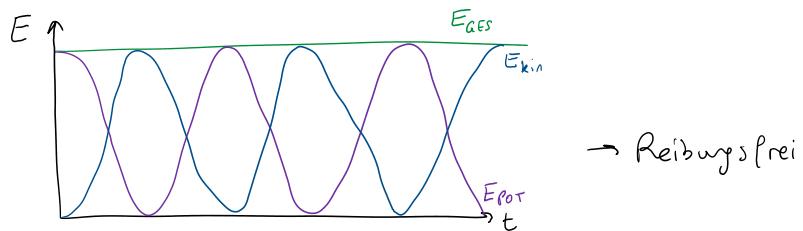
$$F_{TAN} = -m \cdot g \cdot \sin(\varphi)$$



Gedämpfte-, Erzwungene- und Resonanzschwingungen



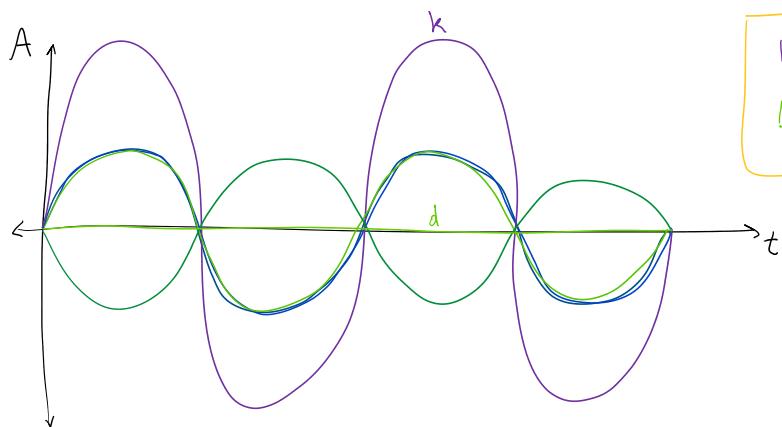
◦ Schwingung und Energie



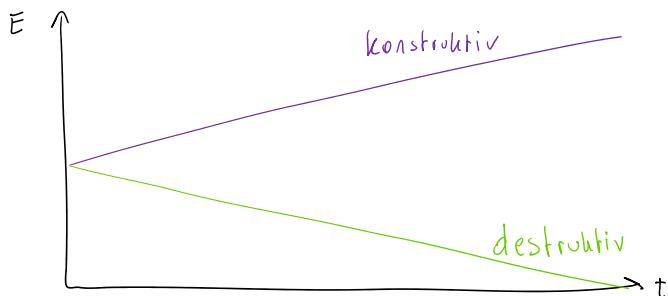
Bei schwingfähigen Systemen muss es eine Energieumwandlung geben. ↙

Beim Beispiel der Pendel wird E_{POT} in E_{KIN} umgewandelt.

Konstruktiv und Destruktiv

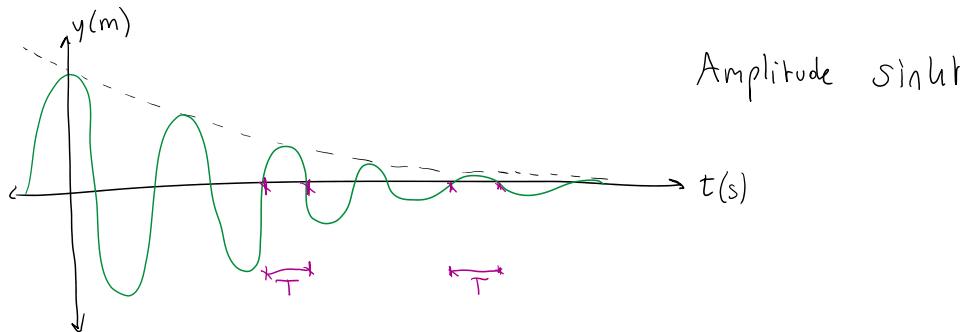


Konstruktiv = hell + dunkel
Destruktiv = hell + dunkel



gedämpfte Schw. → nicht reibungsfrei

Schwingungsenergie dissipiert (geht verloren) an die Umgebung, dadurch sinkt auch die Amplitude mit der Zeit.



$$y(t) = e^{-k \cdot t} \cdot A \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi_0)$$

$$y(t) = y(0) \cdot e^{(-\delta \cdot t)} \cdot \sin(\omega_0 \cdot t + \varphi_0)$$

δ = Abklingkonstante

ω = Kreisfrequenz

geg: $y(0) = 1 \text{ m}$ ges: $y(t)$

$$\delta = 2 \frac{1}{s}$$

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

$$\omega = 3 \frac{1}{s} \quad y(10) = 1 \cdot e^{-2 \cdot 10} \cdot \sin\left(3 \cdot 10 + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$y(10) = 3,179\dots \cdot 10^{-10}$$

Teststopp:

alles, bis jetzt - alle Formeln

wichtig: Pendel \circlearrowleft

Amplitude

Energie einzeichnen

Kraftansatz

Lissajous Figuren

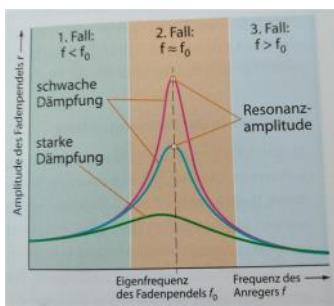
Erzwungene Schwingung

Bei realen Schwingungen tritt immer Dissipation auf! Falls sie doch aufrechterhalten werden soll muss laufend Energie zugeführt werden. Dann spricht man von sogenannten erzwungenen Schwingungen.

Experiment Pendel anregen mit der Hand (Federpendel)

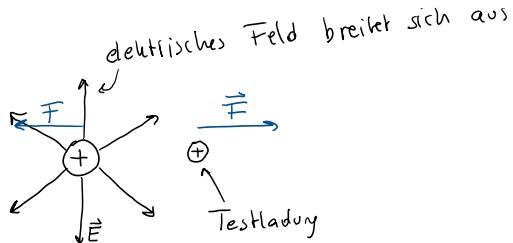
Resonanzkurve

Die Form der Resonanzkurve hängt von der Dämpfung des Pendels ab. Bei großer Dämpfung ist die Funktion niedriger, aber breiter. Wenn die Anregungsfrequenz gleich der Eigenfrequenz des Pendels ist, wird die Amplitude immer größer. Man spricht von der sogenannten Resonanzkatastrophe.



Die Elektromagnetische Wechselwirkung ist verantwortlich für die meisten alltäglichen Phänomene wie Licht, Elektrizität und Magnetismus.

Elektrisches Feld



Ein elektrisches Feld wird von einer Ladung erzeugt.
Wenn jetzt eine 2te Ladung, in dieses Feld gebracht wird, erfährt diese eine Kraft. Diese Kraft F ist proportional zur Anzahl an Ladungen und zur herrschenden elektrischen Feldstärke E .

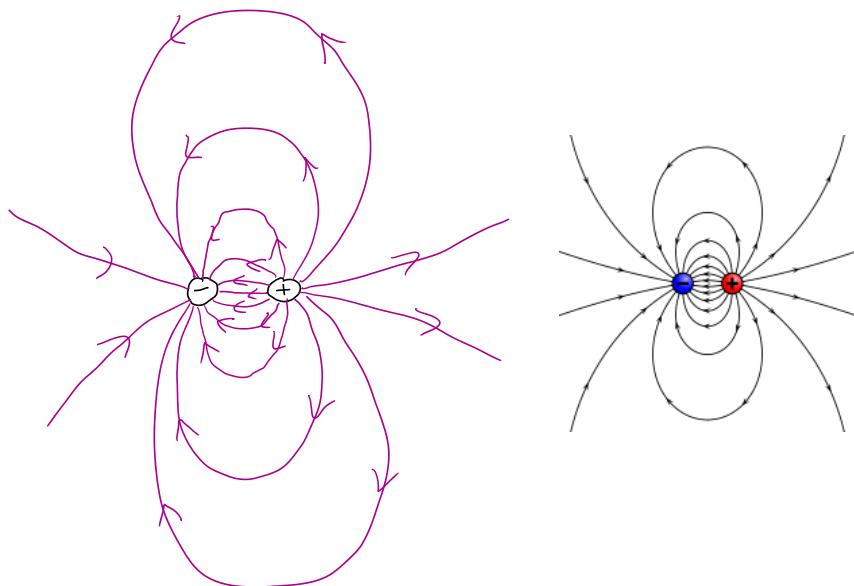
$$E = \frac{F}{q} \quad F = E \cdot q$$

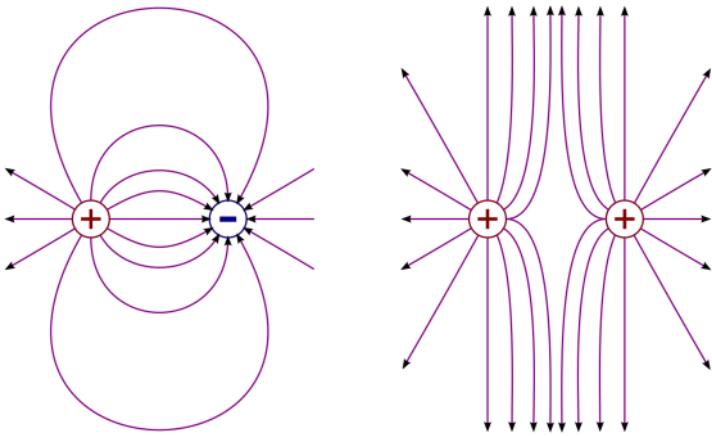
$$[E] = \frac{V}{m}$$

$$[q] = C$$

$$[F] = N$$

E und F sind Vektoren.





- Je mehr Feldlinien in einem Flächenelement vorhanden sind, desto größer ist die resultierende Kraft
- Feldlinien schneiden einander nicht
- Elektrische Feldlinien gehen immer vom positiv geladenen Pol zum Negativen
- Elektrische Feldlinien stehen normal auf die Oberfläche
- Feldstärken mehrerer elektrischer Felder überlagern einander durch vektorielle Addition

Coulomb-Gesetz

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

$F [N]$

ϵ_0 ... elektrische Feldkonstante $(8,854 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm})$

Q ... Ladung $[C = As]$

r ... Radius $[m]$ Coulomb

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

$$Q(e^-) = 1,6 \cdot 10^{-19} C$$

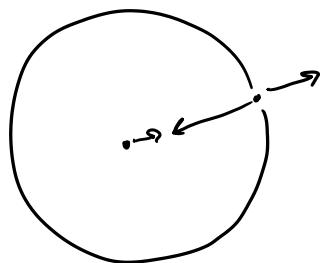
$$F = \frac{1}{4\pi \cdot 8,8 \cdot 10^{-12}} \cdot \frac{Q(e^-) \cdot Q(p^+)}{(10^{-10} m)^2}$$

$$Q(p^+) = 1,6 \cdot 10^{-19} C$$

$$F = \frac{1}{4\pi \cdot 8,8 \cdot 10^{-12}} \cdot \frac{-(1,6 \cdot 10^{-19})^2}{(10^{-10} m)^2}$$

$$F = \frac{1}{10 \cdot 1 \cdot 10^{-11}} \cdot \frac{-(1 \cdot 10^{-19})^2}{(10^{-10})^2}$$

$$F = \frac{1}{10^{-10}} \cdot \frac{-10^{-38}}{10^{-20}} = \underline{\underline{-10^{-8} \text{ N}}}$$



Rückenergie:
-13,6 eV

Wie groß in Vergleich zu Gravitation?

$$\begin{aligned} F &= G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \\ F &= 6,7 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{10^{-31} \cdot 10^{-28}}{(10^{-10})^2} \\ F &= 10^{-10} \cdot \frac{10^{-31} \cdot 10^{-28}}{10^{-20}} \\ F &= 10^{-10} \cdot \frac{10^{-59}}{10^{-20}} = \frac{10^{-69}}{10^{-20}} = \underline{\underline{10^{-49} \text{ N}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m(e^-) &= 10^{-31} \text{ kg} \\ m(p^+) &= 10^{-28} \text{ kg} \end{aligned}$$

Gravitation viel kleiner als Kraft (Betrag)

Arbeit & Kraft im elektrischen Feld

$$W = F \cdot s = E \cdot q \cdot s = \frac{V}{m} \cdot C \cdot m = V \cdot C$$

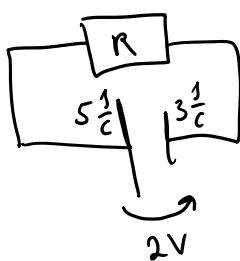
(J) (N)(m) ($\frac{V}{m}$) (C)(m)

↑ Volt ↑ Coulomb

$$U = \Delta \phi = \phi_2 - \phi_1$$

↑ Spannung ↑ Potential ↓

$$V = \frac{U}{C}$$



Daraus kann das Potenzial ϕ erhalten werden. Dieses beschreibt die Energie pro Ladung. Die Potenzialdifferenz zwischen zwei Punkten wird elektrische Spannung U genannt.

beschreibt alle Energieformen
zwischen zwei Punkten wird elektrische Spannung U genannt.

$$[V] = V = \frac{J}{C}$$

$$[\Phi] = V = \frac{J}{C}$$

↑
Phi

Gleichstrom

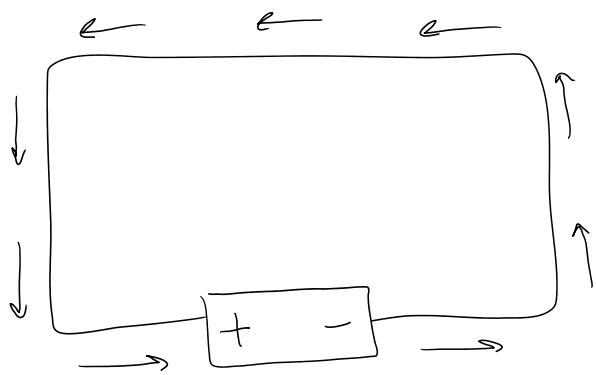
Plus und Minuspol wechseln nicht Position.

Wechselstrom

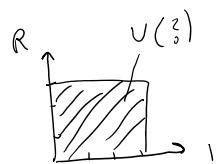
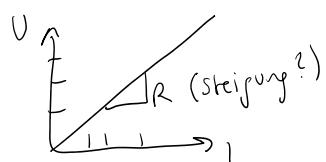
Plus und Minuspol wechseln mit Frequenz f Position.

Stromkreis

Energie wird NICHT verbraucht, sondern nur umgewandelt (z.B.: Elektrische in Mechanische)



$$U = R \times I$$



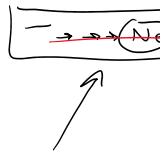
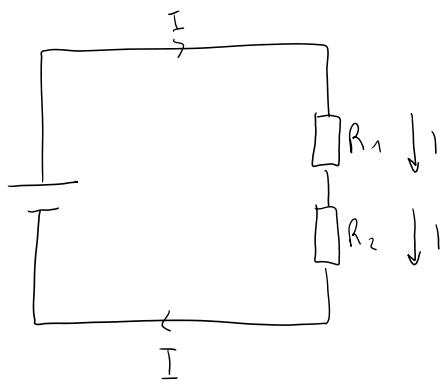
$$P = U \times I$$

$$P = U^2 / R$$

Serienschaltung

mechanische)

Reihenschaltung



Anwendungen: Lichterkette, Spule, Transistor, Dioden, Gasentladungslampen

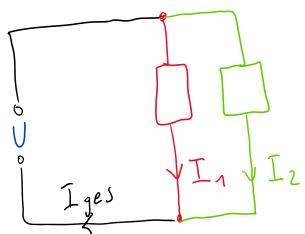
$$R_{Ges} = \sum_{n=1}^N R_n$$

$$U_{Ges} = \sum_{n=1}^N U_n$$

$$I_{Ges} = I_n$$

Parallelschaltung

Die Bauteile sind nebeneinander. Elektronen können sich aufteilen.



Anwendungen: Sicherungskästen, Stromkreise mit Batterien

$$U_{Ges} = U_n$$

$$I_{Ges} = \sum_{n=1}^N I_n$$

$$R_{Ges} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{\prod_{n=1}^N R_n}{\sum_{n=1}^N R_n}$$

→ +
kaputt

Joule'sche Wärme

↳ Wenn elektronische Energie in Wärmeenergie umgewandelt wird.

Warum werden Batterien heiß?

Der durch den Leiter fließende elektrische Strom (genauer die Elektronen) wechselwirken mit den Atomen des Metallverbands. Durch diese Wechselwirkung verlieren die Elektronen Energie, (genauer wandeln sie um) und erwärmen so das Bauteil.

Magnetismus

μ ... Feldstärke

B ... Flussdichte

μ ... Verstärkungsfaktor

$$B = \mu \times H$$

Ferrormagnete: Verstärken stark $\varphi >> 1$

Paramagnete: Verstärken bisschen $\varphi > 1$

Diamagnete: Vermindern $\varphi < 1$

2.1 Elektrisches Feld SUSSkript.docx

Freitag, 5. November 2021 15:58



Arbeit und Kraft im elektrischen Feld

Wird eine Ladung Q im elektrischen Feld E um die Strecke s verschoben, so wird die Kraft F benötigt.

Dies kann man aus dieser Formel ersehen:

Daraus lässt sich die _____ erhalten. Dies beschreibt die _____.

Die Potentialdifferenz zwischen zwei Punkten wird _____ genannt.

Dies kann aus dieser Formel ersehen werden:

Kondensator (Kondensator)

Theorie: Kondensatoren werden verwendet, um _____ Energie zu speichern. Sie sind auch ein zentraler Bestandteil eines jeden Handys. Sie können aufgeladen werden, wenn sie an eine --- _____ Stromquelle angeschlossen werden. Der Ladevorgang dauert so lange, bis das Potential zwischen den Platten _____ dem Potential der Stromquelle entspricht.

Die Kapazität C gibt an, wie viel _____ bei einer bestimmten _____ in einem Kondensator gespeichert werden kann.

Mathematik: Dies lässt sich aus diesen Formeln ablesen:

Die maximale Energie, die ein Kondensator aufnehmen kann, ist definiert als:

Zeit für ein Beispiel. Berechnen Sie die Kapazität eines Kondensators, wenn bei einer Spannung U von 10 V eine Ladungsmenge Q von 100000 As gespeichert werden kann. Wie viel Energie kann daraus gewonnen werden?

Bewegte Ladungen (elektrischer Strom)

Theorie: Was ist elektrischer Strom? Der elektrische Strom, oft auch nur Elektrizität genannt, ist ein physikalisches Phänomen der Elektrizitätslehre. In der alltäglichen Bedeutung des Begriffs bedeutet er den Transport von elektrischen Ladungsträgern, zum Beispiel von Elektronen in Leitern oder Halbleitern oder von Ionen in Elektrolyten.

Mathematik: Dies lässt sich an dieser Formel ablesen:

Gleichstrom DC

Positiver und negativer Pol wechseln nicht Position.

Wechselstrom AC

Position des positiven und negativen Pols wechselt mit
Frequenz f.

Stromkreise

Da wir nun wissen, was elektrischer Strom ist, ist es an der Zeit, über Stromkreise zu sprechen. Zunächst einmal wird KEINE Energie verbraucht, sondern nur (z. B.:). Ein typischer Stromkreis sieht wie folgt aus:

Für Stromkreise gibt es zwei sehr wichtige Gesetze:

Reihenschaltung (Serien-, Reihenschaltung)

Theorie: Die Bauteile sind in der Schaltung _____ angeordnet. Eine klassische Reihenschaltung sieht zum Beispiel so aus:

Der Strom I ist für alle N Bauteile der Reihenschaltung gleich. Die Spannung wird auf die einzelnen Bauteile verteilt. Die Summe der Teilspannungen ist gleich der Gesamtspannung (Bezug zur Mathematik). Doch wie misst man Strom und Spannung in einer Reihenschaltung?

Anwendung: Lichterkette, Spulen, Transistor, Dioden, Gasentladungslampen,

Mathematik:

Es gibt eine Reihenschaltung mit den folgenden Abmessungen:

U=10 V

R1= 100 Ω

R2= 200 Ω

Berechnen Sie den Spannungsabfall nach jedem Widerstand, den Stromfluss nach jedem Widerstand und die Systemleistung.

Parallelschaltung (Parallelschaltung)

Theorie: Die Bauteile werden _____ in der Schaltung angeordnet.

Eine klassische Parallelschaltung sieht zum Beispiel so aus:

Die elektrische Spannung U ist für alle Zweige gleich. Der Strom I wird auf die einzelnen Zweige verteilt. Die Summe der Teilströme ist gleich dem Gesamtstrom. (Hinweis auf die Mathematik). Aber wie misst man Strom und Spannung in einer Parallelschaltung?

Anwendung: Sicherungskasten, Stromkreise mit Batterien

Mathematik:

Es gibt eine Parallelschaltung mit den folgenden Abmessungen:

$$U=10 \text{ V}$$

$$R_1= 100 \Omega$$

$$R_2= 200 \Omega$$

Berechnen Sie den Spannungsabfall nach jedem Widerstand, den Stromfluss nach jedem Widerstand und die Systemleistung.

Leistung von Schaltkreisen

Um Wasser von 0 auf 100 °C zu erhitzen, sind etwa 418,7 kJ/kg erforderlich. Berechnen Sie, welche Stromstärke ein Wasserkocher haben muss, um eine Wassermasse von 5 kg bei einer Spannung von 220 V in 2 Minuten von 0 auf 100 °C zu erhitzen. Berechnen Sie auch den Widerstand der Heizschlange.

Joule'sche Wärme

Warum erwärmen sich elektrische Geräte, wenn sie eingeschaltet werden?
Jedes Metall enthält ein _____. In diesem Elektronengas hat jedes Elektron eine bestimmte Energie, die durch „Stöße“ auf die Metallatome übertragen wird. Dadurch verlieren die Elektronen im Widerstand oder im Bauteil Energie, was zu einer _____. Die elektrische Energie verpufft also in Form von _____. Daher erwärmt sich das Bauteil. Dies geschieht bei jedem elektronischen Bauteil.

Übersetzt mit www.DeepL.com/Translator (kostenlose Version)



Magnetism

Magnetische Feldlinien sind im Gegensatz zu den Feldlinien des elektrischen Feldes geschlossen.

Daher wird das magnetische Feld als **Wirbelfeld** und das elektrische Feld als Quellenfeld bezeichnet.

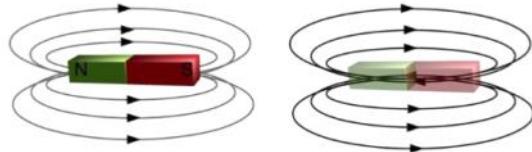
Im Allgemeinen gibt es zwei relevante Größen in diesem Bereich. Die magnetische Flussdichte B (mit der Einheit _____) und die magnetische Feldstärke H (mit der Einheit _____). Wir werden diese beiden Größen im Rahmen dieses Kurses als Synonyme betrachten, da sie miteinander verbunden sind durch

$$\text{B} = \mu \cdot H$$

zusammenhängen und somit ineinander umrechenbar sind. μ bezeichnet hier die magnetische Feldkonstante mit einem Wert von _____.

Damit kann die magnetische Feldstärke im Vakuum berechnet werden.

In der nächsten Abbildung sind die geschlossenen Feldlinien dargestellt. Diese verlaufen immer vom _____ zum _____ Pol.



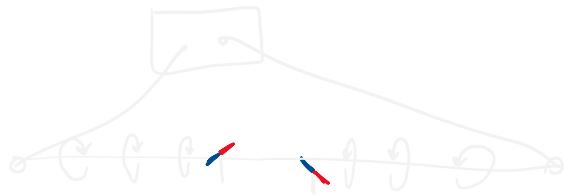
Elemente, die selbst als Magnete wirken können, werden als Ferromagnete bezeichnet. (Fe, Ni und Co)

Stromdurchflossener Leiter (Stromleiter)

Bewegte Ladungen erzeugen um sich herum ein Magnetfeld, das senkrecht zur Richtung von der Bewegung verläuft.



Die Richtung dieses Magnetfeldes kann mit dem Rechteckregel herausgefunden werden.



Dies kann in dem Experiment von _____ gezeigt werden.

Das Magnetfeld des Leiters nimmt ab, je größer die Abstand zum Draht ist. Im Allgemeinen lässt sich dieser Zusammenhang wie folgt beschreiben.

$$H = \frac{I}{2 \cdot r \cdot \pi}$$

$$[H] = A/m$$

$$[r] = m$$

$$[I] = A$$

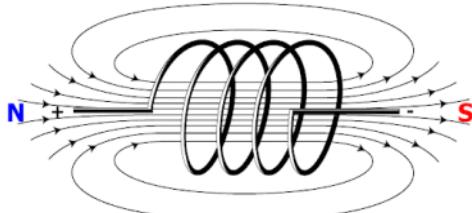
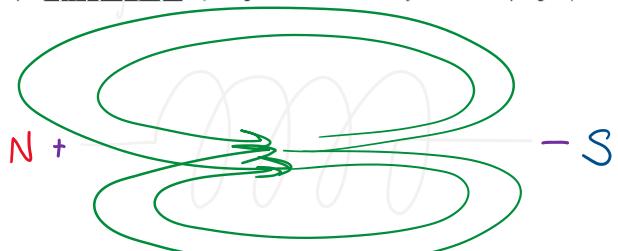
Berechnen Sie die magnetische Feldstärke und die Flussdichte eines stromdurchflossenen Leiters, wenn dieser einen Strom von 2 A führt. Diese Größen werden in einem Abstand von 1 m gemessen.

$$\text{Blaue Klammer} \frac{2A}{2\pi \cdot 1 \text{m} \cdot \mu_0} = \frac{1A}{\pi \text{m}} = \frac{1}{\pi} \text{A/m}$$

$$B = \mu_0 H \quad \text{blaue Klammer} \quad H = \frac{I}{\pi r} \text{ T}$$

Stromdurchflossene Spule (Stromdurchflossene Spule)

Wenn sich Ladungen durch eine Spule bewegen, erzeugen sie ein Magnetfeld, das innerhalb der Spule konstant ist (die magnetische Flussdichte B ist in jedem Punkt der Spule gleich).



Die magnetische Feldstärke einer Spule kann wie folgt berechnet werden. Sie hängt natürlich von der Stromstärke I, der Anzahl der Windungen N und der Länge L der Spule ab.

$$H = \frac{N \cdot I}{L} \quad \text{N... Anzahl d. Windungen}$$

$$[L] = \text{m}$$

$$[I] = \text{A}$$

Berechnen Sie die magnetische Feldstärke und die Flussdichte innerhalb einer stromdurchflossenen Spule, wenn die Spule 100 Windungen hat, 2 A Strom führt und 2 m lang ist.

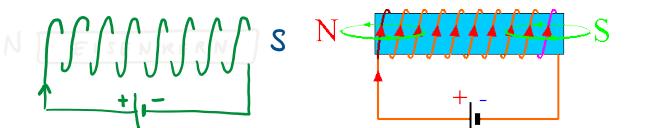
$$\text{blaue Klammer} \frac{100 \cdot 2}{2} = 100 \text{ A/m}$$

$$\text{blaue Klammer} H \mu = 100 \text{ mT}$$

Seite 3 von 5

Elektromagnet

Mit Spulen lassen sich also leicht berechenbare Magnetfelder erzeugen. Diese Felder können aber erheblich verstärkt werden, wenn Eisenkern in der Mitte des Feldes platziert wird. In diesem Fall spricht man von einem _____.

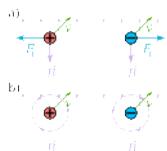


Kraft im Magnetfeld - Lorentzkraft (Lorentzkraft)

Lorentzkraft auf eine Ladung im Magnetfeld

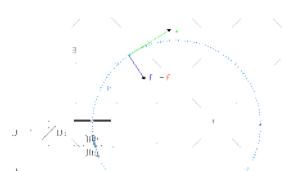
Bewegt sich ein geladenes Teilchen mit der Ladung Q mit der Geschwindigkeit v durch ein Magnetfeld mit der magnetischen Flussdichte B senkrecht zu den Feldlinien, wirkt eine _____ auf das Teilchen. Diese Kraft ist die sogenannte Lorentz-Kraft.

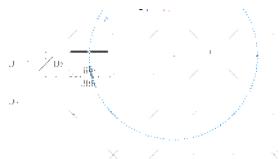
$$F = Q \cdot v \cdot B \quad \leftarrow \text{eig. alles Vektoren}$$



Berechnen Sie die Ladungsmenge, die notwendig ist, um eine Kraft von 20 N bei einem Magnetfeld von 1 T und einer Ladungsgeschwindigkeit von 10 m/s zu erzeugen.

$$Q = \frac{F}{v \cdot B} = \frac{20 \text{ N}}{10 \text{ m/s} \cdot 1 \text{ T}} = \underline{\underline{2 \text{ C}}}$$

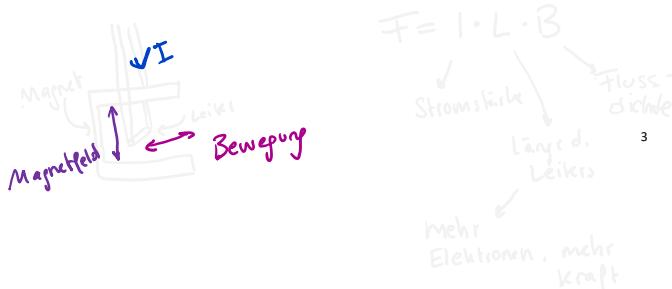




Seite 4 von 5

Lorentzkraft auf einen stromdurchflossenen Leiter

Befindet sich ein stromdurchflossener Leiter in einem äußeren Magnetfeld, so heben sich die beiden Magnetfelder Kreppen gegenseitig auf. Kreppen wirkt auf den Leiter.



Berechnen Sie die Kraft F , die eine 0,1 m lange Leiterschaukel erfährt, wenn ein Strom von 10 A durch sie fließt und die Schaukel sich in einem 1 T starken Magnetfeld befindet.

$$F = 0,1 \text{ m} \cdot 10 \text{ A} \cdot 1 \text{ T} = 1 \text{ N}$$

$$Q = 1,6 \cdot 10^{-19}$$

$$F = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 600\,000 \cdot 10^{-5} = 9,6 \cdot 10^{-19} \text{ N}$$

Polarlicht

Polarlicht entsteht, wenn elektrisch geladene Teilchen des Sonnenwinds (hauptsächlich Elektronen, aber auch Protonen) auf Stickstoffatome in den oberen Schichten der Erdatmosphäre treffen. Bei diesem Stoßvorgang wird Licht ausgesandt. Die Geschwindigkeit der Teilchen liegt bei etwa 600 km/s. Polarlichter treten in den Polargegenden auf, da das magnetische Feld der Erde die geladenen Teilchen zum Nord- oder Südpol ablenkt.

Es ist abzuschätzen, wie stark die Kraft auf die geladenen Teilchen bei diesem Vorgang ist. Das Magnetfeld der Erde kann mit $B = 10^{-5} \text{ T}$ angenommen werden. Das Ergebnis ist hinsichtlich der Stärke der Kraft und der daraus resultierenden Beschleunigung kritisch zu hinterfragen.

Abb. 38.3 Polarlicht bei Tromsø in Norwegen

Seite 5 von 5

2.3 Elektromagnetische Induktion SuS.docx

Donnerstag, 25. November 2021 09:21



2.3 Elektromagnetische Induktion (Electromagnetic induction)



Abbildung 1, Erzeugung eines Blitzes im Labor.

In Abbildung 1 ist erkennbar, dass man offensichtlich Blitze erzeugen kann. Aber wie? Vermutlich ist allen klar, dass ohne „_____“ kein Blitz. Aber wie bekommt man „Strom“? Genau hier kommt die ~~Elektromagnetische Induktion~~ ins Spiel. Diese ermöglicht es uns „Strom“ zu „erzeugen“. Aber ist es physikalisch gesehen wirklich möglich „Strom“ zu „erzeugen“? ____! „Strom“ bezeichnet im Volksmund generell _____, welche aber nicht einfach erzeugt werden kann (______). Elektrische Energie kann nur durch die _____ einer anderen Energieform bereitgestellt werden. Generell kann dies beispielsweise durch die Umwandlung von mechanischer Energie geschehen. Aber zurück zur „erzeugten“ „Strom“. Da wir Physiker sind reicht uns nicht einfach nur der volkstümliche Gebrauch des Worts „Strom“. Genauer handelt es sich hierbei nämlich um die sogenannte _____ mit Einheit _____ welche _____ wird. Aber jetzt ist noch immer nicht geklärt wie eine Spannung U induziert werden kann, beziehungsweise wie die hier betrachtete Umwandlung von mechanischer in elektrische Energie erfolgt. Dafür werden generell 2 Bauteile benötigt:

- Leiter (meist zu einer Spule gefertigt) (Conduct)
- Spule

Wenn jetzt auch noch die induzierte Spannung gemessen werden soll braucht man natürlich ein Voltmeter. Aber wie kann jetzt eine Spule und ein Magnet gemeinsam zu einer Spannung führen?

<https://www.youtube.com/watch?v=jI4BV8zJgLo>

in dem Video ist erkennbar, dass es zu einer Spannungsinduktion (siehe Messgerät) in der Spule kommt, wenn der Magnet in die Spule hineingeschoben bewegt wird. Wichtig ist, dass es zu keinem Ausschlag kommt, wenn sich der Magnet _____. Immerhin handelt es sich um eine _____, und wenn sich der Magnet nicht bewegt gibt es keine Mechanische Energie. Ebenfalls ist die induzierte Spannung beim Hineinschieben _____ zum Hinausziehen (Beispielsweise kann die induzierte Spannung positiv sein beim Hineinschieben, aber muss dann _____ sein beim Herausziehen). Aber was ändert sich am System (Magnet und Spule) wenn der Magnet in die Spule bewegt wird? Wir erinnern uns, ein

All Energie kommt aus Sonne.

Magnet hat ein magnetisches Feld, mit einer magnetischen Flussdichte und einer magnetische Flussdichte. Bei diesem Versuch wollen wir jetzt genauer die magnetische Flussdichte B betrachten (diese gibt an wie viele Feldlinien sich in einem Flächen befinden (Winkel zwischen Fläche und Linie)). Wenn jetzt der Magnet in die Spule geschoben wird, ändert sich die Flussdichte in der Spule. Diese Änderung führt zur Induktion einer Spannung. Die magnetische Flussdichte B muss sich also mit der Zeit ändern!

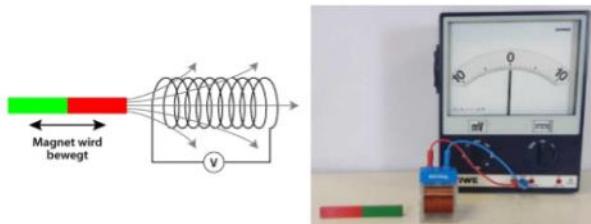


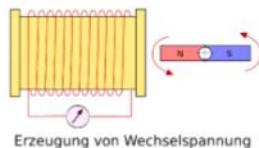
Abbildung 2, Darstellung der sich ändernden magnetischen Flussdichte B in der Spule bei einer Bewegung des Magneten

Aber welche Möglichkeiten gibt es denn ein sich zeitlich änderndes Magnetfeld zu erzeugen? Wir haben gesehen, es kann beispielsweise durch eine wechselnde Stromstärke realisiert werden. Da wir aber in der Natur nur sehr wenige eindimensional oszillierende (schwingende) Prozesse beobachten können, hat man sich eine andere Lösung überlegt. Nämlich den Magneten drehen zu lassen (oder die Spule)!

2.3.1 Generator vs Motor

Als Generator wird ein Bauteil bezeichnet, welches eine beliebige Energieform in elektrische Energie umwandelt. Ein Motor hingegen ist ein Bauteil, welches aus einer beliebigen Energieform mechanische erzeugt.

2.3.1.1 Wechselstromgenerator (Alternator)



Erzeugung von Wechselspannung

Abbildung 3, Durch Rotation eines Magneten kann ein sich zeitlich änderndes Magnetfeld erzeugt werden

In Abbildung 3 ist ein Wechselstrommotor mit einem schlechten Wirkungsgrad veranschaulicht. Wesentlich ist hier jedoch, dass durch die Rotationsbewegung eine

Wechselspannung erzeugt wird (wir erinnern uns an das sich schiebende Vorzeichen der Spannung U beim hinein und hinausbewegen des Magneten). Aber mit welchen Anlagen wird nun „Strom erzeugt“? Beispielsweise kann dies mit einem Windrad, einem Wasserkraftwerk, einem Atomkraftwerk oder auch einer Lichtmaschine im Auto passieren. Alle diese Kraftwerke haben gemeinsam, dass sie eine Turbine, beziehungsweise ein sich drehendes Bauteil besitzen (dieses kann entweder die Spule, oder der Magnet sein).

2.3.1.1 Einphasenwechselstrom (Single phase alternating current)

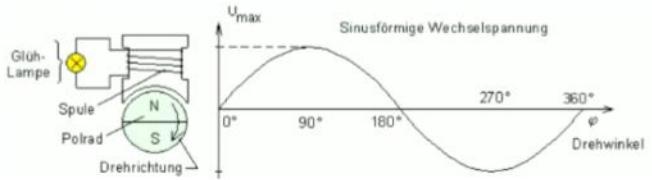


Abbildung 4, Spannungsverlauf eines Einphasenwechselstroms

Abbildung 4 zeigt den Spannungsverlauf eines Einphasenwechselstroms. Die Spannung erreicht hier ihren Maximalwert, wenn Spule oben, und ihren Minimalwert, wenn Spule unten zeigt. Aufgrund der Drehung entsteht die hier sichtbare Sinusförmige Funktion.

Da die Spannung, wie in Abbildung 4 ersichtlich, abhängig vom Drehwinkel ist, ist sie natürlich auch von der Zeit abhängig (der Sinusverlauf ist identisch, lediglich auf der x-Achse ist dann die Zeit t anstatt des Drehwinkels ϕ zu finden). Zur Berechnung der Momentanspannung (Spannung zu einem bestimmten Zeitpunkt) wird folgende Formel verwendet:

$$\begin{aligned} \omega &= 2 \cdot \pi \cdot f \\ \varphi &= \frac{\omega}{2 \cdot \pi} t \end{aligned}$$

$$U(t) = U(\max) \cdot \sin(\omega \cdot t)$$

$$U_s$$

$$U(V), \omega(\frac{1}{s}), t(s)$$

Diese kennen wir etwas abgewandelt schon von den Pendeln. ω bezeichnet hier die Leistungsfrequenz ($\frac{1}{s}$)

Berechne die Momentanspannung nach 2 ms, wenn eine Ausgangsspannung von 400 V sowie eine 50 Hz Wechselspannung vorliegt. (Drehwinkel 0°)

$$U(0,002) = 400 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,002) = 235,1141 \dots \checkmark$$

Berechne die Frequenz f der Wechselspannung, wenn die Momentanspannung nach 10 s 5 V betragen soll. Ausgangsspannung ist wieder mit 400 V anzunehmen.

$$5 = 400 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot 10) \rightarrow f = 0,00019 \text{ Hz} \quad \left(\frac{\arcsin\left(\frac{5}{400}\right)}{20 \cdot \pi} \right)$$

2.3.1.2 Dreiphasenwechselstrom (Three-phase alternating current)

In Realität erzeugen Kraftwerke, wie beispielsweise ein Windkraftwerk, einen sogenannten „Dreiphasenwechselstrom“ welcher im Volksmund auch als „stark Strom“ bezeichnet wird, was aber nicht korrekt ist. Der Dreiphasenwechselstrom bringt gegenüber dem Einphasenwechselstrom (1 Magnet, 1 Spule) den Vorteil, dass der „Strom“ mit wesentlich weniger Material für Draht in Form von Hochspannungsleitungen transportiert werden kann.

<https://de.wikipedia.org/wiki/Simpel-3-fasig-generator.gif>

In diesem Gif ist erkennbar, wie Dreiphasenwechselstrom entsteht. Die Pfeile in den Spulen (diese geben Aussage über das mathematische Vorzeichen (also +U oder -U)) ändern sich während der Rotationsbewegung (siehe Abbildung 4). Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich auch der Pole zu den Spulen bei der Drehbewegung ändert (Abwechselnd ist der Nord oder der Südpol näher an der Spule). Siehe Abbildung 5.

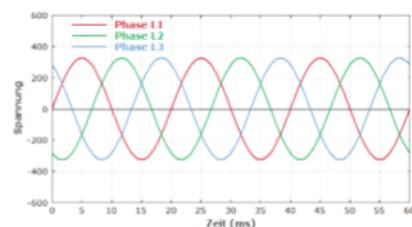


Abbildung 5, Hier ist der Spannungsverlauf des Dreiphasenwechselstroms veranschaulicht

2.3.1.1 Gleichstromgenerator (Direct current generator)

Ein Gleichstromgenerator erzeugt aus mechanische Energie elektrische. Dieser so erhaltene Gleichstrom zeichnet sich dadurch aus, dass seine Spannung U, als auch seine Stromstärke I, keinen Vorzeichenwechsel vollführen.

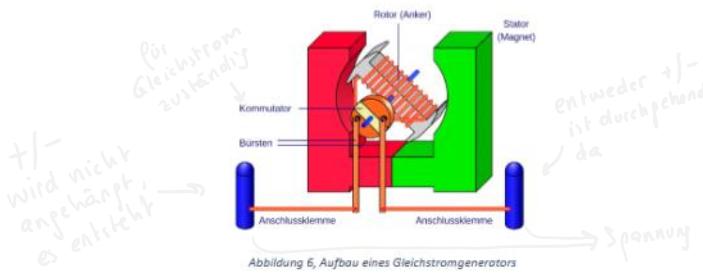


Abbildung 6, Aufbau eines Gleichstromgenerators

Der Gleichstromgenerator, siehe Abbildung 6, besteht aus einem Stator (Magnet), einem Rotor (Anker), dieser besteht aus einem mit einem Draht umwickelten Eisenkern, zwei Anschlussklemmen, zwei Bürsten (Verbinden Anschlussklemmen mit Generator) und einem Kommutator. Der wesentliche Unterschied zwischen dem Gleichstrom- und Wechselstromgenerator ist, dass der Gleichstromgenerator einen sogenannten Umpolung besitzt. Dieser ermöglicht es, durch Umpolen der stromdurchflossenen Spule (also durch Wechseln der Richtung der magnetischen Flussdichte B) die Drehbewegung fortzusetzen und einen Gleichstrom zu erhalten. Siehe Gif.

<https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Gleichstromgenerator&oldid=15104711>

In diesem Gif wird das Umpolen der Spule veranschaulicht (der Spulenteil, welcher sich auf der oberen Bildschirmhälfte befindet, ist aufgrund der Umpolung immer rot). In Abbildung 7 sind Verschiedene Kennlinien von Gleichstrom dargestellt. Bei allen ist gleich, dass es zu keine Vorzeichenwechsel kommt.

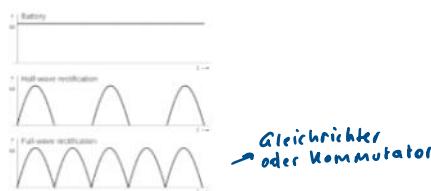
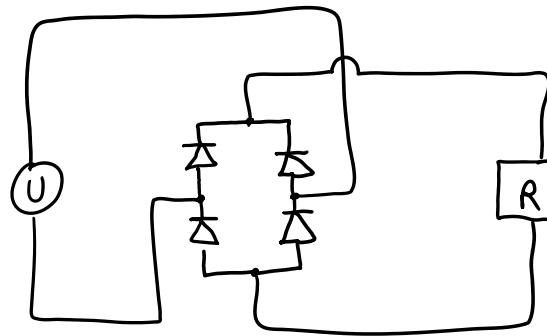


Abbildung 7, Spannungskennlinien (hier mit u bezeichnet) verschiedener Spannungsquellen, ganz oben befindet sich eine Batterie, darunter nur der positive Anteil einer sinusförmigen Spannungsquelle, und in der dritten Reihe die Spannungskennlinie eines Gleichstromgenerators welcher einen Kommutator besitzt

2.3.2 Elektronen der Spule (Electrons of the coil)

Wieso führt jetzt überhaupt ein sich zeitlich veränderndes Magnetfeld zu einer Induktion einer Spannung? Dafür müssen wir uns an die Lenz'sche Gesetzmäßigkeit (siehe Formel) erinnern. Diese besagt, dass auf ein sich bewegendes geladenes Teilchen in einem Magnetfeld eine Lorentzkraft wirkt. Wenn wir die Elektronen in der Spule betrachten ruhen diese jedoch auf ihrer Position, also wieso geht es jetzt wieder um die Lorentzkraft?

Seite 5 von 22



$$F = q \cdot v \cdot B$$

↓ ↓ ↓ ↓
 (N) (C) (M) (T)

Wenn sich die Elektronen nicht vom Fleck bewegen folgt $v = 0$ m/s und daher auch $F = 0$ N. Wenn wir jetzt den Magneten zur Spule bewegen wirkt auf die Elektronen eine Kraft, welche dazu führt, dass sich diese _____ (siehe nächstes Video), wodurch sie sich lokal anreichern, und dadurch ein _____ und ein _____ in der Spule entsteht. Aber warum? Gerade haben wir ja noch geschlussfolgert das $v(\text{Elektron in der Spule})=0$ m/s beträgt. Wenn wir uns jedoch in das System des Magneten versetzen, bewegt sich die Spule in Richtung _____, wodurch sich auch relativ betrachtet natürlich die Elektronen mit einer Geschwindigkeit von v in Richtung des Magneten bewegen (wenn man vor einem Zug steht fährt dieser mit $v(\text{Zug})$ an einem vorbei, wenn man im Zug ist fährt die Welt mit $v(\text{Zug})$ an einem vorbei), wodurch diese eine _____ erfahren.

<https://www.youtube.com/watch?v=CkY05RMzUo>

Auch wenn sich hier jetzt die Elektronen bewegen, sprich wirklich ein _____ fließt (der sogenannte _____), sprechen wir trotzdem von einer induzierten Spannung, da es zu erste eine Potentialdifferenz (in unserem Fall eine Spannung U) geben muss bevor ein _____ fließen kann! Aber wie zeigt man, dass sich die Elektronen in der Spule wirklich bewegen? Dazu ein Versuch. Für diesen wird benötigt:

- Schüssel mit Wasser
- Alufolie
- Magnet

Zuerst wird ein Stück der Alufolie abgerissen (circa A4) und 4x in der Mitte gefaltet. Anschließend wird es in die Schüssel mit Wasser gelegt. Nun werden mit dem Magneten über der Alufolie kreisende Bewegung vollzogen (die Spitze des Magneten sollte sich am Rand der Folie entlang bewegen, wobei darauf zu achten ist, dass es sich nach wie vor um eine möglichst kreisförmige Bewegung handelt).

Schreibe auf was du bei der Alufolie beobachten hast können:



2.3.3 Berechnung der Induktionsspannung U_{ind} eines senkrecht zur magnetischen Flussdichte B bewegten Leiter im Vakuum (Calculation of the induction voltage U_{ind} of a conductor moving perpendicular to the magnetic flux density B in a vacuum)

Generell wissen wir mittlerweile, dass die magnetische Flussdichte B mit der Induktionsspannung U_{ind} zusammenhängen muss. Ebenso wissen wir mittlerweile, dass wir für eine Induktion ein sich zeitlich änderndes Magnetfeld brauchen, sprich eine Bewegung, und einen Leiter welcher logischerweise immer eine Länge L haben muss. Also lautet der Zusammenhang:

$$U_{\text{ind}} = v \cdot L \cdot B$$

\uparrow \uparrow \uparrow \uparrow
 v $\frac{m}{s}$ m T

Berechne die Induktionsspannung U_{ind} wenn sich ein Leiter mit einer Länge von 2 m in einem Magnetfeld mit einer magnetischen Flussdichte B von 3 Tesla, mit einer Geschwindigkeit von 5 m/s bewegt.

$$U_{\text{ind}} = 5 \cdot 2 \cdot 3 = \underline{\underline{30V}}$$

Berechne die Länge L eines Leiters, wenn dieser in einem magnetischen Feld mit einer magnetischen Feldstärke von 5 T und einer Geschwindigkeit von 3 m/s eine Induktionsspannung U_{ind} von 5 V aufweisen soll.

$$L = \frac{U_{\text{ind}}}{v \cdot B} = \frac{5}{3 \cdot 5} = \underline{\underline{\frac{1}{3}m}}$$

2.3.4 Lenz'sche Regel (Lenz's rule)

In dem Experiment mit der Alufolie wurde veranschaulicht, dass ein sich veränderndes Magnetfeld zu einer Stromrichtung der Elektronen führt. Doch für eine Bewegung braucht es immer eine Kraft. Nach dem 3. Newton Axiom Kraft ist eine Gegenkraft, aber in die entgegengesetzte Richtung, $F_{\text{A}\rightarrow B} = -F_{B\rightarrow A}$ muss es also eine zweite Kraft geben! Aber wo findet man diese? Die Antwort liefert die Lenz'sche Regel:

Nach der Lenz'schen Regel wird durch eine Änderung des magnetischen Flusses durch eine Leiterschleife eine Spannung induziert, so dass der dadurch fließende Strom ein Magnetfeld erzeugt,

Bewegungsänderung

welches der Änderung des magnetischen Flusses entgegenwirkt, ggf. verbunden mit mechanischen Kraftwirkungen (Lorentzkraft).

Dieser doch sehr komplizierte Satz bedeutet, dass wenn sich Elektronen aufgrund eines sich zeitlich ändernden Magnetfelds bewegen, diese Elektronen (da sie ja bewegte Ladungen sind) selbst ein Magnetfeld erzeugen, welches jedoch der Änderung der magnetischen Flussdichte B entgegen gerichtet ist. Dadurch kommt es zu einer Achselführung der Magnetfelder und es entsteht eine Bewegung. Siehe Link und Abbildung 8.

<https://www.youtube.com/watch?v=vLaFqklqGWQ>

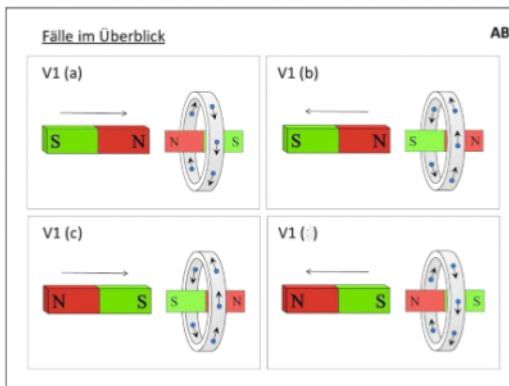


Abbildung 8, Lenz'sche Regel, Veranschaulichung des Videos, die blauen Punkte symbolisieren die Elektronen (leider ist in der Abbildung die Richtung des Wirbelstroms nicht korrekt, diese müsste genau gegengleich sein (Rechte-Hand-Regel)

In Abbildung 8 ist zu erkennen, dass die Richtung des Induktionsstroms im Ring von der Relativbewegung des Magneten, sowie dem zum Ring gerichteten Pol abhängig ist.

2.3.5 Wirbelströme (Eddy currents)

Wie in Abbildung 8 ersichtlich bewegen sich die Elektronen, auf Grund der Lenz'schen Regel, auf einer Kreisbewegung. Diese kreisförmige Bewegung der Elektronen wird als Wirbelströme bezeichnet. Wirbelströme treten immer dann auf, wenn ein gut leitendes Metall einem sich verändernden Magnetfeld ausgesetzt wird. Wirbelströme und ihre Anwendungen haben ihren Weg auch in unseren Alltag gefunden. Beispielsweise der Induktionsherd (1. Video) oder die Wandthermometer (2. Video) funktionieren auf diesem Prinzip.

<https://www.youtube.com/watch?v=8j2OVqWo9s0>

In dem Video ist ein Stück Metall ersichtlich, welches aufgrund der Lenz'schen Regel in dem Magnetfeld der Spule schwiebt (das Magnetfeld der Spule induziert im Metall einen Wirbelstrom, dessen Magnetfeld dem der Spule entgegen wirkt). Da aufgrund der Lenz'schen Regel in diesem Material ein Wirbelstrom induziert wird kommt es zu einer Bewegung der Elektronen,

(wodurch das zuvor erwähnte Magnetfeld entsteht) welche zu einer Erwärmung des Materials führt (Joul'sche Wärme).

<https://www.youtube.com/watch?v=KmNMuhW3BqQ>

Bei diesem Video führt das sich zeitlich ändernde Magnetfeld innerhalb des Metallrohrs (ein Magnet fällt hinein) zu einem Wirbelstrom innerhalb des Rohres. Das Magnetfeld dieses Wirbelstroms ist, nach der Lenz'schen Regel, dem Magnetfeld des Magneten entgegengesetzt. Dadurch wird dieser gebremst.

2.3.6 Transport von elektrischer Energie

Nachdem nun geklärt ist, mit welchen apparativen und physikalischen Grundlagen man elektrische Energie erhalten kann, stellt sich die Frage, wie diese denn transportiert werden soll? Vermutlich hat jeder in seinem Leben schon einmal etwas von Hochspannungsleitung gehört und weiß, dass diese mit dem Stromtransport in Verbindung stehen, aber wieso werden eigentlich Hochspannungs- und nicht Low-voltage verwendet? Grundsätzlich werden bei einer gleichbleibenden elektrischen Leistung geringer die Übertragungsverluste umso geringer, je höher die Spannung und desto geringer der Stromfluss ist. Dies röhrt daher, dass für den Verlust primär der Kabel im Kabel verantwortlich ist. Da sich im Kabel bei höheren Stromstärken mehr Kapazität befinden müssen, müssen größere Kabel verwendet werden, was dazu führt, dass diese teurer sind, und daher konstruktionstechnisch komplexer zu verbauen. Daher werden Hochspannungsleitungen statt Hochstromleitungen, diese können eine Spannung U von 10 kV bis 1 MV aufweisen, verbaut.

2.3.7 Transformator

Elektrische Energie kann und wird also via Hochspannungsleitungen transportiert. Aber wie ist es möglich, dass wir uns scheinbar frei aussuchen können ob wir in unserer Leitung Hochspannung oder Hochstrom wollen? Diese Auswahl kann uns beispielsweise ein so simples Bauteil wie ein Transformator ermöglichen. Bevor wir im kommenden genauer den Transformator thematisieren wollen, ist noch einmal hervorzuheben, dass die elektrische Leistung P aus dem Produkt aus Spannung und Stromstärke definiert ist $P = U \cdot I$ und der Zusammenhang aus Stromstärke I und Spannung U über das Widerstand gegeben ist. Aber jetzt wird es Zeit uns den Transformator einmal anzusehen. In Abbildung 9 sind einige Transformatoren zu erkennen, welche zu einem Umspannwerk gehören.



Abbildung 9, In der Mitte des Umspannwerks sind Transformatoren, welche auf dem Boden stehen, zu erkennen

Aber warum werden Umspannwerke überhaupt benötigt? Diese ermöglichen es, beispielsweise mit einem Transformator, eine Spannung von beispielsweise 1000V, wie sie in der Hochspannungsleitung vorkommen kann, auf 230V (Haushalt) umzuspannen. Aber jetzt wird es Zeit uns den Aufbau eines Transformators anzusehen. In Abbildung 10 ist der schematische Aufbau eines Transformators und in Abbildung 11 ein realer Transformator, für beispielsweise Schulversuche, dargestellt.

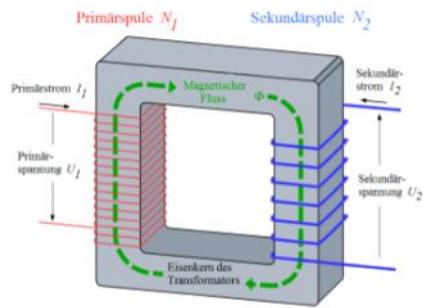


Abbildung 10, Schematischer Aufbau eines Transformators

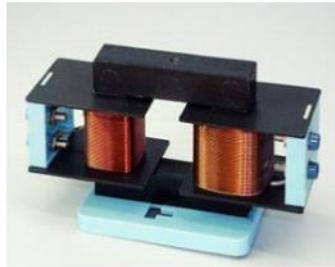


Abbildung 11, Typischer Transformator für Versuche.

In Abbildung 10 ist zu erkennen, dass ein Transformator aus einer Primärspule N₁, einer Sekundärspule N₂ und einem Eisenkern aufgebaut ist. In Abbildung 11 sind die Primär- und Sekundärspule (linke Spule und rechte Spule) sowie der Eisenkern, welcher sich nicht nur in den Spulen, sondern auch darauf und darunter (schwarze Quader) befindet, zu erkennen. Wie in Abbildung 10 ebenfalls ersichtlich ist, gibt es bei der Primärspule N₁ einen Widerstand R und eine Leistung P. Diese beiden Größen werden mit Hilfe der Sekundärspule N₂ zum I₁ und der U₁ transformiert. Also jene Spule, welche die zu transformierenden Größen (I₁ und U₁) aufweist wird transformiert genannt. Die Spule, welche die transformierten Größen aufweist, wird als transformiert bezeichnet. Aber wie funktioniert jetzt der Transformator? Bevor diese Frage ergründet werden kann ist hervorzuheben, dass ein Transformator ebenfalls auf dem Prinzip der elektromagnetischen Induktion beruht, und daher nur transformieren kann. Grundsätzlich hängt die Transformation lediglich vom Verhältnis der Anzahl der Windungen der Primär- und Sekundärspule ab. Wenn eine Wechselspannung anliegt, erzeugt die stromdurchflossene Primärspule ein sich zeitlich änderndes Magnetfeld um sich. Dieses sich zeitlich ändernde Magnetfeld induziert in der Sekundärspule eine Spannung (hier kommt der Eisenkern ins Spiel, wegen diesem kommt es zu weniger Energieverlusten im magnetischen Feld, und damit in der Sekundärspule, da er die magnetische Flussdichte so zu sagen in seinem Inneren bündelt, siehe Abbildung 10) welche sich von der Primärspule in Abhängigkeit der Verhältnisse der Windungen unterscheidet. Dieser Zusammenhang ist in der folgenden Formel gegeben.

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

↑ Spannungen
Windungen
Stärken

z.B.: 2W

$$P = U \times I$$

$$U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$\frac{6V}{x} = \frac{300}{600}$$

$$\underline{\underline{x = 12V}}$$

Hier wird veranschaulicht, dass die Quotienten der Primärspannung U_1 und der Sekundärspannung U_2 direkt proportional zum Quotienten der Anzahl der Windungen der Primärspule N_1 und der Sekundärspule N_2 sind. Hingegen ist der Quotient der Primärstromstärke I_1 und der Sekundärstromstärke I_2 indirekt proportional zum Quotienten der Anzahl der Windungen N der Primärspule N_1 und der Sekundärspule N_2 . In diesem Video ist die Aussage dieser Formel veranschaulicht im Rahmen eines Experiments.

<https://www.youtube.com/watch?v=wYzAeJag7eo>

In diesem Video ist erkennbar, dass die Sekundärspannung U_2 und die Sekundärstromstärke I_2 nur vom Verhältnis der _____ abhängen. Aufgrund von Verlusten werden keine genauen Vielfachen der Primärspannung U_1 und der Primärspannung I_1 erreicht. In Realität kann der Wirkungsgrad eines Transformators jedoch 99% betragen. Ebenfalls ist erkennbar, dass ein sich änderndes _____ benötigt wird, da bei der Gleichspannung die Lampe nur beim Ein- und Ausstecken aufleuchtet, beim Anlegen einer Wechselspannung jedoch durchgehend leuchtet. Nun wird es Zeit für ein Beispiel:

a, Berechne die Anzahl an Windungen einer Sekundärspule, wenn Spannung von 10 kV auf 230 V transformiert werden soll. Die Windanzahl der Primärspule beträgt 1000 Windungen.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \rightarrow \frac{10\text{kV}}{230\text{V}} = \frac{1000}{x}$$

$$x = \frac{1000 \cdot 230}{10000} = 23 \text{ N}$$

b, Berechne ebenfalls die Stromstärken I_1 und I_2 wenn das System eine Leistung P von 5 kW aufweisen soll.

$$P = U \times I$$

$$5000 = 10000 \times I_1 \quad 5000 = 230 \times I_2$$

$$I_1 = 0,5 \text{ A} \quad I_2 = 21,3913... \text{ A}$$

c, Beschreibe in eigenen Worten, wie sich die Stromstärke bei einer Transformation der Spannung ändern muss:

Die Stromstärke muss sich indirekt proportional zur Spannung ändern, aufgrund der ENERGIEERHALTUNG

In Realität findet dieser Zusammenhang beispielsweise in Induktionsöfen in großtechnischen Anlagen, zum Schmelzen von Metallen, Anwendung. Im nachfolgenden Video wird dies in einem Modellversuch gezeigt.

<https://www.youtube.com/watch?v=LM9EQwvsiJg>

Aber es gibt auch eine Vielzahl von Transformatoren welche jeder zu Hause hat. In Abbildung 12 ist so einer gezeigt.



Abbildung 12, Netzteil eines Ladegeräts. Für den unterschiedlichen Input und Output ist ein Transformator verantwortlich

Immer wenn Elektrogeräte ein Netzteil besitzen handelt es sich dabei um einen Transformator, welcher die Spannung auf eine, für die Komponenten des Geräts, nutzbare Größe transformiert. Natürlich sind auch noch andere Bauteile verbaut aber diese wollen wir hier vernachlässigen. Im nächsten Schritt werden wir uns überlegen, wie denn ein Transformator beispielsweise dimensioniert werden könnte, um den richtigen Output zu liefern. Dafür nähern wir, dass der Input genau 240 V beträgt, und der Output nicht in form einer Gleichspannung (Strich mit drei Punkten zwischen Spannung und Stromstärke) sondern als Wechselspannung (Welle zwischen Spannung und Stromstärke) erhalten wird.

$$\frac{230}{19} = 12,105$$

2.3.8 Telekommunikation

In diesem Kapitel wird es um die Telekommunikation gehen, aber was ist eigentlich Telekommunikation? Als Telekommunikation wird heute meist Internet, unter Verwendung von Elektrotechnik, Elektronik, Funktechnik und anderen neuzeitlichen

Übertragungstechnologien verstanden. Das bedeutet, dass selbstverständlich auch das Internet zu diesem Thema gehört, und wir in diesem Kapitel dementsprechend ergründen werden wie man Internet „macht“, beziehungsweise wie man es „verschickt“. Aber wieso geht es auf einmal um Telekommunikation und wie hängt diese mit der elektromagnetischen Induktion zusammen? Grundsätzlich braucht jede Form der modernen Datenübermittlung einen _____ und einen _____. Wenn es sich dabei um eine drahtlose Datenübermittlung handeln soll, braucht man einen Sendeantenne zum _____ und eine Empfangsantenne zum _____ der Signale. In Abbildung 13 ist eine Sendeantenne dargestellt.



Abbildung 13, Sendeantenne als Beispiel der drahtlosen Telekommunikation

Aber was ist jetzt diese drahtlose Datenübertragung eigentlich? Grundsätzlich wird jede Form der Datenübertragung via _____ transportiert. Das menschliche Auge ist in der Lage, Licht mit einer Wellenlänge von etwa _____ zu erkennen. Aber das Spektrum des Lichts ist noch viel größer und kann genutzt werden. Jede Sendeantenne ist grundsätzlich nichts anderes als eine _____, welche in einem Wellenlängenbereich leuchtet, welchen das menschliche Auge bloß nicht _____ kann. Beispielsweise eine _____ hat eine Wellenlänge von 1 km. Das bedeutet, dass falls wir diesen Teil des Spektrums mit unserem Auge detektieren könnten, ein Radiosender wie eine riesige _____ aussehen würde, welche in alle Richtungen leuchtet, also Licht ausstrahlt. Ein Modem beispielsweise versendet Licht mit einer Wellenlänge von etwa 1 - 10 cm. Das heißt ein Modem ist auch nichts anderes als eine Lampe, welche _____ mit einer für das Auge nicht detektierbaren Wellenlänge aussendet. In Abbildung 14 werden die unterschiedlichen Anwendungszwecke des Lichts dargestellt.

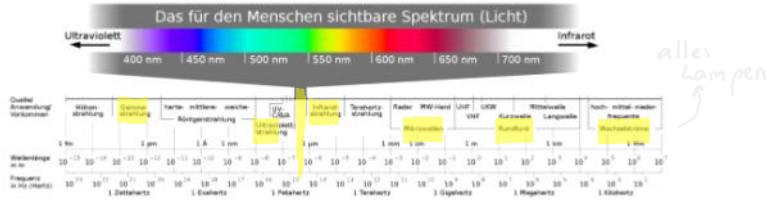


Abbildung 14. Elektromagnetisches Spektrum

Aber bevor wir besprechen können wieso der Sender und die Antenne das Herzstück der drahtlosen Datenübertragung darstellt, müssen erst ein paar Grundlagen besprochen werden.

2.3.8.1 Induktivität L einer Spule

Die Spule als Bauteil haben wir bereits kennen gelernt, aber was ist eine Induktivität L ? Es wurde bereits besprochen, dass ein stromdurchflossener Leiter ein Magnetfeld erzeugt. Ebenfalls wurde besprochen, dass ein sich zeitlich änderndes Magnetfeld eine Spannung induzieren kann, welche von der Änderungsrate der magnetischen Flussdichte abhängig ist. Und im letzten Kapitel, dem Transformator, haben wir gesehen, dass ein sich zeitlich änderndes Magnetfeld einer Spule (das Magnetfeld ändert sich zeitlich, da sich die Spannung zeitlich ändert, da es sich um eine Spannungsquelle handelt) auch in einer zweiten Spule eine Spannung induzieren kann. Aber noch wurde nicht besprochen, ob nicht eine Spule auch innerhalb der eigenen Windungen eine Spannung induzieren kann. Dieser Fall tritt selbstverständlich auch auf, und hier kommt die Induktivität L ins Spiel. Diese sogenannte Induktivität L gibt den Zusammenhang zwischen der zeitlichen Änderung der Spannung und der induzierten Spannung in der Spule an. Die selbstinduzierte Spannung U_{ind} ist jedoch der ursprünglich angelegten Spannung stets gleich. Siehe Formel.

$$U_{ind} = -L \cdot \frac{dI}{dt} = -L \cdot \frac{dI}{dt}$$

Aber was genau ist jetzt ein H? Henry H ist die SI-Einheit der Induktivität und ist für jede Leiterspule spezifisch. Eine Induktivität L von 1 H liegt vor, wenn bei gleichförmiger Stromänderung (z.B. Wechselstrom) von 1 Ampere pro Sekunde eine Selbstinduktionsspannung von 1 Volt entlang eines Leiters entsteht. Das bedeutet, dass Spulen mit einer größeren Induktivität L eine größere Spannung aufweisen.

Seite 15 von 22

2.3.8.2 Spule als Energiespeicher

Falls einer Spule Energie, beispielsweise als elektrischer Strom, zugeführt wird, bildet sich bekanntlich ein Magnetfeld. Da für das Ausbilden dieses Magnetfelds Energie zugeführt werden hat müssen, stellt sich die Frage ob diese Energie nicht in der Spule auch gespeichert werden kann? Natürlich ist das möglich! Wir erinnern uns an den Kondensator. Diesem wurde Energie zugeführt, wodurch dieser ein elektrisches Feld zwischen den Platten aufgebaut hat (der Kondensator ist geladen). Dieses elektrische Feld zwischen den Platten ist quasi die gespeicherte Energie. Beim Entladevorgang des Kondensators nimmt das elektrische Feld E zwischen den Platten ab, bis dieses eine Feldstärke von 0 aufweist, dann sprechen wir von einem entladenen Kondensator. Bei der Spule ist es nicht anders. Wenn durch die Spule ein Strom fließt baut dieser ein magnetisches Feld auf. Sobald kein Strom mehr fließt, baut sich das magnetische Feld B aus, und gibt die in diesem Feld gespeicherte Energie wieder frei (exponentieller Abfall). Wie viel Energie E in einer Spule gespeichert werden kann hängt von der Induktivität L der Spule, sowie des Stromstärke I ab. Siehe Formel.

$$\lambda = \frac{h}{\rho}$$

$$E = I \cdot \frac{L^2}{2}$$
$$[L] = H \leftarrow \text{Induktivität (Henry)}$$
$$[E] = J$$
$$[I] = A$$

Berechne welche Induktivität eine Spule aufweisen muss, um eine Energie von 80 J bei einem Strom von 10 A aufzuweisen.

$$80 = 10 \cdot \frac{L^2}{2} \quad | \cdot 10 \quad 8 = \frac{L^2}{2} \quad | \cdot 2 \quad 16 = L^2 \quad | \sqrt{} \quad L = 4 \text{ H}$$

2.3.8.3 LC-Schwingkreis

Da wir wissen, dass wir sowohl in einem Kondensator, als auch einer Spule Energie speichern können, stellt sich die Frage was passiert wenn wir diese beiden Systeme koppeln. Wenn das passiert erhalten wir das Herzstück eines jeden Geräts, welches für die drahtlose Datenübermittlung verwendet werden kann (also beispielsweise ein Handy könnte ohne diesen Bauteil keine Information übermitteln), nämlich den sogenannten LC-Schwingkreis.

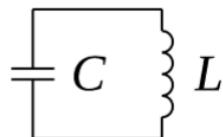


Abbildung 15, Ein Schwingkreis als Schaltzeichen, C bedeutet Kondensator, L Spule
Seite 16 von 22

Der LC-Schwingkreis besteht aus einem Kondensator und einer Spule welche in einem Kreis geschalten sind. Aber was hat dieser mit Handys gemeinsam? Beginnen wir beim ersten Schritt. Erst muss der Kondensator _____ werden. Wenn dieser geladen ist, steckt in seinem elektrischen Feld _____. Wenn nun die Schaltung wie in Abbildung 15 mit einem geladenen Kondensator gebaut wird, beginnt sich der Kondensator C zu _____. Dadurch fließt durch die _____ ein Strom, welcher ein _____ aufbaut. Wenn der Kondensator entladen ist, bricht das magnetische Feld zusammen, und kann dadurch eine Spannung in der _____ induzieren. Diese induzierte Spannung U führt dazu, dass der Kondensator erneut _____ wird, jedoch sich sein _____ und _____ tauschen. Diese Wechsel zwischen magnetischer und elektrischer Energie führen dazu, dass das System oszilliert. Siehe Abbildung 16.

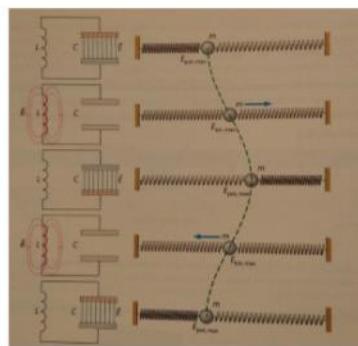


Abbildung 16, Oszillation des Schwingkreises mit einem Federpendel veranschaulicht

Aber was hat dieses simple oszillierende System, welches Energie abwechselnd in _____ und _____ Energie umwandelt mit drahtloser Telekommunikation gemeinsam? Dafür müssen wir das Werk eines wahren Genies etwas genauer betrachten.

2.3.8.4 Maxwell-Gleichungen

Und Gott sprach es werde Licht.

Ich denke dieser Satz beschreibt ziemlich gut wofür die Maxwell-Gleichungen benötigt werden. Diese beschreiben uns nämlich was Licht eigentlich ist (im _____) und wie sich dieses im Raum _____. Die Maxwell-Gleichungen sind also die _____ der elektromagnetischen Strahlung. Aber wieso sprechen wir jetzt über Licht wo wir gerade noch bei elektrischen und magnetischen Feldern waren? Ich denke eine simple Formel beschreibt diesen Zusammenhang am besten.

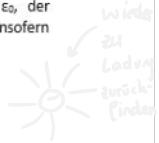
$$\lambda = \frac{h}{\rho} \sim 10^{-31} \text{ J}$$

Mov

$\epsilon_0 \mu_0 c^2 = 1$
$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}}$
$\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6} \frac{\text{N}}{\text{A}^2}$
$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Aus dieser wird erkannt, dass das Produkt der magnetischen Permeabilität und dem Quadrat der Lichtgeschwindigkeit im Vakuum ϵ_0 , der Dielektrizitätskonstante genau 1 ergibt. Insofern müssen diese Größen miteinander verbunden sein. Aber nun zu den Maxwellgleichungen.

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad \leftarrow \text{Elektrostatik}$$



$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \vec{j} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

Der gesamte Stoff, welcher ab dem Kapitel 2 behandelt wurde, lässt sich in diesen vier Formeln ausdrücken! Die beiden ersten Gleichungen beschreiben statische Phänomene (keine Zeitableitungen), die beiden zweiten dynamische Phänomene (Zeitableitung). Dazu etwas genauer. Die erste Gleichung sagt aus, dass das elektrische Feld Quellen und Senken besitzt (z.B. Feldlinien gehen von Pluspol zum Minuspol). Die zweite sagt aus, dass das magnetische Feld Quellen und Senken besitzt (magnetische Feldlinien sind in sich geschlossen). Die dritte Gleichung sagt aus, dass ein sich änderndes Magnetfeld B zu einem elektrischen feld (ringförmig verändert) Feldlinien) führt, und die vierte Gleichung gibt Aussage darüber, dass ein änderndes (μ) und ein sich zeitlich änderndes elektrisches Feld E zu einem magnetischen feld führen (ringförmig verändert Feldlinien). In Abbildung 17 werden die vier Gleichungen noch einmal graphisch veranschaulicht.

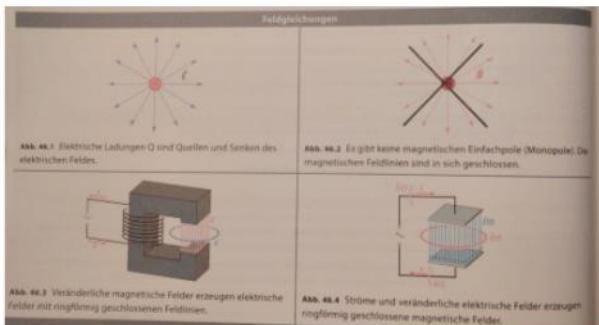


Abbildung 17, Maxwell-Gleichungen veranschaulicht, beachte dass alle hier vorkommenden Stromkreise Wechselstromkreise sind

Aber was haben diese vier Gleichungen jetzt mit Licht gemeinsam? Dafür müssen wir uns Licht im Wellenmodell etwas genauer ansehen.

2.3.8.5 Elektromagnetische Wellen

Licht besteht aus elektromagnetischen Wellen. Diese EM-Wellen besitzen ein elektrisches Feld E und ein magnetisches Feld B , welche 90° zu einander stehen und keine Phasenverschiebung aufweist. Siehe Abbildung 18.

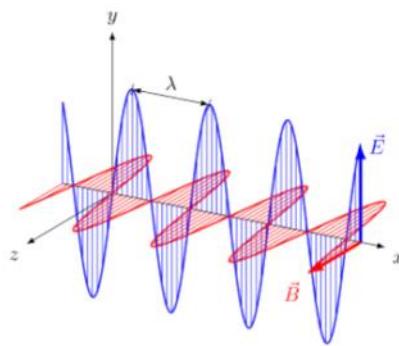


Abbildung 18, Licht als EM-Welle

So eine Welle lässt sich jetzt mit Hilfe eines Schwingkreises erzeugen, da dieser ja elektrische in magnetische Energie umwandeln kann. Aber wieso tritt jetzt keine Phasenverschiebung

zwischen E und B Feld auf? Dafür müssen wir uns den Schwingkreis noch etwas genauer ansehen. In Realität ist dieser nämlich aufgebogen. Siehe Link.

<https://de.wikipedia.org/wiki/Antenne#/media/Datei:Dipolentstehung.gif>

In diesem Link wird veranschaulicht, wie aus einem Schwingkreis eine Antenne wird. Dieser Sachverhalt ist auch in Abbildung 19 - 21 dargestellt. In Abbildung 22 ist eine reale Autoantenne dargestellt.

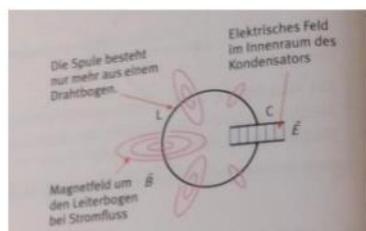


Abbildung 19, Spule wird zu Draht wird aufgebogen

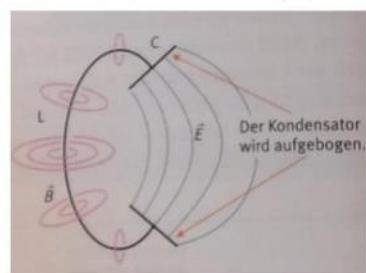


Abbildung 20, Kondensator wird aufgebogen

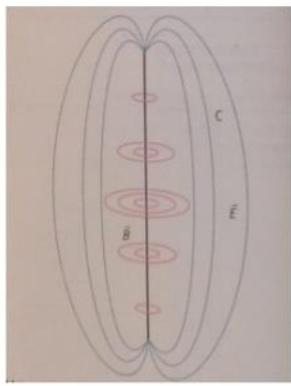


Abbildung 21, Eine Dipolantenne entsteht



Abbildung 22, Antenne eines Autos

Wenn wir Abbildung 21 betrachten ist erkennbar, dass eine Antenne nichts weiter ist als ein Leiter, welcher mit einer Wechselspannung versorgt wird. In diesem Fall ein sogenannter Oszillator. Wenn sich in diesem Leiter nun Elektronen auf und ab bewegen muss eine Wechselspannung angelegt sein. Aufgrund der angelegten Wechselspannung, und dem damit entstandenen elektrischen Feld (stromdurchflossener Leiter), erzeugen diese bei jeder Oszillation ein magnetisches Feld (stromdurchflossener Leiter), welches sich dann gemeinsam mit dem elektrischen Feld durch den Raum ausbreitet! Genau so erhalten wir eine Antenne, welche EM-Wellen durch den Raum schicken kann. Im folgenden Link ist dieser Sachverhalt dargestellt.

https://de.wikipedia.org/wiki/Antenne#/media/Datei:Dipole_xmtng_antenna_animation_4_408x318x150ms.gif

Also für die drahtlose Kommunikation benötigen wir eine Antenne, an welcher eine Wechselspannung angelegt ist. Die Frequenz der Wechselspannung gibt an welche Frequenz das emittierte Signal, also die EM-Welle, hat. Wenn sich die EM-Welle nun durch den Raum bewegt und auf eine zweite Antenne trifft, beginnen die Elektronen in der Antenne mit der Oszillation der EM-Wellen auf und ab zu schwingen. Diese oszillierende Bewegung lässt

Seite 21 von 22

sich in Form einer Wechselspannung detektieren und auswerten. Das ist das gesamte Geheimnis der modernen drahtlosen Telekom



3. Wellenphänomene



Abbildung 1, Entstehung einer Welle

Wellenphänomene beschreiben die Ausbreitung von Wellen im Außenraum. In Abbildung 1 ist die Entstehung einer Welle, im dreidimensionalen Raum, veranschaulicht. Dies kann beispielsweise realisiert werden, indem ein Wassertropfen auf eine waagrechte Wasserfläche trifft. Aber der dreidimensionale Raum, ist dadurch, dass er drei Dimensionen aufweist längs, mathematisch komplexer zu behandeln als der zweidimensionale Querschnitt. Daher werden wir diesen etwas genauer betrachten. Aber warum wird jetzt das Wellenmodell überhaupt verwendet?

3.1 Eigenschaften von Wellen

3.1.1 Modell der Wellen

Grundsätzlich lassen sich im Wellenmodell viele physikalischen Situationen als mathematische Funktionen (zb Sin) beschreiben, was mathematische Vorteile bringt. Aber jetzt zu der Frage was denn eigentlich eine Welle ist. Hierzu eine Definition:

Eine Welle ist eine sich räumlich ausbreitende periodische (Schwingung) oder einmalige (Störung) Veränderung des Gleichgewichtszustands eines Systems bezüglich mindestens einer orts- und zeitabhängigen physikalischen Größe (zb.: Impuls der Wasseroberfläche). Eine Welle transportiert Energie, jedoch keine Materie, d. h. die benachbarten Oszillatoren transportieren die Störung durch den Raum, ohne sich selbst im zeitlichen Mittel fortzubewegen.

Aber wie sieht jetzt eine Welle mathematisch aus?

3.1.1.1 Harmonische Wellen

Grundsätzlich verlieren reale Wellen Energie, wenn sie sich ausbreiten. Die Wellen, welche wir hier betrachten werden, erleiden keinen Energieverlust bei der Ausbreitung durch den Raum. Im Allgemeinen werden diese Wellen, welche keinen Energieverlust aufweisen, als harmonische

Wellen bezeichnet. Diese sind rein mathematische Modelle und können in Realität nicht beobachtet werden! In Abbildung 2 ist eine solche Welle dargestellt. Können auch durch Sin und Cos beschrieben werden.

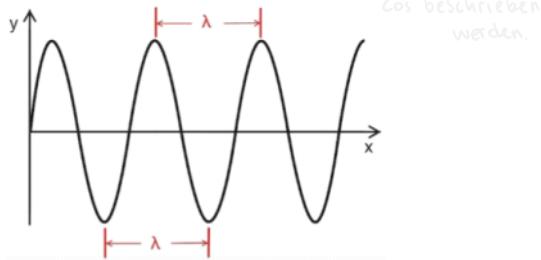


Abbildung 2, Harmonische Welle, λ gibt die Wellenlänge an

Falls die in Abbildung 2 dargestellte Welle harmonisch sein soll ändert sich ihre Amplitude, sowie die Phase, im Laufe der Zeit Zeit. Falls sie unharmonisch ist, nimmt die Amplitude und die Wellenlänge, im Laufe der Zeit ab. Aber wie ist eine Welle jetzt aufgebaut? Jede Welle besteht aus Oszillatoren, welche die Bewegung der Welle durch den Raum beschreiben. In Abbildung 3&4 sind beispielweise reale Oszillatoren (zB: Wassertropfen) dargestellt. Die Umkehrpunkte dieser Oszillatoren werden als Extrema (falls positiv) und Extrema (falls negativ) bezeichnet. Der Abstand zwischen diesen beiden Punkten wird als Wellenlänge (Lambda) bezeichnet. Aber wie können sich jetzt Wellen physikalisch unterscheiden? Die in der Definition beschriebene Störung (zB: Wassertropfen trifft auf Wasseroberfläche) kann entweder entlang der x- oder der y-Achse erfolgen (wobei hier die y-Achse entlang der Schwerkraft wirkt, die x-Achse horizontal zu ihr). Falls sie entlang der x-Achse wirkt sprechen wir von Transversalwellen, falls entlang der y-Achse von Longitudinalwellen. Ebenfalls können Wellen danach unterschieden werden, ob sie ein Medium brauchen um sich fortzubewegen (Materialwellen) oder sich auch im Vakuum fortbewegen können (Elektromagnetische Wellen). Bei beiden Wellentypen ist jedoch der Zusammenhang von Frequenz f und Wellenlänge λ über die $c = \lambda \cdot f$ gegeben.

$$c = \lambda \cdot f$$

$$[c] = \frac{m}{s}$$

$$[\lambda] = m$$

$$[f] = \frac{1}{s}$$

Abstand zwischen Tal und Berg



oder
Abstand zwischen jeweilig gleichen Punkten?

Die Geschwindigkeit der Welle hängt von der Dichte des Mediums ab. Desto größer die Dichte, desto schneller breitet sich die Welle aus (zB.: Schallgeschwindigkeit in Luft bei 20°C: 343 m/s, in Wasser bei 20°C: 1484 m/s).

3.1.1.2 Transversalwellen

Eine Transversalwelle ist jene Welle, welche einem sofort in den Sinn kommt, wenn man den Begriff „Welle“ hört. Diese beschreiben Wellen, welche aufgrund einer Störung entlang der Zeichnung gebildet werden (zB: Wassertropfen auf Wasseroberfläche). In Abbildung 3 ist eine solche Welle veranschaulicht.



Abbildung 3, Transversalwelle, welche eine Störung entlang der y-Achse aufweist, λ bezeichnet hier die Wellenlänge (hier von Wellentyp zu Wellentyp gemessen), c die Ausbreitungsgeschwindigkeit (hier als Vektor da die sie eine Richtung aufweist)

Aber welche Wellen gehören zu den Transversalwellen? Zu diesen gehören beispielsweise:

- Plasmenwellen (Medium: Wasser)
- Se-Direktwellen (Medium: Stoffdruck) (durch Luft: Mechanik)
- Elektromagnetische Wellen (Medium: Vakuum)
- Gravitationswellen (Medium: Vakuum)

3.1.1.3 Longitudinalwellen

Longitudinalwellen sind jene Wellen, welche eine Störung entlang der x -Achse aufweisen. Siehe Abbildung 4.

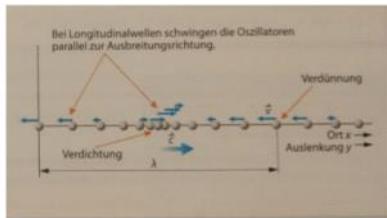


Abbildung 4: Longitudinalwelle, welche eine Störung entlang der x -Achse aufweist; λ bezeichnet hier erneut die Wellenlänge, c die Ausbreitungsgeschwindigkeit (hier als Vektor da die sie eine Richtung aufweist)

Aber welche Wellen gehören zu den Longitudinalwellen? Zu diesen gehören beispielsweise:

- Schallwelle (Medium: Materie)

3.2 Wellen mit Materie als Trägermedium

Wenn Wellen sich in einem Trägermedium ausbreiten, und diese Ausbreitung longitudinal erfolgt, spricht man im Allgemeinen von Schallwellen. Diese können sich in jeder Form der Materie ausbreiten, vorausgesetzt, dass die einzelnen Oszillatoren dieses Mediums miteinander verbindlich gekoppelt sind. Wellen können sich jedoch in einem Trägermedium auch als Transversalwellen ausbreiten. Ein Beispiel dafür wäre eine Wasserwelle (wobei bei dieser eine Mischung aus Transversal- und Longitudinalwelle vorliegt). Generell werden wir uns aber im nächsten Kapitel mit den Longitudinalwellen beschäftigen, da diese zur physikalischen Erklärung des Schalls in Luft und Wasser verwendet werden.

3.2.1 Schallwellen



Abbildung 5, Detonation einer Bombe

In Abbildung 5 ist die Detonation einer Bombe zu erkennen. Aber welchen Zusammenhang gibt es zwischen einer Bombenexplosion und einer Schallwelle? Ich denke der Zusammenhang ist relativ offensichtlich. Aber davor noch ein Video welches Abbildung 5 besser veranschaulichen soll.

<https://www.youtube.com/watch?v=txYlO4pe8HA>

Die Explosion der Bombe erzeugt eine Schallwelle, welche sich von unserem Ohr detektieren lässt. Aber damit wir die Atombombe hören können, müssen wir weit genug entfernt sein, damit das menschliche Trommelfell nicht schlagartig _____, wenn die Schallwelle auf das Trommelfell trifft. Aber wieso reißt das menschliche Trommelfell, wenn die Distanz zur Explosion nicht groß genug ist? Grundsätzlich liegt dies daran, dass sobald eine Explosion stattfindet [gilt für jede Explosion!] im Zentrum der Explosion eine wesentlich höhere _____ herrscht als in der Umgebung. Dies bedeutet, dass die Teilchen im Zentrum der Explosion eine wesentlich größere _____ und damit _____ Energie _____ als die Teilchen der Umgebung aufweisen. Dieser Sachverhalt ist in der nächsten Formel dargestellt (wobei diese nur für ein ideales Gas gilt).

[Explosionen erklärt | Superzeitlupe](#)



$$E = \frac{3}{2} k_B T = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

$$[E] = J$$

$$[k_B] = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$$

$$[T] = \text{Kelvin}$$

Wobei k_B die Boltzmann-Konstante bezeichnet. Da die kinetische Energie der Teilchen im Zentrum der Explosion (Temperatur sehr hoch) wesentlich _____ ist als die kinetische Energie der Teilchen, welche diese umgeben (Temperatur niedrig, siehe Formel) geben diese Teilchen ihre kinetische Energie an die umgebenden Teilchen ab. Dadurch kommt es zu einer kugelförmigen longitudinalen Ausbreitung der Energie (welche aufgrund der Kugelform mit $\frac{1}{r^2}$ abnimmt) welche generell als Druckwelle (oder in diesem Fall als Detonationswelle) bezeichnet wird. Generell ist jede Schallwelle eine _____, da diese dadurch charakterisiert ist, dass sich die Energie (also die kinetische Energie der Teilchen) longitudinal im Raum ausbreitet. Wenn diese Teilchen dicht genug gepackt sind, also die Energiedifferenz der Teilchen groß genug ist, lässt sich diese Welle optisch beobachten (siehe Abbildung 5). Falls die Energiedifferenz zu klein ist, lässt sich die Welle nicht beobachten (zB.: normales Sprechen). Aber welche Kenngrößen gibt es denn eigentlich für Schallwellen?

3.2.1.1 Eigenschaften von akustischen Wellen

Schallwellen gehören zu in der Physik zu Thema der Akustik. Diese bezeichnet im Allgemeinen die Lehre vom Schall, bzw allen dem Menschen über das Gehör zugängliche Phänomene. Die ersten Größen, welche zur Charakterisierung von Schallwellen verwendet werden, ist die sogenannte _____ und die _____, welche in etwa 330 m/s beträgt, jedoch von diversen Faktoren, wie Temperatur oder Druck, abhängt. Die Schallintensität I lässt sich wie in der folgenden Formel ersichtlich aus dem Quotienten aus der _____ und der _____ berechnen. In diesem Fall steht die durchströmte Fläche senkrecht zur Ausbreitungsrichtung.

$$I = \frac{P}{A}$$

$$[I] = \frac{W}{m^2}$$

$$[P] = W$$

$$[A] = m^2$$

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

Das bedeutet, je größer die Intensität, desto lauter ist das Geräusch, welches wir hören. Jedoch hat jeder in seinem Leben bereits bemerkt, dass ein Geräusch leiser wird, desto weiter man von der Quelle

entfernt ist und dass dies nicht davon abhängt in welche Richtung man sich von der Quelle entfernt. Daraus lässt sich schnell ableiten, dass sich Schallwellen dreidimensional räumlich ausbreiten, und dabei an Flächen gleicher Schallintensität verlieren. Aber wie lässt sich dieses Phänomen physikalisch/mathematisch beschreiben? Da die Intensität abnimmt, desto weiter man von der Quelle entfernt ist, lässt sich jedem Punkt im Raum ein gewisser Intensitätswert zuweisen. Falls dies getan wird, erhält man ein Kugel, nämlich das sogenannte Schallfeld.

3.2.1.2 Schallfeld

Generell gilt für alle, sich kugelförmig ausbreitenden, physikalischen Prozesse das sogenannte Abstandsgesetz. Dieses beschreibt, dass eine physikalische Größe, hier die Schallintensität, mit $\frac{1}{r^2}$ abnimmt. Das Abstandsgesetz kommt beispielsweise ebenfalls im Coulomb'sches Gesetz vor. Generell gilt näherungsweise:

$$I \sim \frac{1}{r^2}$$

beziehungsweise

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} \quad I_1 \cdot r_1^2 = I_2 \cdot r_2^2 = P$$

Diese Formel ist zum besseren Verständnis in Abbildung 6 graphisch dargestellt.



Abbildung 6. Kugelförmiges Schallfeld. Flächen gleicher Schallintensität I haben den gleichen Radius r .

Je größer der Radius r wird, desto niedrigere Werte nimmt die Schallintensität I an. Jedoch gibt es noch eine zweite Komponente, welche eine Rolle spielt.

3.2.1.3 Dämpfungsgesetz

Nun kommt auch noch hinzu, dass die Schallintensität, wenn sich diese im Raum ausbreitet, gedämpft wird. Das bedeutet, dass das Abnehmen der Intensität nicht nur auf

die Geometrie zurückzuführen ist, sondern auch auf eine Absorption im Ausbreitungsmedium. Die Energie, welche absorbiert wird, wird in Wärme umgewandelt. Die Dämpfung folgt einem Exponentialgesetz welches wie folgt lautet:

$$\boxed{\begin{aligned} I(x) &= I(0) \cdot e^{-\mu \cdot x} \\ [I] &= \frac{W}{m^2} \quad [\mu] = \frac{1}{m} \\ [x] &= m \\ [I(0)] &= 1 \cdot 10^{-12} \frac{W}{m^2} \end{aligned}}$$

→ Lambert Beersches Gesetz

$$I(x) = I(0) \cdot e^{-\mu \cdot x}$$

$$\frac{I(x)}{I(0)} = e^{-\mu \cdot x}$$

$$\frac{0,02}{1} = e^{-\mu \cdot 0,075}$$

$$| \ln()$$

$$-\mu \cdot 0,075 = \ln(0,02)$$

$$\mu = -\frac{\ln(0,02)}{0,075}$$

$$\mu = 52,16 \dots \frac{1}{m}$$

Wobei I wieder die Schallintensität, $I(0)$ die Bezugsschallintensität welche stets $10^{-12} \frac{W}{m^2}$ beträgt, μ den Absorptionskoeffizienten und x den Abstand zur Schallquelle bezeichnet. Der Absorptionskoeffizient μ ist eine Materialkonstante, welche auch noch von der zu absorbierenden Frequenz abhängt. Beispielsweise werden in Luft hohe Töne stärker gedämpft als niedrige. Damit Materialien eine großen Absorptionskoeffizienten μ aufweisen, müssen diese eine sehr große innere Wärmeleitung aufweisen.

Hierzu ein Rechenbeispiel:

Mineralwolle mit einer Stärke von 75 mm absorbiert 98% der Schalleistung bei 5 kHz. Zu berechnen ist der Absorptionskoeffizient bei dieser Frequenz.

3.2.1.4 Schallpegel

Da die im Alltag wahrgenommenen Schallintensitäten sehr unterschiedliche Lautstärken haben (Flugzeugstart - tropfender Wasserhahn), und daher auch sehr unterschiedliche Schallintensitäten ($10^{12} \frac{W}{m^2} - 1 \frac{W}{m^2}$) aufweisen, macht es Sinn diese Größen zu logarithmieren, da so Zahlen erhalten werden mit denen leichter umgegangen werden kann. Wenn die Schallintensität I logarithmiert wird, erhält man den sogenannten Schallpegel L mit der Einheit dB. Dies wird in der folgenden Formel veranschaulicht:

$$\boxed{\begin{aligned} L &= 10 \cdot \log \left(\frac{I}{I_0} \right) \\ [L] &= dB \\ [I] &= \frac{W}{m^2} \end{aligned}}$$

Ebenfalls kann zur Charakterisierung von akustischen Signalen der sogenannte Schalldruckpegel p verwendet werden. Dieser wird wie folgt berechnet:

$$L_p = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{P}{P_0} \right)$$

$$[L] = \text{dB}$$

$$[P] = \text{Pa}$$

$$c_0(0) = 10^{-12} \text{ Pa}$$

Wobei P_0 wieder den Referenzdruck angibt, welcher stets konstant ist.

In Abbildung 7 sind verschiedene Schallquellen mit den dazugehörigen Schallpegeln veranschaulicht.

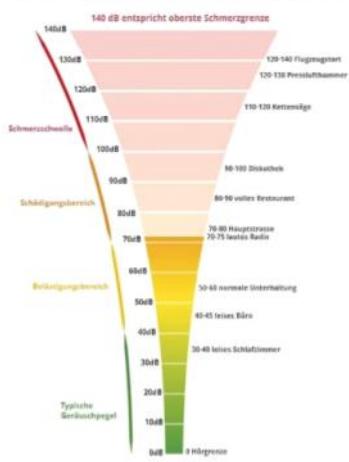


Abbildung 7. Veranschaulichung des Schallpegels im Alltag

Nun zu ein paar Rechnungen:

In 5000 m Entfernung vom Gewitterblitz ist da Donnern mit einem Schallpegel von 60 dB hörbar. Berechne den Schallpegel in einem Abstand 5500 m. Wie groß ist die Abnahme des Schallpegels pro 100 m?

$$L = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad I = \frac{P}{A} \quad I_0 = 1 \cdot 10^{-12} \frac{W}{m^2}$$

$$60 = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{I}{10^{-12}} \right) \quad | :10$$

$$6 = \log_{10} \left(\frac{I}{10^{-12}} \right)$$

$$10^6 = \frac{I}{10^{-12}} \Rightarrow I = 10^{-6} \frac{W}{m^2}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2} \rightarrow 5500^2$$

$$I_2 = 10^{-6} \cdot \frac{5000}{5500}$$

$$I_2 = 8,26 \cdot 10^{-7} \frac{W}{m^2}$$

Eine Trompete hat einen Schallpegel von etwa 55 dB. Wie verändert sich der Schallpegel, wenn daneben eine zweite Trompete mit einem Schallpegel von 55 dB gespielt wird? Berechne den nun vorliegenden Schallpegel.

$$L = 10 \cdot \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

$$I = 3,16 \cdot 10^{-7} \frac{W}{m^2} \cdot 2 \rightarrow 6,32 \cdot 10^{-7} \frac{W}{m^2}$$

$$L = 10 \cdot \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$$

$$\underline{L = 58 \text{dB}}$$

A: Die zweite Trompete erhöht den Schallpegel um 3dB.

3.2.1.5 Lautstärke

Generell lässt sich der Schallpegel nicht direkt auf eine wahrgenommene Lautstärke umrechnen, da die wahrgenommene Lautstärke eine physiologische Größe ist und beispielsweise vom Alter einer Person abhängig ist. Ebenfalls spielt die wie in Abbildung 8 ersichtlich die Zeitverlauf des Signals eine Rolle. Als Faustregel gilt jedoch, dass eine Erhöhung des Schallpegels um 3dB dazu führt, dass ein akustisches Signal als so laut so laut empfunden wird.

$$L = 10 \cdot \log \left(\frac{I_2}{I_0} \right)$$

$$L(5500) = 10 \cdot \log \left(\frac{8,26 \cdot 10^{-7}}{1 \cdot 10^{-12}} \right)$$

$$\underline{L(5500) = 59,17 \text{dB}}$$

Allk 100m werden es somit um 0,166dB weniger.

A: Es werden um 0,83dB weniger.

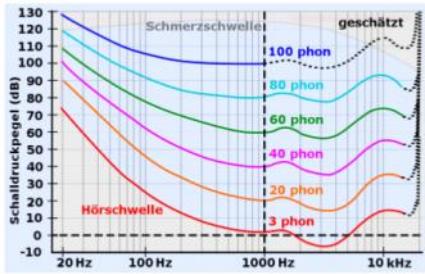


Abbildung 8, Zusammenhang von Schallpegel und Frequenz

Um Aussagen über die physiologische Laustärke eines Signals zu geben wurde als Einheit das phon eingeführt. Dieses entspricht bei genau 100 exakt dem Schallpegel, siehe Abbildung 8. Entlang der Linien werden Geräusche als gleich laut empfunden. Am Beispiel der 40 Phon Linie ist erkennbar, dass ein Signal mit einer Frequenz von 20 Hz eine Schallpegel von 100 dB aufweisen muss, um genauso laut wahrgenommen zu werden, wie ein Signal mit 1000 Hz mit 40 dB.

3.2.1.6 Dopplereffekt

Alle bisher besprochenen Phänomene beziehen sich darauf, dass die Signalquelle, und der Empfänger ruhen. Wenn sich jedoch einer von beiden, oder sogar beide, bewegt lässt sich der sogenannte Dopplereffekt hören. Zum Beispiel wenn ein Auto an einem vorbeifährt, hört sich das Motorengeräusch je nachdem ob das Auto sich gerade noch nähert, oder schon wieder entfernt, unterschiedlich an. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Wellenlänge λ , welche von einer Quelle gesendet und von einem Empfänger detektiert wird, verändert ist, was aber darauf zurückzuführen ist, dass sich das Ausbreitungsmedium (hier Luft) in Ruhe befindet! Alle nun folgenden Aussagen gelten NUR wenn sich das Ausbreitungsmedium selbst bewegt. Generell verändert die Wellenlänge des emittierten Signals, vor der Quelle, falls sich diese in Ausbreitungsrichtung bewegt, und verändert hinter der Quelle, wenn sich diese entgegengesetzt zur Ausbreitungsrichtung bewegt.

<https://de.wikipedia.org/wiki/Doppler-Effekt#/media/Datei:Dopplerfrequenz.gif>

In dem Gif ist zu erkennen, dass das Auto erst gestartet wird aber ruht (Wellenlänge ist links vom Auto gleich groß wie rechts von ihm), und sich anschließend nach links zu bewegen beginnt, wodurch es links vom Fahrzeug zu einer vergrößerte der Schallwellen (Wellenlänge vergrößert) und rechts zu einer verkleinerte (Wellenlänge verkleinert) kommt. Dieser Sachverhalt wird in Abbildung 9 dargestellt.



Abbildung 9, Oranger Punkt=Schallquelle, Linkz davon kommt es zu einer Stauchung, Rechts davon zu einer Dehnung der Schallwellen

In Abbildung 10 wird veranschaulicht wie detektierte Schallwellen dargestellt werden. Jede Ellipsenbahn bei den Autos beschreibt einen Wellenberg. Der Abstand zwischen den Ellipsen entspricht dem Abstand zwischen den Wellenbergen und damit der Wellenlänge. In dem Diagramm unter dem Mikrofon wird deutlich, wie die Wellenlänge λ in der uns bekannten Form erhalten wird (Siehe Abbildung 2).

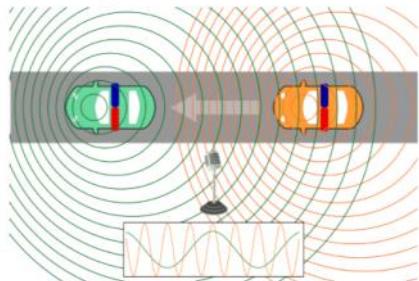


Abbildung 10, Dopplereffekt am Beispiel von zwei Autos und einem ruhenden Mikrofon

Generell lassen sich jetzt zwei verschiedene Fälle unterscheiden, wenn sich das Ausbreitungsmedium nicht bewegt, welche mathematisch unterschiedlich behandelt werden.

3.2.1.6.1 Ruhender Beobachter und bewegte Quelle

In diesem Fall wird folgenden Formel verwendet:

$$f_B = f_0 \cdot \frac{\lambda}{\lambda - \frac{v_B}{c}}$$

$$[c] = \frac{\lambda}{f}$$

Diese beschreibt, wie sich die Frequenz der Schallwellen für den Beobachter verändern, wenn sich die Quelle bewegt. Wenn sich die Quelle nicht bewegt, sprich $f_B = f_Q$ erhält man das die Frequenz des Beobachters $f_B = f_Q$ der Frequenz der Quelle f_Q ist.

Eine Schallquelle emittiert ein Signal mit einer Frequenz f von 1000 Hz.

- a, Muss sich die Quelle dem Beobachter nähern, oder sich von ihm entfernen damit dieser eine Frequenz von 2000 Hz wahrnimmt?

nähern

b, Berechne die benötigte Geschwindigkeit.

$$f_B = f_Q \cdot \frac{1 + \frac{v_B}{c}}{1 - \frac{v_B}{c}} \quad | : 10 \quad v_B = 330 \frac{\text{km}}{\text{s}} \cdot \left(-\frac{1000}{2000} + 1 \right)$$

$$c \cdot \left(-\frac{f_B}{f_Q} + 1 \right) = v_B$$

$$\underline{\underline{v_B = 165 \frac{\text{km}}{\text{s}}}}$$

3.2.1.6.2 Ruhende Quelle und bewegter Beobachter

In diesem Fall wird die folgende Formel verwendet:

$$f_B = f_Q \cdot \left(1 + \frac{v_B}{c} \right)$$

$$[f] = \frac{1}{\text{s}}$$

$$[\nu] = \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Diese beschreibt, wie sich die Frequenz der Schallwellen für den Beobachter verändern, wenn sich der Beobachter bewegt. Wenn sich der Beobachter nicht bewegt, sprich $v_B = 0 \text{ m/s}$ erhält man das die Frequenz des Beobachters $f_B = f_Q$ der Frequenz der Quelle f_Q ist.

Eine Schallquelle emittiert ein Signal mit einer Frequenz f von 1000 Hz.

- a, Muss sich der Beobachter der Quelle nähern, oder sich von ihr entfernen damit dieser eine Frequenz von 2000 Hz wahrnimmt?

nähern

b, Berechne die benötigte Geschwindigkeit.

$$f_B = f_Q \cdot \left(1 + \frac{v_B}{c} \right) \quad | : f_Q \quad \frac{v_B}{c} = \frac{f_B}{f_Q} - 1 \quad | \cdot c$$

$$\frac{v_B}{f_Q} = 1 + \frac{v_B}{c} \quad | -1 \quad v_B = \left(\frac{f_B}{f_Q} - 1 \right) \cdot c$$

$$v_B = \left(\frac{p_B}{p_a} - 1 \right) \cdot c$$

$$v_B = \left(\frac{2000}{1000} - 1 \right) \cdot c$$

$$\underline{\underline{v_B = 330 \frac{m}{s}}}$$

Ultrahallensystem von Fledermäusen

Fledermäuse benutzen ein Schallortungssystem, um sich in der Dunkelheit zu orientieren. Sie orten aber auch ihre Beute, indem sie Schall verwenden: Sie bestimmen den Abstand zu reflektierenden Objekten durch die Laufzeit des Echos abzuschätzen. Fledermäuse können auch ihre eigene Geschwindigkeit mithilfe des Echos abschätzen. Das ermöglicht der Doppler-Effekt. Um Beute von anderen Objekten, z.B. fliegenden Insekten, zu unterscheiden, wird ebenfalls das Ultrahallensystem eingesetzt.

Der für die Fledermaus wahrnehmbare Effekt beruht darauf, dass das Beutetier, z. B. ein Futter, mit den Flügeln schlägt: Der Schallreflektor bewegt sich auf und weg, während vor und zurück, der Dopplereffekt tritt also mindestens auf. Die resultierende Frequenz ist entsprechend. Die Große Hufeisennase erzeugt etwa Töne im Bereich von 80 kHz. In welcher Grilleinordnung liegt der Effekt, den die Große Hufeisennase hört?

Zu berechnen ist die höhere Frequenz, die vom Schmetterlingsflügel reflektiert wird, wenn die Geschwindigkeit des Schmetterlingsflügels bei 0,3 m/s liegt. Um die Rechnung zu vereinfachen, soll die Fledermaus als ruhend betrachtet werden und die Schmetterlingsflügel als auf der Stelle fliegend.

→ 150 Hz höher

Abbildung 9b.1 Große Hufeisennase

3.2.1.6 Überschall

Bis jetzt haben wir nur Vorgänge betrachtet, bei welchen die Bewegungsgeschwindigkeit der Körper kleiner war als die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schalls. Falls die Bewegungsgeschwindigkeit eines Körpers jedoch größer ist als die des Schalls, spricht man von der sogenannten Überschallbewegung. Falls ein Flugzeug diese Geschwindigkeit erreicht, kann der sogenannte Überschallknall gehört werden, siehe Abbildung 10.



Abbildung 10: Überschallknall

Da der Luftwiderstand mit dem Auftrieb der Geschwindigkeit ansteigt ($F_D \propto v^2$) kommt es zu einer extremen Verdichtung der Luft, wenn Schallgeschwindigkeit erreicht wird. Dadurch, dass es zu so einer starken Verdichtung kommt, lässt sich eine Kondensationswolke erkennen (diese entsteht,

da der Druck im System steigt, die Temperatur jedoch näherungsweise konstant bleibt. Dadurch beginnt das Wasser zu kondensieren, siehe p-T-Diagramm von Wasser), siehe Abbildung 10.

3.2.1.6.1 Machzahl M

Die Machzahl gibt an, welche Geschwindigkeit ein Körper im Vergleich zur Schallgeschwindigkeit hat. Generell ist sie definiert als

$$\boxed{M = \frac{v}{c}}$$
$$[M] = 1 \text{ Machzahl}$$
$$[v] = \text{m/s (Geschv.)}$$
$$[c] = \frac{\text{m}}{\text{s}} (\text{Schallges.)})$$

Da es sich hierbei um einen Quotienten handelt, wird schnell klar, dass ein Mach nicht gleich ein Mach ist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Schallgeschwindigkeit c unterschiedliche Werte annehmen kann. Die Schallgeschwindigkeit hängt generell von und des Mediums ab (Druck und Temperatur geben den Zustand des Systems an und werden daher auch als Zustandsgrößen bezeichnet).

Ein Körper fliegt mit einer Geschwindigkeit von 500 m/s. Berechne die Machzahl, wenn dir Schall eine Geschwindigkeit von 330 m/s aufweist:

3.2.1.7 Stehende Wellen

Erst einmal zu einer Definition:

Eine stehende Welle, auch Stehwelle, ist eine Welle, deren Auslenkung an bestimmten Stellen immer bei Null verbleibt. Sie kann als Überlagerung zweier gegenläufig fortschreitender Wellen gleicher Frequenz und gleicher Amplitude aufgefasst werden. Die gegenläufigen Wellen können aus zwei verschiedenen Erregern stammen oder durch Reflexion einer Welle an einem Hindernis entstehen.

Um diesen Satz etwas verständlicher zu machen ein Gif:

https://de.wikipedia.org/wiki/Stehende_Welle#/media/Datei:Standing_wave_2.gif

In diesem Gif sind zwei gegenläufige Wellen, mit gleicher Zeitperiode und Amplitude, zu erkennen (Blau und Rot) welche durch ihre Überlagerung eine stehende Welle erzeugen. Die roten Punkte sind die sogenannten Knoten, denn dort beträgt die Amplitude immer 0. Generell ist es wichtig, die Bewegung dieser Welle als eine Überlagerung zweier gegenläufiger Wellen zu verstehen, denn dieses Grundkonzept (**Superposition**) wird in der Physik häufig benötigt (Schrödingergleichung (Teilchen in der Box), Tunneleffekt, Akustik, Mikrowelle, Laser, Quantencomputer, Polarisation, Teleportation, Kernzerfälle...)

3.2.1.7.1 Stehende Schallwellen

Im nächsten Video werden am Beispiel von Schallwellen Wellen zwischen zwei Reflektoren veranschaulicht.

<https://www.youtube.com/watch?v=gnjuOPuGFI>

Generell lässt sich eine Änderung in der Tonhöhe erkennen (Lage Amp steigt und Lage Amp sinkt) wenn die Reflektoren weiter auseinander bewegt werden. Im späteren Verlauf des Videos lassen sich Körner erkennen, welche in der Röhre Wellenberge (Peaks in der Röhre) und Wellentäler (Körper bewegen sich nicht) bilden.

Falls sich eine Welle (nicht nur Schallwelle sondern wirklich jede Welle) zwischen zwei Reflektoren bildet (diese kann man auch als Potenzialtopf bezeichnen), kann der Abstand zwischen den Knoten nur intervalle Werte annehmen (siehe Abbildung 11). Betrachten wir um dies besser zu veranschaulichen ein Instrument, bei dem beide Enden der Saite befestigt sind, nämlich die Geige. Die zwischen den beiden Enden eingespannte Saite wird in Abbildung 11 und dem Link darunter veranschaulicht.

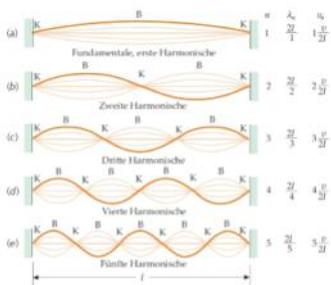


Abbildung 11, Mögliche Schwingungen einer stehenden Welle, K...Knoten, B...Berg/Tal, v=f=Frequenz

<https://www.youtube.com/watch?v=RNT8d6vJj8c>

Wie in Abbildung 11 ersichtlich ist, können sich an den Reflektoren (Enden), dadurch dass die Schnur an den diesen befestigt ist, nur gerade Knoten bilden. Daher können sich nur stehende Wellen bilden welche vielfaches von λ₀/2 aufweisen. Generell lässt sich dieser Ausdruck schreiben als:

Wellenlänge

$$\lambda = \frac{L}{n}$$

$$[\lambda] = m$$

$$[L] = m \text{ (Saitenlänge)}$$

$$[n] = n \text{ (kann nur ganze Zahl sein)}$$

Je nachdem welche Zahl wir für n wählen, erhalten wir verschiedene Wellenlängen und damit verschiedene Frequenzen. Generell gilt, falls L konstant ist, dass wenn n steigt auch die Frequenz des Tons ansteigt (Ton wird höher). Daher erhalten wir bei $n=1$ den Grundton f_0 (erste Harmonische), bei $n=2$ die zweite Harmonische $2f_0$ (oder 1. Oberschwingung), bei $n=3$ die dritte Harmonische $3f_0$ (oder 2. Oberschwingung) und so weiter. Aber welchen Ton erhalten wir denn, wenn wir einfach eine Saite zupfen? Bevor wir dies beantworten können müssen wir uns die Eigenschaften der einzelnen Schwingungen (stehende Wellen) etwas genauer ansehen. Bei jeder dieser Schwingungen ist nämlich gleich, dass sie sich an den Punkten _____ und _____ überlagern müssen, da dort Knoten sind. Das bedeutet, dass es dort zu einer Überlagerung der Wellen kommt, und damit einhergehend auch auf der ganzen Saite. Im Endeffekt wird aber nur jede _____ dieser möglichen Schwingungen erzeugt ($n=1,3,5,\dots$ siehe Abbildung 12), und dann als eine Gesamtsschwingung auf die umgebende Luft übertragen (da die Schwingung der Saite aber nur sehr wenig Energie auf die Luft übertragen kann, und daher der Ton sehr leise ist, wird ein Resonanzkörper verwendet).

Amplitude (nicht maßstabsgerecht)

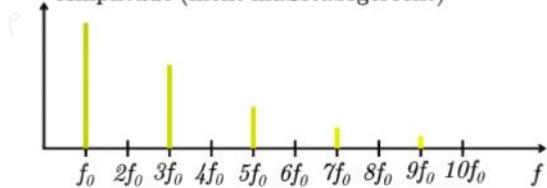


Abbildung 12, Frequenzspektrum

Wie in Abbildung 12 ersichtlich ist, tritt nicht jede Frequenz auf. Aber warum denn nicht? Dies wird im folgenden Link in Abbildung 3 veranschaulicht.

<https://www.leifiphysik.de/akustik/akustische-phaenomene/grundwissen/saitenschwingung>

Dort ist zu erkennen, dass allen diesen Schwingungen gemein ist, dass sie keinen Knoten in der Mitte der Saite haben. Dies macht auch Sinn, denn wenn es einen Knoten in der Mitte gibt, kann in der Mitte nichts schwingen.

Aber wie können bei der Geige unterschiedliche Töne erzeugt werden? Dies funktioniert, da beim Abgreifen mit den Fingern die Länge L der Saite verändert wird, wodurch sich eine neue Wellenlänge ergibt.

Die Schallgeschwindigkeit einer 1 m lang gespannten Seite sei $c=900 \text{ m/s}$. Berechne die Frequenz des Grundtons und des ersten Overtone.

$$\lambda = 2 \text{ m}$$

3.2.1.7.2 Stehende elektromagnetische Wellen im Mikrowellenherd

Als Übergitung zum nächsten Kapitel wollen wir das Konzept der stehenden Wellen auch für Wellen anwenden, welche keine Schallwellen sind, denn Schall- und elektromagnetischen Wellen sind einander in gewisser Weise ähnlich. Wieder gilt, falls sich eine Welle zwischen zwei Reflektoren bildet (diese kann man auch als Potentialtopf bezeichnen), kann der Abstand zwischen den Knoten nur definierte Werte annehmen (siehe Abbildung 11). Generell kann so ein Potentialtopf beispielsweise gegeben sein durch ein Gravitationspotential, oder ein Atomgitter (positive Ladungen in den Kernen), oder um es etwas alltäglicher zu veranschaulichen beispielsweise eine Mikrowelle. Hier sind die Potentialwälle durch die Dimension der Mikrowelle (Größe des Innenraums) gegeben. Da der Großteil der Mikrowellen (Licht mit einer Wellenlänge von circa _____) den Mikrowellenherd nicht verlassen können, müssen sich in diesem stehenden Wellen ausbilden, siehe Abbildung 11.

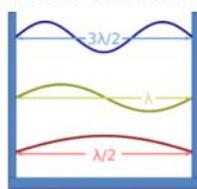


Abbildung 11, Hier wird ein Potentialtopf gezeigt mit ein paar möglichen stehenden Wellen

Erneut sind die möglichen Wellenlängen gegeben durch:

$$d = n \cdot \frac{\lambda}{2}$$

[d] = m (Abstand zwischen den Potentialwellen)

[En] = 1 (kann nur ganze Zahl sein)

[D] = m

Berechne wie viele Wellenberge und Wellentäler sich in einem Mikrowellenherd mit einer Breite d von 30 cm ausbilden, wenn die Wellenlänge $\lambda=10$ cm beträgt.

$$n = 6$$

Berechne wie sich die Anzahl der Wellenberge und Wellentäler ändert, wenn die Breite nicht 30 cm, sondern 40 cm beträgt.

$$n = 8$$

3.3 Wellen ohne Trägermedium

In diesem Kapitel werden wir uns mit den Welleneigenschaften von Licht beschäftigen, da diese Wellen sich auch im Vakuum ausbreiten können. Aber wieso mit den Welleneigenschaften und nicht den Teilcheneigenschaften? Diese Frage gibt es schon seit dem 17. Jahrhundert und geht auf Newton und Huygens zurück. Beide versuchten die Brechung und die Reflexion zu erklären, jedoch Newton vertrat die Ansicht, dass es sich bei Licht um _____ handelt (Korpuskulärtheorie). Huygens jedoch vertrat die _____. Spannend daran ist, dass man mit beiden Ansätzen die Brechung und Reflexion erklären kann. Aber was ist Licht? Im 19. Jahrhundert brachte Maxwell seine vier Maxwell-Gleichungen zu Papier um damit die räumliche Ausbreitung von Licht zu beschreiben. Jedoch beschreiben diese Gleichungen Licht als _____ (siehe E&B-Feld) und daher wurde ab diesem Zeitpunkt Licht als Welle interpretiert. Damit konnten viele Probleme der Physik gelöst werden, jedoch nicht der _____. Dieser wurde erst im 20. Jahrhundert von Einstein erklärt, und zwar über einen _____. Heutzutage wird der Teilchen-Wellendualismus in wissenschaftlichen Kreisen anerkannt und ist aus der Quantenmechanik nicht mehr weg zu denken. Aber wovon hängt es jetzt ab ob man mit dem Teilchencharakter oder dem Wellencharakter von Licht arbeiten sollte? Generell gilt, dass man mit dem Ansatz arbeitet, in dem das Problem am einfachsten gelöst werden kann. Deshalb werden wir uns zu Beginn mit den Welleneigenschaften beschäftigen.

3.3.1 Wellenmodell nach Huygens

Huygens (1629-1695) ist der Begründer der Wellenlehre des Lichts und damit der Vater dieser Theorie. Im Folgenden werden wir uns seine Überlegungen jedoch am Beispiel von Wasserwellen

veranschaulichen, soweit dies möglich ist (jedoch gelten alle diese Konzepte auch für Licht). In seiner Theorie gibt es zwei Grundannahmen:

- Jeder Punkt, der von einer Welle erfasst wird, ist Ausgangspunkt einer Elementarwelle. Diese Elementarwellen breiten sich in alle richtungen kreis- bzw. kugelförmig aus.
- Wenn sich Elementarwellen überlagern (Superposition) entstehen komplexe Wellen.

Hervorzuheben ist, dass sich die Elementarwellen in alle Richtungen des Mediums gleich schnell ausbreiten. Dies lässt sich schnell nachvollziehen, wenn wir das Wellenmuster betrachten, welches entsteht, wenn eine Wasseroberfläche gestört wird (siehe Abbildung 1 oder Gif).

http://schulphysikwiki.de/images/4/42/Welle_Kreiswelle_animiert.gif

In diesem Video ist eine Wasseroberfläche zu erkennen, welche zeitlich periodisch gestört wird. Es ist ersichtlich, dass sich die Wellenberge nicht gegenseitig überholen, und sich kreisförmig ausbreiten. Dies wird in Abbildung 13 erneut dargestellt.

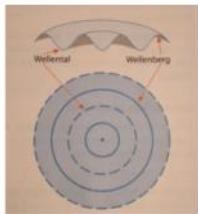


Abbildung 13, Elementarwelle mit Wellenberg und Wellental

Aber Wellen können im Allgemeinen nicht nur kreis- oder kugelförmig, sondern auch eben sein. Diese Art von Wellen wird als ebene Wellen bezeichnet. Siehe Abbildung 14.

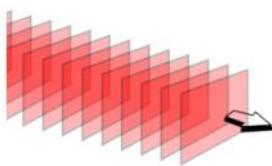


Abbildung 14, Ebene Welle

Aber was passiert, wenn eine eben Welle auf einen Spalt trifft? Dieser Vorgang wird im folgenden Link in Abbildung 1 veranschaulicht.

<http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ph/14/ep/einfuehrung/wellen/huygens.vlu/Page/vsc/de/ph/14/ep/einfuehrung/wellen/huygens2.vscml.html>

Wie in diesem Video gezeigt, zerfließen die ebenen Wellen beim Durchtreten des Spalts. Generell wird dies in Abbildung 15 noch einmal veranschaulicht.

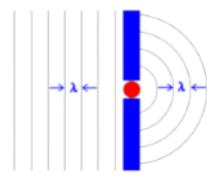


Abbildung 15, Eine ebene Welle (links) tritt durch einen Spalt (mitte) und zerfließt kugelförmig (rechts), der rote Punkt ist der Ausgangspunkt der Elementarwelle

Das Zerfließen der Welle selbst wird in Abbildung 16 schematisch veranschaulicht.

Einfache Anwendung des Huygesschen Prinzips

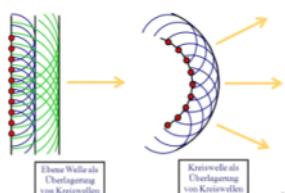


Abbildung 16, Zerfließen einer ebenen Welle

Da jeder Punkt im Spalt Ausgangspunkt für eine neue Kugelwelle ist, kommt es zum Zerfließen der ebenen Welle, wodurch diese im mittleren Bereich des Spalts noch eher eben ist, und am Rand des Spalts bereits Kugelform aufweist. Aber was passiert, wenn sich mehrere Wellen überlagern? Diesen Fall wollen wir uns im Folgenden anschauen.

3.3.2 Interferenz von Wellen

Das Phänomen, welches bei der Überlagerung (Superposition) von Wellen beobachtet werden kann, wird als Interferenz bezeichnet. Aber was kann man denn beobachten, wenn sich Wellen überlagern? Siehe Video.

<https://www.youtube.com/watch?v=4QO4C98ugHQ>

Im Video ist zu erkennen, dass ein Mensch mit seinen beiden Füßen die Wasseroberfläche stört, und dadurch jeweils an dem Punkt des Eintauchens näherungsweise eine Elementarwelle entstehen lässt.

Damit es zur Interferenz kommen kann, müssen die Wellen zueinander koherent sein.
Zwei Wellenzüge, die untereinander eine feste Phasen-
beziehung haben, nennt man koherent.

Im See lässt sich dann das sogenannte Interferenzmuster beobachten, welches bei der Überlagerung der beiden Wellen entsteht. Im folgenden Video wird ein Laborversuch zur Interferenz von Wasserwellen gezeigt.

<https://www.youtube.com/watch?v=TWOzDKM9-2Q>

Dieses Interferenzmuster wird auch in Abbildung 17 dargestellt.

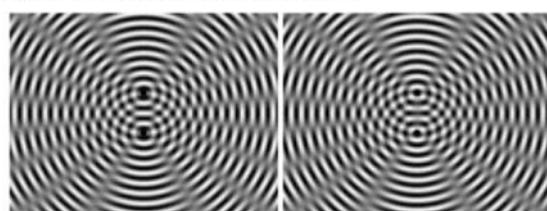


Abbildung 17, Interferenz von Wellen [Schwarz-Weisse Bereiche weisen konstruktive Interferenz auf, die grauen Linien destruktive]

Aber was genau ist jetzt eigentlich eine Überlagerung von Wellen? Zur Überlagerung von Wellen kommt es wenn zwei oder mehr Wellen sich am gleichen x befinden ($x_a=x_b$). Zuvor haben wir gesehen, dass auch stehende Wellen als ein Interferenzphänomen verstanden werden können, bei dem die Wellen jedoch stehenbleiben sind und die Wellenlänge aufweisen. Dementsprechend hat sich bereits in diesem Video erkennen lassen, dass sich die Gesamtamplitude aus der Summe der Einzelamplituden zusammensetzt. Da die Amplitude einer Welle sowohl vom Ort x , als auch der Zeit t abhängt, lässt sich die Summe dieser Wellen allgemein (unabhängig von der Laufrichtung der Welle) wie in Gleichung 1 gezeigt formulieren:

$$A_{ges}(x, t) = \sum_{n=1}^N A_n(x, t)$$

[A] ... m (Amplitude)

Falls es zur Überlagerung von lediglich $n=2$ Wellen kommt kann der Ausdruck wie in Gleichung 2 dargestellt werden:

$$A_{a+b}(x, t) = A_a(x, t) + A_b(x, t)$$

Im Folgenden werden wir Fälle betrachten, bei denen die Wellen jedoch in dieselbe Richtung laufen, jedoch unterschiedliche Interferenzbilder ergeben. Da sie sich aber überlagern gilt immer A_a und die vorherige Formel vereinfacht sich zu Gleichung 3:

$$A_{a+b}(t) = A_a(t) + A_b(t)$$

Aber wie genau sieht so eine Welle nun mathematisch aus? (Eigentlich gehört an diese Stelle die Wellengleichung, jedoch handelt es sich bei dieser um eine hyperbolische Differentialgleichung und wird daher nicht im Unterricht behandelt. Jedoch können auch Schwingungen als Wellen mit unterschiedlichen Laufrichtungen interpretiert werden, daher arbeiten wir mit der Schwingungsformel.) Dies wird in Gleichung 4 gezeigt:

$$A(t) = A(0) \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

[A] ... m (Amplitude)

[\omega] ... s⁻¹ (Kreisfrequenz)

[t] ... s (Zeit)

[\varphi] ... Rad (Phasenwinkel)

Da nun geklärt ist wie eine Welle mathematisch beschrieben werden kann, können wir den Fall der Überlagerung betrachten.

Wir wissen, dass die Überlagerung von Wellen als Summe dieser aufgeschrieben werden kann (Gleichung 1&2). Ebenfalls wissen wir, dass eine einzelne Welle wie in Gleichung 4 dargestellt werden kann. Dementsprechend können wir Gleichung 4 in Gleichung 1, welche sich da wir nur zwei Wellen betrachten zu Gleichung 2 vereinfacht, einsetzen und erhalten Gleichung 5:

$$A_{a+b}(t) = A_a(0) \cdot \sin(\omega_a t + \varphi_a) + A_b(0) \cdot \sin(\omega_b t + \varphi_b)$$

Da wir jedoch nur Wellen mit gleicher Amplitude ($A_a(0)=A_b(0)$) und gleicher Wellenlänge ($\omega=\frac{2\pi}{\lambda} \rightarrow \omega_a=\omega_b$) überlagern wollen, vereinfacht sich Gleichung 5 zu Gleichung 6:

$$A_{a+b}(t) = A_a(0) \cdot (\sin(\omega_a t + \varphi_a) + \sin(\omega_a t + \varphi_b))$$

Je nachdem wie wir nun die Phasenverschiebung φ wählen erhalten wir eine konstruktive oder destruktive Interferenz. Diese Fälle werden wir im Folgenden genauer betrachten.

3.3.2.1 Konstruktive Interferenz von Wellen

Aber wie müssen wir φ wählen damit es zu einer konstruktiven Interferenz kommt? Dafür betrachten wir erneut Gleichung 6:

$$A_{a+b}(t) = A_a(0) \cdot (\sin(\omega_a t + \varphi_a) + \sin(\omega_a t + \varphi_b))$$

Wie wir hier sehen ist dank unserer Annahme, dass die beiden Wellen dieselbe Wellenlänge und die gleiche Amplitude haben, lediglich der Phasenwinkel dieser Wellen unterschiedlich. Wenn sich nun zwei Wellenberge addieren sollen, muss die Phasenverschiebung $\varphi_b - \varphi_a = n \cdot 2\pi$ betragen ($n=\text{Ganze Zahl}$). Falls also zwei Wellen mit einer Phasenverschiebung von $\varphi_b - \varphi_a = n \cdot 2\pi$ aufeinander treffen kommt es zur konstruktiven Interferenz und die die Superposition der beiden Wellen ergibt eine doppelt so große Amplitude ($2A_a$), siehe Abbildung 18.

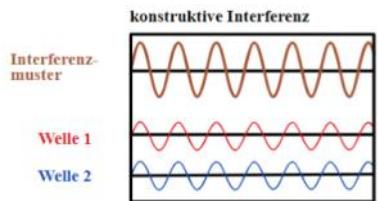


Abbildung 18, Konstruktive Interferenz zweier Wellen

Wie in Abbildung 18 ersichtlich, ist die Gesamtamplitude der überlagerten Wellen doppelt so groß wie die der jeweils einzelnen.

3.3.2.3 Destruktive Interferenz von Wellen

Diese konnte auch im vorherigen Video beobachtet werden und findet dort statt, wo es so aussieht als gebe es . Aber wie muss in diesem Fall die Phasenverschiebung sein? Generell gilt wenn die Phasenverschiebung einen Wert von ($n=\text{ganze Zahl}$) aufweist handelt es sich um eine destruktive Interferenz. Siehe Abbildung 19.

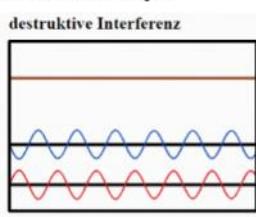


Abbildung 19, Destruktive Interferenz

3.3.2.3 Interferenz von Wellen unterschiedlicher Wellenlängen

In diesem Fall werden die einzelnen Wellen nach wie vor addiert, ergeben jedoch keine harmonische Gesamtwelle. Siehe Abbildung 20.

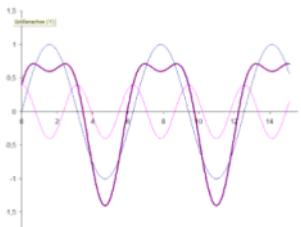


Abbildung 20, Interferenz von Wellen unterschiedlicher Wellenlänge

Die mathematische Beschreibung dieses Phänomens werden wir im Rahmen der Schulphysik nicht behandeln, da diese eher komplex ist. Dafür müssen wir eine Fourier-Transformation durchführen, denn mit dieser kann gezeigt werden, dass jede periodische Funktion in eine Summe von Sinus- und Cosinusfunktionen zerlegt werden kann. Da für diesen Schritt jedoch nicht nur Integralrechnung, sondern auch die Einführung des reziproken Raums benötigt wird, endet dieses Kapitel hier.

Anwendungen:

- Michelson Interferometer
- IR-Spektroskopie
- VLBI

3.3.3 Reflexion von Wellen/Teilchen

Mit Beginn dieses Kapitels wird langsam auch das Modell des Photons (Photonenmodell) eingeführt, da dieses Modell in den folgenden Kapiteln immer zentraler werden wird. Aber bleiben wir vorerst noch im Wellenmodell.

Da wir mittlerweile die Wechselwirkung von Wellen untereinander besprochen haben wird es Zeit sich mit der Wechselwirkung von Licht und Materie zu beschäftigen. Da bei der Wechselwirkung von Licht und Materie jedoch viele verschiedene Effekte auftreten können, wollen wir uns zu Beginn auf jene beschränken, bei denen Licht lediglich von der Oberfläche reflektiert wird. Ein solcher Vorgang ist in Abbildung 21 ersichtlich.



Abbildung 21, Reflexion eines Gebäudes im Wasser

Wie in Abbildung 21 ersichtlich, kann Wasser ein exaktes Abbild eines Körpers erzeugen. Das Gegenteil eines exakten Abbilds ist beispielsweise die „Farbe“ (wir werden später noch sehen wieso dieser Effekt nicht auf die Farbe zurückzuführen ist) Matt. Siehe Abbildung 22.



Abbildung 22, Mattes Auto

In Abbildung 22 ist ein mattes Auto dargestellt. Die Abbildung zeigt deutlich, dass es im Bereich der Windschutzscheibe zu einer Abbildung der Lampe über dem Auto kommt (gleiches Verhalten wie ein Spiegel), jedoch die Lampe in den matten Bereichen nicht erkennbar ist. Aber wie unterscheiden sich

diese beiden Bereiche? Dafür müssen wir uns erst einmal mit dem Modell der Reflexion von Licht beschäftigen. Siehe Abbildung 23.

3.3.3.1 Reflexion von Wellen

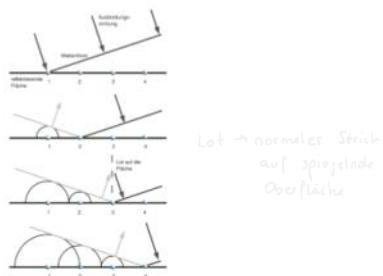


Abbildung 23, Reflexion im Wellenmodell von Huygens

In Abbildung 23 ist eine ebene Welle dargestellt, welche auf eine glatte Oberfläche trifft. Dabei entstehen am Ort des Auftreffens neue Wellenfronten, deren Wellenfronten sich überlagern und anschließend als Welle nach rechts oben ausstrahlen. An dieser Stelle empfiehlt es sich ebenfalls die Reflexion im Teilchenbild einzuführen, da diese leichter dargestellt, und in meinen Augen auch leichter nachvollzogen, werden kann. Siehe Abbildung 24.

3.3.3.1 Reflexion von Photonen

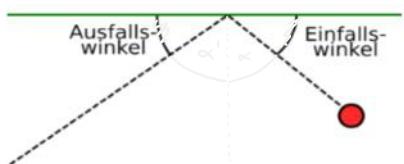


Abbildung 24, Reflexion im Teilchenmodell, Das reflektierte Photon wird als roter Punkt dargestellt (Teilchenmodell)

Wie in Abbildung 24 ersichtlich wird das einfallende Photon (roter Punkt, Teilchenmodell!) an der Oberfläche reflektiert. Dabei ist der Einfallswinkel gleich dem Reflexionswinkel.

Einfallsinkel α = Reflexionswinkel α'

Dieser Sachverhalt gilt natürlich auch im Wellenmodell! Dieser Vorgang wird in Abbildung 25 nicht nur an einem einzelnen Teilchen, sondern an einem ganzen Strahl erneut gezeigt.

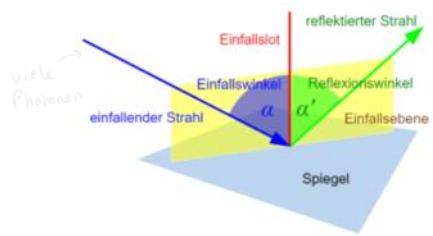


Abbildung 25, Reflexion eines Lichtstrahls an einem Spiegel

Wie in Abbildung 25 ersichtlich, fällt der Lichtstrahl im Einfallsinkel ein und wird im Reflexionswinkel reflektiert. Zwischen diesen beiden Winkeln befindet sich das sogenannte _____, welches zur Oberfläche steht. Die beiden Winkel werden vom Strahl zum _____ gemessen. In Realität sieht eine solche Reflexion wie folgt aus. Siehe Abbildung 26.

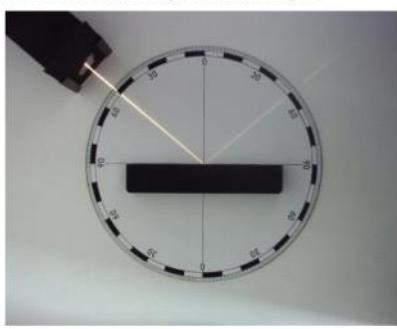


Abbildung 26, Reflexion eines Lichtstrahls an einem Spiegel (schwarzer Körper)

Wie in Abbildung 26 ersichtlich beträgt der Einfallsinkel $\alpha = 30^\circ$ und der Reflexionswinkel α' ebenfalls $\alpha' = 30^\circ$. Das Lot steht normal auf den Körper (0°).

Dies gilt ebenfalls für gekrümmte Oberflächen. Siehe Abbildung 26.

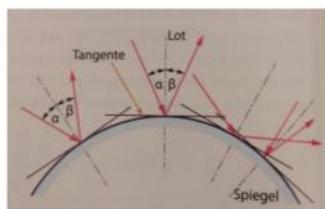


Abbildung 26, Reflexion an einer gekrümmten Oberfläche

In Abbildung 26 ist ersichtlich, dass der Einfallswinkel (hier α) und der Ausfallwinkel (hier β) gleich groß sind und das Lot normal auf der Oberfläche steht. Dies wird auch bei Diskokugeln ausgenutzt. Siehe Abbildung 27.



Abbildung 27, Diskokugel

Wie in Abbildung 27 ersichtlich befinden sich auf einer Diskokugel vielen kleinen Spiegel, welche das Licht reflektieren. Schematisch wird dieser Vorgang erneut in Abbildung 28 dargestellt.

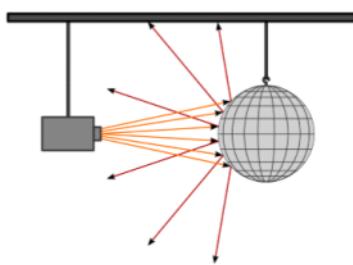


Abbildung 28, Reflexion von Licht an einer Diskokugel

Aber zurück zur ursprünglichen Frage, wo denn der Unterschied zwischen einer spiegelnden und einer matten Oberfläche liegt.

Bei einer spiegelnden Oberfläche ist die Oberfläche sehr _____, dadurch kommt es zu einer _____ Reflexion (jedes Lot auf der Oberfläche ist parallel zum nächsten). Wenn die Oberfläche hingegen rau ist, kommt es zu einer _____ Reflexion (Lot ist nicht parallel zum nächsten). Siehe Abbildung 29.

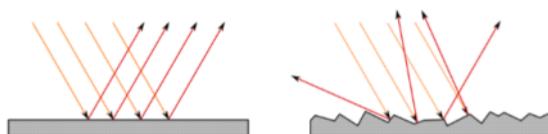


Abbildung 29, Direkte Reflexion an einer glatten Oberfläche (links) und einer diffusen Reflexion an einer rauen Oberfläche (rechts)

Genau dies wird beispielsweise bei Spiegeln ausgenutzt (Spiegel sind sehr glatte Glasscheiben auf denen _____ aufgetragen wird, da Silber das gesamte sichtbare Spektrum ($\lambda=400-800$ nm reflektiert). Da vor allem die Beschaffenheit der Oberfläche für das Reflexionsverhalten ausschlaggebend ist, können wir unser Spiegelbild auch auf der Wasseroberfläche oder im Fensterglas sehen.

Falls die Oberfläche jedoch rau (matt) ist, werden die Lichtstrahlen wie in Abbildung 29 ersichtlich „zufällig“ (eigentlich ist es kein Zufall da die Oberfläche die Lage des Lots bestimmt und nach wie vor $\alpha=\alpha$ gilt) reflektiert. Dies wird als diffuse Reflexion oder _____ bezeichnet. Da die Photonen gestreut werden kann das Auge kein Abbild erkennen.

Dieser Unterschied wird im folgenden Link im Abschnitt „Diffuse Reflexion (Streuung)“ veranschaulicht.

https://www.tec-science.com/de/optik/wechselwirkung-strahlung-licht-materie/#Abhaengigkeit_der_Wechselwirkungen_von_der_Wellenlaenge

Aber was passiert, wenn ein Lichtstrahl nicht an einer Oberfläche reflektiert wird, sondern durch sie hindurch geht? Diese Frage bringt uns zum nächsten Kapitel.

3.3.4 Brechung

Als Brechung wird jenes Phänomen bezeichnet, welches beobachtet werden kann, wenn eine Welle von einem Medium in ein anderes Medium übergeht. Dies wird in Abbildung 30 veranschaulicht.

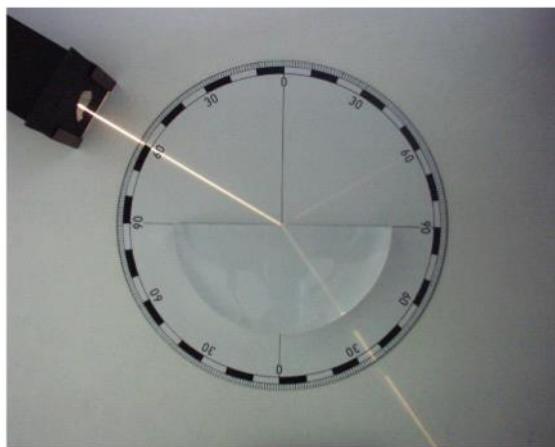


Abbildung 30, Reflektierter und gebrochener Lichtstrahl beim Beleuchten eines Plexiglases

Wie in Abbildung 30 ersichtlich kommt es zur Brechung und zur Reflexion des Lichtstrahls. Für den reflektierten Lichtstrahl gilt wieder Einfallsinkel ist Reflexionswinkel. Der Ausfallwinkel des gebrochenen Lichtstrahls ist jedoch dem Einfallsinkel. Dieser Sachverhalt wird schematisch in Abbildung 31 gezeigt und durch das Snellius'sche Brechunggesetz beschrieben. Aber zuvor müssen wir uns mit den Materialien selbst beschäftigen.

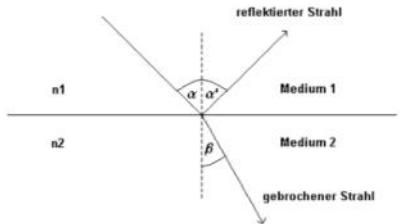


Abbildung 31: Schematische Darstellung der Brechung ($\alpha = \alpha'$ und $\alpha \neq \beta$)

In Abbildung 31 ist ersichtlich, dass alle Winkel immer zum Lot gemessen werden und der Brechungswinkel β nicht gleich dem Reflexionswinkel α' ist.

3.3.4.1 Brechungsindex

Jedes Material hat einen sogenannten Brechungsindex n , welcher eine Materialwerte darstellt. Dieser Brechungsindex n ist ein Maß dafür wie stark ein Lichtstrahl beim Übergang von Vakuum in ein Material gebrochen wird. Aber wieso kommt es zu einer Änderung des Winkels, wenn ein Lichtstrahl von einem Material in ein anderes übergeht? Dies wird am Beispiel eines Wannenbeckens schematisch im folgenden Link gezeigt.

https://www.youtube.com/watch?v=UaP0f_7XuCE

In dem Video lässt sich erkennen, dass sich aufgrund der Plexiglasscheibe die Wassertiefe verändert. Dies führt dazu, dass sich die Wellenlänge der Welle und damit die Geschwindigkeit aufgrund der sich andrenden Reibung ändert (falls die Wellenlängen von Wasserwellen groß im Vergleich zur Wassertiefe d ist gilt: $c \approx \sqrt{g \cdot d}$ (g =Erdbeschleunigung), wobei sich die Geschwindigkeit aufgrund der sich ändernden Reibung zwischen Welle und Boden ändert). Wir erinnern uns:

$$\begin{aligned} c &= \lambda \cdot f \\ [c] &= \text{m/s} \rightarrow \text{Geschwindigkeit} \\ [\lambda] &= \text{m} \rightarrow \text{Länge} \\ [f] &= \frac{1}{\text{s}} \rightarrow \text{Frequenz} \end{aligned}$$

Falls nun Licht von einem Medium in ein anderes Medium übergeht, ist das als würde sich die Tiefe des Wasserbeckens ändern. Also die Lichtgeschwindigkeit, und damit die Wellenlänge, nimmt beim Übergang ab. Dies wird schematisch im folgenden Gif gezeigt.

https://de.wikipedia.org/wiki/Brechungsindex#/media/File:Snells_law_wavefronts.gif

Nun zurück zum Brechungsindex n . Dieser ist wie folgt definiert:

$$n = \frac{c_0}{c_M}$$

$[n] = 1$ (Brechungsindex)

$$[c_0] = \frac{m}{s} \text{ (Lichtgeschwindigkeit im Vakuum)}$$

$$[c_M] = \frac{m}{s} \text{ (Lichtgeschwindigkeit im Medium)}$$

Da Licht am schnellsten im Vakuum ist, kann der Brechungsindex n für transparente Materialien nur Werte größer 1 annehmen ($n(\text{Vakuum})=1$; $n(\text{Luft})=1,000292$; $n(\text{Wasser})=1,333$; $n(\text{Ethanol})=1,3614$; $n(\text{Glas})=1,45 - 2,14$).

Einschub:

Ebenfalls gibt es Materialien, welche einen Brechungsindex zwischen 0 und 1 haben, oder dieser sogar negative Werte annehmen kann. Beispielsweise Lanthan-Kalzium-Manganoxid ($n<0$) bei einem externen Magnetfeld mit einer Frequenz von 150 GHz und 210 K. Da dieses Verhalten ($n<1$) in unserem Modell (wir betrachten nur Materialien, welche Licht schwach absorbieren) jedoch theoretisch nicht möglich sein sollte, und viel zu komplex ist, um es im Rahmen dieser Ausbildung zu thematisieren werden wir auf diese Werkstoffe nicht näher eingehen. Jedoch für interessierte:

$0 < n < 1$: <https://studyflix.de/ingenieurwissenschaften/brechungsindex-2343>

$n < 0$: https://ph2.uni-koeln.de/fileadmin/_migrated/content_uploads/Ulrich-MaterialienmitnegativemBrechungsindex.pdf

3.3.4.2 Snellius'sches Brechungsgesetz

Das Snellius'sche Brechungsgesetz setzt nun diese Brechungsindizes mit dem Einfall- und Brechungswinkel in Relation.

$$\frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{\text{rel}}$$

α ... Einfallswinkel in Medium 1
 β ... Winkel d. gebrochenen Strahl \Rightarrow (Brechungswinkel) in Medium 2
 c_1, c_2 ... Lichtgeschwindigkeit Medium 1/2
 n_1, n_2 ... Brechungsindex in Medium 1/2
 n_{rel} ... relative Brechkraft zwischen Medium 1 und 2

Die angegebene Formel bezieht sich auf Abbildung 31.

Dieser Zusammenhang wird beispielsweise in der analytischen Chemie zur Bestimmung der Reinheit von Flüssigkeiten genutzt. Das Analysengerät wird Refraktometer genannt und wird beispielsweise zur Bestimmung des Methanolgehalts in Ethanol genutzt. Aber nun zu zwei Rechnungen:

Berechne den Brechungswinkel eines Lichtstrahls, wenn dieser von Luft unter einem Winkel von 45° in ein Glas mit einem Brechungsindex von 1,6 übergeht.

$$\frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)} = n_{12}$$
$$\beta = \arcsin\left(\frac{\sin(\alpha)}{n_{12}}\right)$$
$$\beta = \arcsin\left(\frac{\sin(45^\circ)}{1.6}\right) = 26.227\dots^\circ$$

BEISPIEL 2.12

Messung der Lichtgeschwindigkeit in Wasser

Eine Messung soll die Temperaturabhängigkeit der Lichtgeschwindigkeit zeigen. Dabei zeigt sich bei 25°C : Beim Übergang von Luft zu Wasser wird ein Lichtstrahl, der mit dem Einfallwinkel 30° eintritt, unter einem Winkel von 22° gegen das Lot gebrochen. Mit diesen Messdaten soll die Lichtgeschwindigkeit in Wasser bei 25°C rechnerisch ermittelt werden.

Da wir nun über den Zusammenhang der Brechungsindizes und der Winkel Bescheid wissen, empfiehlt es sich das folgende Applet zu verwenden, denn dieses zeigt die Brechung noch im Wellenmodell.

<https://www.leiphiistik.de/mechanik/mechanische-wellen/ausblick/erklarung-von-reflexion-und-brechung-durch-das-prinzip-von-huygens>

Die Brechung im Wellenmodell wird in der folgenden Abbildung 32 noch einmal schematisch veranschaulicht.

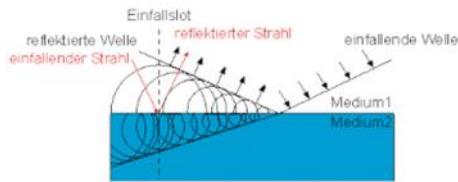


Abbildung 32, Schematische Darstellung der Brechung im Wellenmodell (der nicht eingezeichnete gebrochene Lichtstrahl muss normal auf der gebrochenen Welle stehen)

3.3.4.2 Optisch dünn – optisch dicht

Wie wir zuvor gesehen haben gibt es Materialien mit einem hohen und einem niedrigen Brechungsindex. Um leichter etwas über die Relationen dieser Materialien auszusagen wurden die Begriffe „optisch dünn“ und „optisch dicht“ eingeführt. Bei diesen Begriffen handelt es sich um relative Begriffe und können daher nur im Verhältnis zu einem anderen Material definiert werden. Beispielsweise wenn Luft in Wasser übergeht geht der Lichtstrahl von einem optisch dichten Medium ($n_{\text{Luft}}=1,000292$) in ein optisch dünnes Medium ($n_{\text{Wasser}}=1,333$) und vice versa.

Je nachdem ob ein Lichtstrahl von einem optisch dünnen in ein optisch dichtes, oder von einem optisch dichten in ein optisch dünnes Medium übergeht lässt sich ein unterschiedliches Brechungsverhalten beobachten. Wenn der Lichtstrahl vom optisch dünnern Medium ins optisch dichtere übergeht erfolgt eine Brechung lot, wenn der Lichtstrahl vom optisch dichteren ins optisch dünnere übergeht erfolgt eine Brechung um lot. Siehe Abbildung 33.

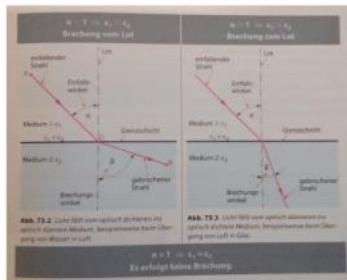


Abbildung 33, Übergang eines Lichtstrahls von optisch dicht in optisch dünn (links) und von optisch dünn in optisch dicht (rechts), n_{Luft} (relative Brechzahl)

In Abbildung 33 ist ersichtlich, dass der Lichtstrahl entweder zum oder vom Lot gebrochen wird. Generell lässt sich sagen, dass wenn die Geschwindigkeit der Photonen (oder Wellen) beim Übergang vom einen Medium in das andere Medium _____, eine Brechung zum Lot erfolgt. Wenn die Geschwindigkeit jedoch _____ erfolgt eine Brechung vom Lot. In Abbildung 34 werden diese beiden Fälle veranschaulich.

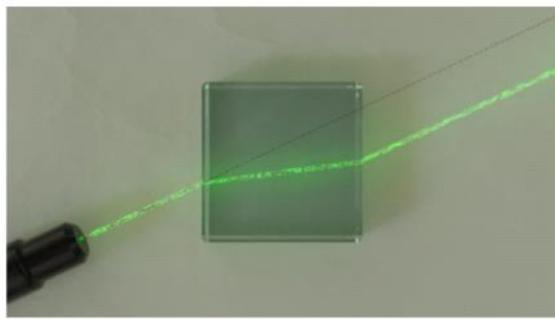


Abbildung 34, Ein Laserstrahl durchwandert einen Kunststoffblock

In der nächsten Abbildung 35 sehen wir ein uns aus dem Straßenverkehr bekanntes Phänomen.



Abbildung 35, Ein Auto wird „auf der Straße gespiegelt“

Wie in Abbildung 35 ersichtlich, sieht es so aus als würde sich auf der Straße eine Pfütze befinden. Jedoch ist dies nicht der Fall. Es handelt sich nämlich um eine Spiegelung. Wieso lässt sich aber, obwohl die Straße trocken ist, die Spiegelung des Autos erkennen?

Dies ist darauf zurückzuführen, dass heiße Luft eine geringere Dichte, und damit einen geringeren Index als kalte Luft aufweist. Dadurch werden die Lichtstrahlen, welche vom Auto kommen, geworfen. Dies wird in Abbildung 36 schematisch dargestellt.

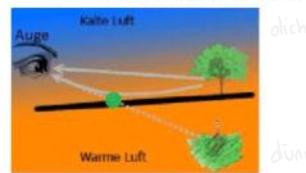


Abbildung 36, Der Lichtstrahl wird aufgrund der sich ändernden Dichte der Luft gebrochen

Nun kommen wir zum letzten noch unbesprochenen Fall. Diese Art der Reflexion ermöglicht es uns mittels Glasfaserkabeln Internet zu „transportieren“. Nämlich die Totalreflexion.

3.3.4.2 Totalreflexion

Die Totalreflexion kann beobachtet werden, wenn ein Lichtstrahl, ab einem gewissen Winkel, von einem optisch dichten in ein optisches dünnes Medium übergeht. Dies wird in Abbildung 37 gezeigt.

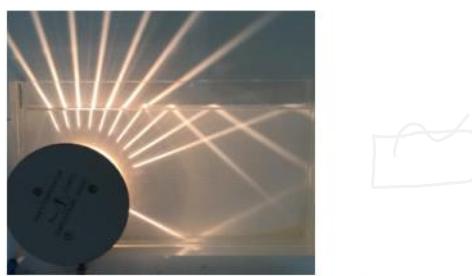


Abbildung 37, Brechung und Totalreflexion beim Übergang von optisch dicht in optisch dünn

Wie in Abbildung 37 ersichtlich gibt es einen bestimmten Winkel, den sogenannten Grenzwinkel, ab dem es zur Totalreflexion kommt. Ab diesem Winkel kommt es, wenn der Einfallsinkel vergrößert wird, nicht mehr zur Reflexion, sondern nur mehr zur Transmission. Man spricht von der Totalreflexion. Dies wird im folgenden Applet veranschaulicht.

Das im Applet gezeigte Phänomen wird schematisch in Abbildung 38 gezeigt.

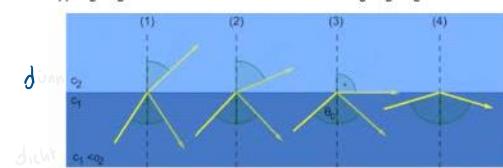


Abbildung 38, Winkelabhängigkeit der Brechung & Reflexion und der Totalreflexion (Dunkelblau ist optisch dichter, hellblau optisch Dünner)

Wie im Applet und in Abbildung 38 ersichtlich kommt es ab einem bestimmten Grenzwinkel α_T nur mehr zur Reflexion (Totalreflexion). Generell lässt sich dieser Winkel wie folgt berechnen:

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

α_T : Totalreflexionswinkel
 β : Winkel d. gebrochenen Strahls (Brechungswinkel)
 n_1 : Brechungsindex Medium 1
 n_2 : Brechungsindex Medium 2

Da der Brechungswinkel bei der Totalreflexion 90° beträgt vereinfacht sich die obige Formel zu:

$$\sin(\alpha_T) = \frac{n_2}{n_1}$$

Daraus kann α_T durch simples Umformen berechnet werden.

$$\alpha_T = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

Massenspektrometer (bis 10^{-12})
 TXRF

„durchgehen“:
 Transmission

„zurückgehen“:
 Reflexion

Dies Formel gilt nur wenn $n_1 < n_2$ ist.

Nun zu einer Rechnung:

Berechne den Grenzwinkel für die Totalreflexion wenn Licht von einem Medium mit einem Brechungsindex von 1,6 in ein Medium mit einem Brechungsindex von 1,3 übergeht.

$$\arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) = 54,34\ldots^\circ$$

Die Totalreflexion ist ein zentrales Phänomen in unserem modernen Leben, da dank dieser das „Internet“ (also elektromagnetische Strahlung - Licht) unter der Erde, in sogenannten Gläsernen Meilen, transportiert werden kann. Dies wird in Abbildung 39 gezeigt.

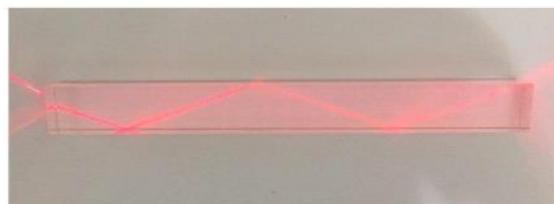


Abbildung 39, Transport von elektromagnetischer Strahlung mittels Glasfaserkabel

Bis jetzt haben wir uns mit dem generellen Begriff „Licht“ begnügt und sind auf diesen nicht weiter eingegangen. Daher werden wir uns im Folgenden mit der Zusammensetzung von Licht beschäftigen.

3.3.5 Dispersion von Licht

Erst einmal zum Begriff Dispersion. Dispersion bedeutet wörtlich übersetzt „zerstreuen“. Also wird es im Folgenden um das Zerstreuen (also um die Separation nach Wellenlängen) von Licht gehen. Aber wie kann Licht zerstreut werden? In der Natur lässt sich dieser Vorgang immer wieder beobachten. Siehe Abbildung 40.



Abbildung 40, Regenbogen

Aber wie kann ein Regenbogen vom Menschen erzeugt werden? Dies kann beispielsweise mit einem Prisma geschehen. Dieser Vorgang wird in Abbildung 41 veranschaulicht

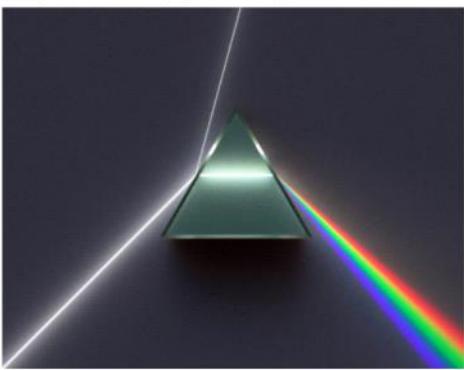


Abbildung 41, Licht wird mit einem Prisma zerstreut

monochromatisches Licht:

Laser

polychromatisches Licht:

alles Natürliche; in monochr. Licht

zurlebbar

Fraunhofer-Spektrum
Spektrallinien

In Abbildung 41 ist ersichtlich, dass ein Teil des Lichtstrahls reflektiert und ein Teil refraktiert wird. Der gebrochene Lichtstrahl trennt sich beim Verlassen des Prismas in verschiedene Farben auf (=Dispersion). Aber wieso kommt es zu einer Dispersion/Zerstreuung (=Separation nach Wellenlängen) des Lichts, wenn es durch ein Prisma tritt? Generell ist dies auf die sich ändernde Index der Brechung im Medium zurückzuführen. Blaues und rotes Licht sind unterschiedlich brechbar, und werden daher auch unterschiedlich stark gebrochen. Wie in Abbildung 41 ersichtlich wird blaues Licht stärker gebrochen als rotes Licht. Folglich müssen auch verschiedene Farben des Lichts verschiedene Winkel haben. Die Farben, welche hinter dem Prisma in Abbildung 41 sichtbar sind werden als Regenbogenfarben bezeichnet und können nicht weiter aufgespalten werden. Falls sie alle überlagert werden lässt sich weißes Licht beobachten.

Aber wie entsteht jetzt der Regenbogen, welchen wir in der Natur beobachten können? Dafür müssen wir uns überlegen bei welchen Bedingungen überhaupt ein Regenbogen entstehen kann. Erst einmal muss es Regentropfen geben. Aber wieso sind die Regentropfen so wichtig für die Entstehung des Regenbogens? Die Regentropfen fungieren als Prismen, welche zur Dispersion der Sonnenstrahlen führen. Siehe Abbildung 42.

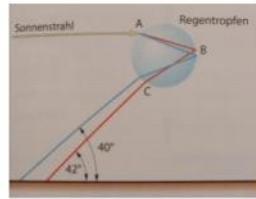


Abbildung 42, Regentropfen fungiert als Prisma

Wie in Abbildung 42 ersichtlich wird das Licht im Inneren des Regentropfens zerstreut. Dabei zeigt, beim Verlassen des Tropfens das blaue Licht eine stärkere Brechung als das Rote. Daher ist der Winkel zwischen Boden und blauem Licht kleiner als der Winkel zwischen rotem Licht und Boden.

Aus Abbildung 42 kann die zweite nötige Bedingung interpretiert werden. Nämlich, dass die Sonne hinter den Farben des Beobachters ist.

Jedoch kann es auch passieren, dass es nicht nur ein Regenbogen (in Abbildung 40 war lediglich der sogenannte Hauptregenbogen sichtbar), sondern gleich zwei (Haupt- und Nebenregenbogen) am Himmel beobachtet werden können. Siehe Abbildung 43.



Abbildung 43, Hauptregenbogen (unten) und Nebenregenbogen (oben)

Um zu erklären wieso mehr als nur ein Regenbogen auftreten kann (bei sehr guten Lichtverhältnissen) müssen wir uns den Unterschied dieser beiden suchen.

Unterschied: Zwischen umgekehrter & schwächer

Aber wieso tritt dieser Unterschied auf? Die Entstehung des Nebenregenbogens wird in Abbildung 44 gezeigt.

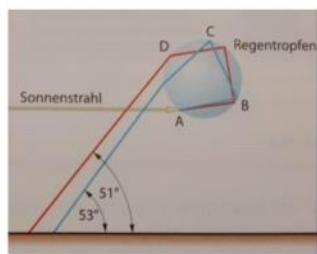


Abbildung 44, Entstehung des Nebenregenbogens

Der oben beschriebene Unterschied kann dadurch erklärt werden, dass das Licht im Tropfen reflektiert wird, und daher beim Austritt die Farben genau umgekehrt aus dem Tropfen austreten. Da die doppelte Reflexion Sel tener ist als die Einfache, und das Licht wesentlich stärker aufgefächert wird, ist der Nebenregenbogen stets schwächer als der Hauptregenbogen.

Die Entstehung beider Regenbogen gemeinsam wird in Abbildung 45 gezeigt.

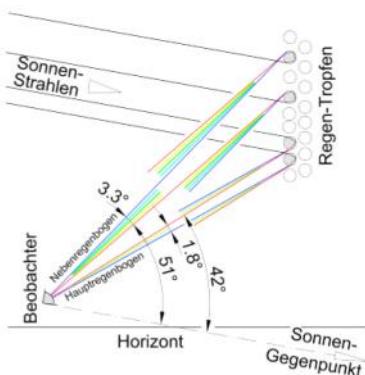


Abbildung 45, Entstehung des Haupt- und des Nebenregenbogens

In Abbildung 45 wird die einfache und doppelte Brechung des Lichtstrahls, und die damit verbundene Auswirkung auf den Himmel gezeigt.

Die Dispersion des Lichts ist ebenfalls dafür verantwortlich, dass der Himmel blau ist (zu Mittag). Das energiereiche Licht (blau) wird an den Gasmolekülen in der Atmosphäre stärker gebrochen als das energiearme Licht (). Siehe Abbildung 46.

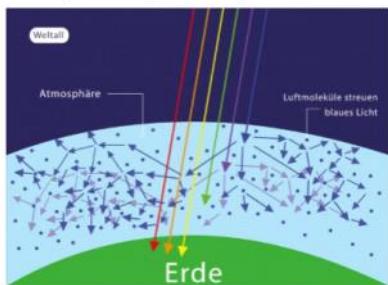


Abbildung 46, Zu Mittag ist der Himmel blau

Aber wieso ist der Himmel nur Untertags blau aber beim Sonnenaufgang oder Sonnenuntergang rot?
Dies ist auf den Winkel des Lichts zurückzuführen und wir schematisch in Abbildung 47
gezeigt.

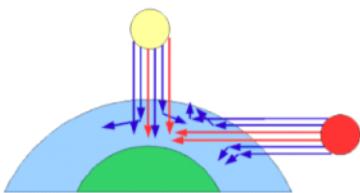


Abbildung 47, Unterschied zwischen blauen Himmel (gelbe Sonne) und rotem Himmel (rote Sonne)

Wie in Abbildung 47 ersichtlich hängt die Farbe des Himmels vom Einfallwinkel der Sonnenstrahlen ab. Desto tiefer die Sonne steht, desto roter sind die Lichtstrahlen. Lichtstrahlen befinden sich in der Atmosphäre, und dadurch werden diese auch öfter an Molekülen in der Gasphase gestreut. Dadurch, dass die Anzahl der Streuungen von der dicke der passierten Atmosphäre abhängt, wechselt der Himmel, je nach Sonnenstand, seine Farbe. Untertags wird mehr blaues als rotes Licht in die Atmosphäre gestreut und der Himmel erscheint blau. Abends jedoch erreichen uns mehr wenig gestreute rote Lichtstrahlen als oft gestreute blaue Lichtstrahlen und der Himmel erscheint rot.

Frage für Ende: Wieso sind die Farben in den Abbildungen genau anders herum als auf den Bildern?

Wieso ist Himmel Blau und nicht violett?

wie das Auge diese Frequenzen nicht hat

Welches Licht ist am schnellsten?

3.3.6 Beugung von Licht

Unter der Beugung von Licht versteht man, das Licht, nachdem es an einem Hindernis abgelenkt wird (zum Beispiel einem Spalt oder einem Loch), in den _____ eintreten kann. Dies wird in Abbildung 48 schematisch veranschaulicht.

↳ alles wo Schatten ist

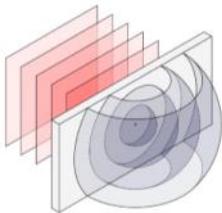


Abbildung 48, Falls das Loch klein genug ist kommt es dahinter zur Beugung der Welle

Wie in Abbildung 48 ersichtlich ist, entsteht am Punkt wo sich das Loch befindet eine Kugelwelle, welche in den Schattenraum eintaucht. Dies kann aber nur passieren, wenn der Durchmesser des Lochs in etwa die Dimension der _____ hat! Wir alle wissen was passiert, wenn der Lichtstrahl ein Loch durchtritt, dessen Durchmesser wesentlich größer als die Wellenlänge ist. Dieser Fall tritt nämlich ein, wenn man mit einem Laserpointer aus dem Fenster oder durch einen Türrahmen leuchtet, und wie wir wissen ist der Lichtstrahl danach nicht gebeugt.

3.3.6.1 Beugung am Einfachspalt

Beginnen wir mit dem einfachsten Fall, der Beugung am Einfachspalt. Bei diesem wird das Licht eines Laserpointers durch einen einzelnen Spalt geschickt. Siehe Abbildung 49.

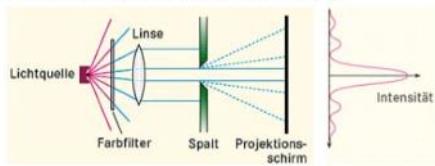


Abbildung 49, Experimenteller Aufbau des Einzelspalteperiments

Wie in Abbildung 49 ersichtlich, benötigt man einen Farbfilter (meist wird statt dem Farbfilter einfacher ein Laserpointer verwendet), eine Linse, um die Lichtstrahlen parallel auszurichten (diese wird bei Verwendung eines Laserpointers ebenfalls nicht benötigt), ein Spalt mit verstellbarem Durchmesser und ein Projektionsschirm. Am Projektionsschirm kann dann, in Abhängigkeit der Spaltbreite, und falls ein roter Laserpointer verwendet wird, folgendes Muster erkannt werden. Siehe Abbildung 50.

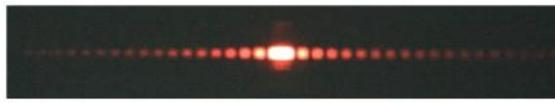


Abbildung 50, Beugungsmuster beim Einzelspalt

Wie in Abbildung 50 ersichtlich gibt es Bereiche, welche heller sind und andere welche dunkler sind. Die hellen Bereiche werden Maxima und die weniger hellen Bereiche Minima genannt. Der hellste Fleck in der Mitte ist das sogenannte zentrale Maximum. Je nachdem wie die Spaltbreite oder die Wellenlänge des Lichts (z.B. roter oder grüner Laserpointer) gewählt wird verändert sich das Muster, welches erkannt werden kann. Dieser Sachverhalt wird im folgenden Applet, und in Abbildung 51 gezeigt.

<https://www.leifiphysik.de/optik/beugung-und-interferenz/grundwissen/einzelspalt>

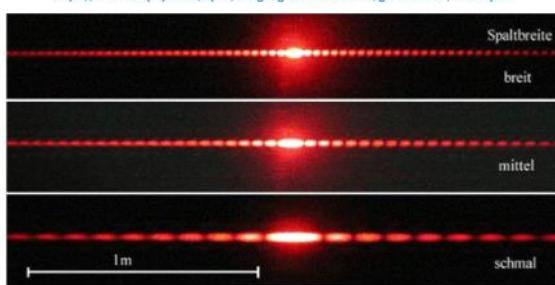


Abbildung 51, Interferenzmuster in Abhängigkeit der Spaltbreite

Aber wieso lässt sich am Schirm so ein Interferenzmuster erkennen und nicht einfach nur ein einzelnes Maximum, welches direkt hinter dem Spalt liegt? Dies ist darauf zurückzuführen, dass, im Wellenmodell, an jedem Ende des Spalts Wellenfronten entstehen, welche am Schirm miteinander interferieren. Wenn es sich um einen hellen Fleck handelt sprechen wir von konstruktiver Interferenz, wenn er dunkel ist von destruktiver. Dies wird in den folgenden Abbildungen 52 und 53 gezeigt.

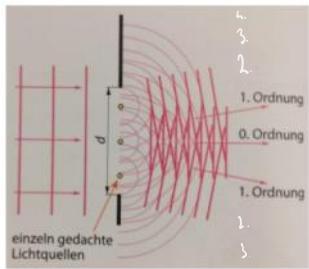


Abbildung 52, Entstehung des Beugungsmusters im Wellenmodell

Wie in Abbildung 52 ersichtlich spielt die Spaltbreite eine wesentliche Rolle für das Interferenzmuster. Aber wie hängt das Interferenzmuster mit der Spaltbreite zusammen? Dafür müssen wir uns den Spalt noch etwas genauer ansehen. Siehe Abbildung 53.

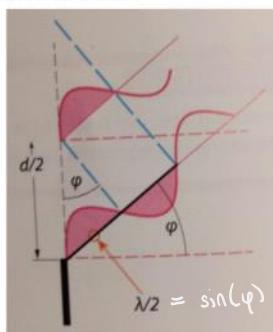


Abbildung 53, Destruktive Interferenz beim Einfachspalt; Der Sinus des Winkels entspricht genau $\lambda/2$

Wie in Abbildung 53 ersichtlich, kommt es auf den Winkel zwischen den beiden Wellen an. Wenn der Sinus des Winkels genau $\lambda/2$ beträgt kommt es zur destruktiven Interferenz. Wenn er 0 oder λ beträgt kommt es zur konstruktiven Interferenz. Dies wird im folgenden Applet gezeigt.

<https://www.leiphysik.de/optik/beugung-und-interferenz/grundwissen/einzelsspalt>

Zur Berechnung der Maxima gibt es die folgende Formel:

Maxima:

$$\sin(\varphi) = (n - \frac{1}{2}) \cdot \frac{\lambda}{d}$$

Zur Berechnung der Minima:

$$\sin(\varphi) = n \cdot \frac{\lambda}{d}$$

n ... Maxima oder Minima
der n-ten Ordnung

φ ... Winkel zwischen Spalt
und Schirm (bzw. d. Welle) in °

λ ... Wellenlänge (nm)

d ... Spaltenabstand (nm) $\rightarrow B$

Berechne unter welchem Winkel das 2. Maxima erkennbar ist, wenn ein Laserpointer mit einer Wellenlänge von 500 nm durch einen 1500 nm breiten Spalt leuchtet.

3.3.6.2. Beugung am Doppelspalt

Spannend ist was passiert, wenn Licht nicht nur einen Einfach- sondern einen Doppelspalt durchtritt.
Der Versuchsaufbau wird in der folgenden Abbildung 54 dargestellt.

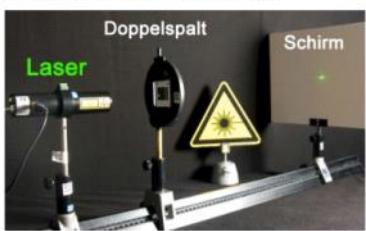


Abbildung 54, Versuchsaufbau beim Doppelspaltexperiment (die Spalte verlaufen von oben nach unten)

Wie in Abbildung 54 ersichtlich, lässt sich am Schirm wieder ein Beugungsmuster erkennen. Dieses ist in Abbildung 55 dargestellt (roter statt grüner Laserpointer).

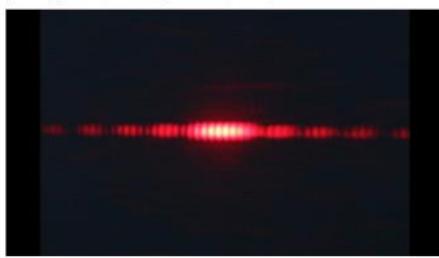


Abbildung 55, Beugungsmuster beim Doppelspalt

Wie in Abbildung 55 ersichtlich erhalten wir ein Interferenzmuster im Interferenzmuster des Laserstrahls! Dieser Sachverhalt ist in der folgenden Abbildung 56 erneut dargestellt.

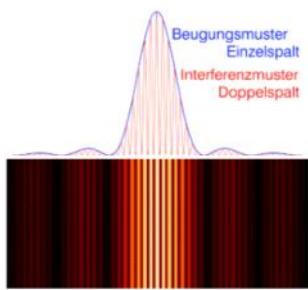


Abbildung 56, Interferenzmuster des Doppelspalts im Interferenzmuster des Einzelspalts

Wie in Abbildung 56 ersichtlich kommt es zu einer Verstärkung. In der folgenden Abbildung 57 wird die Entstehung des Musters des Einzelpalts am Beispiel des Doppelspalts gezeigt.

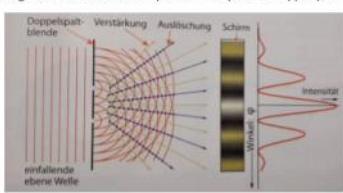


Abbildung 57, Entstehung des Interferenzmusters des Einzelpalts am Beispiel des Doppelspalts

Beim Einzelpalt haben wir besprochen, dass das Interferenzmuster aufgrund dessen entsteht, dass an jedem Ende des Spalts eine Welle entsteht, welche dann miteinander überlagert. Siehe Abbildung 52 und 53. Beim Doppelspalt entsteht das Interferenzmuster des Einfachspalts auf dem Schirm, wenn man annimmt, dass an jedem Spalt genau eine Elementarwelle entsteht, siehe Abbildung 57. Das Interferenzmuster dieser beiden Wellen ergibt wieder das Interferenzmuster des Einzelpalts. Siehe Abbildung 58 (Interferenz von zwei Elementarwellen!).

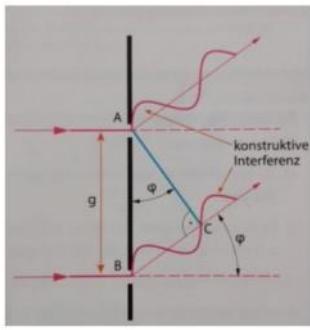


Abbildung 58, Entstehung des Interferenzmusters des Einzelspalts beim Doppelspalt

Wie in Abbildung 58 ersichtlich, ist die Entstehung der Maxima und der Minima abhängig vom Winkel. Wobei g hier die Spaltbreite bezeichnet.

$$\sin(\varphi) \cdot g = GK$$

φ ... Winkel (Abbildung 58)
 g ... Spaltbreite (m)
 GK ... Gegenkathete (m)

Wenn die Gegenkathete λ beträgt dann erhalten wir eine konstruktive Interferenz, wenn die Gegenkathete $\lambda/2$ beträgt eine destruktive Interferenz.

Wenn wir aber nun in Betracht ziehen, dass an jedem Spaltende (4 Spaltenden da Doppelspalt (2 pro Spalt)) wieder Elementarwellen entstehen, dann erhalten wir ein Interferenzmuster im Interferenzmuster. (Vier Elementarwellen).

Die Position der Maxima und Minima können wir analog zum Einzelspalt berechnen, lediglich mit dem Unterschied, dass wir statt der Spaltbreite d nun den Spaltabstand g verwenden, und wir dann Maxima statt Minima und vice versa erhalten.

Maxima n-ter Ordnung:

$$\sin(\varphi) = n \cdot \frac{\lambda}{g}$$

Minima n-ter Ordnung:

$$\sin(\varphi) = (n - \frac{1}{2}) \cdot \frac{\pi}{d}$$

Einschub:

Die mathematische Beschreibung des Interferenzmusters im Beugungsmuster sprengt den Rahmen dieser Ausbildung und wird daher hier nicht behandelt. Aber die ortsabhängigen Intensitäten werden wie folgt berechnet.

$$I(\alpha) = I_0 \cdot \left(\frac{\sin\left(\frac{k}{2}b \sin \alpha\right)}{\frac{k}{2}b \sin \alpha} \right)^2 \cdot \cos^2\left(\frac{k}{2}a \sin \alpha\right)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \dots \text{Wellenzahl (m}^{-1}\text{)}$$

a ... Spaltabstand (m)

b ... Spaltbreite (m)

λ ... Beobachtungswinkel ($^{\circ}$)

Das nächste Phänomen, welches uns beschäftigen wird, ist in Abbildung 59 und 60 dargestellt.



Abbildung 59, Farbmuster auf einer CD-Rom

Aber wieso lassen sich diese Muster auf diesen Oberflächen erkennen? Bevor wir diese Frage beantworten können müssen wir erst noch das sogenannte Beugungsgitter kennenlernen.

3.3.6.3. Beugung am Beugungsgitter

Ein Beugungsgitter besteht, wie zuvor beschrieben, aus vielen Einfachspalten. In Abbildung 60 ist ein solches dargestellt.

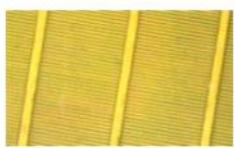


Abbildung 60, Beugungsgitter (horizontal), Hilfsfilter welches nicht zum Beugungsmuster beiträgt (vertikal). Die Spaltbreite der einzelnen Gitter beträgt in etwa $1 \mu\text{m}$

In Abbildung 61 wird gezeigt, was beobachtet werden kann, wenn durch ein Gitter geblickt wird.

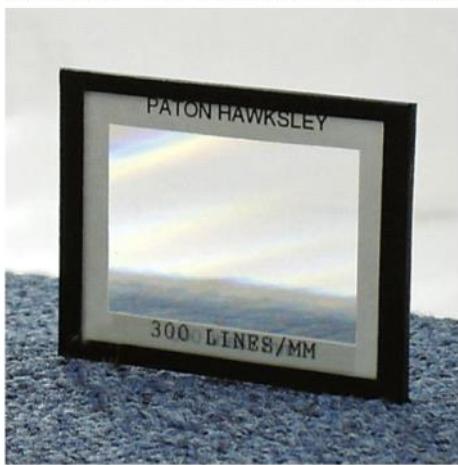


Abbildung 61, Blick durch ein Gitter mit 300 Spalten pro mm

Die in Abbildung 61 erkennbare Farbung des weißen Lichts in z.B. Spektrofärben wird in Abbildung 62 und 63 gezeigt.

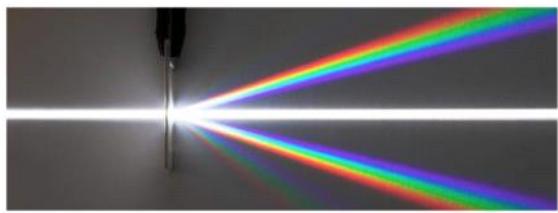


Abbildung 62, Weißes Licht spaltet sich in seine Spektralfarben auf, wenn es ein Gitter durchtritt

In Abbildung 63 wird die in Abbildung 62 gezeigte Aufspaltung noch einmal schematisch veranschaulicht.

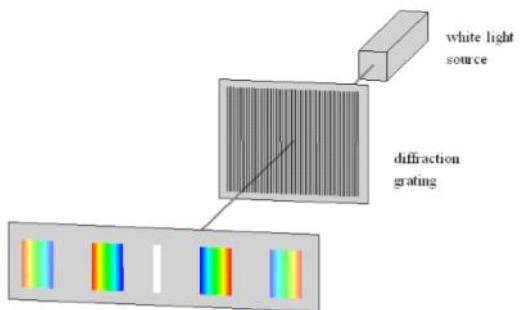


Abbildung 63, Schematische Aufspaltung des weißen Lichts beim durchtreten eines Gitters (diffraction grating)

Wie in Abbildung 61-63 ersichtlich können optische Gitter dafür verwendet werden, um Licht in seine Wellenlänge zu zerlegen. Da so die einzelnen Farben mit einer genauen Wellenlänge erhalten werden können, spricht man von einem sogenannten Monochromator. Monochromatoren sind für diverse Analytische Verfahren von großer Bedeutung (AAS, UV-VIS-Spektroskopie, Röntgenfluoreszenzanalyse, etc.).

Aus dem erhaltenen Interferenzmuster kann sogar der Abstand der einzelnen Spalte, die sogenannte "Gitterkonstante" erhalten werden. Diese wollen wir von dem Aufsatz auf meinem grünen Laserpointer ermitteln.

Die Formel zur Berechnung dieser lautet wie folgt:

Nun ist es Zeit für ein Experiment:

Aber welcher Zusammenhang besteht nun zwischen Gitter und der Farbaufspaltung auf der CD-ROM und dem Handydisplay?

Notiere dir erst einmal deine Vermutung:

Anschließend benötigst du:

- CD-ROM
- Laserpointer
- Maßband

Überlege dir nun einen Versuchsaufbau, mit dem du deine Theorie überprüfen kannst. Notiere dir diesen genau. Zeig mir anschließend deine Überlegungen, um mit dem nächsten Schritt zu beginnen.

Interpretation des Ergebnisses:

Berechne anschließend wie viele Bits auf einer CD aufgebracht werden können, und welcher Speichermaße in MB das entspricht.

3.3.4 Polarisation von Wellen



Abbildung 64, Sonnenbrille

In diesem Kapitel wird uns die Frage beschäftigen, wieso eigentlich die Sonnenbrille in Abbildung 64 das durchfallende Licht reduziert (abschwächt). Bevor wir diese Frage ergründen können müssen wir uns daran erinnern, wie elektromagnetischer Strahlung (Licht) aufgebaut ist.

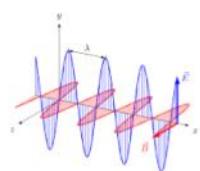


Abbildung 65, Elektromagnetische Welle

Wie in Abbildung 65 ersichtlich, enthält Licht einen elektrischen E und einen magnetischen B Feldvektor. Also ist Licht eine transversale elektromagnetische Welle.

Wenn der Vektor des E-Feld (steht IMMER 90° zum B-Feld) immer genau in Richtung der y-Achse zeigt, spricht man von Linear polarisiertem Licht.

Wenn der Vektor des E-Feld (steht IMMER 90° zum B-Feld) immer genau in Richtung der z-Achse zeigt, spricht man ebenfalls von zirkular polarisiertem Licht (Wahl des Koordinatensystems ist ja beliebig).

Wenn der Vektor des E-Feld (steht IMMER 90° zum B-Feld) jedoch nicht immer genau in Richtung der y-Achse zeigt, sondern seine Ausrichtung mit der Zeit kreisförmig ändert spricht man von elliptisch polarisiertem Licht. Siehe folgender Link.

https://de.wikipedia.org/wiki/Polarisation#/media/File:Rising_circular.gif

Falls sich die Richtung schnell und ungeordnet ändert spricht man von unpolarisierten Licht.

Lineare und zirkulare polarisiertes Licht wird in der folgenden Abbildung 66 erneut dargestellt.

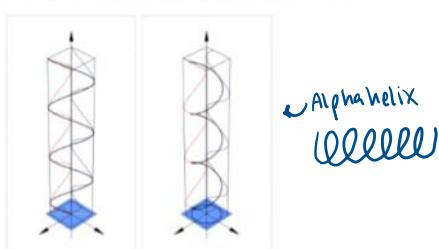


Abbildung 66, Linear (links) und zirkular (rechts) polarisiertes Licht

Aber wie lässt sich diese Polarisation mathematisch verstehen? In diesem Fall wird Licht als eine Summe von E-Feldvektoren aufgefasst (B-Vektor ist nach wie vor vorhanden, jedoch für die mathematische Beschreibung nicht relevant), welche entweder entlang der x-Achse oder der y-Achse schwingen. Zirkularpolarisiertes Licht kann als, zwei linear polarisierte EM-Wellen (eine entlang der x-Achse, eine entlang der y-Achse) mit einer Phasenverschiebung von genau $\pi/2$ interpretiert werden.

Aber welches Licht haben wir in der Natur? Die Sonne, und auch die meisten anderen Lichtquellen, senden unpolarisiertes Licht aus. Aber wie kann aus unpolarisiertem Licht polarisiertes erhalten werden?

Am besten lässt sich dies mit einer Analogie zu einem Seil zeigen. Dazu wird im folgenden Link ein Versuch gezeigt (bis Minute 2:30).

<https://www.youtube.com/watch?v=gb37dQxJYts>

<https://edpuzzle.com/open/jubtaso>

Genau wie es bei dem Seil im Video funktioniert, funktioniert es auch bei EM-Wellen. Jedoch können statt dem Spalt bestimmte Materialien verwendet werden. Beispielsweise in Sonnenbrillen werden oft sogenannte Polarisationsfilter verbaut.

3.3.4.1 Polarisationsfolie

Diese Folien sind aus ~~orientierten Molekülen~~ aufgebaut. Die Folien werden gedeht, wodurch die Moleküle parallel ausgerichtet werden. Ebenfalls bestehen diese aus eindiffundiertem Jod, welches Ladungsträger zur Verfügung stellt, welche zur Absorption des entlang der Moleküle orientierten Feldvektors führt. Siehe Abbildung 67 und 68.

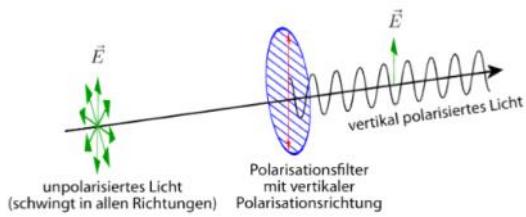


Abbildung 67, Unpolarisiertes Licht wird beim Durchgang durch einen Polarisationsfilter linear polarisiert



Abbildung 68, Darstellung eines Polarisationsfilters

Ein Beispiel für so einen Polarisationsfilter wird im vorigen Video von Minute 2:30-3:13 gezeigt.
Ebenfalls wird dieser in diesem folgenden Gif gezeigt.



Dadurch, dass Polarisationsfilter nur den Teil des Lichts durchlassen, dessen E-Feldvektor parallel zur Molekülorientierung steht, wird der Teil des Lichts, dessen E-Feldvektor normal zur Molekülausrichtung steht gefiltert. Dadurch sinkt die Lichtintensität und die Sonnenbrille erfüllt ihre gewünschte Funktion.

Licht kann aber nicht nur durch Polarisationsfilter, sondern auch durch Reflexion und Brechung polarisiert werden.

3.3.4.2 Brewster Winkel

Der Brewster-Winkel ist jener Winkel, bei dem der reflektierte Lichtstrahl genau senkrecht auf den gebrochenen steht, und dadurch zwei orthogonal polarisierte Lichtstrahlen erhalten werden. Wenn der Winkel zwischen diesen beiden Strahlen nicht genau 90° beträgt, wird teipolarisiertes Licht erhalten. In der folgenden Abbildung 69 wird dieser Winkel dargestellt.

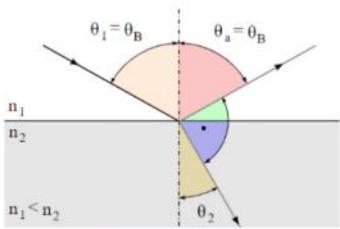


Abbildung 69, Brewsterwinkel

Die Schwingungsebenen des E-Vektors des reflektierten und des gebrochenen Lichtstrahls stehen normal aufeinander. Dies wird in Abbildung 70 veranschaulicht.

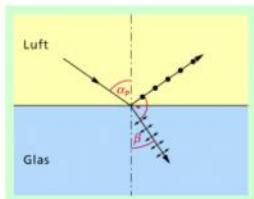


Abbildung 70, Schwingungsebene der Lichtstrahlen im Brewsterwinkel, Punkte schwingen aus Ebene heraus, Pfeile in der Ebene

Wie in Abbildung 70 ersichtlich, sind die Orientierung der beiden E-Vektoren unterschiedlich (der reflektierte Strahl schwingt aus der Zeichenebene heraus und hinein, der transmittierte schwingt in der Zeichenebene). Dies wird im folgenden Versuch gezeigt.

<https://www.youtube.com/watch?v=xQalyg3TCfy>

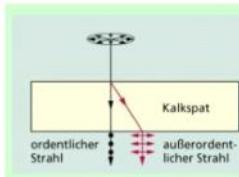
3.3.4.3 Doppelbrechung

Doppelbrechende Stoffe sind Materialien, die aufgrund ihrer Eigenschaften unpolarisiertes Licht in zwei räumlich getrennte linear polarisierte Lichtstrahlen aufspalten. Sieh Abbildung 71 am Beispiel von Calcit (auch Calciumcarbonat oder Kalkspat genannt) CaCO_3 .



Abbildung 71, Doppelbrechung am Beispiel von Calcit CaCO_3

In Abbildung 72 wird dieses Verhalten schematisch veranschaulicht.



14. Eine punktförmige Lichtquelle befindet sich 4 cm unter einer Wasseoberfläche. Ein auf der Wasserfläche aufgestellter Spiegel zeigt bei verschiedenen Einfallwinkeln zwischen 0° und 80° der Größe der Totalreflexion beträgt für W_0
15. In Spiegelreflexkameras ist ein Prisma (s. Abb.).

Abbildung 72, Schematische Darstellung der Doppelbrechung

Das in Abbildung 72 gezeigte Phänomen ist darauf zurückzuführen, dass Calcit für Licht mit unterschiedlichen Polarisationsrichtungen unterschiedliche _____ aufweist.

Dieses Phänomen wird auch zur Quantenverschränkung und Quantenteleportation genutzt.

Ebenfalls gibt es noch Stoffe die Licht, in einem elektrischen Feld polarisieren können, beispielsweise Nitrobenzol. Jedoch sind diese Effekte wesentlich komplizierter, gehen sehr tief in nichtlineare Optik und benötigen ein breites Hintergrundwissen der Molekülorbitaltheorie und werden daher hier nicht weiter behandelt. Für interessierte siehe Kerr-Effekt bzw Kerr-Zelle.

Schillernde Seifenblasen

Wenn man Seifenblasen bläst, wirken diese schillernd. Dies wird in Abbildung xx gezeigt.



Abbildung xx, Schillernde Seifenblase

Nun liegt es an euch die folgenden beiden Fragen bezüglich Seifenblasen zu beantworten. Überlegt euch selbstständig Erklärungen dafür. Falls ihr dabei Hilfe braucht, könnt ihr euch von mir für beide

Fragen Tipps holen, um dieses zu beantworten. Für jeden von euch nicht benötigten Tipp erhaltet ihr eine Belohnung. Fertigt bei Frage 2 auch eine Skizze an.

1. Frage: Erkläre wieso Seifenblasen platzen.

2. Frage: Erkläre weshalb die Seifenblase schillert. Gib auch an welche Eigenschaften das Licht aufweisen muss.



Pendel.docx

Donnerstag, 23. September 2021 19:30



Fadenpendel

1. Bestimmung der Zeit, die ein Pendel benötigt, um wieder in ihre Ausgangsposition zurückzukehren (nicht berücksichtigt wird: Masse der Schnur; Reibungskräfte)!

Diese Zeit ist abhängig von:

- dem Radius (die Länge der Schnur) des Pendels
- der Gravitation (Erdanziehungskraft: $g = 9,81 \text{ m/s}^2$)

Diese Zeit ist nicht abhängig von:

- der Masse des Pendelkörpers, weil sich diese bei Beschleunigung und Entschleunigung ausgleicht

Formel: $T=2\pi\sqrt{l/g}$

T ist hierbei eine Schwingung, also einmal von links nach rechts nach links.

Notizen

Montag, 5. September 2022 09:00

1. Hauptsatz

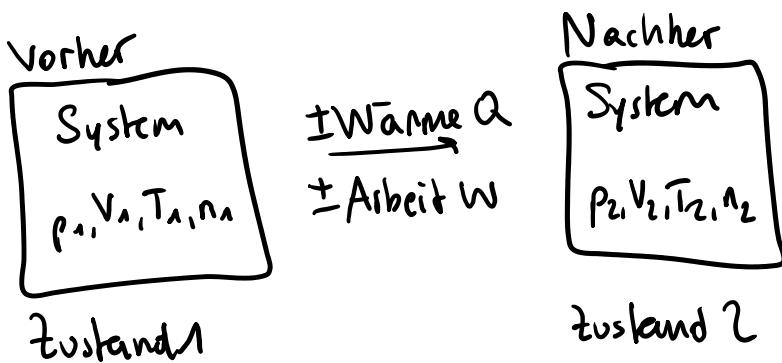
Innere und äußere Energie können sich nur ändern, wenn sich Wärme oder/und Arbeit ändert.

Innere Energie: in Ruhe befindenden System (z.B.: Druck, Temperatur, ...)

Außere Energie: nicht in Ruhe (z.B.: kinetische E., ...)

Wärme: Unterschied zw. Temperaturen

Arbeit: alles andere



System zuführen: positive Energie
abführen: negativ

Wärme Q & Temperatur T

..... Energie

$$\downarrow \text{innere Energie}$$

$$U = N \cdot \bar{E}_{\text{kin}} = N \cdot \frac{m \cdot \bar{v}^2}{2} = \frac{\rho}{2} \cdot N \cdot k_b \cdot T = c_v \cdot n \cdot T$$

$[\rho] = \wedge$ (Anzahl der Freiheitsgrade)

$N = \text{Anzahl Teilchen}$

$$k_b = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K} \text{ (Boltzmann-Konstante)}$$

$$[T] = K$$

$$[m] = kg$$

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

$$[\wedge] = \text{mol}$$

Thermodynamik

Montag, 19. September 2022 10:32



1. Thermodynamik - Wärmelehre

„Thermodynamik ist ein komisches Fach. Das erste Mal, wenn man sich damit befasst, versteht man nichts davon. Beim zweiten Durcharbeiten denkt man, man hätte nun alles verstanden, mit Ausnahme von ein oder zwei kleinen Details. Das dritte Mal, wenn man den Stoff durcharbeitet, bemerkt man, dass man fast gar nichts davon versteht, aber man hat sich inzwischen so daran gewöhnt, dass es einen nicht mehr stört.“ – Arnold Sommerfeld

Thermodynamik (Wärmelehre) ist eine Wissenschaft, welche ursprünglich aus dem Studium der Dampfmaschine hervorgegangen ist. Als Begründer gilt der französische Physiker Sadi Carnot welcher 1824 seine wegweisende Arbeit schrieb. Dementsprechend beschäftigt sich die Thermodynamik mit der Umwandlung von verschiedenen Energieformen, welche wir im Folgenden noch kennen lernen werden.

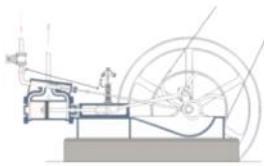


Figure 1, Dampfmaschine

In der Thermodynamik gibt es ähnliche wie bei der Mechanik und bei der Elektrodynamik Axiome (Newton-Axiome und Maxwell-Gleichungen), welche sich in **3 Hauptsätze** (1. 2. 3. Hauptsatz) formulieren lassen. Eigentlich handelt es sich um **4 Hauptsätze** (0. 1. 2. 3. Hauptsatz), jedoch wurde der nullte Hauptsatz erst nachträglich beigefügt.

1.1 0. Hauptsatz

Bevor wir zur Formulierung dieses Hauptsatzes kommen, muss der Begriff des **Systems** erläutert werden.

„Ein physikalisches System, materielles System oder konkretes System ist ein in der Raumzeit existierendes physikalisches Objekt (oder eine Ansammlung solcher Objekte), das sich als Ganzes in wohl definierter Weise von seiner Umgebung abgrenzen lässt.“

Dementsprechend kann ein System beispielsweise die Erde, ein Atom, das Sonnensystem, ein Glas Wasser oder auch ein Klassenzimmer sein. Da wir jetzt den Begriff des Systems kennen, wird es Zeit sich mit der Frage der **Wechselwirkung verschiedener Systeme** zu beschäftigen, siehe Abbildung 1.

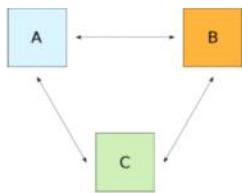


Abbildung 1, Wechselwirkung von System A, B und C

Wie in Abbildung 1 ersichtlich wechselwirken System A, B und C miteinander (symbolisiert durch Pfeile). Da wir nun wissen, dass Systeme miteinander wechselwirken können, kann der nullte Hauptsatz formuliert werden:

Wenn ein System A sich mit einem System B sowie B sich mit einem System C im thermischen Gleichgewicht befindet, so befindet sich auch A mit C im thermischen Gleichgewicht. Die Zustandsgröße, die bei diesen Systemen übereinstimmt, ist die Temperatur, die skalar, intensiv und überall im System gleich ist.

Bevor wir diesen Satz erläutern, müssen die Begriffe „Zustandsgröße“, „skalar“ und „intensiv“ erläutert werden.

Zustandsgrößen/Prozessgrößen:

- Zustandsgrößen beschreiben den Zustand eines Systems durch extensive und intensive Größen (siehe unten). Wenn alle Zustandsgrößen zeitlich konstant sind, spricht man vom thermodynamischen Gleichgewicht. Zustandsgrößen geben lediglich einen Zustand an und hängen nicht davon ab auf welchem Weg dieser erreicht wurde.
- Eine Prozess- oder Vorgangsgröße ist eine physikalische Größe, die ausschließlich bei Zustandsänderungen auftritt und den Prozess der Zustandsänderung beschreibt. Daher sind Prozessgrößen vom Weg der Änderung abhängig. Prozessgrößen beschreiben, wie ein Zustand in einen anderen Zustand übergeht. Bsp.: Wärme und Arbeit

Skalare/Vektorielle Größen:

- Skalare Größen weisen keine Richtung auf (zB: Temperatur, Druck, Masse)
- Vektorielle Größen weisen eine Richtung auf (zB: Geschwindigkeit, Impuls, Kraft)

Intensive/Extensive Größen:

- Intensive Größen sind unabhängig von der Systemgröße (zB: Temperatur, Druck, Dichte)
- Extensive Größen sind abhängig von der Systemgröße (zB: Stoffmenge, Volumen, Masse)

Nun zurück zum nullten Hauptsatz. Die Aussage von diesem lässt sich am einfachsten graphisch nachvollziehen, siehe Abbildung 2.

Ausgangszustand:

$$\begin{array}{|c|c|c|} \hline A & B & C \\ \hline \end{array} \quad T_A > T_B = T_C$$

Gleichgewichtszustand:

$$\begin{array}{|c|c|c|} \hline A & B & C \\ \hline \end{array} \quad T_A = T_B = T_C$$

Abbildung 2, Graphische Darstellung des nullten Hauptsatzes

Wie in Abbildung 2 ersichtlich besitzt zum Zeitpunkt $t=0$ (Ausgangszustand) das System A eine höhere Temperatur als das System B und C, welche dieselbe Temperatur haben ($T_A > T_B = T_C$). Nun lassen wir Zeit vergehen bis alle drei Systeme die gleiche Temperatur haben. Wieviel Zeit dafür benötigt wird ist abhängig von den Systemen, aber dies soll uns hier nicht weiter interessieren. Nach einer gewissen Zeit jedoch, nehmen wir um es allgemein zu halten $t=t$, werden die drei Systeme dieselbe Temperatur aufweisen. Wir sprechen vom thermischen Gleichgewicht.

Um das ganze etwas verständlicher zu machen ein reales Beispiel. Du machst dir im Winter einen heißen Tee (System A) und stellst ihn in deinem Zimmer (System B) auf deinen Schreibtisch (System C). Wie in Abbildung 2 ersichtlich wird zum Zeitpunkt $t=0$ dein Zimmer und der Tisch dieselbe Temperatur haben, der Tee jedoch eine höhere Temperatur aufweisen. Nach einer gewissen Zeit wird der Tee auskühlen, und sich das Zimmer und der Schreibtisch dafür erwärmen. Sobald alle drei Systeme, also Tee, Zimmer und Schreibtisch dieselbe Temperatur aufweisen, spricht man vom thermischen Gleichgewicht, denn System A und B, B und C, und A und C weisen alle dieselbe Temperatur auf.

Bis jetzt haben wir jedoch nur von Temperaturen gesprochen, nicht jedoch von den Energieflüssen zwischen den Systemen. Diese Energieflüsse bringen uns jedoch direkt zum ersten Hauptsatz der Thermodynamik.

1.2.1. Hauptsatz

Der erste Hauptsatz der Thermodynamik beschreibt die **Energieerhaltung** in thermodynamischen Systemen. Er besagt, dass der Energieinhalt eines abgeschlossenen Systems konstant ist. Bevor wir jedoch zur Formulierung des ersten Hauptsatzes kommen, muss der Begriff der abgeschlossenen Systeme, und der anderen möglichen Systemformen, erläutert werden.

Abgeschlossenes/Isoliertes System: Ein abgeschlossenes thermodynamisches System wechselwirkt nicht mit seiner Umgebung.

Geschlossenes System: Energie kann die Systemgrenzen passieren, Materie jedoch nicht. Falls nur Arbeit die Systemgrenze passieren kann, spricht man von einem adiabatischen System.

Offenes System: Energie und Materie kann die Systemgrenze passieren.

Der Begriff der Energie ist nun mehrfach gefallen, aber was ist eigentlich Energie? Diese Frage beantwortet uns nun der erste Hauptsatz der Thermodynamik welcher wie folgt lautet:

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

Und in seiner differentiellen Schreibweise:

$$P = 1000 \text{ W}$$

$$V = 800 \text{ ml} \approx 0,8 \text{ kg}$$

$$T_1 = 22,3^\circ\text{C} \approx 294^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 60^\circ\text{C} \approx 333^\circ\text{K}$$

$$\Delta U = \Delta Q$$

$$t = 153 \text{ s}$$

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

$$c = \frac{\Delta Q}{m \cdot \Delta T} = \frac{1000 \frac{1}{s} \cdot 153 \text{ s}}{0,8 \text{ kg} \cdot (333 - 294)} = 4900 \frac{1}{\text{kg} \cdot \text{K}} = 4,9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\text{Realität: } 4,187 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Wärme Kapazität
ausrechnen

Wie viel kostet Duschen?

$$\Delta Q = C \cdot m \cdot \Delta T$$

$$V = 150 \text{ L} \Rightarrow 150 \text{ kg}$$

$$T = 22^\circ \approx$$

$$T = 37^\circ \approx$$

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

$$\Delta Q = 150 \cdot 4,187 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot (37 - 22)$$

$$15^\circ\text{C}$$

$$\underline{\underline{\Delta Q = 9420,75 \text{ kJ}}}$$

$$\underline{\underline{\underline{\underline{\underline{\Delta Q = 9,42 \cdot 10^6 \text{ J}}}}}}$$

$$\Delta Q (\text{kWh}) = \frac{\Delta Q (\text{J})}{3,6 \cdot 10^6}$$

$$\Delta Q (\text{kWh}) = \frac{9,42 \cdot 10^6}{3,6 \cdot 10^6}$$

$$\underline{\underline{\underline{\underline{\underline{\Delta Q (\text{kWh}) = 2,6 \text{ kWh}}}}}}$$

$$P = \Delta Q (\text{kWh}) \cdot \frac{\epsilon}{\Delta Q (\text{kWh})}$$

$$P = 2,6 \cdot 0,3 = \underline{\underline{\underline{\underline{\underline{1 \text{ €}}}}}}$$

$$dU + dE_a = \delta Q + \delta W$$

Einschub: Bei Prozessgrößen handelt es sich um unvollständige Differentiale da sie wegabhängig sind (δQ und δW). Bei Zustandsgrößen spricht man von vollständigen Differentielen da sie wegunabhängig sind (dU und dE_a). Dies soll uns hier aber nicht weiter beschäftigen und ist nur aufgrund der mathematischen Richtigkeit beigelegt.

Dabei bezeichnet U die innere Energie, E_a die äußere Energie, Q die Wärme und W die Arbeit (natürlich haben alle die Einheit Joule). In Worten lautet der erste Hauptsatz:

Die Summe der Änderung der inneren Energie und der Änderung der äußeren Energie eines geschlossenen Systems ist gleich der Summe der Änderung der Wärme und der Änderung der Arbeit

In der folgenden Abbildung 3 wird diese Aussage graphisch veranschaulicht.

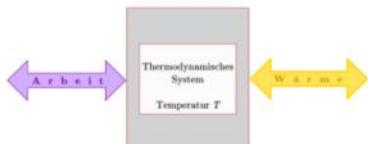


Abbildung 3, Thermodynamisches System tauscht Arbeit und Wärme aus

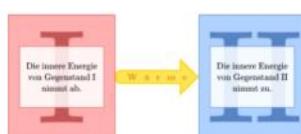


Abbildung 4, Transport von Wärme von einem System zu einem anderen, dabei ändert sich auch seine innere Energie

Wie in Abbildung 4 ersichtlich, gibt das System 1 Wärme an System 2 ab, wodurch die innere Energie von System 1 sinkt, und die von System 2 steigt.

5.9.2022

Aber was ist innere Energie, äußere Energie, Wärme und Arbeit?

Innere Energie: Gesamte Energie welche einem sich in Ruhe befindenden System zur Energieumwandlung zur Verfügung steht (zB.: Druck, Temperatur, Teilchenzahl, Volumen).

Äußere Energie: Gesamtenergie welche einem sich nicht in Ruhe befindenden System zur Energieumwandlung zur Verfügung steht (zB.: kinetische Energie, potentielle Energie).

Wärme: Als Wärme wird jener Anteil der Energie bezeichnet, welcher aufgrund von verschiedenen Temperaturen zwischen den Systemen fließt, wobei Wärme immer vom **heißeren** zum **kälteren** System fließt. Beispielsweise das Auskühlen einer heißen Tasse Tee (die Tasse Tee wird niemals dem Raum Wärme entziehen, um selbst noch heißer zu werden. Die Temperatur des Raums würde dabei natürlich sinken).

Arbeit: Als Arbeit wird Anteil der Energie bezeichnet, welcher nicht aufgrund von einer Temperatordifferenz fließt. Beispielsweise das **Heben eines Steins** oder die **Expansion eines Gases**.

In Abbildung 5 zeigt wie ein System seinen Zustand aufgrund der Zuführung oder Abgabe von Wärme und/or Arbeit ändert (zB.: heiße Tasse Tee kühlst aus, heben eines Steins).



Abbildung 5, Ein System verändert seinen Zustand aufgrund der Zuführung oder Abgabe von Wärme und/or Arbeit

Dementsprechend muss sich eine oder mehrere Zustandsgrößen (p, V, T, n) des Systems ändern.

Da wir jedoch, um es simpel zu halten, nur ruhende Systeme betrachten wollen, ist die äußeren Energie (also zB.: die kinetische Energie) $dE_a = 0$. Damit vereinfacht sich der erste Hauptsatz der Thermodynamik zu:

$$dU = \delta Q + \delta W$$

Dementsprechend kann die Innere Energie U entweder in Form von reiner **Arbeit**, reiner **Wärme** oder einer **Mischung** aus diesen vorliegen. Wichtig sind die Vorzeichen, wenn Wärme und Arbeit einem System zugeführt wird verwendet man **positive** Vorzeichen, wenn abgeführt **negative**.

Beispiel Wärmezufuhr: Erhitzt man beispielsweise einen Topf mit Wasser auf einer elektrischen Herdplatte, so führt man dem System (Topf) von außen eine **Wärmemenge +Q** zu. Wird vom Topf weniger Wärme an die Umgebung abgegeben (beispielsweise durch Wärmestrahlung) als zugeführt wird, so erhöht sich seine **innere Energie** und damit seine **Temperatur**. Abgeschlossenes System: **Herd und Topf mit Wasser**

Im umgekehrten Fall gibt jedes System durch Wärmeleitung und/oder Wärmestrahlung eine **Wärmemenge -Q** ab, wenn es in eine kältere Umgebung gebracht wird. In beiden Fällen ändert sich die **innere Energie**, ohne dass mechanische Arbeit verrichtet wird.

Beispiel Arbeitszufuhr: Reibt man sich die Hände, so erhöht sich deren **Temperatur**, ohne dass von außen **Wärme** zugeführt wird. In diesem Fall führt die verrichtete **Reibungsarbeit** zu einer **Erhöhung der inneren Energie**. Abgeschlossenes System: **Hände und Luft zwischen Hände**

Der erste Hauptsatz der Wärmelehre schließt als Energie-Erhaltungssatz die Existenz einer Maschine aus, die ohne Zufuhr von Energie mechanische Arbeit verrichten kann. Also kann es kein **Perpetuum Mobile** geben.

Nun wird es Zeit uns genauer damit zu beschäftigen, was eigentlich unter Wärme und Arbeit zu verstehen ist, wobei wir das Thema der Arbeit erst bei den Gasgesetzen thematisieren werden, da beispielsweise bei unseren Verbrennungsmotoren stets Gase Arbeit verrichten.

1.2.1 Wärme Q und Temperatur T

Bevor wir den abstrakten Begriff der Wärme Q (der nichts mit den Begriffen „warm“ und „kalt“ gemein hat) näher kennen lernen wollen, stellt sich einmal die Frage, was eigentlich eine Temperatur thermodynamisch betrachtet ist.

Temperatur T:

Bei der Temperatur handelt es sich um eine intensive Zustandsgröße (ändert sich nicht, wenn man einen Körper teilt) und wird in °C oder Kelvin K angeben [T]=K. Die Temperatur ist ein Maß für die mittlere kinetische Energie von Teilchen (je mehr sich Teilchen bewegen, desto höher ist die Temperatur) wie die folgende Formel zeigt (gilt für ideale Gase):

$$U = N \cdot E_{kin} = N \cdot \frac{m \cdot v^2}{2} = \frac{f}{2} \cdot N \cdot k_b \cdot T = c_V \cdot n \cdot T$$

[f] = 1 (Anzahl der Freiheitsgrade)

N = Anzahl der Teilchen

$$k_b = 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K} \text{ (Boltzmann - Konstante)}$$

[T] = K

[m] = kg

$$[v] = \frac{m}{s} \text{ (mittlere Geschwindigkeit der Teilchen)}$$

$$[c_V] = \frac{J}{mol \cdot K} \quad \text{zu rechnen}$$

$$\text{Def(mol)} = [n] = mol = \frac{N}{6,022 \cdot 10^{23}}$$

19.9.2022

Exercise
Physik

1.TD_1.docx

Montag, 10. Oktober 2022 10:07



1. Thermodynamik - Wärmelehre

„Thermodynamik ist ein komisches Fach. Das erste Mal, wenn man sich damit befasst, versteht man nichts davon. Beim zweiten Durcharbeiten denkt man, man hätte nun alles verstanden, mit Ausnahme von ein oder zwei kleinen Details. Das dritte Mal, wenn man den Stoff durcharbeitet, bemerkt man, dass man fast gar nichts davon versteht, aber man hat sich inzwischen so daran gewöhnt, dass es einen nicht mehr stört.“ – Arnold Sommerfeld

Thermodynamik (Wärmelehre) ist eine Wissenschaft, welche ursprünglich aus dem Studium der Dampfmaschine hervorgegangen ist. Als Begründer gilt der französische Physiker **Sadi Carnot** welcher 1824 seine wegweisende Arbeit schrieb. Dementsprechend beschäftigt sich die Thermodynamik mit der Umwandlung von verschiedenen Energieformen, welche wir im Folgenden noch kennen lernen werden.

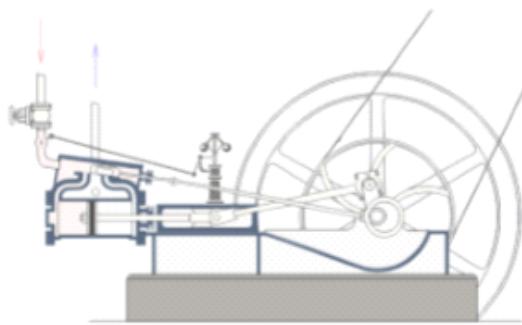


Figure 1, Dampfmaschine

In der Thermodynamik gibt es ähnliche wie bei der Mechanik und bei der Elektrodynamik Axiome (Newton-Axiome und Maxwell-Gleichungen), welche sich in **3 Hauptsätze** (1. 2. 3. Hauptsatz) formulieren lassen. Eigentlich handelt es sich um **4 Hauptsätze** (0. 1. 2. 3. Hauptsatz), jedoch wurde der nullte Hauptsatz erst nachträglich beigefügt.

1.1 0. Hauptsatz

Bevor wir zur Formulierung dieses Hauptsatzes kommen, muss der Begriff des **Systems** erläutert werden.

„Ein physikalisches System, materielles System oder konkretes System ist ein in der Raumzeit existierendes physikalisches Objekt (oder eine Ansammlung solcher Objekte), das sich als Ganzes in wohl definierter Weise von seiner Umgebung abgrenzen lässt.“

Dementsprechend kann ein System beispielsweise die Erde, ein Atom, das Sonnensystem, ein Glas Wasser oder auch ein Klassenzimmer sein. Da wir jetzt den Begriff des Systems kennen, wird es Zeit sich mit der Frage der **Wechselwirkung verschiedener Systeme** zu beschäftigen, siehe Abbildung 1.

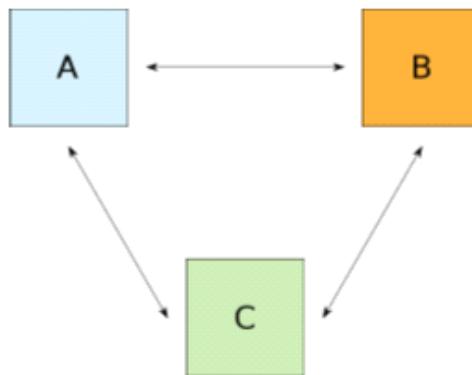


Abbildung 1, Wechselwirkung von System A, B und C

Wie in Abbildung 1 ersichtlich wechselwirken System A, B und C miteinander (symbolisiert durch Pfeile). Da wir nun wissen, dass Systeme miteinander wechselwirken können, kann der nullte Hauptsatz formuliert werden:

Wenn ein System A sich mit einem System B sowie B sich mit einem System C im thermischen Gleichgewicht befindet, so befindet sich auch A mit C im thermischen Gleichgewicht. Die Zustandsgröße, die bei diesen Systemen übereinstimmt, ist die Temperatur, die skalar, intensiv und überall im System gleich ist.

Bevor wir diesen Satz erläutern, müssen die Begriffe „Zustandsgröße“, „skalar“ und „intensiv“ erläutert werden.

Zustandsgrößen/Prozessgrößen:

- Zustandsgrößen beschreiben den Zustand eines Systems durch extensive und intensive Größen (siehe unten). Wenn alle Zustandsgrößen **zeitlich konstant** sind, spricht man vom **thermodynamischen Gleichgewicht**. Zustandsgrößen geben lediglich einen Zustand an und hängen nicht davon ab auf welchem Weg dieser erreicht wurde.
- Eine Prozess- oder Vorgangsgröße ist eine physikalische Größe, die ausschließlich bei **Zustandsänderungen** auftritt und den Prozess der Zustandsänderung beschreibt. Daher sind Prozessgrößen vom Weg der Änderung abhängig. Prozessgrößen beschreiben, wie ein Zustand in einen anderen Zustand übergeht. Bsp.: **Wärme und Arbeit**

Skalare/Vektorielle Größen:

- Skalare Größen weisen **keine** Richtung auf (zB.: Temperatur, Druck, Masse)
- Vektorielle Größen weisen **eine** Richtung auf (zB.: Geschwindigkeit, Impuls, Kraft)

Intensive/Extensive Größen:

- Intensive Größen sind **unabhängig** von der Systemgröße (zB.: Temperatur, Druck, Dichte)
- Extensive Größen sind **abhängig** von der Systemgröße (zB.: Stoffmenge, Volumen, Masse)

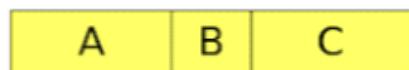
Nun zurück zum nullten Hauptsatz. Die Aussage von diesem lässt sich am einfachsten graphisch nachvollziehen, siehe Abbildung 2.

Ausgangszustand:



$$T_A > T_B = T_C$$

Gleichgewichtszustand:



$$T_A = T_B = T_C$$

Abbildung 2, Graphische Darstellung des nullten Hauptsatzes

Wie in Abbildung 2 ersichtlich besitzt zum Zeitpunkt $t=0$ (Ausgangszustand) das System A eine höhere Temperatur als das System B und C, welche dieselbe Temperatur haben ($T_A > T_B = T_C$). Nun lassen wir Zeit vergehen bis alle drei Systeme die gleiche Temperatur haben. Wieviel Zeit dafür benötigt wird ist abhängig von den Systemen, aber dies soll uns hier nicht weiter interessieren. Nach einer gewissen Zeit jedoch, nehmen wir um es allgemein zu halten $t=\infty$, werden die drei Systeme dieselbe Temperatur aufweisen. Wir sprechen vom **thermischen Gleichgewicht**.

Um das ganze etwas verständlicher zu machen ein reales Beispiel. Du machst dir im Winter einen heißen Tee (System A) und stellst ihn in deinem Zimmer (System B) auf deinen Schreibtisch (System C). Wie in Abbildung 2 ersichtlich wird zum Zeitpunkt $t=0$ dein Zimmer und der Tisch dieselbe Temperatur haben, der Tee jedoch eine höhere Temperatur aufweisen. Nach einer gewissen Zeit wird der Tee auskühlen, und sich das Zimmer und der Schreibtisch dafür erwärmen. Sobald alle drei Systeme, also Tee, Zimmer und Schreibtisch dieselbe Temperatur aufweisen, spricht man vom thermischen Gleichgewicht, denn System A und B, B und C, und A und C weisen alle dieselbe Temperatur auf.

Bis jetzt haben wir jedoch nur von Temperaturen gesprochen, nicht jedoch von den Energieflüssen zwischen den Systemen. Diese Energieflüsse bringen uns jedoch direkt zum ersten Hauptsatz der Thermodynamik.

1.2 1. Hauptsatz

Der erste Hauptsatz der Thermodynamik beschreibt die **Energieerhaltung** in thermodynamischen Systemen. Er besagt, dass der Energieinhalt eines **abgeschlossenen** Systems **konstant** ist. Bevor wir jedoch zur Formulierung des ersten Hauptsatzes kommen, muss der Begriff der abgeschlossenen Systems, und der anderen möglichen Systemformen, erläutert werden.

Abgeschlossenes/Isoliertes System: Ein abgeschlossenes thermodynamisches System wechselwirkt **nicht** mit seiner Umgebung.

Geschlossenes System: Energie **kann** die Systemgrenzen passieren, Materie jedoch **nicht**. Falls nur Arbeit die Systemgrenze passieren kann, spricht man von einem adiabatischen System.

Offenes System: Energie und Materie **kann** die Systemgrenze passieren.

Der Begriff der Energie ist nun mehrfach gefallen, aber was ist eigentlich Energie? Diese Frage beantwortet uns nun der erste Hauptsatz der Thermodynamik welcher wie folgt lautet:

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

Und in seiner differentiellen Schreibweise:

$$dU + dE_a = \delta Q + \delta W$$

Einschub: Bei Prozessgrößen handelt es sich um unvollständige Differentiale da sie wegabhängig sind (δQ und δW). Bei Zustandsgrößen spricht man von vollständigen Differentialen da sie wegunabhängig sind (dU und dE_a). Dies soll uns hier aber nicht weiter beschäftigen und ist nur aufgrund der mathematischen Richtigkeit beigefügt.

Dabei bezeichnet U die innere Energie, E_a die äußere Energie, Q die Wärme und W die Arbeit (natürlich haben alle die Einheit Joule). In Worten lautet der erste Hauptsatz:

Die Summe der Änderung der inneren Energie und der Änderung der äußeren Energie eines geschlossenen Systems ist gleich der Summe der Änderung der Wärme und der Änderung der Arbeit

In der folgenden Abbildung 3 wird diese Aussage graphisch veranschaulicht.

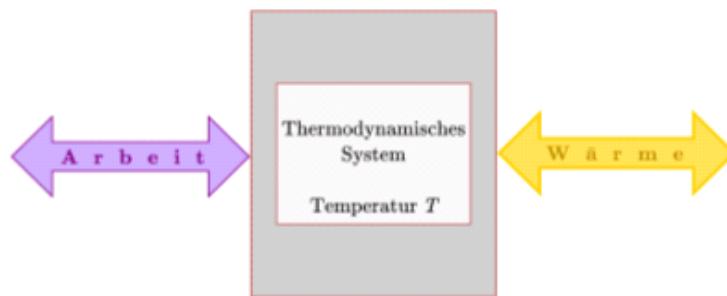


Abbildung 3, Thermodynamisches System tauscht Arbeit und Wärme aus

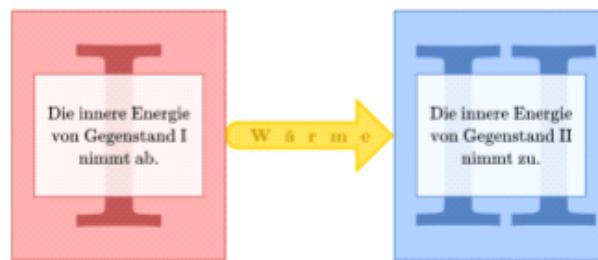


Abbildung 4, Transport von Wärme von einem System zu einem anderen, dabei ändert sich auch seine Innere Energie

Wie in Abbildung 4 ersichtlich, gibt das System 1 Wärme an System 2 ab, wodurch die innere Energie von System 1 sinkt, und die von System 2 steigt.

5.9.2022

Aber was ist innere Energie, äußere Energie, Wärme und Arbeit?

Innere Energie: Gesamte Energie welche einem sich in Ruhe befindenden System zur Energieumwandlung zur Verfügung steht (zB.: Druck, Temperatur, Teilchenzahl, Volumen).

Äußere Energie: Gesamtenergie welche einem sich nicht in Ruhe befindenden System zur Energieumwandlung zur Verfügung steht (zB.: kinetische Energie, potenzielle Energie).

Wärme: Als Wärme wird jener Anteil der Energie bezeichnet, welcher aufgrund von verschiedenen Temperaturen zwischen den Systemen fließt, wobei Wärme immer vom **heißeren** zum **kälteren** System fließt. Beispielsweise das Auskühlen einer heißen Tasse Tee (die Tasse Tee wird niemals dem Raum Wärme entziehen, um selbst noch heißer zu werden. Die Temperatur des Raums würde dabei natürlich sinken).

Arbeit: Als Arbeit wird Anteil der Energie bezeichnet, welcher nicht aufgrund von einer Temperaturdifferenz fließt. Beispielsweise das **Heben eines Steins** oder die **Expansion eines Gases**.

In Abbildung 5 zeigt wie ein System seinen Zustand aufgrund der Zuführung oder Abgabe von Wärme und oder Arbeit ändert (zB.: heiße Tasse Tee kühlt aus, heben eines Steins).



Abbildung 5, Ein System verändert seinen Zustand aufgrund der Zuführung oder Abgabe von Wärme und oder Arbeit

Dementsprechend muss sich eine oder mehrere Zustandsgrößen (p , V , T , n) des Systems ändern.

Da wir jedoch, um es simpel zu halten, nur ruhende Systeme betrachten wollen, ist die äußereren Energie (also zB.: die kinetische Energie) $dE_s = 0$. Damit vereinfacht sich der erste Hauptsatz der Thermodynamik zu:

$$dU = \delta Q + \delta W$$

Dementsprechend kann die Innere Energie U entweder in Form von reiner **Arbeit**, reiner **Wärme** oder einer **Mischung** aus diesen vorliegen. Wichtig sind die Vorzeichen, wenn Wärme und Arbeit einem System zugeführt wird verwendet man **positive** Vorzeichen, wenn abgeführt **negative**.

*Beispiel Wärmezufuhr: Erhitzt man beispielsweise einen Topf mit Wasser auf einer elektrischen Herdplatte, so führt man dem System (Topf) von außen eine **Wärmemenge** $+Q$ zu. Wird vom Topf weniger Wärme an die Umgebung abgegeben (beispielsweise durch Wärmestrahlung) als zugeführt wird, so erhöht sich seine **innere Energie** und damit seine **Temperatur**. Abgeschlossenes System: **Herd und Topf mit Wasser***

Im umgekehrten Fall gibt jedes System durch Wärmeleitung und/oder Wärmestrahlung eine Wärmemenge $-Q$ ab, wenn es in eine kältere Umgebung gebracht wird. In beiden Fällen ändert sich die innere Energie, ohne dass mechanische Arbeit verrichtet wird.

*Beispiel Arbeitszufuhr: Reibt man sich die Hände, so erhöht sich deren **Temperatur**, ohne dass von außen Wärme zugeführt wird. In diesem Fall führt die verrichtete Reibungsarbeit zu einer Erhöhung der **inneren Energie**. Abgeschlossenes System: **Hände und Luft zwischen Hände***

Der erste Hauptsatz der Wärmelehre schließt als Energie-Erhaltungssatz die Existenz einer Maschine aus, die ohne Zufuhr von Energie mechanische Arbeit verrichten kann. Also kann es kein **Perpetuum Mobile** geben.

Nun wird es Zeit uns genauer damit zu beschäftigen, was eigentlich unter Wärme und Arbeit zu verstehen ist, wobei wir das Thema der Arbeit erst bei den Gasgesetzen thematisieren werden, da beispielsweise bei unseren Verbrennungsmotoren stets Gase Arbeit verrichten.

1.2.1 Wärme Q und Temperatur T

Bevor wir den abstrakten Begriff der Wärme Q (der nichts mit den Begriffen „warm“ und „kalt“ gemein hat) näher kennen lernen wollen, stellt sich einmal die Frage, was eigentlich eine Temperatur thermodynamisch betrachtet ist.

Temperatur T:

Bei der Temperatur handelt es sich um eine **intensive Zustandsgröße** (ändert sich nicht, wenn man einen Körper teilt) und wird in °C oder Kelvin K angeben [T]=K. Die Temperatur ist ein Maß für die **mittlere kinetische Energie** von Teilchen (je mehr sich Teilchen bewegen, desto höher ist die Temperatur) wie die folgende Formel zeigt (gilt für ideale Gase):

$$U = N * E_{kin} = N * \frac{m * v^2}{2} = \frac{f}{2} * N * k_b * T = c_V * n * T$$

[f] = 1 (*Anzahl der Freiheitsgrade*)

N = *Anzahl der Teilchen*

$$k_b = 1,38 * 10^{-23} \frac{J}{K} (\text{Boltzmann - Konstante})$$

[T] = K

[m] = kg

$$[v] = \frac{m}{s} (\text{mittlere Geschwindigkeit der Teilchen})$$

$$[c_V] = \frac{J}{mol * K}$$

[n] = mol

19.9.2022

Wichtig ist, dass es sich hier um innere Energie handelt, da die kinetische Energie im System vorliegt und nicht für die Bewegung des Systems nutzbar ist!

Die Umrechnung von Kelvin in °C erfolgt nach der folgenden Formel.

$$T(K) = T(^\circ C) + 273,15$$

Den Begriff des Freiheitsgrads werden wir erst bei den Gasgesetzen genauer kennen lernen. Vorerst: Bei Edelgasen gilt f=3.

Wärme Q:

Bei Wärme handelt es sich um eine Prozessgröße, welche von zwei Systemen unterschiedlicher Temperatur ausgetauscht wird. Dabei wird Energie von einem System höherer Temperatur (hohe innere Energie) auf ein System mit niedrigerer Temperatur (niedrige innere Energie) in Form von Wärme übertragen. Die Einheit der Wärme ist Joule [Q]=J. Dies kann durch **Wärmeleitung** (mechanische Berührung), **Wärmestrahlung** (Körper strahlen aufgrund ihrer Temperatur Photonen ab) oder

Konvektion (Fluide mischen sich aufgrund ihrer unterschiedlichen Temperatur) geschehen. Konvektion wollen wir aber im Folgenden nicht betrachten, da diese mit einem Stofftransport und damit auch mit einer geleisteten Arbeit verbunden ist.

Aber wie können diese beiden Größen in Verbindung gesetzt werden?

Dazu ein Experiment:

SuS fragen von was sie glauben, welcher Zusammenhang zwischen Temperatur und Wärme besteht, bzw welche Größen eine Rolle spielen.

Antworten sammeln.

Frage: Glaubt ihr braucht mehr Wasser länger zum Kochen als wenig Wasser? → Ja

Glaubt ihr erwärmen sich alle Stoffe gleich schnell? → Nein, Metalle deutlich schneller

Wasser kochen mit Heizstab, m(Wasser) messen, Leistung des Heizstabs kennen, t messen,

$$Q=P*t$$

$$\Delta T=100^\circ\text{C}-\text{Umgebungstemperatur}$$

$$Q=m*c*\Delta T$$

$$c=Q/(m*\Delta T)$$

$$\text{Welche Einheit hat nun } c? \rightarrow \text{J}/(\text{kg}*\text{K})$$

c ist spezifische Wärmekapazität

Aus dem Alltag wissen wir, dass ein Körper mit vielen Teilchen mehr Energie speichern kann als ein Körper mit wenigen Teilchen (zB.: 2L Wasser brauchen länger im Wasserkocher bis es kocht als 1L). Das bedeutet, dass die Masse m eine Rolle spielen muss.

Ebenfalls wissen wir, dass sich nicht alle Stoffe gleich schnell erwärmen (zB.: Metall erwärmt sich schneller als Wasser). Dementsprechend muss es einen Zusammenhang zwischen der Masse, dem Stoff selbst, der Wärme und der Temperatur geben.

Wie wir im vorherigen Experiment gesehen haben, ist dieser Zusammenhang durch die folgende Formel geben:

$$\Delta Q = m * c_s * \Delta T$$

$$[Q] = \text{J}$$

$$[m] = \text{kg}$$

$$[c_s] = \frac{\text{J}}{\text{kg} * \text{K}}$$

$$[\Delta T] = \text{K}$$

Wobei c_s die spezifische Wärmekapazität bezeichnet (spezifisch, da sie sich auf 1 kg des Stoffs bezieht). Wichtig ist, dass diese Formel nur gilt, wenn es zu keinem Phasenübergang kommt.

Selbe Formel lässt sich auch für die Stoffmenge n anschreiben:

$$\Delta Q = n * c * \Delta T$$

$$[Q] = J$$

$$[n] = mol$$

$$[c] = \frac{J}{mol * K}$$

$$[T] = K$$

c bezeichnet hier die sogenannte molare Wärmekapazität.

Da wir hier keine Arbeit leisten, steigt die innere Energie um den Betrag der zugeflossenen Wärme. Also wird die gesamte zugeführte Wärme in innere Energie umgewandelt. Folglich gilt:

$$dU = \delta Q$$

Der Zusammenhang zwischen Wärmekapazität und spezifischer Wärmekapazität ist demnach gegeben durch:

$$C = m * c_s$$

$$[C] = \frac{J}{K}$$

$$[m] = kg$$

$$[c] = \frac{J}{kg * K}$$

Dazu ein Rechenbeispiel:

3.10.22

1) Beton: $c_s = 2 \frac{kJ}{kgK} g = 2400 \frac{kJ}{m^3} \rightarrow m = g \cdot V = 2400 kg$

Luft: $c_s = 0,97 \frac{kJ}{kgK} g = 1,3 \frac{kJ}{m^3} \rightarrow m = g \cdot V = 1,3 kg$

B: $C = m \cdot c_s = 4800 \frac{kJ}{K}$

L: $C = m \cdot c_s \approx 1,261 \frac{kJ}{K}$ $10Wh \hat{=} 36kJ$

2) $\Delta Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad \Delta T = \frac{\Delta Q}{m \cdot c} = \frac{36 kJ}{4800 \frac{kJ}{K}} = 0,0075 K$

$36 kJ$ $\hat{=} 30 kJ$

$$\frac{36 \text{ kJ}}{1,26 \text{ kJ}} \approx \underline{30 \text{ kJ}}$$



1. Thermodynamik - Wärmelehre

„Thermodynamik ist ein komisches Fach. Das erste Mal, wenn man sich damit befasst, versteht man nichts davon. Beim zweiten Durcharbeiten denkt man, man hätte nun alles verstanden, mit Ausnahme von ein oder zwei kleinen Details. Das dritte Mal, wenn man den Stoff durcharbeitet, bemerkt man, dass man fast gar nichts davon versteht, aber man hat sich inzwischen so daran gewöhnt, dass es einen nicht mehr stört.“ – Arnold Sommerfeld

Thermodynamik (Wärmelehre) ist eine Wissenschaft, welche ursprünglich aus dem Studium der Dampfmaschine hervorgegangen ist. Als Begründer gilt der französische Physiker Sadi Carnot welcher 1824 seine wegweisende Arbeit schrieb. Dementsprechend beschäftigt sich die Thermodynamik mit der Umwandlung von verschiedenen Energieformen, welche wir im Folgenden noch kennen lernen werden.

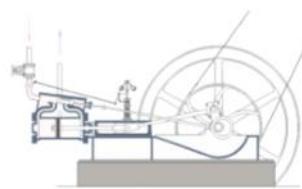


Figure 1, Dampfmaschine

In der Thermodynamik gibt es ähnliche wie bei der Mechanik und bei der Elektrodynamik Axiome (Newton-Axiome und Maxwell-Gleichungen), welche sich in **3 Hauptsätze** (1. 2. 3. Hauptsatz) formulieren lassen. Eigentlich handelt es sich um **4 Hauptsätze** (0. 1. 2. 3. Hauptsatz), jedoch wurde der nullte Hauptsatz erst nachträglich beigefügt.

1.1 0. Hauptsatz

Bevor wir zur Formulierung dieses Hauptsatzes kommen, muss der Begriff des **Systems** erläutert werden.

„Ein physikalisches System, materielles System oder konkretes System ist ein in der Raumzeit existierendes physikalisches Objekt (oder eine Ansammlung solcher Objekte), das sich als Ganzes in wohl definierter Weise von seiner Umgebung abgrenzen lässt.“

Dementsprechend kann ein System beispielsweise die Erde, ein Atom, das Sonnensystem, ein Glas Wasser oder auch ein Klassenzimmer sein. Da wir jetzt den Begriff des Systems kennen, wird es Zeit sich mit der Frage der **Wechselwirkung verschiedener Systeme** zu beschäftigen, siehe Abbildung 1.

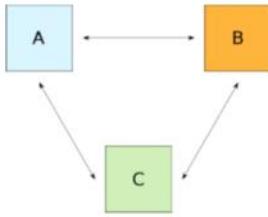


Abbildung 1, Wechselwirkung von System A, B und C

Wie in Abbildung 1 ersichtlich wechselwirken System A, B und C miteinander (symbolisiert durch Pfeile). Da wir nun wissen, dass Systeme miteinander wechselwirken können, kann der nullte Hauptsatz formuliert werden:

Wenn ein System A sich mit einem System B sowie B sich mit einem System C im thermischen Gleichgewicht befindet, so befindet sich auch A mit C im thermischen Gleichgewicht. Die Zustandsgröße, die bei diesen Systemen übereinstimmt, ist die Temperatur, die skalar, intensiv und überall im System gleich ist.

Bevor wir diesen Satz erläutern, müssen die Begriffe „Zustandsgröße“, „skalar“ und „intensiv“ erläutert werden.

Zustandsgrößen/Prozessgrößen:

- Zustandsgrößen beschreiben den Zustand eines Systems durch extensive und intensive Größen (siehe unten). Wenn alle Zustandsgrößen **zeitlich konstant** sind, spricht man vom **thermodynamischen Gleichgewicht**. Zustandsgrößen geben lediglich einen Zustand an und hängen nicht davon ab auf welchem Weg dieser erreicht wurde.
- Eine Prozess- oder Vorgangsgröße ist eine physikalische Größe, die ausschließlich bei **Zustandsänderung** auftritt und den Prozess der Zustandsänderung beschreibt. Daher sind Prozessgrößen vom Weg der Änderung abhängig. Prozessgrößen beschreiben, wie ein Zustand in einen anderen Zustand übergeht. Bsp.: **Wärme und Arbeit**

Skalare/Vektorielle Größen:

- Skalare Größen weisen **keine** Richtung auf (zB.: Temperatur, Druck, Masse)
- Vektorielle Größen weisen **eine** Richtung auf (zB.: Geschwindigkeit, Impuls, Kraft)

Intensive/Extensive Größen:

- Intensive Größen sind **unabhängig** von der Systemgröße (zB.: Temperatur, Druck, Dichte)
- Extensive Größen sind **abhängig** von der Systemgröße (zB.: Stoffmenge, Volumen, Masse)

Nun zurück zum nullten Hauptsatz. Die Aussage von diesem lässt sich am einfachsten graphisch nachvollziehen, siehe Abbildung 2.

Ausgangszustand:



$$T_A > T_B = T_C$$

Gleichgewichtszustand:



$$T_A = T_B = T_C$$

Abbildung 2, Graphische Darstellung des nullten Hauptsatzes

Wie in Abbildung 2 ersichtlich besitzt zum Zeitpunkt $t=0$ (Ausgangszustand) das System A eine höhere Temperatur als das System B und C, welche dieselbe Temperatur haben ($T_A > T_B = T_C$). Nun lassen wir Zeit vergehen bis alle drei Systeme die gleiche Temperatur haben. Wieviel Zeit dafür benötigt wird ist abhängig von den Systemen, aber dies soll uns hier nicht weiter interessieren. Nach einer gewissen Zeit jedoch, nehmen wir um es allgemein zu halten $t \rightarrow \infty$, werden die drei Systeme dieselbe Temperatur aufweisen. Wir sprechen vom **thermischen Gleichgewicht**.

Um das ganze etwas verständlicher zu machen ein reales Beispiel. Du machst dir im Winter einen heißen Tee (System A) und stellst ihn in deinem Zimmer (System B) auf deinen Schreibtisch (System C). Wie in Abbildung 2 ersichtlich wird zum Zeitpunkt $t=0$ dein Zimmer und der Tisch dieselbe Temperatur haben, der Tee jedoch eine höhere Temperatur aufweisen. Nach einer gewissen Zeit wird der Tee auskühlen, und sich das Zimmer und der Schreibtisch dafür erwärmen. Sobald alle drei Systeme, also Tee, Zimmer und Schreibtisch dieselbe Temperatur aufweisen, spricht man von thermischen Gleichgewicht, denn System A und B, B und C, und A und C weisen alle dieselbe Temperatur auf.

Bis jetzt haben wir jedoch nur von Temperaturen gesprochen, nicht jedoch von den Energieflüssen zwischen den Systemen. Diese Energieflüsse bringen uns jedoch direkt zum ersten Hauptsatz der Thermodynamik.

1.2 1. Hauptsatz

Der erste Hauptsatz der Thermodynamik beschreibt die **Energieerhaltung** in thermodynamischen Systemen. Er besagt, dass der Energieinhalt eines **abgeschlossenen** Systems **konstant** ist. Bevor wir jedoch zur Formulierung des ersten Hauptsatzes kommen, muss der Begriff der abgeschlossenen Systeme, und der anderen möglichen Systemformen, erläutert werden.

Abgeschlossenes/Isoliertes System: Ein abgeschlossenes thermodynamisches System wechselwirkt nicht mit seiner Umgebung.

Geschlossenes System: Energie **kann** die Systemgrenzen passieren, Materie jedoch **nicht**. Falls nur Arbeit die Systemgrenze passieren kann, spricht man von einem adiabatischen System.

Offenes System: Energie und Materie **kann** die Systemgrenze passieren.

Der Begriff der Energie ist nun mehrfach gefallen, aber was ist eigentlich Energie? Diese Frage beantwortet uns nun der erste Hauptsatz der Thermodynamik welcher wie folgt lautet:

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

Und in seiner differentiellen Schreibweise:

$$dU + dE_a = \delta Q + \delta W$$

Einschub: Bei Prozessgrößen handelt es sich um unvollständige Differentiale da sie wegabhängig sind (δQ und δW). Bei Zustandsgrößen spricht man von vollständigen Differentialen da sie wegunabhängig sind (dU und dE_a). Dies soll uns hier aber nicht weiter beschäftigen und ist nur aufgrund der mathematischen Richtigkeit beigelegt.

Dabei bezeichnet U die innere Energie, E_a die äußere Energie, Q die Wärme und W die Arbeit (natürlich haben alle die Einheit Joule). In Worten lautet der erste Hauptsatz:

Die Summe der Änderung der inneren Energie und der Änderung der äußeren Energie eines geschlossenen Systems ist gleich der Summe der Änderung der Wärme und der Änderung der Arbeit.

In der folgenden Abbildung 3 wird diese Aussage graphisch veranschaulicht.

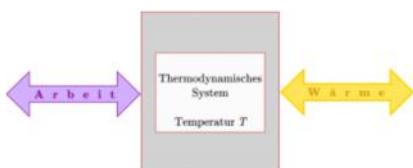


Abbildung 3, Thermodynamisches System tauscht Arbeit und Wärme aus



Abbildung 4, Transport von Wärme von einem System zu einem anderen, dabei ändert sich auch seine Innere Energie

Wie in Abbildung 4 ersichtlich, gibt das System 1 Wärme an System 2 ab, wodurch die innere Energie von System 1 sinkt, und die von System 2 steigt.

Aber was ist innere Energie, äußere Energie, Wärme und Arbeit?

Innere Energie: Gesamte Energie welche einem sich in Ruhe befindenden System zur Energieumwandlung zur Verfügung steht (zB.: Druck, Temperatur, Teilchenanzahl, Volumen).

Äußere Energie: Gesamtenergie welche einem sich nicht in Ruhe befindenden System zur Energieumwandlung zur Verfügung steht (zB.: kinetische Energie, potentielle Energie).

Wärme: Als Wärme wird jener Anteil der Energie bezeichnet, welcher aufgrund von verschiedenen **Temperaturen** zwischen den Systemen fließt, wobei Wärme immer vom **heißeren** zum **kälteren**

System fließt. Beispielsweise das Auskühlen einer heißen Tasse Tee (die Tasse Tee wird niemals dem Raum Wärme entziehen, um selbst noch heißer zu werden. Die Temperatur des Raums würde dabei natürlich sinken).

Arbeit: Als Arbeit wird Anteil der Energie bezeichnet, welcher nicht aufgrund von einer Temperaturdifferenz fließt. Beispielsweise das Heben eines Steines oder Expansion eines Gases.

In Abbildung 5 zeigt wie ein System seinen Zustand aufgrund der Zuführung oder Abgabe von Wärme und oder Arbeit ändert (z.B.: heiße Tasse Tee kühlte aus, heben eines Steins).



Abbildung 5, Ein System verändert seinen Zustand aufgrund der Zuführung oder Abgabe von Wärme und oder Arbeit

Dementsprechend muss sich eine oder mehrere Zustandsgrößen (p , V , T , n) des Systems ändern.

Da wir jedoch, um es simpel zu halten, nur ruhende Systeme betrachten wollen, ist die äußeren Energie (also zB.: die kinetische Energie) $dE_a=0$. Damit vereinfacht sich der erste Hauptsatz der Thermodynamik zu:

$$dU = \delta Q + \delta W$$

Dementsprechend kann die Innere Energie U entweder in Form von reiner **Arbeit**, reiner **Wärme** oder einer **Mischung** aus diesen vorliegen. Wichtig sind die Vorzeichen, wenn Wärme und Arbeit einem System zugeführt wird verwendet man **positive** Vorzeichen, wenn abgeführt **negativ**.

Beispiel Wärmezufuhr: Erhitzt man beispielsweise einen Topf mit Wasser auf einer elektrischen Herdplatte, so führt man dem System (Topf) von außen eine **Wärmemenge** $+Q$ zu. Wird vom Topf weniger Wärme an die Umgebung abgegeben (beispielsweise durch Wärmestrahlung) als zugeführt wird, so erhöht sich seine **innere Energie** und damit seine **Temperatur**. Abgeschlossenes System: **Herd und Topf**

Im umgekehrten Fall gibt jedes System durch Wärmeleitung und/oder Wärmestrahlung eine Wärmemenge $-Q$ ab, wenn es in eine kältere Umgebung gebracht wird. In beiden Fällen ändert sich die **innere Energie**, ohne dass mechanische Arbeit verrichtet wird.

Beispiel Arbeitszufuhr: Reibt man sich die Hände, so erhöht sich deren **Temperatur**, ohne dass von außen **Wärme** zugeführt wird. In diesem Fall führt die verrichtete **Reibungsarbeit** zu einer **Erhöhung der inneren Energie**. Abgeschlossenes System: **Hände und Luft zwischen Hände**

Der erste Hauptsatz der Wärmelehre schließt als Energie-Erhaltungssatz die Existenz einer Maschine aus, die ohne Zufuhr von Energie mechanische Arbeit verrichten kann. Also kann es kein **Perpetuum Mobile** geben.

Nun wird es Zeit uns genauer damit zu beschäftigen, was eigentlich unter Wärme und Arbeit zu verstehen ist, wobei wir das Thema der Arbeit erst bei den Gasgesetzen thematisieren werden, da beispielsweise bei unseren Verbrennungsmotoren stets Gase Arbeit verrichten.

1.2.1 Wärme und Temperatur

Bevor wir den abstrakten Begriff der Wärme (der nichts mit den Begriffen „warm“ und „kalt“ gemein hat) näher kennen lernen wollen, stellt sich einmal die Frage, was eigentlich eine Temperatur thermodynamisch betrachtet ist.

Temperatur T:

Bei der Temperatur handelt es sich um eine intensive Zustandsgröße (ändert sich nicht, wenn man einen Körper teilt) und wird in °C oder Kelvin K angeben [T]=K. Die Temperatur ist ein Maß für die kinetischen Energie von Teilchen (je mehr sich Teilchen bewegen, desto höher ist die Temperatur) wie die folgende Formel zeigt:

$$U = E_{kin} = \frac{f}{2} * N * k_b * T = N * \frac{m * v^2}{2} = c_v * n * T$$

[f] = 1 (Anzahl der Freiheitsgrade)

N = Anzahl der Teilchen

$$k_b = 1.38 * 10^{-23} \frac{J}{K} \text{ (Boltzmann - Konstante)}$$

[T] = K

[m] = kg

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

$$[c_v] = \frac{J}{mol * K}$$

[n] = mol

Die Umrechnung von Kelvin in °C erfolgt nach der folgenden Formel.

$$T(°C) = T(K) - 273.15$$

Den Begriff des Freiheitsgrads werden wir erst bei den Gasgesetzen genauer kennen lernen. Vorerst: Bei Edelgasen gilt f=3.

Wärme Q:

Bei Wärme handelt es sich um eine Prozessgröße, welche von zwei Systemen unterschiedlicher Temperatur ausgetauscht wird. Dabei wird Energie von einem System höherer Temperatur auf ein System mit niedrigerer Temperatur in Form von Wärme übertragen. Die Einheit der Wärme ist Joule [Q]=J. Dies kann durch Wärmeleitung (mechanische Berührung), Wärmestrahlung (Körper strahlen aufgrund ihrer Temperatur Photonen ab) oder Konvektion (Fluide mischen sich aufgrund ihrer unterschiedlichen Temperatur) geschehen. Konvektion wollen wir aber im Folgenden nicht betrachten, da diese mit einem Stofftransport und damit auch mit einer geleisteten Arbeit verbunden ist.

Aber wie können diese beiden Größen in Verbindung gesetzt werden?

Aus dem Alltag wissen wir, dass ein Körper mit vielen Teilchen mehr Energie speichern kann als ein Körper mit wenigen Teilchen (z.B.: 2L Wasser brauchen länger im Wasserkocher bis es kocht als 1L). Das bedeutet, dass die Masse m eine Rolle spielen muss.

Ebenfalls wissen wir, dass sich nicht alle Stoffe **gleich schnell erwärmen** (zB.: **Metall erwärmt sich schneller als Wasser**). Dementsprechend muss es einen Zusammenhang zwischen der **Masse**, dem **Stoff selbst**, der **Wärme und der Temperatur** geben.

Wie wir im vorherigen Experiment gesehen haben, ist dieser Zusammenhang durch die folgende Formel geben:

$$\Delta Q = m * c_s * \Delta T$$

$$[Q] = J$$

$$[m] = kg$$

$$[c_s] = \frac{J}{kg * K}$$

$$[T] = K$$

Wobei c die spezifische Wärmekapazität bezeichnet (spezifisch, da sie sich auf 1 kg des Stoffs bezieht).

Wichtig ist, dass diese Formel nur gilt, wenn es zu keinem Phasenübergang kommt.

Selbige Formel lässt sich auch für die Stoffmenge n anschreiben:

$$\Delta Q = n * c * \Delta T$$

$$[Q] = J$$

$$[n] = mol$$

$$[c] = \frac{J}{mol * K}$$

$$[T] = K$$

c bezeichnet hier die sogenannte molare Wärmekapazität.

Da wir hier keine Arbeit leisten, steigt die innere Energie um den Betrag der zugeflossenen Wärme. Also wird die gesamte zugeführte Wärme in innere Energie umgewandelt. Folglich gilt:

$$dU = \delta Q$$

Der Zusammenhang zwischen Wärmekapazität und spezifischer Wärmekapazität ist demnach gegeben durch:

$$C = m * c_s$$

$$[C] = \frac{J}{K}$$

$$[m] = kg$$

$$[c] = \frac{J}{kg * K}$$

Dazu ein Rechenbeispiel:

Passive Sonnenenergienutzung

Das Speicher vermögen von Beton wird in Niedrigenergiehäusern (Passivhäuser, Abb. 166.2) angewendet. Die massive Wand speichert tagüber Sonnenenergie und gibt die Wärme nachts ab. Dies spart Heizkosten und Tag-Nacht-Temperaturschwankungen fallen nicht gravierend aus. Passivhäuser kommen mit kleinstdimensionierten Heizanlagen aus. Dies ist möglich, weil z. B. auch die Wohnraumlüftung kontrolliert wird und über eine Wärmerückgewinnung verfügt.

Die Behauptung „Beton ist ein guter Wärmespeicher“ soll rechnerisch überprüft werden.

	Spezifische Wärmekapazität in kJ/kgK	Dichte in kg/m³
Beton	2	2 400
Luft	0,97	1,3

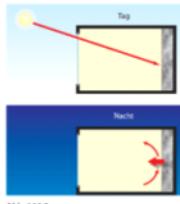


Abb. 166.2

a) Es ist die Wärmekapazität von Luft mit der von Beton für ein Volumen von $V = 1 \text{ m}^3$ zu vergleichen.

b) Es ist die Temperaturerhöhung bei einer Zufuhr von 10 Wh jeweils für 1 m³ Luft und Beton zu berechnen.

$$Q = m * c * \Delta T$$

$$C_B = m * c = \rho * V * c = 2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1\text{m}^3 * 2 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} = 4800 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

$$C_L = m * c = \rho * V * c = 1.3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 1\text{m}^3 * 0.97 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} = 1.26 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

$$\Delta T = \frac{10 * 3600}{2400 * 1.2}$$

$$Wh = 3600 \frac{s}{h} = \frac{J}{s} = s = J$$

Das Wärmespeichervermögen von Beton ist um mehr als drei Zehnerpotenzen größer als das von Luft!

b) Die Temperatur erhöht sich bei Wärmezufuhr von 10 Wh bei

$$\text{Luft um } \Delta T = \frac{Q}{c} = \frac{10W * 3600s}{1.26 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}} = 28,6K$$

$$\text{Beton um } \Delta T = \frac{Q}{c} = \frac{10W * 3600s}{2.4 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}} = 0,015K$$

Da wir nun den Zusammenhang von Wärme und Temperatur bei konstantem Aggregatzustand gesehen haben, stellt sich die Frage, was denn passiert, wenn es zu einer Änderung des Aggregatzustandes kommt.

1.2.1.1 Wärme und Temperatur bei Phasenübergängen

Wie zuvor angemerkt gilt die Formel $Q=m*c*\Delta T$ nur für Temperaturerhöhungen, bei denen es zu keinem Phasenübergang kommt. Aber warum? Wie wir bereits wissen, hat Wasser bei Standardbedingungen eine Siedetemperatur von näherungsweise 100°C. Egal wie viel Wärme zugeführt wird, wird sich die Temperatur der Flüssigkeit nicht ändern, lediglich die **Geschwindigkeit**, mit der sie **verdampft**. Dementsprechend können wir zwei Formen der Wärme definieren, die „**fühlbare**“ Wärme, und die „**latente**“ Wärme. Aber was ist der Unterschied zwischen diesen beiden Formen der Wärme?

Fühlbare Wärme: Fühlbare Wärme ist jene thermische Energie, welche sich durch eine unmittelbare Zu- oder Abnahme der **Temperatur** bemerkbar macht (zB.: Wasser wird durch Wärmezufuhr von 0°C auf 100°C gebracht)

Latente Wärme: Als latente Wärme wird jene thermische Energie bezeichnet, welche sich **nicht** durch eine unmittelbare Veränderung der **Temperatur** bemerkbar macht (zB.: Wärme welche bereits siedendem Wasser zugeführt wird).

Dieses Verhalten lässt sich bei allen Phasenübergängen zwischen fest, flüssig und gasförmig beobachten.

In der nachfolgenden Abbildung 6 ist der Temperaturverlauf von Wasser in Abhängigkeit der zugeführten Wärme gezeigt.

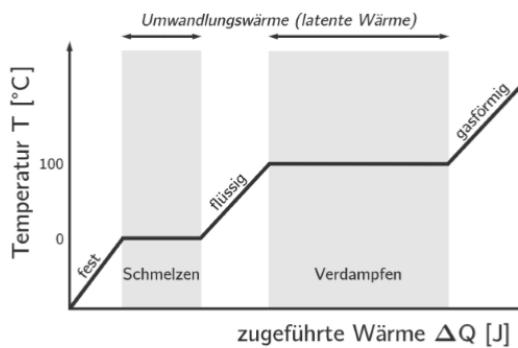


Abbildung 6, Temperatur in Abhängigkeit der zugeführten Wärme bei Wasser, Grauer Bereich: latente Wärme, Weißer Bereich: fühlbare Wärme

Wie in Abbildung 6 ersichtlich, ändert sich die Temperatur bei Wärmezufuhr in den weißen Bereichen, wir sprechen von **fühlbarer Wärme** (kein Phasenübergang). In den grauen Bereichen, bei denen es zu Phasenübergängen kommt, ändert sich die Temperatur, obwohl Wärme zugeführt wird, nicht, wir sprechen von **latentere Wärme**.

Aber wo geht die Wärme salopp formuliert eigentlich hin, wenn sie nicht fühlbar ist? Generell wird diese Energie zur Veränderung der **atomaren Struktur des Stoffs** verwendet. Beispielsweise können von fest auf flüssig Kristallgitter aufgebrochen werden, und von flüssig auf gasförmig die Atome/Moleküle aus ihrem **atomaren Verbund** (beispielsweise Wasserstoffbrückenbindungen zwischen den Atomen/Molekülen) gerissen werden.

Nun haben wir den Fall besprochen, bei dem das System zum Startzeitpunkt eine niedrige Temperatur aufweist, und zum Endzeitpunkt eine hohe Temperatur. Dabei wird Wärme aufgenommen, welche sich, falls es zu keinem Phasenübergang kommt, als fühlbare Wärme und, falls es zu einem Phasenübergang kommt, als latente Wärme bestimmen lässt. Aber was passiert, wenn das System

abkühlt, also zum **Startzeitpunkt** eine hohe Temperatur, und zum **Endzeitpunkt** eine niedrige Temperatur aufweist?

In diesem Fall gibt das System fühlbare Wärme ab, wodurch sich seine Temperatur erniedrigt. Dies kann beispielsweise der Fall sein, wenn man ein „heißes“ Hefertee in einen kühlen Raum stellt. Die Flüssigkeit im Hefertee gibt Wärme in Form von **Wärmeleitung** (an die umgebende Materie) und **Wärmestrahlung** (Photonen!) ab und reduziert dadurch seine Temperatur.

Aber wie ist es bei der latenten Wärme? Diese lässt sich beispielsweise beobachten, wenn man in „heißen“ Wasserdampf greift. Wie jeder weiß, verbrüht man sich dabei die Hand, da Wärme vom Wasserdampf auf die Hand übertragen wird, und sich auf der Hand danach Wasser befindet. Jedoch handelt es sich hierbei nicht um **fühlbare Wärme**, sondern um **latente Wärme**, da die abgegebene Wärme aufgrund des **Phasenübergangs von gasförmig auf flüssig** frei wird. Im nachfolgenden Gif wird dieser Sachverhalt gezeigt (Wärmeaufnahme = Pfeil zeigt zu Stoff, Wärmeabgabe = Pfeil zeigt von Stoff weg).

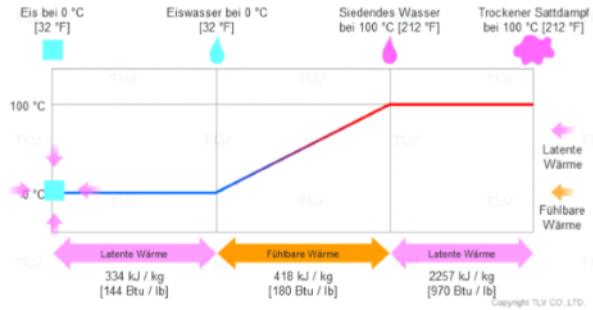


Figure 2, Wärmeaufnahme (Pfeil zeigt zu Stoff) und Wärmeabgabe (Pfeil zeigt von Stoff) bei fühlbarer und latenter Wärme

In der nachfolgenden Abbildung 7 wird graphisch gezeigt, bei welchen Phasenübergängen Wärme aufgenommen oder abgegeben wird.

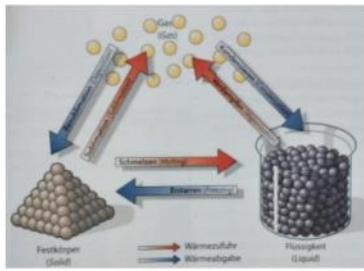


Abbildung 7, Graphische Darstellung bei welchen Prozessen Wärme auf- oder abgegeben wird

Generell gibt es auch Begriffe für die verschiedenen Formen der latenten Wärme:

Verdampfungswärme/Kondensationswärme Q_v : Als Verdampfungswärme wird jene Energie bezeichnet, welche benötigt wird, um eine bestimmte Menge Flüssigkeit zu verdampfen. Wenn ein Gas kondensiert, wird diese Wärme wieder frei.

Schmelzwärme/Erstarrungswärme Q_s : Ist jene Energie, welche aufgewendet werden muss, um einen Feststoff in seinen flüssigen Aggregatzustand überzuführen. Beim Erstarren wird diese Wärme wieder frei.

Sublimationswärme/Sublimationswärme Q_{sub} : Ist jene Energie, welche aufgewendet werden muss, um einen Stoff von festen in den gasförmigen Zustand zu überführen. Sie ist die Summe aus Schmelz- und Verdampfungswärme ($Q_{sub} = Q_s + Q_v$). Beim Resublimieren wird diese Wärme wieder frei.

Nun zu einem Rechenbeispiel:

2L (im flüssigen Zustand bestimmt) Suppe aus dem Tiefkühler soll auf einer Herdplatte von -10°C auf 100°C aufgewärmt werden. Berechne welche Wärmemenge von der Herdplatte zugeführt werden muss. Berechne ebenfalls die Leistung der Herdplatte, wenn dieser Vorgang 15 Minuten dauern soll. Die spezifische Wärmekapazität und die Dichte der Suppe kann als die von Wasser angenommen werden.

$$c(H_2O) = 4,187 \text{ kJ/(kg*K)}$$

$$\rho(H_2O) = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Schmelzwärme } Q_s = 333 \text{ kJ/kg}$$

$$Q = m * c * \Delta T$$

$$Q_{gs} = Q_{-10 \rightarrow 0} + Q_s + Q_{0 \rightarrow 100}$$

$$Q_{gs} = m * c_{\text{fest}} * \Delta T + Q_s + m * c_{\text{flüssig}} * \Delta T$$

$$Q_{gs} = 2 \text{ kg} * 2,06 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}} * 10 + 333 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 2 \text{ kg} * 4,187 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}} * 100 \\ Q_{gs} = 1.212 \text{ MJ}$$

MBIT IO DEVELOP DIGITAL FUTURE www.mbit.at

$$\Delta Q = m * c * \Delta T$$

$$\Delta Q = m * c_{\text{fest}} * (0^\circ \text{C} - 263^\circ \text{C}) + m * c_{\text{fest}} * m * c_s * (333^\circ \text{C} - 0^\circ \text{C})$$

$$\Delta Q = m * (c_{\text{fest}} * 10 + c_{\text{fest}} * c_s * 333)$$

$$\Delta Q = 2 \cdot (2,06 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}} * 10 + 333 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 4,187 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}} * 100)$$

$$\underline{\Delta Q = 1545 \text{ kJ} \hat{=} 0,14 \text{ € kWh}}$$

$$P = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{1545 \text{ kJ}}{15 \text{ min}} = \underline{1.03 \text{ kW}}$$

A: Herd muss 1.03 kW haben.

$$P = \frac{Q}{T} = 1.212 * \frac{10^6}{15 * 60} = 1346.7 \text{ W}$$

Da wir nun den Begriff der Wärme etwas näher beleuchtet haben, wird es Zeit, uns mit dem Begriff der „Arbeit“ zu beschäftigen. Aber was ist eigentlich Arbeit?

1.2.2 Arbeit

Bei Arbeit handelt es sich um eine physikalische Größe mit der Einheit J. Rein mechanisch ist Arbeit als Kraft mal Weg definiert, siehe folgende Formel:

$$\Delta W = F * \Delta s$$

Darauf aufbauend lässt sich Arbeit als jener Energieanteil definieren, welcher nicht als Wärme vorliegt. Wird also auf ein System eine Energiemenge ΔE übertragen, die zumindest zum Teil aus einer Wärmemenge ΔQ besteht, so wird die Differenz als die am System geleistet Arbeit ΔW bezeichnet, siehe folgende Formel.

$$\Delta W = \Delta E - \Delta Q$$

Da wir nach wie vor nur ruhende Systeme betrachten wollen, können wir schreiben:

$$\delta W = dU - \delta Q$$

Jedoch stellt sich die Frage, wie „die am System geleistet Arbeit“ zu verstehen ist. Diese Frage lässt sich anhand der Gasgesetze beantworten.

1.2.2.1 Ideales Gas

Bevor wir zu den Gasgesetzen selbst kommen, stellt sich die Frage was denn eigentlich ein Gas ist, beziehungsweise wie dieses denn charakterisiert ist. Diese Frage bringt uns, um es simpel zu halten, zu den idealen Gasen. Diese sind anhand der folgenden Punkte charakterisiert:

- Alle Gasteilchen werden als ausdehnungslose Massenpunkte gleicher Sorte angenommen, welche sich ungeordnet im Raum bewegen
- Ideale Gasteilchen wechselwirken mit der Umgebung (Wand des Behältnisses) und untereinander nur in Form von voll elastischen Stößen (auch keine Gravitation)
- Ideale Gasteilchen werden als einatomig angenommen und können daher nicht rotieren oder vibrieren. Ihre gesamte Energie liegt als kinetische Energie vor, welche von ihrer translatorischen Bewegung im Raum herröhrt (sie besitzen also nur 3 Freiheitsgrade)

Diese Näherungen passen erstaunlich gut, solange das Gas unter einem niedrigen Druck steht und eine hohe Temperatur aufweist.

Da wir nun wissen wie ein ideales Gas definiert ist stellt sich die Frage, welche Größen für die Beschreibung von diesem benötigt werden. Das bringt uns zur sogenannten idealen Gasgleichung

Diese Näherungen passen erstaunlich gut, solange das Gas unter einem niedrigen Druck steht und eine hohe Temperatur aufweist.

Da wir nun wissen wie ein ideales Gas definiert ist stellt sich die Frage, welche Größen für die Beschreibung von diesem benötigt werden. Das bringt uns zur sogenannten idealen Gasgleichung welche wie folgt lautet:

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

p ... Druck (Pa)

$$V \dots \text{Volumen (m}^3\text{)}$$

$$n \dots \text{Stoffmenge (mol)}$$

$$R \dots \text{ideale Gaskonstante } (\frac{J}{\text{mol} \cdot \text{K}}) = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$T \dots \text{Temperatur (K)}$$

Dementsprechend stehen Druck und Volumen in Zusammenhang mit Teilchenzahl und Temperatur. Diese vier Größen sind dementsprechend die Zustandsgrößen eines Gases (gilt für ideale und reale Gase). Dazu ein Rechenbeispiel:

Die Deodose in deinem Zimmer hat ein Volumen von 150 mL, einen Druck von 3 bar und weil Sommer ist hat es 40 °C. Berechne wie groß die Stoffmenge des Inhalts ist.

$$3 \cdot 10^5 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} = n \cdot 8,314 \cdot (273,15 + 40)$$

n = 0,017 mol

Beispiel 1.4

Schwimmblase

Geweise Fischarten besitzen eine gasgefüllte „Schwimmblase“, um den Auftrieb und damit die Schwimmhöhe zu regulieren und ihre Lage im Wasser zu stabilisieren, ohne dauernd Schwimmbewegungen auszuführen.

Ein auftauchender Fisch muss das Volumen und die Dichte der Schwimmblase konstant halten; sonst würde der Fisch aufgrund des steigenden Blasenvolumens einen größeren Auftrieb erhalten und an die Oberfläche schließen.

Angenommen, ein Fisch aus der Familie der Dorsche schwimmt bei einer Temperatur von 8 °C in einer Tiefe von 30 m. Er besitzt eine Schwimmblase mit einem Volumen von 10 cm³.

Rechnerisch sind folgende Fragen abzuschätzen: Ein Dorsch steigt an die Oberfläche ($\theta = 22^\circ\text{C}$) auf. Welches Volumen würde die Blase annehmen, bzw. wie viel Luft muss der Dorsch abgeben, damit er nicht aus dem Wasser schnellt?



Abb. 174.1 Fischdorsch mit Schwimmblase

$$\begin{aligned} T &= 8^\circ \\ p &= 30 \cdot 10^5 \quad \left| \begin{array}{l} T = 21^\circ \\ p = 10^5 \end{array} \right. \\ n &\text{ bleibt gleich} \\ R &= 8,314 \\ V &= 10 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V &= \frac{n \cdot R \cdot T}{p} = \frac{4 \cdot 10^5 \cdot 10}{8,314 \cdot 21^\circ} \\ p &= 8,314 \cdot \frac{171,124 \dots \cdot 8,314 \cdot (22+273,15)}{10^5} \\ &= 41,9718 \dots \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Da wir nun bei den Gasen angekommen sind, sollten wir uns die Größe der „Temperatur“ noch einmal genauer ansehen. In Punkt 1.2.1 haben wir bereits etwas über die Temperatur gelernt, siehe Text in kursiv.

$$\begin{aligned} p_1 \cdot V_1 &= n \cdot R \cdot T_1 \\ p_2 \cdot V_2 &= n \cdot R \cdot T_2 \\ \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} &= \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2} \quad V_2 = \frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} \cdot \frac{T_2}{p_2} = \frac{4 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot 295 \text{ K}}{281 \text{ K} \cdot 1 \cdot 10^5 \text{ Pa}} \end{aligned}$$

Der Fisch muss 32 cm³ abgeben, um 10 cm³ gleichzubehalten.

Temperatur T:

Bei der Temperatur handelt es sich um eine **intensive Zustandsgröße** (ändert sich nicht, wenn man einen Körper teilt) und wird in °C oder Kelvin K angeben [T]=K. Die Temperatur ist ein Maß für die **mittlere kinetische Energie** von Teilchen (je mehr sich Teilchen bewegen, desto höher ist die Temperatur), und damit auch für die innere Energie, wie die folgende Formel zeigt:

$$U = E_{\text{kin}} = \frac{f}{2} \cdot k_b \cdot T = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

[f] = 1 (Anzahl der Freiheitsgrade)

$$k_b = 1.38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K} (\text{Boltzmann - Konstante})$$

[T] = K

[m] = kg

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

Wichtig ist, dass es sich hier um innere Energie handelt, da die kinetische Energie im System vorliegt und nicht für die Bewegung des Systems nutzbar ist!

Die Umrechnung von Kelvin in °C erfolgt nach der folgenden Formel.

$$T(^{\circ}\text{C}) = T(K) + 273,15$$

Den Begriff des Freiheitsgrads werden wir erst bei den Gasgesetzen genauer kennen lernen. Vorerst: Bei Edelgasen gilt f=3.

Als **Freiheitsgrad** ist die Anzahl der möglichen **Bewegungsformen** von Atomen oder Molekülen zu verstehen. Generell gilt für die Berechnung der Freiheitsgrade die folgende Formel:

$$f = 3n$$

f ... Anzahl der Freiheitsgrade

n ... Anzahl der Atome

Generell können Gase Translations-, Rotations- und Vibrationsfreiheitsgrade aufweisen. Da wir nur ideale Gase (einatomig daher n=1, 3 Translations-, 0 Rotations- und 0 Vibrationsfreiheitsgrade) betrachten wollen erhalten wir für die Temperatur:

$$U = E_{\text{kin}} = \frac{3}{2} \cdot k_b \cdot T = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Die Bedeutung dieser Formeln, beziehungsweise was eine Temperatur eigentlich ist, lässt sich am besten anhand von Abbildung 8 und 9 verstehen, in welcher die sogenannte Maxwell-Boltzmann-Verteilung gezeigt ist.

$$v = \sqrt{\frac{3k_b T}{m}}$$

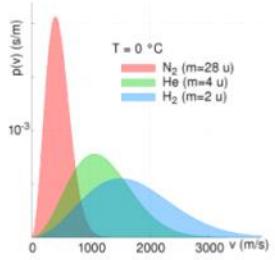


Abbildung 8, Geschwindigkeitsverteilung von Gasen mit unterschiedlicher Masse bei konstanter Temperatur

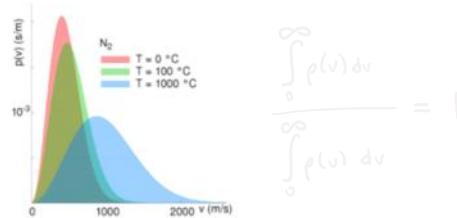


Abbildung 9, Geschwindigkeitsverteilung von Stickstoff bei unterschiedlichen Temperaturen

In Abbildung 8 und 9 ist auf der x-Achse die Geschwindigkeit der einzelnen Atome/Moleküle aufgetragen und auf der y-Achse die Wahrscheinlichkeit, dass ein Atom/Molekül diese Geschwindigkeit aufweist (wir sprechen von einer **Wahrscheinlichkeitsdichte**).

Natürlich gilt:

$$\int_0^\infty p(v) dv = 1$$

Also dass die Wahrscheinlichkeit, dass ein Teilchen eine gewisse Geschwindigkeit, welche zwischen 0 m/s und ∞ m/s liegt, aufweist **1** (bei $p(v)$ handelt es sich um eine normierte Funktion).

Wie in Abbildung 8 und 9 zu sehen ist, ändert sich die Geschwindigkeitsverteilung der einzelnen Atome/Moleküle je nach Temperatur und Masse.

Einschub: Interessierte können sich die Funktion von $p(v)$ im Internet auf Wikipedia ansehen, jedoch wird diese hier aufgrund der Komplexität und fehlenden Zeit nicht näher beleuchtet. Wichtig ist jedoch, dass es sich um keine Gaußverteilung handelt.

Da wir nun den Begriff der Temperatur etwas näher beleuchtet haben, wird es nun Zeit uns mit der Größe des Drucks zu beschäftigen.

Druck p:

Druck ist generell definiert als Kraft pro Fläche, siehe folgende Formel.

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

p ... Druck (Pa)

F ... Kraft (N)

A ... Fläche (m^2)

Oder in differentieller Schreibweise:

$$p = \frac{dF}{dA}$$

Kraft wiederum lässt sich definieren als die zeitliche Ableitung des Impulses p_i (hier zur Übersicht mit Index „i“ versehen):

$$F = \frac{dp_i}{dt} = \frac{m * dv}{dt}$$

p_i ... Impuls ($\frac{kg * m}{s}$)

t ... Zeit (s)

m ... Masse (kg)

v ... Geschwindigkeit ($\frac{m}{s}$)

Dementsprechend lässt sich der Druck definieren als

$$p = \frac{d}{dA} * \frac{dp_i}{dt}$$

$$p = \frac{d^2 p_i}{dt * dA}$$

Um den Zusammenhang zwischen dieser Formel und einem idealen Gas offensichtlicher zu machen noch einmal in Worte:

$$\text{Druck} = \frac{\text{An die Gefäßwand abgegebner Impuls}}{\text{Zeit} * \text{Fläche}}$$

Graphisch wird die Wechselwirkung zwischen Wand und Gasteilchen, und der daraus entstehende Druck, in Abbildung 10 gezeigt.

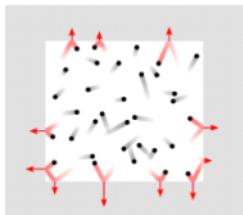


Abbildung 10, Gasteilchen kollidieren mit der Gefäßwand wodurch ein Druck entsteht

Oft wird der Druck jedoch nicht in Pascal, sondern in bar angegeben. Die Einheiten können wie folgt umgerechnet werden:

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 100000 \text{ Pa}$$

$$\text{Pa} \cdot \text{m}^2 = \text{J}$$

Da wir nun wissen, was unter Druck und Temperatur zu verstehen ist, wird es Zeit, dass wir uns mit der von Gasen verrichteten Arbeit beschäftigen.

1.2.2.2 Arbeit von idealen Gasen

Bevor wir zu den Gasgesetzen selbst kommen, können wir nun den Begriff der Arbeit kennen lernen.

Wie wir zuvor bereits gesehen haben, ist die Arbeit als:

$$\Delta W = F \cdot \Delta s$$

Definiert.

Nun wollen wir ein reales Objekt, nämlich einen Kolben verschieben, siehe Abbildung 11.

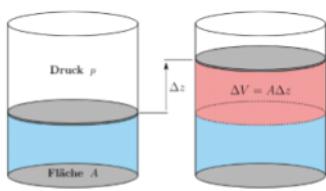


Abbildung 11, Ein Gas in einem Kolben leistet Arbeit

Im Zustand 1 (links) hat das Gefäß ein kleines Volumen, eine bestimmte Temperatur und der Druck entspricht dem Umgebungsdruck (1bar). Wenn nun Energie, in Form von Wärme, zugeführt wird ($+ \delta Q$, z.B.: mit einer Flamme) steigt der Druck im Kolben, da sich das Gas beim Erwärmen ausdehnt. Daraufhin beginnt er den oberen Teil des Kolbens nach oben zu drücken (z-Achse) bis der Druck im Kolben wieder dem Umgebungsdruck entspricht, also 1 bar, das Gas expandiert. Dementsprechend herrscht im

Zustand 2 der gleiche Druck wie im Zustand 1, jedoch ein anderes Volumen und eine andere Temperatur (wenn des gesamte Prozess Reibungsfrei stattfindet, beträgt der Druck zu jedem Zeitpunkt 1 bar!). Dementsprechend wird hier Arbeit von einem expandierenden Gas verrichtet ($-\delta W$) und wir haben Wärme in Arbeit umgewandelt (ein Teil der Wärme wurde auch in innere Energie überführt, da sich die Temperatur erhöht hat. Je mehr Wärme vom Gas zur Erwärmung benötigt wird, desto weniger Wärme kann in Arbeit überführt werden. Erinnerung an spezifische Wärmekapazität. $\delta Q = dU - \delta W = m \cdot c_p \cdot dT$! Damit haben wir die Grundlage eines jeden Verbrennungsmotors kennen gelernt! Graphisch wird dieser Vorgang in der folgenden Abbildung 12, in einem pV-Diagramm, gezeigt.

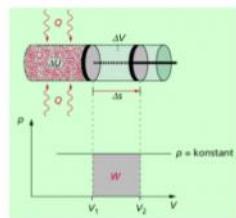


Abbildung 12, pV-Diagramm bei der Expansion eines Gases in einem Kolben

Nun zurück zur Formel für die Arbeit (in differenzierlicher Schreibweise):

$$\delta W = F \cdot ds$$

Druck ist definiert als:

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

Und damit:

$$F = p \cdot A$$

Dies setzen wir nun in die Formel für die Arbeit ein und erhalten

$$\delta W = p \cdot A \cdot ds$$

Das Volumen ist definiert als:

$$V = A \cdot s$$

Und damit die Volumenänderung als:

$$dV = A \cdot ds$$

Damit erhalten wir für die Arbeit:

$$\delta W = p \cdot dV$$

Nach dieser Formel erhalten wir, dass eine **Volumenvergrößerung** zu einer **positiven Arbeit** führt ($dV > 0 \Rightarrow \delta W > 0$). Da bei diesem Prozess jedoch Energie frei wird (immerhin bewegt sich der Kolben bis der Umgebungsdruck gleich dem Druck im Kolben ist) muss die Arbeit ein **negatives Vorzeichen**

aufweisen (immerhin wird die Arbeit vom System abgeführt). Daher wurde nach Konvention eingeführt, dass die Volumenarbeit als:

$$\delta W = -pdV$$

Definiert ist.

An dieser Stelle sollten wir eine kleine Rechnung machen:

Berechne die von einem Kolben geleistet Arbeit, wenn dieser im Zustand 1 ein Volumen von 1 m^3 und im Zustand 2 ein Volumen von 2 m^3 aufweist. Der Umgebungsdruck beträgt 3 bar.

$$W = \int_1^2 -pdV$$

$$W = -p \cdot V / 2$$

$$W = -3 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot (2 - 1) \text{ m}^3$$

$$W = -3 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Dementsprechend leistet das System in diesem Fall eine **Arbeit von $3 \cdot 10^5 \text{ J}$** .

Einschub: Grundsätzlich ist der Druck ebenfalls eine Funktion des Volumens, was für dieses Beispiel jedoch keine Rolle spielt, da der Druck laut Angabe konstant (isobare Zustandsänderung) ist. Bei den Gasgesetzen werden wir noch Zustandsänderungen sehen, bei denen dies jedoch eine Rolle für die Berechnung der Arbeit spielt.

BEISPIEL 9.3

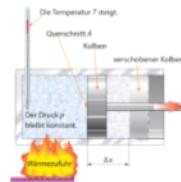
Expansion bei konstantem Druck

Gegen einen gleich bleibenden Druck von 35 bar expandiert ein Kolben (Kolbendurchmesser $d = 155 \text{ mm}$). Zu berechnen ist die Arbeit, die der Kolben verrichtet (Hublänge 57 mm).

Unter Beachtung der Vorzeichenregel erhält man:

$$\Delta W = -p \cdot \Delta V = -p \cdot \frac{d^2 \pi}{4} \cdot \Delta x = -35 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot (0,155 \text{ m})^2 \frac{\pi}{4} \cdot 0,057 \text{ m} = -3,8 \text{ kJ}$$

Der Kolben verrichtet bei der Expansion etwa **3,8 kJ** Arbeit.



Erst ab einem Druck von 35 bar beginnt sich der Kolben zu bewegen.

Nun haben wir gesehen, wie sich die Arbeit bei konstantem Druck berechnen lässt, jedoch können wir auch andere Zustandsgrößen konstant halten. Dies bringt uns direkt zu den Gasgesetzen.

1.2.3 Gasgesetze

Grundsätzlich gibt es im Rahmen der idealen Gasgleichung fundamentale Zusammenhänge zwischen den Zustandsgrößen, welche wir im Folgenden näher kennen lernen wollen.

- Isobare Zustandsänderung $p=0$ – Gesetz von Gay-Lussac

„gleicher Druck“

$$\delta W = p dV$$

$$\int_1^2 \delta W = \int_1^2 -p dV$$

$$W(1+2) = -p (V_2 - V_1)$$

$$W = -3 \cdot 10^5 \text{ Pa} \cdot (2 - 1)$$

$$W = -3 \cdot 10^5 \text{ J}$$

$$\delta V = \frac{155^2}{4} \cdot \pi \cdot 57 = 1075543 \text{ mm}^3$$

$$\approx 0,001075 \text{ m}^3$$

$$W = -35 \cdot 10^5 \cdot 1,075 \dots \text{ dm}^3$$

$$W = -3,764 \text{ kJ}$$

Bei dieser Zustandsänderung ist der Druck p konstant. Dies röhrt daher, dass das Gefäß in welchem sich das Gas ausdehnt **verschiebbare Wände** hat (zB.: ein Kolben). Daraus lässt sich der folgende Zusammenhang schließen:

Im Zustand 1 gilt:

$$p_1 * V_1 = T_1 * n_1 * R_1$$

Im Zustand 2 gilt:

$$p_2 * V_2 = T_2 * n_2 * R_2$$

Da bei isobaren Zustandsänderungen gilt, dass $dp=0$ ist gilt:

$$p_1 = p_2$$

Folglich gilt:

$$\frac{T_1 * n_1 * R_1}{V_1} = \frac{T_2 * n_2 * R_2}{V_2}$$

Da wir nur abgeschlossene Systeme betrachten gilt natürlich $dn=0$ und bei R handelt es sich um die ideale Gaskonstante, daher gilt natürlich auch:

$$n_1 = n_2$$

$$R_1 = R_2$$

Damit vereinfacht sich die Gleichung zu folgendem Ausdruck, dem sogenannten Gesetz von Gay-Lussac:

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

Dementsprechend lässt sich eine Isobare Zustandsänderung wie in Abbildung 13 ersichtlich darstellen.

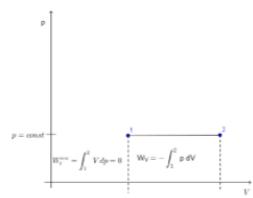


Abbildung 13, pV -Diagramm einer isobaren Zustandsänderung

Bei dieser Zustandsänderung wird die Arbeit in Form von

$$\delta W = -pdV$$

Verrichtet. Integration ergibt:

$$W = \int_1^2 -pdV$$

$$W = -p * V \Big|_1^2$$

$$W = -p * (V_2 - V_1)$$

Damit erhalten wir nach dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik für die innere Energie:

$$\delta Q = \delta U - \delta W = n * c_p * dT + pdV$$

$$c_p \dots \text{molare Wärmekapazität bei konstantem Druck} \left(\frac{J}{mol \cdot K} \right)$$

Für ideale **einatomige Gase** ist der Zusammenhang zwischen der molaren Wärmekapazität bei konstantem Druck c_p und der idealen Gaskonstante wie folgt definiert:

$$c_p = \frac{5}{2} * R$$

Damit können wir auch schreiben:

$$\delta Q = \delta U - \delta W = \frac{5}{2} * n * R * dT + pdV$$

- **Isochore Zustandsänderung $dV=0$ – Gesetz von Amontons**

Bei dieser Zustandsänderung ist das Volumen V konstant. Dies röhrt daher, dass das Gefäß in welchem sich das Gas ausdehnt, **starre** (also nicht verschiebbare) **Wände** hat (zB: ein Druckkochtopf).

Daraus lässt sich der folgende Zusammenhang schließen:

Im Zustand 1 gilt:

$$p_1 * V_1 = n_1 * R_1 * T_1$$

Im Zustand 2 gilt:

$$p_2 * V_2 = n_2 * R_2 * T_2$$

Da bei isochoren Zustandsänderungen gilt, dass $dV=0$ ist gilt:

$$V_1 = V_2$$

Folglich gilt:

$$\frac{n_1 * R_1 * T_1}{p_1} = \frac{n_2 * R_2 * T_2}{p_2}$$

Da wir wieder nur abgeschlossene Systeme betrachten gilt natürlich $dn=0$ und bei R handelt es sich um die ideale Gaskonstante, daher gilt natürlich auch:

$$n_1 = n_2$$

$$R_1 = R_2$$

Damit vereinfacht sich die Gleichung zu folgendem Ausdruck, dem sogenannten Gesetz von Amontons:

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

Graphisch wird dies in der folgenden Abbildung 14 gezeigt:

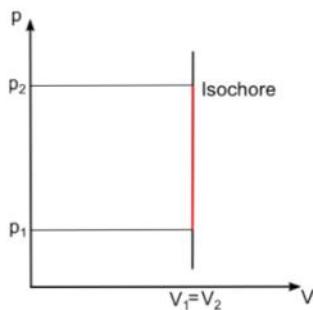


Abbildung 14, Isochore Zustandsänderung im pV-Diagramm

Dieses Gesetz wird uns später beim dritten Hauptsatz der Thermodynamik erneut begegnen.

Da die Formel für die Volumenarbeit wie folgt lautet

$$\delta W = -pdV$$

Und bei dieser Zustandsänderung $dV=0$ ist, wird auch keine Volumenarbeit verrichtet. Die gesamte zugeführte Wärme wird in innere Energie umgewandelt (Druck steigt, Temperatur steigt).

Damit erhalten wir nach dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik für die innere Energie:

$$dU = \delta Q + \delta W = n * c_v * dT - 0$$

$$dU = \delta Q = n * c_v * dT$$

Für ideale einatomige Gase ist der Zusammenhang zwischen der molaren Wärmekapazität c_v und der idealen Gaskonstante wie folgt definiert:

$$c_v = \frac{3}{2} * R$$

c_v ... molare Wärmekapazität bei konstantem Volumen ($\frac{J}{mol * K}$)

Damit können wir auch schreiben:

$$dU = \delta Q = n * c_V * dT = \frac{3}{2} * n * R * dT$$

Bevor wir zur nächsten Zustandsänderung kommen, empfiehlt es sich über den Unterschied/Zusammenhang zwischen c_p und c_v zu sprechen.

Die molare Wärmekapazität c nimmt je nachdem ob es sich um eine **isobare Zustandsänderung** c_p oder eine **isochore Zustandsänderung** c_v handelt verschiedene Werte an. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei der **isochoren Zustandsänderung keine Arbeit verrichtet wird**. Daher muss bei einer **isobaren Zustandsänderung mehr Energie als bei einer isochoren Zustandsänderung zugeführt werden damit dieselbe Temperaturerhöhung erreicht wird**. Dementsprechend nimmt c_p größere Werte an als c_v . Beide sind miteinander über die ideale Gaskonstante verbunden, siehe folgende Formel:

$$c_p = c_v + R = \frac{5}{2}R + R = \frac{7}{2}R$$

- **Isotherme Zustandsänderung $dT=0$ – Gesetz von Boyle-Mariotte**

Bei dieser Zustandsänderung ist die Temperatur T konstant. Dies röhrt daher, dass das Gefäß in welchem sich das Gas ausdehnt, oder komprimiert wird in einem **Wärmebad** (idealisierte Systemumgebung, welche jeden Wärmestrom unendlich schnell aufnehmen oder abgeben kann) befindet (am ehesten lässt sich ein Wärmebad mit guten Wärmeleitern wie beispielsweise Metallen realisieren).

Daraus lässt sich der folgende Zusammenhang schließen:

Im Zustand 1 gilt:

$$p_1 * V_1 = n_1 * R_1 * T_1$$

Im Zustand 2 gilt:

$$p_2 * V_2 = n_2 * R_2 * T_2$$

Da bei isothermen Zustandsänderungen gilt, dass $dT=0$ ist gilt:

$$T_1 = T_2$$

Folglich gilt:

$$\frac{p_1 * V_1}{n_1 * R_1} = \frac{p_2 * V_2}{n_2 * R_2}$$

Da wir wieder nur abgeschlossene Systeme betrachten gilt natürlich $dn=0$ und bei R handelt es sich um die ideale Gaskonstante, daher gilt natürlich auch:

$$n_1 = n_2$$

$$R_1 = R_2$$

Damit vereinfacht sich die Gleichung zu folgendem Ausdruck, dem sogenannten Gesetz von Boyle-Mariotte:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2$$

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

Graphisch wird dies in der folgenden Abbildung 15 gezeigt:

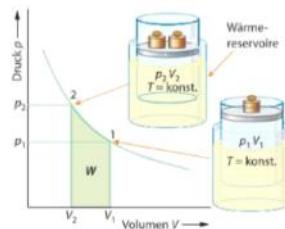


Abbildung 15. Isotherme Zustandsänderung im pV -Diagramm, beim Wärmebad handelt es sich hier um eine Flüssigkeit

Die Volumenarbeit lässt sich wie immer mit der folgenden Formel berechnen:

$$\delta W = -pdV$$

Da sich bei diesem Beispiel jedoch Druck p und das Volumen V ändern müssen wir schreiben:

$$\delta W = -p(V)dV$$

Aus der idealen Gasgleichung wissen wir:

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

Und da der Druck vom Volumen abhängt schreiben wir:

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

Umformen ergibt:

$$p(V) = \frac{n \cdot R \cdot T}{V}$$

Einsetzen in die Formel für die Volumenarbeit ergibt:

$$\delta W = -\frac{n \cdot R \cdot T}{V} dV$$

Nun müssen wir integrieren:

$$W = - \int_{V_1}^{V_2} \frac{n \cdot R \cdot T}{V} dV$$

$$W = -n \cdot R \cdot T \cdot \ln(V/V_1)$$

$$W = -n * R * T * [\ln(V_2) - \ln(V_1)]$$

$$W = -n * R * T * \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

Damit haben wir nun die Formel zur Berechnung der Volumenarbeit bei isothermen Zustandsänderungen erhalten.

Da bei der isothermen Zustandsänderung $dT=0$ gilt, gilt auch $dU=0$. Somit erhalten wir nach dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik:

$$dU = \delta Q + \delta W = 0$$

$$\delta Q = -\delta W = -(-n * R * T * \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right))$$

$$\delta Q = -\delta W = n * R * T * \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

Folglich wird bei der isothermen **Expansion** die gesamte zugeführte Wärme in Arbeit umgewandelt. Bei der isothermen **Kompression** wird dann die gesamte zugeführte Arbeit in Wärme umgewandelt.

- **Adiabatische Zustandsänderung $\delta Q=0$**

Bei dieser Zustandsänderung ist der Wärmeinhalt δQ konstant. Dies röhrt daher, dass das System **keinen Wärmeaustausch mit der Umgebung** hat (zB.: Thermoskanne (im Fachvokabular nennt man solche Gefäße „Dewar“)). Dieser Fall kann auch auftreten, wenn eine Zustandsänderung sehr schnell passiert (Aufpumpen eines Fahrradschlauchs, dieser erwärmt sich, wenn das schnell passiert).

In diesem Fall werden wir aufgrund von nicht besprochenen Grundlagen und der etwas höheren Komplexität die Formel für die Zustandsänderungen nicht herleiten. Interessierte können sich die Herleitung jedoch unter dem folgenden Link ansehen: <https://tu-dresden.de/mn/physik/ressourcen/dateien/studium/lehren/lehre/lehren/praktika/pdf/AZ.pdf?lang=de>

Graphisch ist dieser Fall in Abbildung 16 dargestellt.

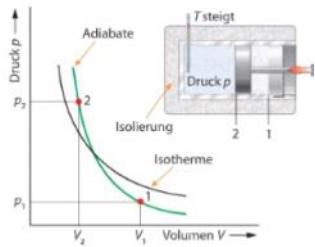


Abbildung 16, Adiabatische Kompression im pV -Diagramm

Wie in Abbildung 16 ersichtlich, ist die adiabatische Kompression einen steileren Anstieg als die Isotherme. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich bei der **Isothermen Kompression** nur **Druck und Volumen ändern** ($dp>0$, $dV<0$, $dT=0$) und bei der **adiabatischen Kompression Druck, Volumen und Temperatur ändern** ($dp>0$, $dV<0$, $dT>0$). Dementsprechend sieht die Adiabaten-Gleichung der isothermen-Gleichung sehr ähnlich, benötigt jedoch einen Term mit dem sie steiler verläuft. Dieser Term wird „**Adiabaten Exponent**“ bezeichnet und wird mit einem „**Kappa κ** “ angeschrieben.

Dieser ergibt sich aus dem Verhältnis von c_p und c_v , siehe folgende Formel:

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v}$$

Der adiabaten Exponent kann je nach Gas (mögliche Freiheitsgrade!) und Temperatur verschiedene Werte annehmen. Da wir jedoch nur ideale Gase behandeln, und diese als einatomig idealisiert werden (immer 3 Freiheitsgrade), beträgt der Wert für uns immer **1,66**.

Dementsprechend lautet die Adiabaten-Gleichung für **Druck und Volumen** wie folgt:

$$p_1 \cdot V_1^\kappa = p_2 \cdot V_2^\kappa$$

Wir können die Adiabaten-Gleichung auch für die **Temperatur und Volumen** anschreiben (gleichsetzen über p):

Da wieder im Zustand 1 gilt:

$$p_1 \cdot V_1 = n_1 \cdot R_1 \cdot T_1$$

Und im Zustand 2 gilt:

$$p_2 \cdot V_2 = n_2 \cdot R_2 \cdot T_2$$

Lässt sich schreiben:

$$\frac{n_1 \cdot R_1 \cdot T_1}{V_1} \cdot V_1^\kappa = \frac{n_2 \cdot R_2 \cdot T_2}{V_2} \cdot V_2^\kappa$$

Da Stoffmenge n und ideale Gaskonstante wieder konstant sind erhalten wir:

$$\frac{T_1}{V_1} * V_1^k = \frac{T_2}{V_2} * V_2^k$$

Was sich vereinfachen lässt zu:

$$T_1 * V_1^{k-1} = T_2 * V_2^{k-1}$$

Wir können die Adiabaten-Gleichung auch für den Druck und Temperatur anschreiben und erhalten (gleichsetzen über V):

$$p_1 * \left(\frac{n_1 R_1 T_1}{p_1}\right)^k = p_2 * \left(\frac{n_2 R_2 T_2}{p_2}\right)^k$$

Da Stoffmenge n und ideale Gaskonstante wieder konstant sind erhalten wir:

$$p_1 * \left(\frac{T_1}{p_1}\right)^k = p_2 * \left(\frac{T_2}{p_2}\right)^k$$

$$p_1 * T_1^k \left(\frac{1}{p_1}\right)^k = p_2 * T_2^k \left(\frac{1}{p_2}\right)^k$$

$$p_1 * T_1^k (p_1)^{-k} = p_2 * T_2^k (p_2)^{-k}$$

$$T_1^k (p_1)^{-k+1} = T_2^k (p_2)^{-k+1}$$

$$T_1 (p_1)^{\frac{1-k}{k}} = T_2 (p_2)^{\frac{1-k}{k}}$$

Da bei der adiabatischen Zustandsänderung $\delta Q=0$ gilt erhalten wir nach dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik:

$$dU = \delta W$$

Da die innere Energie unabhängig vom Volumen ist (Druck und Arbeit jedoch nicht!) verwenden wir nun c_V und können die Gleichung umschreiben zu:

$$n * c_V * dT = -p(v) dV$$

Auf die Herleitung der Formel für die Arbeit wird an dieser Stelle verzichtet. Interessierte können sich diese jedoch unter dem folgenden Link ansehen.
https://en.wikipedia.org/wiki/Adiabatic_process

Dementsprechend wird die gesamte zugeführte Arbeit in innere Energie umgewandelt, wodurch sich die Temperatur erhöht.

Da wir nun viel über diese möglichen Zustandsänderungen gehört haben, stellt sich die Frage für was man dieses Wissen eigentlich nutzen kann. Grundsätzlich werden diese Grundkenntnisse zur Berechnung eines jeden Motors oder Kühlschranks benötigt. Dies wollen wir uns im Folgenden genauer ansehen, was uns zum Thema der Kreisprozesse bringt.

1.2.4 Kreisprozesse

Als Kreisprozess bezeichnet man in der **Thermodynamik** eine Abfolge von Zustandsänderungen eines Arbeitsmediums (Flüssigkeit, Dampf, Gas – allgemein **Fluid** genannt), die periodisch ablaufen, wobei immer wieder der **Ausgangszustand**, gekennzeichnet durch die **Zustandsgrößen** wie u. a. **Druck**, **Temperatur** und **Dichte**, erreicht wird. Es sind technische Prozesse, meist zur Umwandlung von **Wärme in Arbeit** (z. B. in Verbrennungsmotoren) oder zum **Heizen und Kühlen** durch **Aufwenden von Arbeit** (**Wärmepumpe**, **Kältemaschine**). All diese Prozesse sind auch mit einem **Wirkungsgrad** η verbunden, welcher wie folgt definiert ist:

$$\eta = \frac{E_{abgeführt}}{E_{zugeführt}} = \frac{P_{abgeführt}}{P_{zugeführt}}$$

Grundsätzlich gibt es zwei verschiedene Arten von Kreisprozessen:

- **Wärmekraftmaschine:** Nutzt Temperaturdifferenz aus, da so **Wärme von einem Reservoir hoher Temperatur T_1 zu einem Reservoir niedriger Temperatur T_2 fließt**, wodurch **Arbeit verrichtet wird** (zB.: Benzinmotor). Dementsprechend fließt Wärme von einem Reservoir hoher Temperatur zu einem Reservoir niedriger Temperatur. Es handelt sich um im Uhrzeigersinn laufende Kreisprozesse. Dieser Vorgang ist in Abbildung 17 dargestellt.

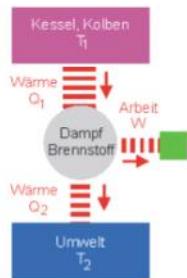


Abbildung 17, Funktion einer Wärmekraftmaschine

Der Wirkungsgrad einer solchen Maschine ist wie folgt definiert:

$$\eta = \frac{|nutzbare geleistete Arbeit|}{Zugeführte Wärme} = \frac{|W|}{Q_1}$$

Da man jedoch nicht mehr Arbeit nutzen kann als Wärme abgeführt wird, gibt es **kein Perpetuum Mobile** (Wirkungsgrad $\eta > 1$). Wir werden beim zweiten und dritten Hauptsatz der Thermodynamik dies noch mathematisch und logisch begründen.

- Sowohl bei **Wärmepumpen** als auch bei **Kältemaschinen** laufen die Prozesse in umgekehrter Reihenfolge ab. Der Kreisprozess läuft im **Gegenuhzeigersinn**. Bei diesem Vorgang wird **Arbeit**

aufgewendet, um Wärme von einem Reservoir niedriger Temperatur auf ein Reservoir hoher Temperatur zu übertragen. Der jeweilige Unterschied der beiden Systeme liegt in der für die Berechnung des Wirkungsgrads betrachteten Wärmemenge.

- Wärmepumpe: Wärmepumpen sollen die Temperatur eines Reservoirs mit hoher Temperatur erhöhen, indem sie Arbeit aufwenden um die Temperatur der eines kühlen Reservoirs weiter erniedrigen. Siehe Abbildung 18.

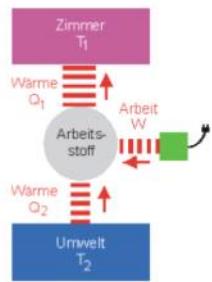


Abbildung 18, Wärmepumpe

Bei diesen macht es keinen Sinn einen Wirkungsgrad zu definieren, bevor wir nicht den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik definiert haben. Generell wird bei Wärmepumpen von der **Leistungszahl ε** gesprochen, welche meist Werte größer 1 aufweist (zB.: bei Luftwärmepumpen ist die Leistungszahl = 5), da weniger Arbeit aufgewendet wird, als der Umgebung Wärme entzogen wird.

$$\varepsilon = \frac{Q_1}{W}$$

- Kältemaschine: Haben dieselbe Aufgabe wie Wärmepumpen, lediglich wird die Leistungszahl anders berechnet. In der folgenden Abbildung 19 ist eine Wärmepumpe gezeigt.

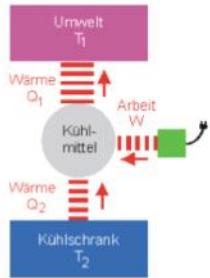


Abbildung 19, Kältemaschine

Die Leistungszahl ε ist definiert als:

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{W}$$

Einschub: Aufgrund von mangelnder Zeit werden wir den tatsächlichen Wirkungsgrad von Wärmepumpen und Kältemaschinen, beziehungsweise die maximale Leistungszahl nicht weiter behandeln. Interessierte können sich jedoch unter dem folgenden Link die entsprechenden mathematischen Zusammenhänge selbst ansehen <https://de.wikipedia.org/wiki/Leistungszahl>

Im Folgenden wollen wir uns mit einer klassischen **Wärmekraftmaschine** beschäftigen, dem sogenannten Stirling-Motor.

1.2.4.1 Stirlingmotor

Der Stirlingmotor wurde im Jahr 1816 von Robert Stirling entwickelt und ist eine **Wärmekraftmaschine**.

Im Stirlingmotor wird ein Gas durch von außen zugeführte Wärme in einem abgeschlossenen Raum (Zylinder) erhitzt und expandiert, in einem anderen abgeschlossenen Raum (Zylinder) gekühlt und komprimiert. In Abbildung 20 wird ein Stirling-Motor in Alpha-Konfiguration gezeigt.

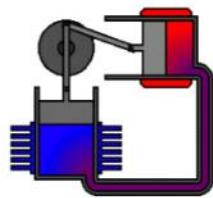


Abbildung 20, Stirling-Motor in Alpha-Konfiguration

In diesem Gif ist auf den ersten Blick nicht viel zu erkennen, außer dass **Wärme in mechanische Arbeit** umgewandelt wird. Im **roten Bereich** wird sie **abgeführt**, im **blauen Bereich** wird eine kleinere Wärmemenge wieder **zugeführt**. Die Summe entspricht der **Arbeit** (wir werden bald sehen wieso).

<https://www.youtube.com/watch?v=SpiOJldyyyQ>

In diesem Video ist zu sehen, wie der Stirlingmotor gestartet wird. Beachte auch, dass eine gewisse Temperaturdifferenz zwischen dem heißen und kalten Reservoir benötigt wird damit der Motor läuft.

<https://www.youtube.com/watch?v=fIMscASP8E>

In diesem Video ist der Aufbau besser ersichtlich.

<https://www.youtube.com/watch?v=R7060NmKlN0>

Stirlingmotoren können aber auch in Beta-Konfiguration gebaut werden. Diese ist in der folgenden Abbildung 21 gezeigt.

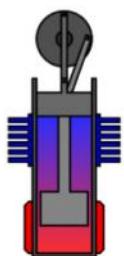


Abbildung 21, Stirlingmotor in Beta-Konfiguration

Im folgenden Video wird auch die Funktionsweise von dieser Version gezeigt.

<https://www.youtube.com/watch?v=zHO2InwB9gY>

Der Kreisprozess selbst bleibt natürlich bei beiden Konfigurationen gleich und lässt sich idealisiert im pV-Diagramm, in Abbildung 22, wie folgt darstellen.

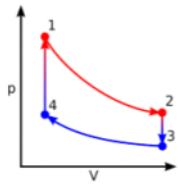


Abbildung 22, Stirling-Kreisprozess im pV -Diagramm

Beachte, dass es sich hier um eine **Wärmekraftmaschine** handelt und die Pfeile daher im Uhrzeigersinn zeigen.

Nun wollen wir uns die einzelnen Schritte etwas genauer ansehen. Die **eingeschlossene Fläche** entspricht nun der **Arbeit**. Beachte, dass Isothermen steller verlaufen, wenn die Temperatur höher ist. Siehe Abbildung 23.

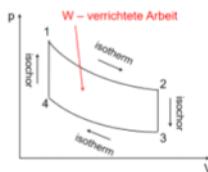


Abbildung 23, Verrichtete Arbeit beim Stirling-Kreisprozess

Nach dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik gilt:

- 1-2: Isotherm $\delta Q = -\delta W = n * R * T * \ln(\frac{V_2}{V_1})$
- 2-3: Isochor $\delta Q = dU = n * c_v * dT$
- 3-4: Isotherm $\delta Q = -\delta W = n * R * T * \ln(\frac{V_4}{V_3})$
- 4-1: Isochor $\delta Q = dU = n * c_v * dT$

Mit diesem Wissen können wir nun ein Beispiel rechnen:

Bei einem Stirling-Kreisprozess sind die folgenden Zustandsgrößen gegeben.

$$p_1 = 0,7 \text{ MPa}$$

$$V_1 = 0,5 \text{ m}^3$$

$$T_1 = 1300 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$V_2 = 3 \text{ m}^3$$

$$p_4 = 0,15 \text{ MPa}$$

a, Berechne das Volumen in Zustand 3 und 4, den Druck in Zustand 2 und 3, sowie die Temperatur in Zustand 2, 3 und 4. Gib alle Größen in SI-Einheiten an, und den Druck auch in bar.

Bestimmung des Volumens in allen 4 Punkten:

1-4: Isochor

$$V_1 = V_4 = 0,5 \text{ m}^3$$

2-3: Isochor

$$V_2 = V_3 = 3 \text{ m}^3$$

Bestimmung des Drucks in allen 4 Punkten:

1-2: Isotherm

$$\begin{aligned} p_1 * V_1 &= p_2 * V_2 \\ p_2 &= \frac{p_1 * V_1}{V_2} \\ p_2 &= \frac{0,7 * 10^6 \text{ Pa} * 0,5 \text{ m}^3}{3 \text{ m}^3} \end{aligned}$$

$$p_2 = 0,1166 \text{ MPa} = 0,1166 * 10^6 \text{ Pa} = 1,166 \text{ bar}$$

3-4: Isotherm

$$\begin{aligned} p_3 * V_3 &= p_4 * V_4 \\ p_3 &= \frac{p_4 * V_4}{V_3} \\ V_1 &= V_4 \\ V_2 &= V_3 \\ p_3 &= \frac{p_4 * V_1}{V_2} \\ p_3 &= \frac{0,15 * 10^6 \text{ Pa} * 0,5 \text{ m}^3}{3 \text{ m}^3} \end{aligned}$$

$$p_2 = 0.025 \text{ MPa} = 0.025 \cdot 10^6 \text{ Pa} = 0.25 \text{ bar}$$

Bestimmung der Temperatur in allen 4 Punkten:

1-2: Isotherm

$$T_1 = T_2 = 1300^\circ\text{C} = 1573\text{K}$$

2-3: Isochor

$$\frac{p_2}{T_2} = \frac{p_3}{T_3}$$

$$T_3 = \frac{T_2 \cdot p_3}{p_2}$$

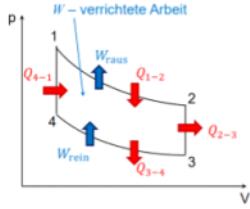
$$T_3 = \frac{1573 \text{ K} \cdot 0.025 \cdot 10^6 \text{ Pa}}{0.1166 \cdot 10^6 \text{ Pa}}$$

$$T_3 = 337\text{K}$$

$$T_3 = T_4 = 64^\circ\text{C} = 337\text{ K}$$

b, Stelle graphisch in einem pV-Diagramm dar, in welchem Schritt Wärme zugeführt und in welchem sie abgeführt wird? Zeige in diesem auch in welchem Schritt Arbeit geleistet und in welchem sie aufgewendet wird. Vergleiche dies mit dem Video im folgenden Link.

- 1-2: Isotherm $\delta Q = -\delta W$
Zugeführte Wärme wird als Arbeit abgeführt, Druck sinkt, Volumen steigt
 $p \cdot V = \text{konst}$
- 2-3: Isochor $dQ = \delta U = n \cdot c_V \cdot dT$
Abgeführte Wärme wird aus innerer Energie umgewandelt \rightarrow Temperatur sinkt, Druck sinkt
 $\frac{p}{T} = \text{konst}$
- 3-4: Isotherm $\delta Q = -\delta W$
Arbeit wird aufgewendet, um Wärme abzuführen, Druck steigt, Volumen sinkt
 $p \cdot V = \text{konst}$
- 4-1: Isochor $dQ = \delta U = n \cdot c_V \cdot dT$
Wärme wird zugeführt wodurch die innere Energie steigt \rightarrow Temperatur steigt, Druck steigt
 $\frac{p}{T} = \text{konst}$



Die einzelnen Schritte werden im nachfolgenden Video erneut gezeigt und sind mit den jeweiligen Zeitintervallen versehen:

<https://www.youtube.com/watch?v=R7060NmKIN0>

- 4-1: Isochor $dQ = \delta U = n * c_V * dT$ 0:00-0:21
- 1-2: Isotherm $\delta Q = -\delta W$ 0:21-0:24
- 2-3: Isochor $dQ = \delta U = n * c_V * dT$ 0:24-0:27
- 3-4: Isotherm $\delta Q = -\delta W$ 0:27-0:52

Nicht vergessen, hier handelt es sich um einen theoretischen Kreisprozess. Schritt 4-1 und 2-3 passieren dann, wenn sich der Kolben nicht bewegt (Totpunkt)!

c, Berechne die im Kreisprozess zu und abgeföhrte Wärme.

- 1-2: Isotherm $\delta Q = -\delta W$

$$Q_{1-2} = -W_{1-2} = -(-n * R * T_1 * \ln(\frac{V_2}{V_1}))$$

$$Q_{1-2} = -W_{1-2} = (n * R * T_1 * \ln(\frac{V_2}{V_1}))$$

Um die zugeführte Wärme bzw die abgeführte Arbeit zu berechnen, fehlt uns nun jedoch noch die Stoffmenge n . Diese lässt sich mit der **idealen Gasgleichung** berechnen und hat, da wir ein geschlossenes System betrachten (nur zu und Abfuhr von Wärme und Arbeit möglich) in jedem Zustand den gleichen Wert.

$$p_1 * V_1 = n_1 * R_1 * T_1$$

$$n_1 = \frac{p_1 * V_1}{R_1 * T_1}$$

$$n_1 = \frac{0.7 * 10^6 Pa * 0.5 m^3}{1573 K * 8.314 \frac{J}{mol * K}}$$

$$n_1 = 26.8 \text{ mol}$$

Damit folgt:

$$Q_{1-2} = -W_{1-2} = 26,8 \text{ mol} * 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} * \text{K}} * 1573\text{K} * \ln\left(\frac{3 \text{ m}^3}{0,5 \text{ m}^3}\right)$$

$$Q_{1-2} = -W_{1-2} = 627 \text{ kJ}$$

Analog lässt sich schreiben:

$$-Q_{1-2} = W_{1-2} = -627 \text{ kJ}$$

Dementsprechend wird eine Wärmemenge von 627 kJ zugeführt und eine Arbeit von -627 kJ abgeführt.

- 2-3: Isochor $dQ = \delta U = n * c_V * dT = \frac{3}{2} * n * R * dT$

$$Q_{2-3} = \frac{3}{2} * n * R * \Delta T$$

$$Q_{2-3} = \frac{3}{2} * n * R * (T_3 - T_2)$$

$$Q_{2-3} = \frac{3}{2} * 26,8 \text{ mol} * 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} * \text{K}} * (337 - 1573)\text{K}$$

$$Q_{2-3} = -413 \text{ kJ}$$

- 3-4: Isotherm $\delta Q = -\delta W$

$$-Q_{3-4} = W_{3-4} = -n * R * T_3 * \ln\left(\frac{V_4}{V_3}\right)$$

$$-Q_{3-4} = W_{3-4} = -26,8 \text{ mol} * 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} * \text{K}} * 337\text{K} * \ln\left(\frac{0,5 \text{ m}^3}{3 \text{ m}^3}\right)$$

$$-Q_{3-4} = W_{3-4} = 134 \text{ kJ}$$

Analog lässt sich schreiben:

$$Q_{3-4} = -W_{3-4} = -134 \text{ kJ}$$

Dementsprechend wird eine Wärmemenge von -134 kJ abgeführt und eine Arbeit von 134 kJ aufgewendet.

- 4-1: Isochor $dQ = \delta U = n * c_V * dT = \frac{3}{2} * n * R * dT$

$$Q_{4-1} = \frac{3}{2} * n * R * \Delta T$$

$$Q_{4-1} = \frac{3}{2} * n * R * (T_1 - T_4)$$

$$Q_{4-1} = \frac{3}{2} * 26,8 \text{ mol} * 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} * \text{K}} * (1573 - 337) \text{K}$$

$$Q_{4-1} = 413 \text{ kJ}$$

Da bei den isochoren Zustandsänderungen keine Arbeit geleistet wird muss die zugeführte Wärme Q_{4-1} denselben Betrag aufweisen wie die abgeführten Wärme Q_{2-3} !

d, Berechne die im Kreisprozess nutzbare Arbeit (auch effektive Arbeit genannt).

Da nur bei den Isothermen Arbeit verrichtet wird folgt für die Zustandsänderung von Zustand 1 nach Zustand 2:

$$W_{1-2} = -n * R * T_1 * \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

$$T_1 = T_2$$

Und für die Zustandsänderung von Zustand 3 nach 4:

$$W_{3-4} = -n * R * T_3 * \ln\left(\frac{V_4}{V_3}\right)$$

$$T_3 = T_4$$

Da die effektive Arbeit die Summe aller Arbeiten ist erhalten wir:

$$W_{eff} = W_{1-2} + W_{2-3} + W_{3-4} + W_{4-1}$$

Da bei isochoren Zustandsänderungen (W_{2-3} und W_{4-1}) jedoch keine Arbeit geleistet wird ($dV=0$) können wir schreiben:

$$W_{eff} = W_{1-2} + W_{3-4}$$

$$W_{eff} = -n * R * T_1 * \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) + (-n * R * T_3 * \ln\left(\frac{V_4}{V_3}\right))$$

$$W_{eff} = -n * R * T_1 * \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) + (n * R * T_3 * \ln\left(\frac{V_3}{V_4}\right))$$

$$W_{eff} = -n * R * T_1 * \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) + n * R * T_3 * \ln\left(\frac{V_3}{V_4}\right)$$

Da es sich bei Schritt 2-3 und 4-1 um isochore handelt folgt:

$$V_1 = V_4 = 0,5 \text{ m}^3$$

$$V_2 = V_3 = 3 \text{ m}^3$$

$$W_{eff} = n * R * (T_2 - T_1) * \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

Damit können wir nun die effektive Arbeit berechnen:

$$\begin{aligned} W_{eff} &= 26.8 \text{ mol} * 8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol} * \text{K}} * (337 - 1573) \text{K} * \ln\left(\frac{3 \text{ m}^3}{0.5 \text{ m}^3}\right) \\ W_{eff} &= 26.8 \text{ mol} * 8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol} * \text{K}} * (337 - 1573) \text{K} * \ln\left(\frac{3 \text{ m}^3}{0.5 \text{ m}^3}\right) \\ W_{eff} &= -493 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Dieses Ergebnis kann auch erhalten werden, wenn die Summe aus aufgewandter Arbeit W_{1-2} und dem der abgegebener Arbeit W_{3-4} gebildet wird.

$$\begin{aligned} W_{eff} &= W_{1-2} + W_{3-4} \\ W_{eff} &= 134 \text{ kJ} + (-627 \text{ kJ}) \\ W_{eff} &= 134 \text{ kJ} - 627 \text{ kJ} \\ W_{eff} &= -493 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Dementsprechend kann bei einem Durchgang im Kreisprozess eine nutzbare Arbeit von 493 kJ geleistet werden.

d, Berechne den Wirkungsgrad dieses Kreisprozesses.

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{|\text{geleistete Arbeit}|}{\text{Zugeführte Wärme}} = \frac{|W_{eff}|}{Q_{1-2} + Q_{4-1}} \\ \eta &= \frac{|493 \text{ kJ}|}{627 \text{ kJ} + 413 \text{ kJ}} = 47\% \end{aligned}$$

e, Berechne die Leistung, wenn der Kreisprozess 5 mal pro Sekunde durchlaufen wird.

$$\begin{aligned} P &= \frac{W_{eff} * \text{Durchläufe pro Sekunde}}{t} \\ P &= \frac{-493 \text{ kJ} * 5}{1 \text{ s}} \\ P &= -2465 \text{ kW} = -2,465 \text{ MW} \end{aligned}$$

Da wir nun den idealisierten Kreisprozess kennen gelernt haben, wird es Zeit uns den **realen Kreisprozess** im pV-Diagramm anzusehen, siehe Abbildung 24.

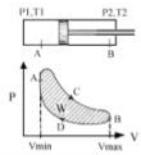


Abbildung 24, reales pV-Diagramm eines Stirling-Kreisprozesses, schraffierte Fläche entspricht der effektiven Arbeit

Wie in Abbildung 24 ersichtlich, ist der reale Kreisprozess an den Eckpunkten abgerundet. Daher ist die **reale effektive Arbeit** _____ als die zuvor berechnete **ideale effektive Arbeit**. Das ist darauf zurückzuführen, dass der reale Kreisprozess _____ betrieben wird, Wärme in Form von _____ verloren geht und _____ und dadurch aus dem System abführen.

Da wir nun den ersten Hauptsatz der Thermodynamik und die Energieerhaltung kennen gelernt haben, stellt sich nun die Frage, weshalb es im Universum **Prozesse** gibt, welche **nur in eine Richtung ablaufen**. Beispielsweise gibt die Sonne nur Wärme ab und nimmt sie nicht auf. Diese Frage bringt uns zum zweiten Hauptsatz der Thermodynamik.

1.3 2. Hauptsatz

In der Natur gibt es Vorgänge, welche aufgrund der **Energieerhaltung nicht verboten** wären, sich in Realität jedoch **nicht beobachten** lassen. Beispielsweise wird ein heißes Reservoir in einer kühlen Umgebung immer seine eigene Temperatur verringern und die der Umgebung erhöhen (zB.: heißes Eisen in kaltem Wasser). Siehe Abbildung 25.

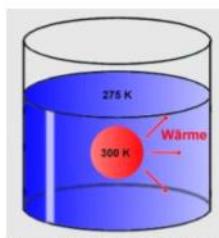


Abbildung 25, Eine heiße Eisenkugel gibt seine Wärme an das umgebende kalte Wasser ab

Der umgekehrte Fall, welcher in Abbildung 26 dargestellt ist, wird in der Natur nicht beobachtet.

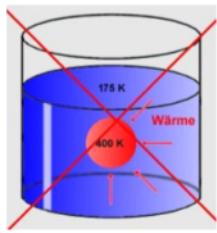


Abbildung 26, Eine heiße Eisenkugel nimmt Wärme aus dem umgebenden kalten Wasser auf

Ein weiteres solches Phänomen tritt beispielsweise auf, wenn eine Teigkugel auf den Boden fällt. Beim Aufprall erwärmt sich die Kugel (293 K-298 K), siehe Abbildung 27.

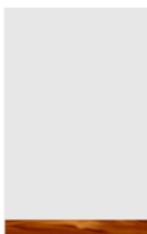


Abbildung 27, Teigkugel fällt auf den Boden und wandelt dabei potentielle Energie in innere Energie um

Noch nie wurde beobachtet, dass eine Teigkugel unter Abkühlung nach oben springt.

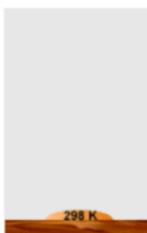


Abbildung 28, Teigkugel fliegt in die Luft und wandelt dabei innere Energie in potentielle Energie um

Da die Summe der Energie immer gleich wäre, widersprechen diese Ereignisse nicht dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik. Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik gibt nun Aussage darüber,

in welche Richtung Vorgänge im Universum ablaufen. Generell streben abgeschlossene Systeme immer nach einem **Gleichgewichtszustand**, dementsprechend muss auf den **nicht-Gleichgewichtszustand** ein **Zwang** ausgeübt werden, damit dieser sich verändert (das kennen wir bereits aus der zweiten Klasse Chemie). Dies bringt uns zur **Entropie S**. Bei der Entropie S handelt es sich wieder um eine fundamentale Zustandsgröße der Thermodynamik mit der Einheit $\frac{J}{K}$. Dementsprechend beschreibt der **erste Hauptsatz** der Thermodynamik die **Energiefunktion** von Systemen, der **zweite Hauptsatz** die **Entropiefunktion**.

Nun zum zweiten Hauptsatz selbst:

Es ist unmöglich, eine zyklisch arbeitende Maschine zu konstruieren, die keinen anderen Effekt hat als die Entnahme von Wärme aus einem Behälter und die Verrichtung eines gleichen Betrages an Arbeit, da es immer zu Dissipation (zB.: Reibung) kommt.

Oder anders formuliert:

Die Gesamtentropie in einem abgeschlossenen System kann nie kleiner werden, d.h. sie kann sich nur vergrößern (Dissipation tritt auf) oder unverändert bleiben (keine Dissipation). Ein System kann sich nicht mehr verändern, wenn die Entropie ihren Maximalwert erreicht hat, das System befindet sich dann im thermodynamischen Gleichgewicht.

Aber wie lässt sich die Entropie selbst berechnen? Generell wird sie aus der Summe der Quotienten der transportierten Wärme und der Temperatur des Systems berechnet (geschlossenes System):

$$dS = \frac{\delta Q_{\text{transportiert}}}{T}$$

Im Folgenden wollen wir den Fall betrachten, dass die transportierte Wärme ins System fließen soll.

Da in Realität nicht die gesamte transportierte Wärme zugeführt werden kann, da ein Teil dieser dissipiert (zB.: Reibung eines Kolkbens), erhalten wir:

$$\delta Q_{\text{transportiert}} = \delta Q_{\text{zugeführt}} + \delta W_{\text{diss}}$$

Damit lässt sich für die Entropie schreiben:

$$dS = \frac{\delta Q_{\text{zugeführt}}}{T} + \frac{\delta W_{\text{diss}}}{T}$$

Da bei reversiblen Prozessen jedoch keine Dissipation auftritt erhalten wir:

$$dS = \frac{\delta Q_{\text{zugeführt}}}{T}$$

Und für das abführen der Wärme:

$$dS = \frac{\delta Q_{\text{abgeführt}}}{T}$$

Nun lässt sich für reversible Prozesse schreiben:

$$dS = \frac{\delta Q_{\text{zugeführt}}}{T} + \frac{\delta Q_{\text{abgeführt}}}{T}$$

$$dS = \frac{\delta Q_{\text{rev}}}{T}$$

Beachte, dass die zugeführte Wärme stets **positive** Vorzeichen und die abgeführte Wärme stets **negativ** Vorzeichen aufweist.

Generell nimmt **dS wenn dQ zugeführt wird positive Werte** an, und wenn **dQ abgeführt wird negative Werte**. Wenn der Wert für $dS < 0$ ist muss die Entropie jedoch von der **Umgebung** aufgenommen werden, siehe folgende Abbildung 29:

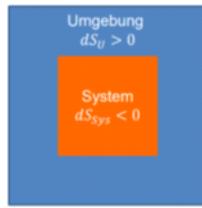


Abbildung 29, Wenn die Entropie im System sinkt, steigt die Entropie der Umgebung

Dementsprechend lässt sich für reversible Prozesse in abgeschlossenen Systemen (System + Umgebung) anschreiben:

$$dS = dS_{sys} + dS_U = 0 \frac{J}{K}$$

Dementsprechend lässt sich für **abgeschlossene Systeme** schreiben:

Bei jedem reversiblen Prozess (Zustand 1 geht in Zustand 2 über und danach von Zustand 2 wieder in Zustand 1) in einem abgeschlossenen System bleibt die Entropie konstant (der Ausgangszustand kann sich von selbst wieder herstellen. ZB.: Glas zerspringt (1->2) und setzt sich wieder zusammen (2->1)).

$$dS = 0 \frac{J}{K}$$

Diese Aussage gilt natürlich auch für reversible Kreisprozesse.

Da bei irreversiblen Prozessen jedoch ein Teil der Energie dissipiert gilt für diese:

In einem abgeschlossenen System nimmt die Entropie bei jedem irreversiblen Prozess zu (der Ausgangszustand kann sich nicht von selbst wieder herstellen. ZB.: Glas zerspringt und setzt sich von selbst nicht wieder zusammen).

$$dS > 0 \frac{J}{K}$$

Diese Aussage gilt natürlich auch für irreversible Kreisprozesse.

Dementsprechend gilt:

Bei jedem spontan/freiwillig ablaufenden Prozess nimmt die Entropie zu.

Und damit gilt, dass die **Entropie** in abgeschlossenen Systemen mit der Zeit nur steigen (**irreversibel**) oder unverändert (**reversibel**) bleiben kann:

$$\frac{dS}{dt} \geq 0 \frac{J}{K \cdot s}$$

Anmerkung: Hier sehen wir, dass Universum nach einem Zustand maximaler Entropie strebt. Danach haben wir auch die Zeit definiert. Die Zeit geht vorwärts, wenn die Entropie steigt und rückwärts wenn sie sinkt.

Aber was ist Entropie nun eigentlich?

1.3.1 Entropie S

Bei der Entropie S handelt es sich um eine **thermodynamische Zustandsgröße** mit der Einheit **J/K**. In Worten gefasst, ist die Entropie ein Maß für die **Unordnung** eines Systems (je größer die Entropie desto größer die Unordnung). Aber was ist unter „**Ordnung**“ bzw. „**Unordnung**“ zu verstehen? Dies wollen wir uns an einem Beispiel näher ansehen.

Systeme mit einer **hohen Ordnung** sind beispielsweise **Kristalle** (im Fachvokabular würde man sie als „**kristalline Systeme**“ bezeichnen). Bleiben wir, um es simpel zu halten, bei Natriumchlorid NaCl (Speisesalz), siehe Abbildung 30.

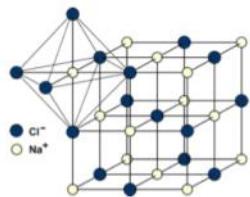


Abbildung 30, Kristallgitterstruktur von NaCl

Wie in Abbildung 30 ersichtlich bestehen Natriumchlorid-Kristalle aus Natrium Na⁺ und Chlor Cl⁻ Ionen (Ionengitter!). Jedes Na⁺ hat 6 Cl⁻ Nachbarn und so hat auch jedes Cl⁻ Atom 6 Na⁺ Nachbarn. Dadurch können wir in jedem Punkt des Kristalls vorhersagen ob sich dort ein Chlorid oder Natrium Ion befinden wird (...NaClNaClNaCl...). Deshalb sprechen wir von einem System mit einer **hohen Ordnung** und dementsprechend einer **niedrigen Entropie**. In Abbildung 31 sind reale NaCl-Kristalle gezeigt.



Abbildung 31, NaCl-Kristalle unter dem Mikroskop

Wie in Abbildung 31 ersichtlich weisen NaCl-Kristalle aufgrund ihres atomaren Aufbaus oktaedrische Strukturen, und damit eine niedrige Entropie auf.

Nun zu einem System mit einer **hohen Entropie**. Wenn wir unsere NaCl Kristalle zu erhitzen beginnen (wir führen Energie in Form von Wärme zu), werden sich diese verflüssigen (Bereich der latenten Wärme). Wir sprechen von einer **Salzschmelze**. Dabei ändert sich natürlich die atomare Struktur. Wie bereits besprochen handelt es sich hier um latente Wärme, da es zu einem Phasenübergang kommt. Die zugeführte Energie wird in Form von Entropie vom System aufgenommen. Dadurch steigt die Entropie im System, siehe Abbildung 32.

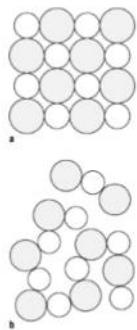


Abbildung 32, a, NaCl fest (hohe Symmetrie, niedrige Entropie); b, NaCl flüssig (niedrige Symmetrie, hohe Entropie)

Wie in Abbildung 32 ersichtlich nimmt die **Ordnung** des Systems beim Schmelzen ab, und dadurch steigt die Entropie S.

Bei der Kristallisation hingegen nimmt die Entropie des Systems ab, da die Teilchen in einen höher geordneten Zustand übergehen. Daher wird bei diesem Prozess Wärme an die Umgebung abgegeben, wodurch die Entropie dieser steigt, siehe Abbildung 33.



Abbildung 33, Bei der Kondensation sinkt die Entropie des Systems und die der Umgebung steigt

Anmerkung: Da diese Phänomene auch in Realität eintreten kann und es sich, so wie bei allen realen Prozessen, um eine irreversible Reaktion handelt steigt die Gesamtentropie. Dies werden wir hier aber nicht näher behandeln. Interessierte können sich jedoch unter dem folgenden Link eine Beispielrechnung ansehen. [https://www.w-hoelzel.de/chemie/1-und-2-jahrgangsstufe/energetik-thermodynamik/11-2-die-molare-standard-entropie H=Enthalpie=Q bei isobaren Bedingungen](https://www.w-hoelzel.de/chemie/1-und-2-jahrgangsstufe/energetik-thermodynamik/11-2-die-molare-standard-entropie-H=Enthalpie=Q bei isobaren Bedingungen)

Im Folgenden wollen wir uns mit dem Vater aller Kreisprozesse, dem Carnot-Prozess beschäftigen und anhand von diesem begründen, weshalb es unmöglich ist ein Perpetuum-Mobile zu konstruieren. Hier werden wir auch sehen, wie der maximale Wirkungsgrad von Kreisprozessen berechnet werden kann.

1.3.2 Carnot-Prozess

Beim Carnot-Prozess handelt es sich um einen theoretischen Kreisprozess, welcher der Umwandlung von Wärme in Arbeit dient. Anhand von diesem kann der theoretische maximale Wirkungsgrad von Kreisprozessen errechnet werden. Er besteht aus zwei Isothermen (Kolben 1 und 3) und zwei Adiabaten (Kolben 2 und 4), siehe Abbildung 34.

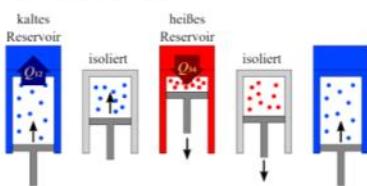


Abbildung 34, Kreisprozess als Carnot-Maschine

https://www.youtube.com/watch?v=_8RkZaiXPOE

1-2 Isotherm: Beim Komprimieren würde sich das Gas erwärmen, jedoch dies verhindert indem die Wärme abgeführt wird. $+\delta W = -\delta Q$

2-3 Adiabat: Das Gas erwärmt sich beim Komprimieren. Es wird Arbeit zugeführt. $+\delta W = +dU$

3-4 Isotherm: Dem Gas wird Wärme zugeführt wodurch die Temperatur steigen würde, jedoch expandiert es stattdessen. $+\delta Q = -\delta W$

4-1 Adiabat: Das Gas expandiert wodurch es abkühlt. Das Gas verrichtet Arbeit. $-\delta W = -dU$

Diese Schritte werden im nachfolgenden pV-Diagramm in Abbildung 35 gezeigt, jedoch passt die Nummerierung in Abbildung 35 nicht zur Reihenfolge in Abbildung 34. Abbildung 34 und die Beschreibung zu dieser beginnt im Punkt 3!

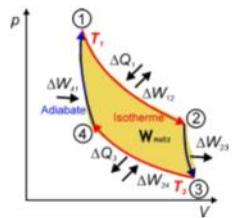


Abbildung 35, pV-Diagramm des Carnot-Prozesses, $Q_1=Q_{23}$, $Q_3=Q_{34}$

In der nachfolgenden Abbildung 36 ist der Carnot-Prozess im TS-Diagramm gezeigt. Hier passt die Nummerierung.

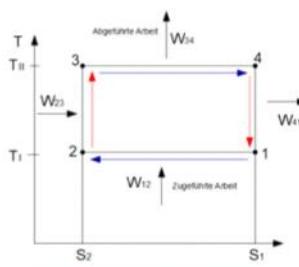


Abbildung 36, TS-Diagramm des Carnot-Prozess

Im nun folgenden Teil wollen wir den **maximalen theoretisch möglichen Wirkungsgrad** eines Kreisprozesses mit Hilfe des Carnot-Kreisprozesses herleiten.

Die dabei auftretenden mathematischen Bezeichnungen beziehen sich auf die **Nummerierung** in **Abbildung 36**.

$$\eta = \frac{|\text{nutzbare geleistete Arbeit}|}{\text{Zugeführte Wärme}} = \frac{|W|}{Q_3}$$

$$\eta = \frac{|\text{geleisteten Arbeit}|}{\text{Zugeführte Wärme}} = \frac{|W_{1-2} + W_{2-3} + W_{3-4} + W_{4-1}|}{Q_{3-4}}$$

Da gilt (beachte, zugeführt +, abgeführt -):

$$W_{2-3} + W_{4-1} = 0$$

Erhalten wir:

$$\eta = \frac{|\text{nutzbare geleistete Arbeit}|}{\text{Zugeführte Wärme}} = \frac{|W_{1-2} + W_{3-4}|}{Q_{3-4}}$$

Für die Isotherme gilt:

$$\delta Q = -\delta W = n * R * T * \ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right)$$

Damit folgt:

$$\eta = \frac{|\text{nutzbare geleistete Arbeit}|}{\text{Zugeführte Wärme}} = \frac{|n * R * T_{1-2} * \ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right) + n * R * T_{3-4} * \ln\left(\frac{V_3}{V_4}\right)|}{Q_{3-4}}$$

Und mit der Adiabaten-Gleichung:

$$T_1 * V_2^{\kappa-1} = T_2 * V_3^{\kappa-1}$$

Und:

$$T_1 * V_1^{\kappa-1} = T_2 * V_4^{\kappa-1}$$

Durch Gleichsetzen erhalten wir:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{V_3}{V_2} = \frac{V_4}{V_1}$$

Damit können wir schreiben:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{V_4}{V_3}$$

Damit erhalten wir für den Wirkungsgrad:

$$\eta = \frac{|\text{nutzbare geleistete Arbeit}|}{\text{Zugeführte Wärme}} = \frac{|n * R * T_{1-2} * \ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right) + n * R * T_{3-4} * \ln\left(\frac{V_3}{V_4}\right)|}{Q_{3-4}}$$

$$\eta = \frac{|\text{nutzbare geleistete Arbeit}|}{\text{Zugeführte Wärme}} = \frac{|n * R * T_{1-2} * \ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right) - n * R * T_{3-4} * \ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right)|}{Q_{3-4}}$$

Und können schreiben

$$\eta = \frac{|\text{nutzbare geleistete Arbeit}|}{\text{Zugeführte Wärme}} = \frac{|n * R * (T_{1-2} - T_{3-4}) * \ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right)|}{Q_{3-4}}$$

Da bei isothermen die Wärme Q definiert ist als:

$$\delta Q = -\delta W = n * R * T * \ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right)$$

Erhalten wir:

$$\eta = \frac{|\text{nutzbare geleistete Arbeit}|}{\text{Zugeführte Wärme}} = \frac{|n * R * (T_{1-2} - T_{3-4}) * \ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right)|}{n * R * T_{3-4} * \ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right)}$$

Damit ergibt sich für den Wirkungsgrad:

$$\eta = \frac{|T_{1-2} - T_{3-4}|}{T_{3-4}}$$

$$\eta = \frac{T_{3-4} - T_{1-2}}{T_{3-4}}$$

Und wir können allgemein schreiben:

$$\eta = \frac{T_{\text{hoch}} - T_{\text{klein}}}{T_{\text{hoch}}}$$

Oder

$$\eta = 1 - \frac{T_{\text{klein}}}{T_{\text{hoch}}}$$

Damit haben wir den **maximalen Wirkungsgrad** eines Kreisprozesses erhalten. Je größer die Differenz zwischen T_{hoch} und T_{klein} ist desto größer ist der Wirkungsgrad. Dieser Wirkungsgrad kann jedoch von keiner realen Maschine erreicht werden. Dazu eine Rechnung:

Berechne den Carnot'schen Wirkungsgrad des Stirlingmotors aus dem vorherigen Beispiel:

$$T_{\text{hoch}} = 1537 \text{ K}$$

$$T_{\text{klein}} = 337 \text{ K}$$

Damit liegt dieser theoretische Wirkungsgrad weit über dem tatsächlichen Wirkungsgrad, welchen wir berechnet haben. Dieser betrug 47 %.

Aber wie kann ein Wirkungsgrad von 100 % erhalten werden?

Wie in Abbildung 37 ersichtlich entspricht die im Kreisprozess verrichtet Arbeit der Fläche unter der Kurve.

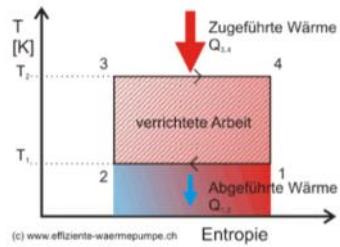


Abbildung 37, Verrichte Arbeit im Ts-Diagramm

Nach der Formel für den Wirkungsgrad

$$\eta = 1 - \frac{T_{Klein}}{T_{Hoch}}$$

Müsste die folgenden Bedingungen erfüllt sein:

$$T_{Klein} = 0 \text{ K}$$

Also müsste das Gas bis zum **absoluten Nullpunkt** abkühlen, um einen **Wirkungsgrad von 100 %** zu erreichen. Dann würde die gesamte aufgenommene Wärme als nutzbare Arbeit abgeführt werden.

Falls man einen Wirkungsgrad von $\eta > 1$ erreichen wollen würde, müsste man sogar _____ abkühlen und man hätte ein **Perpetuum Mobile** erschaffen. Da wir nun beim Thema des absoluten Nullpunkts angelangt sind wird es Zeit für den dritten Hauptsatz der Thermodynamik.

1.4 3. Hauptsatz

Ohne viele Worte zu verlieren zum Hauptsatz selbst:

Es ist nicht möglich ein System bis zum absoluten Nullpunkt (0 K) abzukühlen.

Man kann den absoluten Nullpunkt jedoch beliebig weit annähern.

Im Folgenden wollen wir uns näher damit beschäftigen, wieso dies nicht möglich ist. Als erstes wollen wir uns das Gesetz von Gay-Lussac näher ansehen.

1.4.1 Gesetz von Gay-Lussac

Wie wir bereits wissen, setzt das Gesetz von Gay-Lussac Volumen und Temperatur in Verbindung ($dP=0$).

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

Graphisch lässt sich dieses wie folgt darstellen:

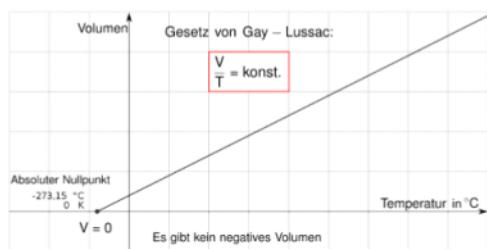


Abbildung 38, Gesetz von Gay - Lussac

Wie wir bereits wissen, dehnen sich Gase beim Erwärmen aus, wenn der Druck konstant ist ($dP=0$). Umgekehrt kommt es natürlich auch zu einer **Reduktion des Volumens**, wenn die Temperatur **sinkt**. Dementsprechend würde bei einer Temperatur von 0 K ein Volumen von 0 m³ implizieren. Da Atome jedoch nicht verschwinden können, ist es nur logisch, dass die Temperatur von 0 K nicht erreicht werden kann. Wenn noch weiter abgekühlt werden würde, würde das **Volumen sogar negative Werte** annehmen.

Als nächstes wollen wir uns daran erinnern wie die Temperatur definiert ist.

1.4.2 Definition der Temperatur

Die Temperatur steht in Zusammenhang mit der Geschwindigkeit der Teilchen.

$$U = E_{kin} = \frac{f}{2} * k_b * T = \frac{m * v^2}{2}$$

Dementsprechend würde eine Temperatur von **0 K** bedeuten, dass die Teilchen zum **absoluten Stillstand** kommen würden. Klassisch (keine Quantenmechanik) würde gelten, dass wenn die Temperatur 0 K wäre, wäre der **Impuls = 0 $\frac{kg \cdot m}{s}$** und dementsprechend sollten wir unser Teilchen an einem genau definierten Ort finden können (es kann sich ja nicht mehr bewegen) und so wissen, wo es sich befindet. Jedoch macht uns hier die **Quantenmechanik** einen Strich durch die Rechnung.

Wir erinnern uns an das **Einzel- und Doppelspalt Experiment** aus der dritten Klasse. Dabei haben wir, zumindest kurz die sogenannte **Heisenberg'sche-Unbestimmtheitsrelation** kennen gelernt.

$$\Delta x * \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

Δx ... *Ortsunschärfe*

Δp ... *Impulsunschärfe*

\hbar ... Reduziertes Planck'sches Wirkungsquantum ($1.05 * 10^{-34} J \cdot s$)

Diese besagt, dass je genauer wir den Ort kennen, desto ungenauer kennen wir den Impuls ($p=m*v$) und umgekehrt.

Wenn die Teilchen nun eine Temperatur von **0 K** hätten, hätten sie eine Geschwindigkeit von **0 $\frac{m}{s}$** und damit einen Impuls von **0 $\frac{kg \cdot m}{s}$** und damit wäre die Impulsunschärfe $\Delta p = 0$. Damit wäre die Ortsunschärfe $\Delta x = 0$ und wir könnten unser Teilchen **nicht mehr finden!** Daher kann der absolute Nullpunkt auch Quantenmechanisch nicht erreicht werden!

Einschub: Ein weiterer Grund weshalb der absolute Nullpunkt nicht erreicht werden kann, ist die sogenannte **Nullpunktsenergie**. Sie bildet sich aus der Differenz zwischen dem minimalen Energiezustand den ein quantenmechanisches System erreichen kann (Nullpunktsenergie) und dem, den ein klassisches System erreichen kann. Aufgrund mangelnder Zeit und Vorwissen wird diese Argumentation hier jedoch nicht gezeigt. Interessierte können sich jedoch unter den folgenden Links etwas einlesen (Links in der gegebenen Reihenfolge ansehen, denn so ist es vielleicht ein bisschen verständlich).
<https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Nullpunktsenergie>
<https://www.spektrum.de/lexikon/physik/nullpunktsenergie/10518>
<https://de.wikipedia.org/wiki/Nullpunktsenergie>

Zum Abschluss des Kapitels der Thermodynamik wollen wir uns noch ansehen, wie Temperaturen in der Nähe des absoluten Nullpunkts erreicht werden können.

1.4.3 Technische Methoden zur Annäherung an den absoluten Nullpunkt

Gase können mit dem **Lindeverfahren** (Verfahren zur Verflüssigung von Luft), dank des Joule-Thomson-Effekts verflüssigt werden. Dieser beruht darauf, dass **Gase abkühlen**, wenn sie sich bei **konstantem Druck entspannen**. Damit kann beispielsweise **Helium auf 4 K abgekühlt** werden. Danach wird der Druck weiter gemindert, wodurch das Gas auf etwa 0,85 K abgekühlt wird (beachte, dass aufgrund des niedrigen Drucks Helium nach wie vor als Gas vorliegt). Danach können die Atome mit Photonen, einer sogenannten **Laserkühlung**, beschossen werden. Die Photonen übertragen dabei ihren Impuls auf die Atome, wodurch diese weiter abgebremst werden. Dadurch können Temperaturen bis zu **milliardstel Kelvin**, oder sogar darunter erreicht werden. Interessanterweise nehmen die Atome an diesem Punkt jedoch einen neuen quantenmechanischen Zustand an, das sogenannte **Bose-Einstein-Kondensat**. Dieses Verfahren funktioniert jedoch nur bei Gasen.

Alternativ dazu können **paramagnetische Festkörper** (Permeabilität $\mu > 1$, zB.: Aluminium) mit einer **Magnetkühlung** abgekühlt werden. Dabei werden sie bei konstanter Temperatur einem externen Magnetfeld ausgesetzt, wodurch sich die Spins ausrichten (**isotherme Magnetisierung**) und die Entropie sinkt (das System ist geordnet, da alle Spins parallel stehen). Anschließend wird das Magnetfeld entfernt (ausschalten des Magneten) und es kommt zu einer **adiabatischen Entmagnetisierung**, wodurch die Temperatur sinkt. So können, mit Hilfe der **Elektronenspins**, Temperaturen bis zu **mK** erreicht werden. Danach wiederholt man diesen Vorgang mit den **Kernspins**. So können Temperaturen bis zu **0,1 μ K** erreicht werden. Ohne ins Detail zu gehen, ist in Abbildung 39 ersichtlich, dass so die Temperatur reduziert werden kann.

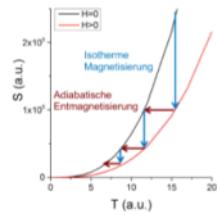
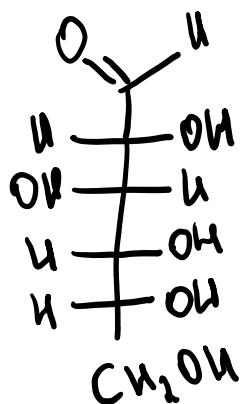
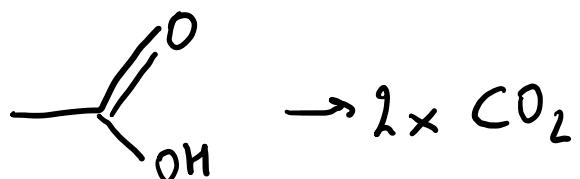
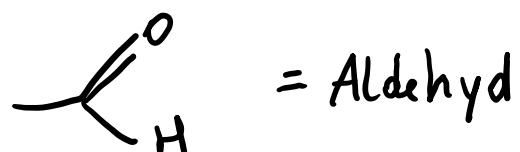
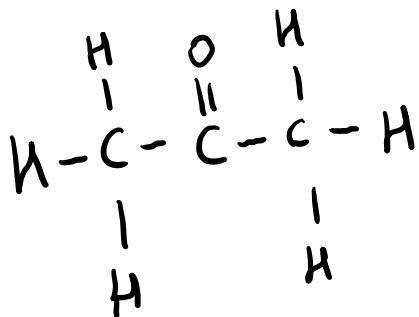


Abbildung 39, Magnetkühlung bei isobaren Bedingungen

Mitschrift

Montag, 19. September 2022 10:33



Aldose

Ketose

Li

1.KH.docx

Montag, 19. September 2022 11:20



1. Chemische Grundlagen der Ernährung

Warum müssen wir atmen? Diese Frage scheint auf den ersten Blick in keinem Zusammenhang mit Ernährung zu stehen, jedoch wollen wir den Zusammenhang ergründen. Nahrungsmittel bestehen meist hauptsächlich aus, **Kohlenhydraten, Fetten und Proteinen** (früher auch **Eiweiß** genannt), siehe Abbildung 1.



The image shows a nutritional information table from a Felix Tomato Ketchup product. The table includes ingredients, storage instructions, company details, and a detailed nutritional breakdown per 100g.

Tomatenketchup - Zutaten:	
Tomaten (172 g pro 100 g Ketchup), Zucker, modifizierte Stärke, Salz, Saureessig (CH, D: Säuerungsmittel Essigsäure), Gewürze, Gewürzextrakte, Säuerungsmittel Citronensäure.	
Mindestens haltbar bis: siehe Flaschenrückseite. Nach dem Öffnen im Kühlschrank aufbewahren.	
Ketchup di pomodoro - Ingredienti:	
pomodoro (172 g per 100 g di ketchup), zucchero, amido modificato, sale, acidificanti (soluzione di acido acetico, acido citrico), spezie, estratti di spezie. Da consumarsi preferibilmente entro il: vedi retro della bottiglia. Dopo l'apertura conservare in frigorifero.	
Distribuzione per la Svizzera: Gustav Gerig AG, CH-8037 Zürich	
FELIX Austria GmbH	
Felixstr. 24 A-7210 Mattersburg	
Gratis Info-Hotline: 08008/33549 www.felix.at	
Nährwerte/Valori nutrizionali	
pro 100 g	
Brennwert/Energia	427 kJ/101 kcal
Fett/Grassi	<0,5 g
davon gesättigte Fettsäuren /di cui acidi grassi saturi	<0,1 g
Kohlenhydrate/Carboidrati	22 g
davon Zucker/di cui zucker	18 g
Eiweiß/Proteine	1,2 g
Salz/Sale	2,8 g

Abbildung 1, Nährwerttabelle von Felix Tomatenketchup

Die konkrete Zusammensetzung der jeweiligen Lebensmittel kann sehr unterschiedlich sein. Siehe Abbildung 2.

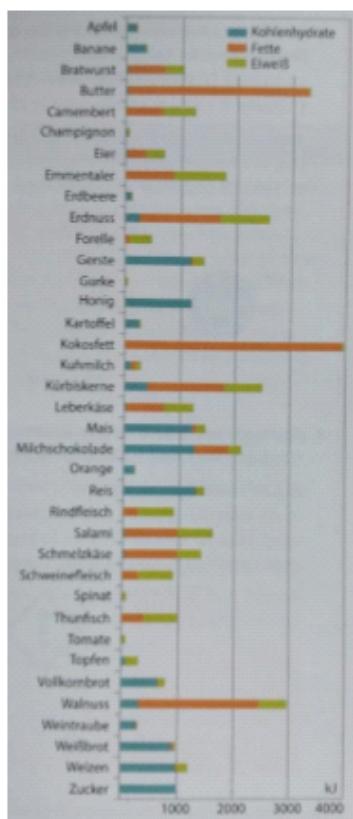


Abbildung 2, Nährwerttabelle einiger Lebensmittel bezogen auf 100 g

Worin sich diese drei Stoffgruppen unterscheiden, werden wir im Folgenden sehen, jedoch wollen wir erst noch die Frage ergründen, weshalb wir eigentlich atmen. Alle vom Menschen konsumierten Güter basieren auf **Kohlenstoff C**. Wenn wir atmen, atmen wir **Sauerstoff O₂** ein und atmen **Kohlendioxid CO₂** wieder aus. Dementsprechend wird also der in Form von Nahrung aufgenommene **Kohlenstoff C** im Körper mit **Sauerstoff O₂** oxidiert und anschließend in Form von **CO₂** ausgeatmet. Die dabei freigesetzte Energie (O₂ und C reagieren zu CO₂, das kennen wir schon aus der **Verbrennung von Holz** bei der ebenfalls Energie, in Form von Wärme, frei wird) ermöglicht es dem Menschen seine **Muskeln** zu benutzen sowie seinen **Stoffwechsel** zu betreiben. Was bei diesem Vorgang genau passiert, wie die Energie gespeichert und transportiert, und weshalb wir in der Zelle kein tatsächliches Feuer haben werden wir in Kapitel „2. Stoffwechsel“ sehen. Aber nun wollen wir uns näher mit dem Aufbau der Nahrungsmittel beschäftigen.

1.1. Kohlenhydrate/Saccharide - Carbohydrates/Saccharides

Kohlenhydrate sowie Fette wirken als **Energielieferant** im menschlichen Körper. Abgesehen von ihrer Rolle als Energielieferant wirken sie auch als **Gerüstsubstanz** (zB.: Cellulose) oder schützen vor **mechanischen Beanspruchungen** (zB.: Glykosaminoglykane in Knorpelgewebe). Aber was ist ein Kohlenhydrat?

Generell bestehen Kohlenhydrate zum größten Teil aus **Kohlenstoff C** und **Wasserstoff H**, siehe Abbildung 3.

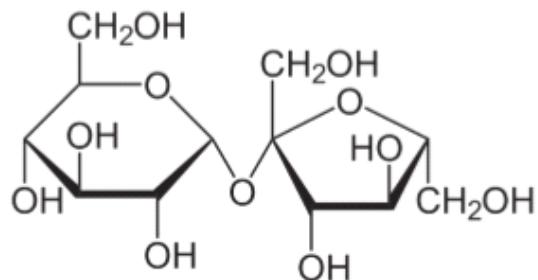


Abbildung 3, Saccharose (Haushaltszucker)

Bei dem in Abbildung 3 gezeigten Kohlenhydrat handelt es sich um die sogenannte Saccharose (=Haushaltszucker). Die Saccharose ist ein sogenanntes **Disaccharid**, da sie aus zwei **Monosacchariden** (Glukose links und Fructose rechts) aufgebaut ist, welche über eine **glykosidische Bindung** (Sauerstoff in der Mitte) miteinander verbunden sind.

Generell gibt es in der Natur viele verschiedene Kohlenhydrate, welche sich teilweise im Geschmack unterscheiden und teilweise sogar ungenießbar (zB.: Holz) sind. In Abbildung 2 beispielsweise kann erkannt werden, dass sowohl **Honig** als auch **Weizen** (also auch Mehl) fast ausschließlich aus Kohlenhydraten bestehen, sich jedoch im Geschmack stark unterscheiden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Kohlenhydrate als **Monosaccharide** (**Einfachzucker**), **Disaccharide** (**Zweifachzucker**) und als **Polysaccharide** (**Vielfachzucker**) vorliegen. Wo der Unterschied zwischen diesen Kohlenhydraten liegt, wollen wir uns im Folgenden ansehen.

5.9.2022

1.1.1. Monosaccharide - Monosaccharides

Monosaccharide sind die **kleinsten** Vertreter der Kohlenhydrate. Sie besitzen die allgemeine Summenformel $C_nH_{2n}O_n$ (zB.: Glucose $C_6H_{12}O_6$). Ein Glucosemolekül ist in Abbildung 4 in der **Fischer-Projektion** (offenkettige Form) dargestellt.

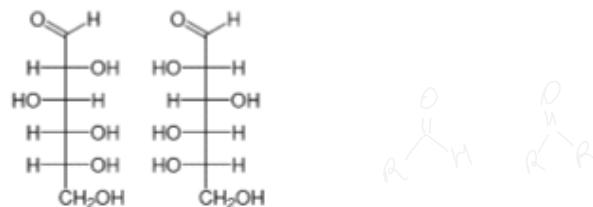
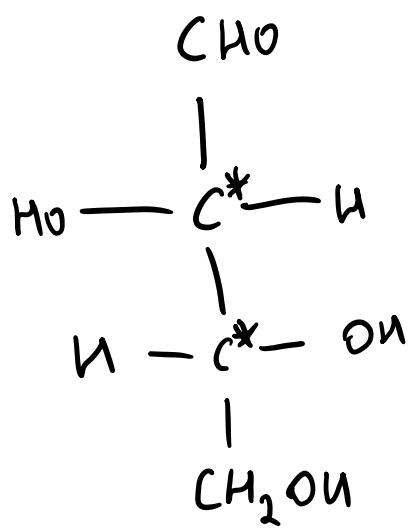


Abbildung 4, D-Glucose (links) und L-Glucose (rechts)

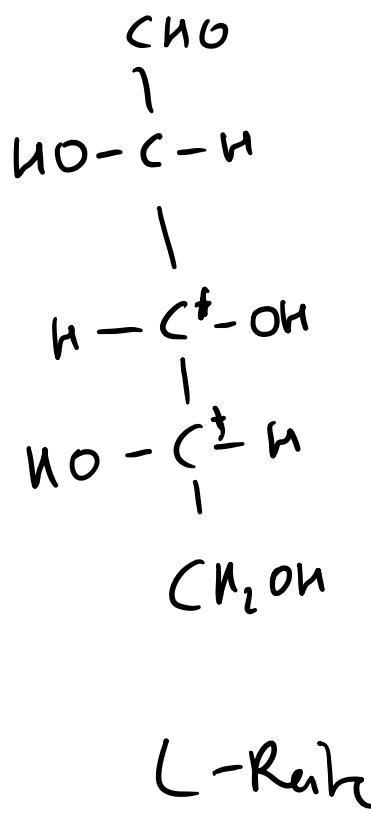
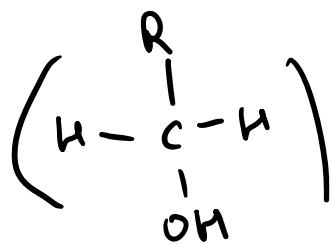
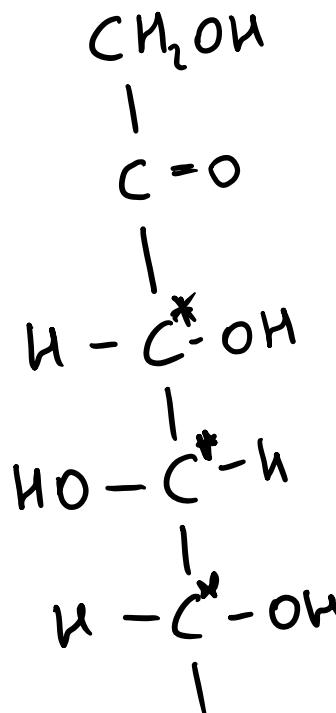
Aber was ist ein Monosaccharid genau? Monosaccharide sind **Aldehyde** oder **Ketone** mit einer oder mehreren **Alkoholfunktionalitäten**. Die Glucose aus Abbildung 4 weist beispielsweise eine **Aldehyd-** und **fünf Alkoholfunktionalitäten** auf.

Die Monosaccharide lassen sich nun je nach **Funktionalität** und **Kettenlänge** des Kohlenstoffgerüstes in verschiedene Gruppen einteilen:

19.9.2022



D-Reihe



L-Reihe

D-Reihe

1. Kohlenhydrate, Fette, Proteine, Lebensmittelzusatzstoffe_SuS_1.docx

Sonntag, 9. Oktober 2022 11:53



1. Chemische Grundlagen der Ernährung

Warum müssen wir atmen? Diese Frage scheint auf den ersten Blick in keinem Zusammenhang mit Ernährung zu stehen, jedoch wollen wir den Zusammenhang ergründen. Nahrungsmittel bestehen meist hauptsächlich aus, **Kohlenhydraten, Fetten und Proteinen** (früher auch **Eiweiß** genannt). Abbildung 1.

Brennwert – Oxidation im Körper
C+O₂ -> CO₂
Größter Inhaltstoff ist Wasser
H₂O + H⁺ -> H₂O
H₂O - H⁺ -> OH⁻



Abbildung 1, Nährwerttabelle von Felix Tomatenketchup

Die konkrete Zusammensetzung der jeweiligen Lebensmittel kann sehr unterschiedlich sein. Abbildung 2
Pflanzen - Kohlenhydrate, Tierische Produkte - Fette, Eiweiße - Muskeln, Kerne - Fett (keine Photosynthese)

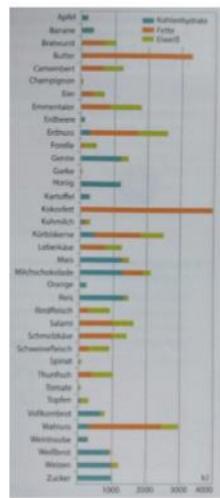


Abbildung 2, Nährwerttabelle einiger Lebensmittel bezogen auf 100 g

Worin sich diese drei Stoffgruppen unterscheiden, werden wir im Folgenden sehen, jedoch wollen wir erst noch die Frage ergründen, weshalb wir eigentlich atmen. Alle vom Menschen konsumierten Güter basieren auf **Kohlenstoff C**. Wenn wir atmen, atmen wir **Sauerstoff O₂** ein und atmen **Kohlendioxid CO₂** wieder aus. Dementsprechend wird also der in Form von Nahrung aufgenommene **Kohlenstoff C** im Körper mit **Sauerstoff O₂** oxidiert und anschließend in Form von **CO₂** ausgeatmet. Die dabei freigesetzte Energie (O₂ und C reagieren zu CO₂, das kennen wir schon aus der **Verbrennung von Holz** bei der ebenfalls Energie, in Form von Wärme, frei wird) ermöglicht es dem Menschen seine **Muskeln** zu benutzen sowie seinen **Stoffwechsel** zu betreiben. Was bei diesem Vorgang genau passiert, wie die Energie gespeichert und transportiert, und weshalb wir in der Zelle kein tatsächliches Feuer haben werden wir in Kapitel „2. Stoffwechsel“ sehen. Aber nun wollen wir uns näher mit dem Aufbau der Nahrungsmittel beschäftigen.

1.1. Kohlenhydrate/Saccharide - Carbohydrates/Saccharides

Kohlenhydrate sowie Fette wirken als **Energielieferant** im menschlichen Körper. Abgesehen von ihrer Rolle als Energielieferant wirken sie auch als **Gerüstsubstanz** (zB.: Cellulose) oder schützen vor **mechanischen Beanspruchungen** (zB.: Glykosaminoglykane in Knorpelgewebe). Aber was ist ein Kohlenhydrat?

Generell bestehen Kohlenhydrate zum größten Teil aus **Kohlenstoff C** und **Wasserstoff H**, siehe Abbildung 3

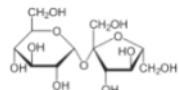


Abbildung 3, Saccharose (Haushaltszucker)

Bei dem in Abbildung 3 gezeigten Kohlenhydrat handelt es sich um die sogenannte Saccharose (=Haushaltszucker). Die Saccharose ist ein sogenanntes **Disaccharid**, da sie aus zwei **Monosacchariden** (Glukose links und Fructose rechts) aufgebaut ist, welche über eine **glykosidische Bindung** (Sauerstoff in der Mitte) miteinander verbunden sind.

Generell gibt es in der Natur viele verschiedene Kohlenhydrate, welche sich teilweise im Geschmack unterscheiden und teilweise sogar ungenießbar (zB.: Holz) sind. In Abbildung 2 beispielsweise kann erkannt werden, dass sowohl **Honig** als auch **Weizen** (also auch **Mehl**) fast ausschließlich aus Kohlenhydraten bestehen, sich jedoch im Geschmack stark unterscheiden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Kohlenhydrate als **Monosaccharide** (**Einfachzucker**), **Disaccharide** (**Zweifachzucker**) und als **Polysaccharide** (**Vielfachzucker**) vorliegen. Wo der Unterschied zwischen diesen Kohlenhydraten liegt, wollen wir uns im Folgenden ansehen.

Kurze Kohlenhydrate schmecken süß. mit einem Erdäpfel hat man mehr Energie, weil es dichtere Kohlenhydrate hat

— 13.09.2022 —

1.1.1. Monosaccharide - Monosaccharides

Monosaccharide sind die **kleinsten Vertreter der Kohlenhydrate**. Sie besitzen die allgemeine Summenformel C_nH_{2n}O_n (zB.: Glucose C₆H₁₂O₆). Ein Glucosemolekül ist in Abbildung 4 in der **Fischer-Projektion** (offenkettige Form) dargestellt.

Glukose auswendig lernen

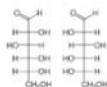


Abbildung 4, D-Glucose (links) und L-Glucose (rechts) - Sind unterschiedlich aber gleich

Aldehyd vs Keton



R.... Rest

Aber was ist ein Monosaccharid genau? Monosaccharide sind **Aldehyde** oder **Ketone** mit einer oder mehreren **Alkoholfunktionalitäten**. Die Glucose aus Abbildung 4 weist beispielsweise eine Aldehyd- und fünf Alkoholfunktionalitäten auf.

Die Monosaccharide lassen sich nun je nach **Funktionalität** und **Kettenlänge** des Kohlenstoffgerüstes in verschiedene Gruppen einteilen:

- Funktionalität: **Aldose** und **Ketose** (siehe Abbildung 5)
- Kettenlänge: **Triosen** (3xC), **Tetrosen** (4xC), **Pentosen** (5xC) und **Hexosen** (6xC) (siehe Abbildung 6)

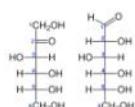


Abbildung 5, Ketose (D-Fructose, links) und Aldose (D-Glucose, rechts)

Wie in Abbildung 5 ersichtlich, weist die D-Fructose (Ketose) an der Position 2 eine namensgebende Ketogruppe auf, und die D-Glucose (Aldose) an der Position 1 eine namensgebende Aldehydgruppe.

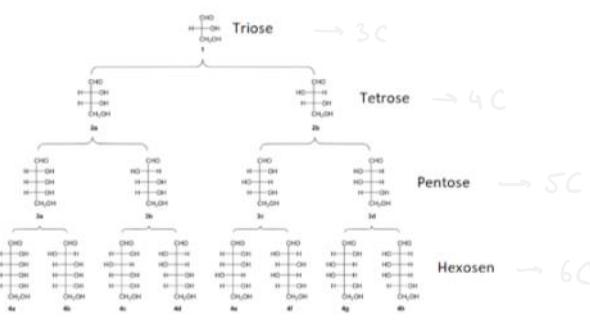


Abbildung 6, Monosaccharide unterschiedlicher Kettenlänge.

Wie in Abbildung 6 ersichtlich weisen die verschiedenen Zucker eine namensgebende Anzahl an C-Atomen auf.

Kombiniert man nun die beiden Einteilungen nach Funktionalität und Kettenlänge erhält man beispielsweise **Aldotetrosen**, **Ketotetrosen**, **Aldopentosen**, **Ketopentosen**, usw.

Beispiele für Monosaccharide sind in Abbildung 7 angeführt.

Diese 3 müssen wir auswendig wissen!!!!

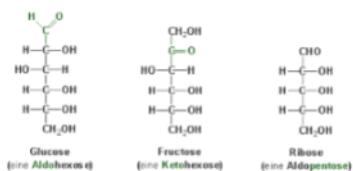


Abbildung 7, Beispiele für Monosaccharide

____ 20.09.2022 ____

Die Monosaccharide können sich jedoch auch bezüglich der Stellung der Alkoholgruppen am vorletzten C-Atom (jenes chirale Zentrum, welches am weitesten vom höchstoxidierten C-Atom entfernt ist) unterscheiden. In diesem Fall spricht man nicht von einem anderen Zucker, sondern von einem sogenannten **Stereoisomer**. Siehe Abbildung 8 am Beispiel der Glucose und Abbildung 9 am Beispiel des Glycerinaldehyds (Aldotriose).

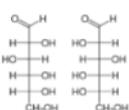


Abbildung 8, D-Glucose (links) und L-Glucose (rechts)

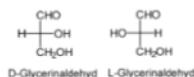


Abbildung 9, D- und L-Konfiguration des Glycerinaldehyds

Wie in Abbildung 8 & 9 ersichtlich, spricht man, wenn die Alkoholgruppe am C₅ Atom nach **links** steht von L- und falls nach **rechts** von D-Zuckern.

Generell ist beim Zeichnen der Monosaccharide in der Fischer-Projektion (offenkettig) wichtig, dass sich das längste Kohlenstoffkette **vertikal** angeschrieben wird, dass höchst oxidierte C-Atom die Position **1** erhält und das am weitesten von Position 1 entfernte **chirale Zentrum** (ein chirales Zentrum ist dort zu finden, wo es sich um ein **asymmetrisches C-Atom** handelt. Also ein C-Atom mit **4 unterschiedlichen Substituenten**.) Aussage darüber gibt, ob es sich um einen L- oder D-Zucker handelt. Wenn die Alkoholfunktionalität nach links steht, spricht man von L, wenn nach rechts von D.

In der folgenden Abbildung 10 werden die chiralen Zentren bei Glucose und Fructose gezeigt und durch ein Sternchen * markiert.



Abbildung 10, D-Glucose (links) und D-Fructose (rechts)

Erinnerung: Ein chirales Zentrum liegt dann vor, wenn sich die vier verschiedenen Substituenten eines C-Atoms wie Bild und Spiegelbild verhalten. Das bedeutet, dass sie durch Rotation nicht ineinander übergeführt werden können. Siehe Abbildung 11.

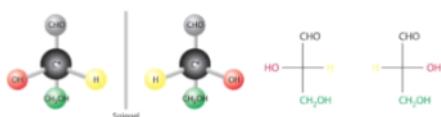


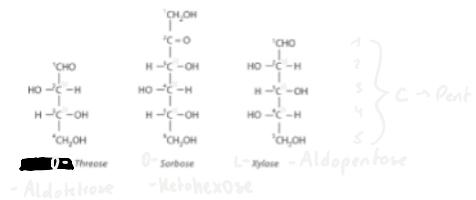
Abbildung 11, Stereoisomer des Glycerinaldehyds

Nun zu einer Übung:

BEISPIEL 1.1

Im Folgenden sind die Strukturen von drei Monosacchariden in der Fischer-Projektion dargestellt.

- Bestimme die stereogenen Zentren.
- Ordne die Moleküle der L- bzw. D-Reihe zu.
- Benenne sie in der Form Aldotetrose, Ketotetrose, Aldopentose usw.



Bis jetzt haben wir nur Monosaccharide in der **Fischer-Projektion** (offenkettig) betrachtet, jedoch können diese auch unter Bildung eines Halbacetals eine **cyclische Konfiguration (Haworth – Projektion)** annehmen. Aber was ist ein Halbacetal?

Bei einem Halbacetal handelt es sich um die in Abbildung 12 dargestellte funktionelle Gruppe.



Abbildung 12, Halbacetal

Wenn nun beispielsweise Glucose in Wasser gelöst wird, liegt sie zu 0,02 % offenkettig (**Fischer – Projektion**) und zu 99,98 % in der cyclischen Form (**Haworth – Projektion**) vor, welche in Abbildung 13 dargestellt ist.



Abbildung 13, Cyclische Glucose (genauer α -D-Glycopyranose)

Aber warum liegt fast das gesamte Monosaccharid in cyclischer Form vor? Dies ist auf die hohe Reaktivität der **Carbonylgruppe** zurückzuführen (Elektronenzug des Sauerstoffs ist groß, wodurch der Kohlenstoff eine positive Partialladung aufweist. Erinnerung an Elektronegativität). Da das Carbonyl-C-Atom eine positive Partialladung aufweist, kann es von den freien Elektronenpaaren des Sauerstoffs angegriffen werden. Aufgrund der sterischen Hinderung können sich hier nur Systeme mit einem 5-Ring, die sogenannten Furanosen, oder Systeme mit einem 6-Ring, den sogenannten Pyranosen, ausbilden, siehe Abbildung 14.

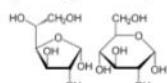


Abbildung 14, Glucofuranose (links) und Glycopyranose (rechts)

Generell gilt: Aldehyde und Ketone reagieren unter Säuren- oder Basenkatalyse mit **Alkoholen** in einer nucleophilen Additionsreaktion zu Halbacetalen. Anschließend können sie auch zu Vollacetalen weiter reagieren.

In der nachfolgenden Abbildung 15 wird die Ausbildung des Rings gezeigt.

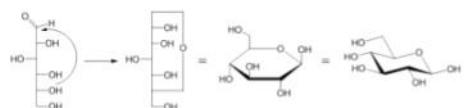


Abbildung 15, Bildung der cyclischen Glucose (Glycopyranose)

Wie in Abbildung 15 ersichtlich, kommt es zu einem intramolekularen nucleophilen Angriff des Sauerstoffs des Alkohols (Position 5) an den Carbonylkohlenstoff (Position 1). Dabei bildet sich das cyclische Halbacetal. In Realität liegt dieses in Lösung nicht in Form eines Hexagons, sondern in der sogenannten **Sesselform** (ganz rechts in Abbildung 15) vor, da diese am energetisch günstigsten ist. Schematisch wird dieser Vorgang im folgenden Gif gezeigt.



In der nachfolgenden Abbildung 16 wird dieser Vorgang erneut gezeigt.

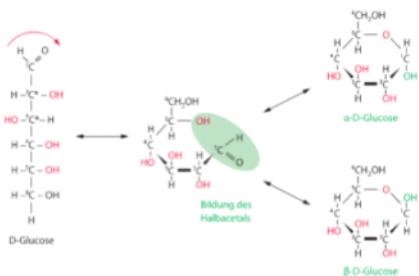


Abbildung 16, Bildung der cyclischen Glucose

Wie in Abbildung 16 ersichtlich, ist der Alkohol und das Carbonyl-C-Atom, welches bei der nucleophilen Addition reagieren, grün markiert. Wenn die Alkoholgruppe an Position 1 nach unten steht, spricht man im Normalfall von einem α -Zucker, wenn die Alkoholgruppe nach oben steht von einem β -Zucker (eigentlich: $\alpha \rightarrow$ transständig, $\beta \rightarrow$ cisständig zu Alkohol an Position 6). Wichtig ist, dass dieser Vorgang säuren- oder basenkatalysiert sein muss (Erinnerung an Autoproteolyse von Wasser, dadurch sind wir hier säuren- und basenkatalysiert), wie der in Abbildung 17 gezeigte Mechanismus veranschaulicht.

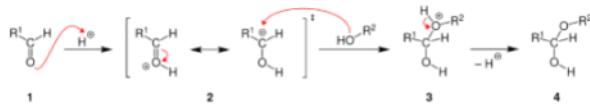
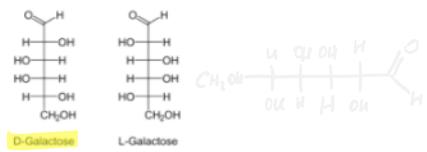


Abbildung 17, Mechanismus der säurekatalysierten Halbacetalbildung mit einem Carbo-Kation als Intermediat (Schritt 2)

Zum Abschluss noch die für uns wichtigste Hexose und Pentose. Die Hexose ist die **Glucose**, da sie bei der Photosynthese entsteht, und die wichtigste Pentose die **Ribose**, da sie Baustein der DNA und RNA ist.

Nun zu einer Übung:

Überföhre die D-Galactose so in die Haworth-Schreibweise, dass eine **Pyranose** entsteht. Benennen diese auch.



Im nächsten Teil wollen wir uns damit beschäftigen, was passiert, wenn zwei Monosaccharide zu einem Disaccharid reagieren.

1.1.2. Disaccharide - Disaccharides

Wenn sich zwei Monosaccharide verbinden, spricht man von einem sogenannten Disaccharid, siehe Abbildung 18.

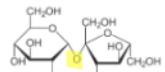


Abbildung 18, Disaccharid (Saccharose)

Wie in Abbildung 18 ersichtlich ist das Disaccharid aus 2 Monosacchariden aufgebaut, welche über eine **glykosidische Bindung** miteinander verbunden sind. In Abbildung 19 sind die beiden Monosaccharide und das Disaccharid erneut dargestellt.

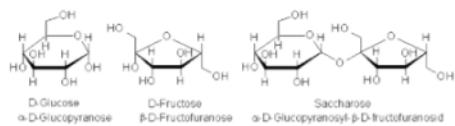
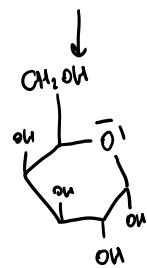
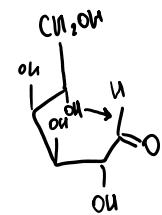
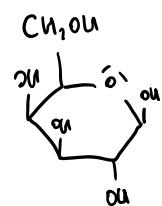


Abbildung 19, Die beiden Monosaccharide (links und Mitte) reagieren zum Disaccharid (rechts)

Bei der Reaktion der beiden Monosaccharide handelt es sich um eine sogenannte „**Kondensationsreaktion**“ (Erinnerung: Bei diesen Reaktionen verbinden sich die beiden Reaktionspartner unter Abspaltung von niedermolekularen Molekülen wie beispielsweise Wasser H_2O). Schematisch wird diese Reaktion in Abbildung 20 gezeigt.



α -D-Galactopyranose



β -D-Galactopyranose



Abbildung 20, Schematische Darstellung einer Kondensationsreaktion zweier Monosaccharide

In Abbildung 21 wird die Bildung der Saccharose aus den beiden Monosacchariden (D-Glucose und D-Fructose) gezeigt.

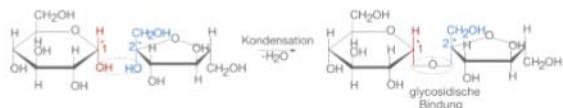


Abbildung 21, Kondensationsreaktion der D-Glucose und der D-Fructose unter Wasserabspaltung und Bildung einer glycosidischen Bindung

Chemisch gesehen reagieren die **beiden Halbacetale** zu **einem Vollacetal** unter Abspaltung von Wasser. Ein Vollacetal ist in Abbildung 22 dargestellt.

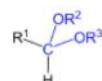


Abbildung 22, Vollacetal

Übung: Lass 2 α -D-Glucopyranosen reagieren und schreib das dabei entstehende Produkt an. Markiere auch die glycosidische Bindung und das Vollacetal.



Extrem wichtig ist, dass sich bei dieser Reaktion entweder ein α -glykosidische Bindung oder eine β -glykosidische Bindung bilden kann, siehe Abbildung 23.



Abbildung 23, α -glykosidische Bindung (links) und β -glykosidische Bindung (rechts) der Cellulose

Wie in Abbildung 23 ersichtlich, sind die Monomere bei der α -glykosidischen Bindung **trans-ständig**, und bei der β -glykosidischen Bindung **cis-ständig**.

Wieso dieser Unterschied für uns so wichtig ist, werden wir im Folgenden sehen.

1.1.3. Polysaccharide - Polysaccharides

Wenn zwei Monosaccharide kondensieren, werden Disaccharide erhalten. Falls mehr als zwei Monosaccharide kondensieren, spricht man von einer „Polykondensationsreaktion“ und erhält sogenannte „Polysaccharide“. Zu den bekanntesten Vertreter dieser gehören **Stärke** (Reservekohlenhydrat der Pflanzen), **Glykogen** (Reservekohlenhydrat des tierischen Organismus), **Chitin** (Gerüstsubstanz der Insekten) und **Cellulose** (Gerüstsubstanz der Pflanzen). Im Folgenden wollen wir uns damit beschäftigen, wie sich diese Verbindungen unterscheiden und weshalb wir **Stärke als Energielieferant** nutzen können, **Cellulose** jedoch nicht. Also weshalb wir eine Kartoffel genießen können, aber Holz nicht.

Stärke besteht aus den beiden Polysacchariden Amylopektin und Amylose, siehe Abbildung 24.

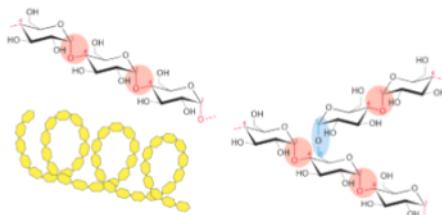


Abbildung 24, Amylose (links) und Amylopektin (rechts)

Wie in Abbildung 24 ersichtlich bestehen die beiden Makromoleküle (sehr große Moleküle) aus D-Glucose Grundbausteinen (etwa 100 – 1500), welche über α -glykosidische Bindungen (trans) verknüpft sind. Stärke besteht zu etwa 70-80% aus Amylopektin und zu etwa 20-30% aus Amylose. Die beiden Stoffe unterscheiden sich dahin gehend, dass Amylopektin räumlich Quervernetzt ist und Amylose nicht (bildet helikale Struktur mit Wasserstoffbrückenbindungen), siehe Abbildung 24.

Nun zur Frage, weshalb wir Cellulose nicht verstoffwechseln können. In Abbildung 25 ist das Molekül dargestellt.

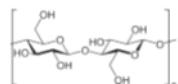


Abbildung 25, Celluloseeinheit, $n=250-7500$

Wie in Abbildung 25 ersichtlich besteht Cellulose ebenfalls aus D-Glucose Grundbausteinen (bis zu 15000). Das bedeutet, dass sowohl Stärke als auch Cellulose aus demselben Grundbaustein bestehen, wir jedoch nur

Stärke hydrolyseren (spalten mit Wasser) können. Der Grund dafür ist auf die β -glykosidische Bindung (cis) zwischen den Monomeren zurückzuführen.

Die Amylase (im Menschen vorhandenes Enzym zur Spaltung der glykosidischen Bindung) kann lediglich Polysaccharide spalten die eine α -glykosidische Bindung aufweisen. Daher können wir die Cellulose, aufgrund ihrer β -glykosidischen Bindung nicht spalten und gehört daher zu den wichtigsten Ballaststoffen (weitgehend unverdauliche Nahrungsmittel). Aber wie liegt nun Cellulose in der Zelle vor? Dies wird in Abbildung 26 gezeigt.

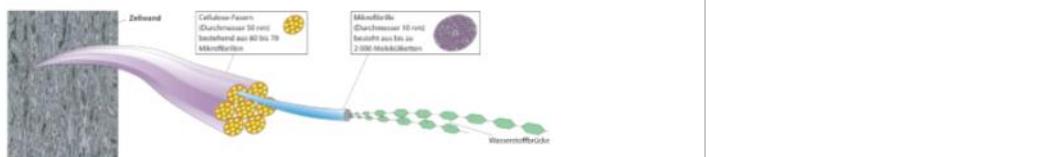


Abbildung 26, Aufbau der pflanzlichen Zellwand

Wenn die Polysaccharide im Körper gespalten wurden, müssen sie, wenn sie nicht direkt weiter verstoffwechselt werden, gespeichert werden. Kurz- und mittelfristig werden diese als **Glykogen** gespeichert, siehe Abbildung 27 & 28.

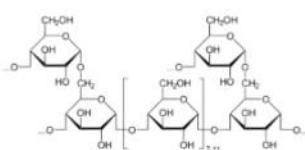


Abbildung 27, Aufbau des Glykogens

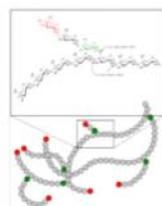


Abbildung 28, Aufbau des Glykogens

Natürlich besteht dementsprechend auch Glykogen aus Glucose Monomeren (bis zu 50000 Moleküle). Wichtig bei der Struktur ist, dass das Glykogen ein verzweigtes Molekül ist, wodurch an vielen Stellen Glykogen zu Glucose abgebaut werden kann.

Das letzte Molekül, welches wir betrachten wollen, ist das Chitin, siehe Abbildung 29.

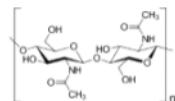


Abbildung 29, Grundbaustein des Chitins

Wie in Abbildung 29 ersichtlich handelt es sich bei Pektin um ein Derivat der Cellulose. Im Gegensatz zur Cellulose bestehen die Grundbausteine nicht aus Glucose, sondern aus Acetylglucosamin (Glucose mit einer Acetamidgruppe). Die Grundbausteine können α - oder β -ständig gebunden sein. Dementsprechend liegt einer der wichtigsten Unterschiede zwischen einem Insektenpanzer und einer Cellulosefaser lediglich in einer Acetamidgruppe welche an die Glucose (Pos. 2) gebunden ist.

1.1.4. Zum Begriff „Zucker“ - Sugar

Bis jetzt wurde der Begriff des Zuckers tunlichst vermieden, da dieser zu Unklarheiten führen kann. Als Zucker wird im Normalfall Saccharose bezeichnet, jedoch besteht diese aus Glucose und Fructose, welche ebenfalls Zucker sind. Im alltäglichen Sprachgebrauch werden alle Monosaccharide und Disaccharide als „Zucker“ bezeichnet (Fructose=Fruchtzucker, Saccharose=Haushaltszucker...) da diese süß schmecken. Polysaccharide schmecken nicht süß und werden daher im Alltag nicht als „Zucker“ bezeichnet. Polysaccharide werden jedoch im Körper im Rahmen des Stoffwechsels gespalten (falls nicht zählen sie zu den Ballaststoffen) und ebenfalls in Di- und Monosaccharide zerlegt. Wie wir beim Experiment mit der Semmel gesehen haben, schmeckt auch eine Semmel süß, wenn die Stärke im Mund in Maltose gespalten wird. Daher sollte der Begriff des Zuckers bei der Ernährung und besonders bei Diäten und ähnlichem auch chemisch betrachtet werden, da beim Stoffwechsel jedes Kohlenhydrat (welches kein Ballaststoff ist) in „Zucker“ zerlegt wird.

Nun zum nächsten wichtigen Energielieferanten und Speicher, den Fetten.

1.2 Fette - Fat

Fette wirken bekanntlich als Energielieferant und Speicher. In Abbildung 30 ist beispielsweise Schweineschmalz dargestellt.



Abbildung 30, Schweineschmalz

Aber was ist eigentlich ein Fett? Fette gehören zur Stoffgruppe der Lipide (wasserunlösliche Verbindungen) und sind chemisch betrachtet die Ester von Glycerol, siehe Abbildung 31, und verschiedenen Fettsäuren, siehe Abbildung 32.

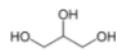


Abbildung 31, Glycerol

Wie in Abbildung 31 ersichtlich handelt es sich bei Glycerol (früher Glycerin, nach IUPAC: Propan-1,2,3-triol), um einen dreiwertigen Alkohol.



Abbildung 32, Stearinäure (IUPAC: Octadecansäure)

Wie in Abbildung 32 ersichtlich handelt es sich bei Fettsäuren um aliphatische Monocarbonsäuren. Fettsäuren können in **gesättigte** Fettsäuren, siehe Abbildung 33, und **ungesättigte** Fettsäuren, siehe Abbildung 34, eingeteilt werden.

Anzahl C-Atome	Trivialname	Systematischer Name	Struktur
12	Laurinsäure	Dodekansäure	
14	Myristinsäure	Tetradekansäure	
16	Palmitinsäure	Hexadekansäure	
18	Stearinsäure	Octadekansäure	
20	Arachinsäure	Eikosansäure	

Abbildung 33, Gesättigte Fettsäuren

16	Palmitoleinsäure	(9Z)-Hexadekansäure	
18	Ölsäure	(9Z)-Oktadekansäure	
18	Linolsäure	(9Z, 12Z)-Octadekadienäure	
18	Linolensäure	(9Z, 12Z, 15Z)-Octadecatriensäure	
20	Arachidonsäure	(9Z, 8Z, 11Z, 14Z)-Eikosatetraensäure	

Abbildung 34, Ungesättigte Fettsäuren

Wie Abbildung 33 und 34 zeigen, weisen gesättigte Fettsäuren keine Doppelbindungen auf, ungesättigte jedoch schon. Gesättigte Fettsäuren weisen keine Doppelbindungen auf, da sie mit Wasserstoff H gesättigt sind. Der menschliche Organismus kann nicht alle lebensnotwendigen Fettsäuren synthetisieren. Die beiden mehrfach ungesättigten Fettsäuren **Linolsäure** (IUPAC: (9Z,12Z)-Octadeca-9,12-diensäure) und **α -Linolensäure** (IUPAC: (9Z,12Z,15Z)-Octadeca-9,12,15-triensäure) können vom menschlichen Organismus selbst nicht synthetisiert werden. Daher müssen diese über die Nahrung zugeführt werden und werden daher als „**essentielle Fettsäuren**“ bezeichnet.

Da die ungesättigten Fettsäuren Doppelbindungen aufweisen (keine Rotation möglich) werden diese noch in **cis**- und **trans**-Fettsäuren (modern: E und Z-Fettsäuren) unterschieden, siehe Abbildung 35.

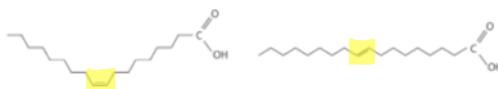


Abbildung 35, cis-Fettsäure (links) und trans-Fettsäure (rechts)

Natürlich vorkommende Fettsäuren liegen hauptsächlich als cis-Fettsäuren vor. Durch die industrielle Verarbeitung (zB.: Fetthärtung) dieser können sich jedoch auch trans-Fettsäuren bilden, welche als gesundheitsgefährdend (zB.: Herzkrankungen) gelten.

Generell wird bei der Benennung der Fettsäuren nach IUPAC bei der Carboxy-Gruppe mit dem Zählen begonnen. Wenn die Fettsäuren Doppelbindungen aufweisen, werden diese mit Zahlen (gibt Position an) vor dem Namen und Z oder E, benannt, siehe Abbildung 36.

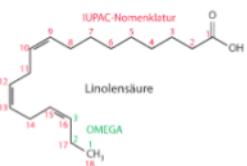


Abbildung 36, ($9Z, 12Z, 15Z$)-Octadeca-9,12,15-triensäure

Ebenfalls gibt es die, aus der Werbung bekannte (zB. bei Fischstäbchen), ω -Nomenklatur. Dabei wird am nicht oxidierten Ende der Fettsäure zu zählen beginnen und die erste Position, an der sich die Doppelbindung befindet, bezeichnet. Beispielsweise handelt es sich bei der Fettsäure in Abbildung 36 um eine $\omega - 3$ Fettsäure (gesprochen: Omega – 3 – Fettsäure). In der Kurzschreibweise wird sie auch als „18:3 ($\omega-3$)“ bezeichnet, wobei 18 die Anzahl der C-Atome, 3 die Anzahl der Doppelbindungen und $\omega-3$ die erste Position einer Doppelbindung angibt.

Wenn nun ein Fett entsteht, kommt es bei der Reaktion von Glycerol und der Fettsäure zu einer Kondensationsreaktion unter Abspaltung von Wasser, siehe Abbildung 37.

Abbildung 37, Kondensationsreaktion von Glycerol und einer Fettsäure unter Wasserabspaltung

Allgemein lässt sich das entstehende Fett wie folgt anschreiben, siehe Abbildung 38.

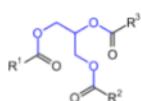


Abbildung 38, Allgemeine Struktur eines Fetts

In Abbildung 39 ist ein Fett mit verschiedenen Fettsäureestern dargestellt.

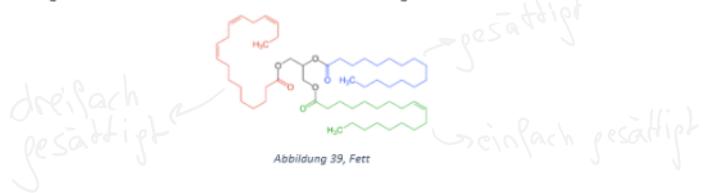


Abbildung 39, Fett

Sowohl tierisches als auch pflanzliches Fett enthält sowohl gesättigte als auch ungesättigte Fettsäuren. Jedoch sind in pflanzlichen Fetten meist mehr ungesättigte Fettsäuren enthalten als in tierischen Fetten.

1.2.1 Fette vs Öl – Fat vs Oil

Öl und Fett unterscheidet sich nur dahingehend, dass Fett bei Raumtemperatur fest ist, Öl jedoch flüssig. Beide Verbindungen bestehen aus den Fettsäureestern des Glycerols.

1.2.2 Fetthärtung - Fat hardening

Vielleicht hast du dich bereits einmal gefragt, wie eigentlich Margarine hergestellt wird. Generell wird das Verfahren zur Herstellung von Margarine als „Fetthärtung“ bezeichnet. Nun liegt es an dir dich genauer mit diesem Thema anhand von ein paar Leitfragen zu beschäftigen.

Gib an was unter dem Begriff der Fetthärtung zu verstehen ist. State what is meant by the term fat hardening.

Welche Edukte werden bei der Herstellung von Margarine eingesetzt (allgemein)? Which reactants are used in the production of margarine (in general)?

Zeichne ein Fett bevor und nachdem es gehärtet wurde. Draw a fat before and after it has been hardened.

Begründe anhand der chemischen Struktur, weshalb das Fett nach der Härtung nicht mehr flüssig vorliegt.
Based on the chemical structure, explain why the fat is no longer liquid after hardening.

Welches unerwünschte Nebenprodukt kann bei der Fetthärtung auftreten? What undesirable by-product can occur during fat hardening?

1.3 Proteine - Proteins

Proteine dienen im Gegensatz zu den Kohlenhydraten und Fetten nicht als Energiequelle und Speicher, sondern als Baustoff von Körpersubstanzen. Sie werden zur Ausbildung von Strukturelementen wie Muskelfasern, Knorpeln oder Knochen benötigt. Aber was ist ein Protein chemisch betrachtet?

Proteine, umgangssprachlich **Eiweiß**, bestehen aus langen Ketten von Aminosäuren (meistens 100-300, es können aber auch mehrere tausend sein). Proteine können im Körper viele verschiedene Aufgaben haben. Generell bestimmen sie den Aufbau einer Lebensform. Beispielsweise Kollagen sind Strukturproteine der Haut, des Bindegewebes und der Knochen. Myosin und Aktin sind beispielsweise für die Muskelkontraktionen verantwortlich. Keratin ist beispielsweise für die Fingernägel verantwortlich. Ein Protein, welches eine Biokatalysefunktion (Katalysatoren reduzieren die Aktivierungsenergie) aufweist wird als **Enzym** bezeichnet. Proteine haben im Körper eine bestimmte Struktur. Ohne dieser Struktur (Primär-, (Aminosäureabfolge) Sekundär-, (α -Helix oder β -Faltblatt) Tertiär- (räumliche Struktur des Moleküls) und Quartärstruktur (Moleküle schließen sich durch Wechselwirkung zu Proteinen zusammen), siehe Abbildung 40) können die Proteine nicht ihre Aufgabe erfüllen.

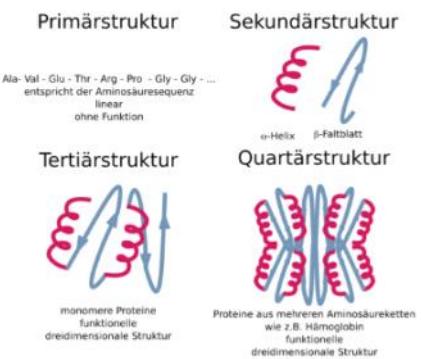


Abbildung 40, Primär-, Sekundär-, Tertiär- und Quartärstruktur

Aber wann verlieren Proteine ihre Struktur? Beispielsweise kann dies aufgrund von Hitzeeinwirkung geschehen und passiert beispielsweise, wenn man ein Spiegelei in der Pfanne macht. Wenn das anfangs klare Eiklar zu einer weißen Masse gerinnt, verlieren die Proteine ihre Struktur, und dadurch verändert sich die Farbe. Man spricht von Denaturierung. Siehe Abbildung 41.

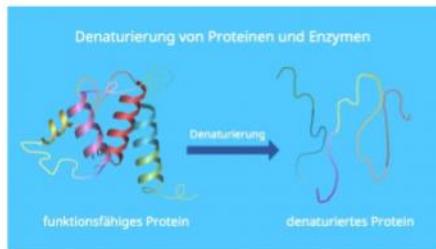


Abbildung 41, Denaturierung eines Proteins

Wie wir nun wissen, bestehen Proteine aus Aminosäuren, aber was genau ist eine Aminosäure?

1.3.1 Aminosäuren - Aminoacids

Aminosäuren sind Moleküle, welche eine **Amino-** und eine **Carbonsäuregruppe** enthalten. Siehe Abbildung 42.

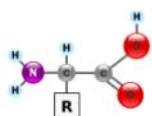


Abbildung 42, Grundstruktur einer Aminosäure, Aminogruppe links, Carbonsäure rechts

Wie in Abbildung 42 ersichtlich befindet sich bei der Aminosäure auch ein R. Dieses steht für einen sogenannten Rest und kann grundsätzlich in der organischen Chemie ein beliebiger Rest sein. Die für den Menschen lebensnotwendigen Aminosäuren, welche über die Nahrung zugeführt werden müssen, werden als **essentielle** Aminosäuren bezeichnet. Zu diesen gehören Histidin, Isoleucin, Leucin, Lysin, Methionin, Phenylalanin, Threonin, Tryptophan und Valin. In der folgenden Abbildung 43 werden die für den Menschen wichtigen Aminosäuren gezeigt.

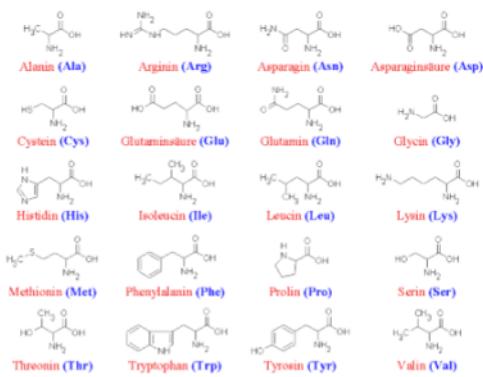


Abbildung 43, Aminosäuren

Serin, Alanin, Glycin, Cystein, Glutamin, Lysin Matura

Proteine bilden sich nun durch Kondensationsreaktionen der einzelnen Aminosäuren. Dabei reagiert ein Wasserstoff der Aminogruppe mit dem Alkohol der Carbonsäure, siehe Abbildung 44.

Abbildung 44, Zwei Alanin Aminosäuren reagieren unter Wasserabspaltung zu einem Dipeptid (Kondensationsreaktion)

Generell ist die Muskulatur der Proteinspeicher des Körpers. Falls der Körper keine ausreichenden Fettreserven mehr besitzt, beginnt er mit dem Abbau der Muskeln um aus diesen Energie zu gewinnen.

1.4 Lebensmittelzusatzstoffe - Food additives



Abbildung 45, E-Nummern von Lebensmittelzusatzstoffen in verschiedenen Lebensmitteln

Lebensmittelzusatzstoffe sind Verbindungen, welche die Eigenschaften von Lebensmitteln verbessern sollen, oder sogar erforderlich für deren Handel sind. Sie werden eingesetzt um chemische, physikalische oder physiologische Effekte zu erzielen. Zu diesen gehören Struktur, Geschmack, Geruch, Farbe und Haltbarkeit. Lebensmittelzusatzstoffe können sowohl synthetischer Natur sein, aber auch natürlich vorkommen. In der EU werden sie mit den sogenannten E-Nummern abgekürzt, siehe Abbildung 45.

Lebensmittelzusatzstoffe können beispielweise Süßungsmittel (Stevia E 960), Farbstoffe (Curcumin E 100), Konservierungsstoffe (Natriumnitrat E251), Antioxidantien (Ascorbinsäure (Vitamin C) E 300), Emulgatoren (Lecithin E322) und viele andere Stoffklassen sein.

Versuch: Emulgator als Lecithin E322 im Ei

Aufgrund der mangelnden Zeit werden Substanzen wie Ballaststoffe, Vitamine, Mineralstoffe und Hormone hier nicht näher beleuchtet.

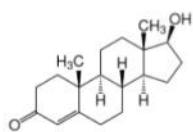


Abbildung 46, Testosteron

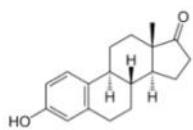
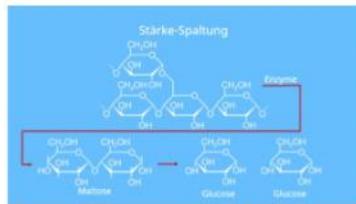


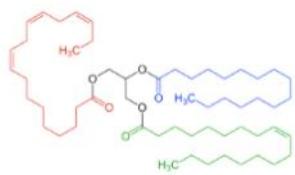
Abbildung 47, Estron (ein Estrogen)

Abschließend noch eine Gegenüberstellung der Substanzklassen „Kohlenhydrat, Fett und Protein“.

Quellen	Funktionen im menschlichen Organismus	Bemerkungen
Kohlenhydrate		
Reis, Kartoffeln und Getreide enthalten Stärke . Viele Lebensmittel enthalten Saccharose (Rüben-, Rohrzucker), Fructose (Fruchtzucker) oder Glucose (Traubenzucker).	Kohlenhydrate liefern dem Körper vor allem Energie . Die Energiequelle für die Zellen ist Glucose . Nicht verbrauchte Glucose kann im Körper in Form von Glykogen (siehe Seite 24) gespeichert oder in Fett umgewandelt werden.	Der Abbau der Kohlenhydrate beginnt bereits im Mund. Nach vollständiger Spaltung im Dünndarm werden die Monosaccharid-Moleküle absorbiert und mit dem Blut zu den Zellen transportiert. Der Blutzuckerspiegel wird u. a. durch das Hormon Insulin reguliert (siehe Seite 73).



Lipide
<p>Fleisch und tierische Lebensmittel (Eier, Milch, Käse) sind reich an Fetten mit überwiegend gesättigten Fettsäuren und Cholesterol. Pflanzliche Lebensmittel (z. B. Sonnenblumenöl) sind reich an Fetten mit vorwiegend ungesättigten Fettsäuren.</p> <p>Fette sind eine wichtige Energiequelle und dienen der Speicherung von Energie. Sie bilden eine Isolierschicht rund um Nervenzellen und sorgen für eine Wärmeisolation unter der Haut. Lipide sind Bestandteile der Zellmembran. Steroid-Hormone (einschließlich der Sexualhormone) besitzen als Grundstruktur Cholesterin.</p> <p>Fette werden bei der Verdauung in Glycerol und Fettsäuren gespalten. Der Körper kann praktisch unbegrenzte Mengen an Fett speichern. Ein zu hoher Gehalt an Cholesterin und ein ungünstiges Verhältnis von gesättigten zu ungesättigten Fettsäuren kann zu Herz-Kreislauf-Erkrankungen führen.</p>



Frontline

Insbesondere reich an Proteinen sind Fleisch, Fisch und Eier sowie Hülsenfrüchte (Erbsen, Bohnen). Die **Sojabohne** enthält etwa 35 % Protein und ist daher eine hervorragende Quelle für pflanzliches Eiweiß. Mit speziellen Methoden kann man Sojaprotein zu künstlichem Fleisch verarbeiten.

- | | |
|---|---|
| Proteine besitzen viele Funktionen, z. B. als | Nach der Spaltung werden die einzelnen Bausteine, die Aminosäuren, absorbiert. |
| Katalysatoren (Enzyme) – siehe Seite 42 | Es gibt 20 verschiedene Aminosäuren; nicht alle kann der Körper selbst aufbauen. |
| Transport-Moleküle (z. B. Hämoglobin – siehe Seite 36) | Sie müssen mit der Nahrung zugeführt werden (essentielle Aminosäuren). |
| Struktural (Muskelin) | Besonders pfiffige Proteine zeigen manchmal einen Mangel an essentiellen Aminosäuren. |
| Hormone (z. B. Insulin) | |
| Antikörper zur Immunabwehr | |

Nach der Spaltung werden die einzelnen Bausteine, die Aminosäuren, absorbiert. Es gibt 20 verschiedene Aminosäuren; nicht alle kann der Körper selbst aufbauen. Sie müssen mit der Nahrung zugeführt werden (**essentielle Aminosäuren**). Besonders pflanzliche Proteine zeigen manchmal einen Mangel an essentiellen Aminosäuren.

Primärstruktur

Ala - Val - Glu - Thr - Arg - Pro - Gly - ...
 entspricht der Aminosäuresequenz
 linear
 ohne Funktion

Sekundärstruktur



Tertiärstruktur



monomere Proteine funktionelle dreidimensionale Struktur

Quartärstruktur



Proteine aus mehreren Aminosäureketten
wie z.B. Hämoglobin
funktionelle

1.docx

Montag, 28. November 2022 10:58



1.2.2 Fetthärtung - Fat hardening

Vielleicht hast du dich bereits einmal gefragt, wie eigentlich Margarine hergestellt wird. Generell wird das Verfahren zur Herstellung von Margarine als „Fetthärtung“ bezeichnet. Nun liegt es an dir dich genauer mit diesem Thema anhand von ein paar Leitfragen zu beschäftigen.

State what is meant by the term fat hardening.

Which reactants are used in the production of margarine (in general)?

Plantsoils and fat

Draw a fat before and after it has been hardened.

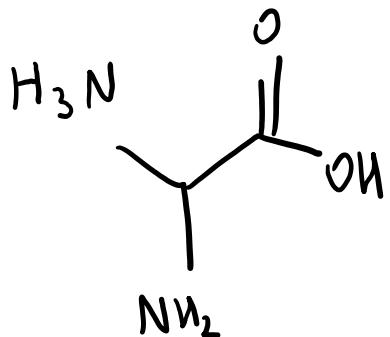
Based on the chemical structure, explain why the fat is no longer liquid after hardening.

What undesirable by-product can occur during fat hardening?

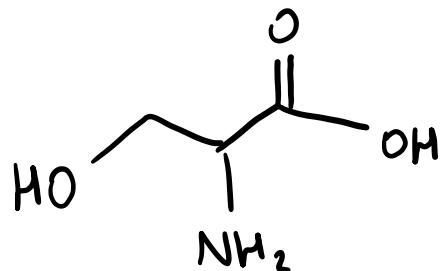
Nun zum nächsten wichtigen Inhaltsstoff von Nahrungsmitteln, den Proteinen.

Kondensation

Montag, 12. Dezember 2022 11:07

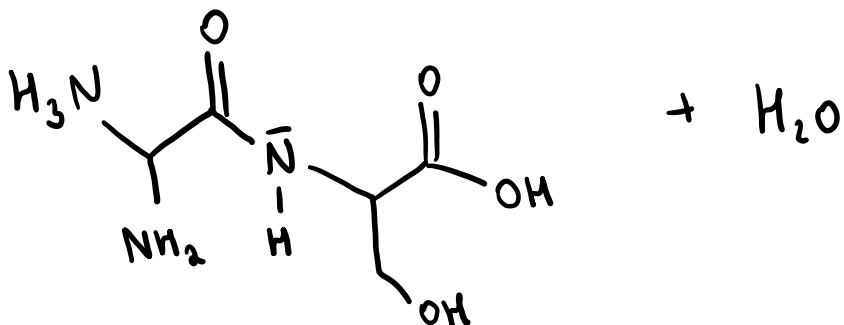


Alanin



Serin

kondensieren lassen:



Name: Felix Schneider Klasse: 4AHIT Datum: 24.10.22

1. Test

1. Zeichen die Strukturformel der D-Fructose in der Fischer-Projektion und markiere die vorliegenden chiralen Zentren farblich. (7P)

* chirales Zentrum 3P
D, weil linkster chirales Zentrum OH rechts hat...

2. In der nachfolgenden Abbildung ist die Idose dargestellt. Gib an, ob es sich um eine Aldohexose, Ketohexose, Aldopentose, Ketopentose, Aldotetrose oder Ketotetrose handelt und gib auch an welches der beiden Monosaccharide in D- und welches in L-Konfiguration vorliegt. Gib auch an in wiefern sich die Idose im chemischen Aufbau von der Fructose unterscheidet. (8P)

Fructose: Ketohexose				Fructose hat ein Keton und manche Alkoholpunktionalitäten sind gespiegelt 8P
Idose: Aldohexose				

D-Aldohexose L-Aldohexose

3. Überführe die D-Idose so in die Haworth-Schreibweise, dass eine Pyranose entsteht. Beginne mit der Fischerprojektion der D-Idose und zeige, welche funktionelle Gruppen der D-Idose reagieren. Gib auch an, ob das Molekül in der α - oder β -Konfiguration vorliegt und begründe dies. (7P)

das eingeschlossene OH reagiert mit dem C, wo der Strich hinzript (später Halbacetal)
 α -D-Idopyranose 3P
 α , weil rechter OH nach (β wäre oben) unten

4. Schreibe die Kondensationsreaktion für zwei D-Idosen an und markiere die glykosidische Bindung farblich. Gib auch an welches Molekül bei dieser Kondensationsreaktion abgespalten wird. (8P)

(Wasser) α -D-Idopyranosyl- β -D-Idopyranosyl 0,5 29FP
Wasser gibt Sauerstoff nicht ab...

Bonusfrage: Erkläre weshalb man unter Wasser kein Feuerzeug benutzen kann. (1P)