

A) Mechanik

A1. Woraus besteht eine physikalische Größe? Welche Grundgrößen des internationalen Einheitensystems kennen Sie? Wie sind sie definiert?

Alle **physikalische Größen** (z.B. Spannung, Arbeit, Druck,...) bestehen aus einer Zahl und einer Einheit, und lassen sich auf die sieben **Grundgrößen** zurückführen. Bei häufiger Verwendung erhalten sie eigene Namen und Einheiten (z.B. Masse · Beschleunigung = Kraft = $1 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} = 1 \text{ N}$ (Newton)).

Grundgröße	Einheit	Definition
<u>Länge</u>	m Meter	1 m ist die Länge der Strecke, die eine ebene Lichtwelle im Vakuum während der Dauer von $1 / 299\,792\,458$ Sekunden durchläuft.
<u>Zeit</u>	s Sekunde	1 s ist die Dauer von $9\,192\,631\,770$ Schwingungen der Strahlung, die beim Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstrukturniveaus des Grundzustandes des Caesiumatoms-133 entsteht.
<u>Masse</u>	kg Kilogramm	1 kg ist gleich Masse des in Sévres bei Paris aufbewahrten internationalen Kilogrammprototyps.
<u>Stromstärke</u>	A Ampere	1 A ist gleich jener Stromstärke, die durch zwei geradlinige unendlich lange Leiter, die in einer Entfernung von 1 m parallel zueinander im leeren Raum angeordnet sind, fließend bewirken würde, dass die beiden Leiter aufeinander eine Kraft von $2 \cdot 10^{-7} \text{ N}$ je 1 m Länge ausüben.
<u>Temperatur</u>	K Kelvin	1 K ist gleich $1 / 273,16$ der Thermodynamischen Temperatur des Tripelpunktes des Wassers.
<u>Lichtstärke</u>	Cd Candela	1 Cd ist gleich der Lichtstärke in Richtung der Normalen einer Fläche von $1 / 600\,000 \text{ m}^2$ Oberfläche des Schweren Körpers bei der Temperatur des unter $101\,326 \text{ Pascal}$ erstarrenden Platins.
<u>Stoffmenge</u>	kmol Kilomol	1 kmol ist gleich der Stoffmenge eines Systems, das aus ebenso vielen Teilchen besteht, wie Atome in 12 kg Kohlenstoff-12 enthalten sind. Das sind $6,022 \cdot 10^{26}$ Teilchen (Loschmidtsche Zahl).

Die Einheiten der Grundgrößen sind durch die Definitionen jederzeit mit einer großen Genauigkeit reproduzierbar.

A2. Was ist ein Koordinatensystem? Was verstehen Sie unter gleichförmig geradliniger und gleichförmig beschleunigter Bewegung? Wie hängen Geschwindigkeit, Beschleunigung, Arbeit, Energie und Leistung mit den Grundgrößen zusammen? Welche dieser Größen sind Vektoren?

Ein **Koordinatensystem** ist durch die Angabe des Koordinatenursprungs, der Richtung der Koordinatenachsen und der Einheiten auf den einzelnen Achsen (Einheitsvektoren) gegeben. Üblicherweise stehen die Koordinatenachsen paarweise aufeinander normal und die Einheitsvektoren sind den einzelnen Achsen gleich lang.

Eine **gleichförmige geradlinige Bewegung** (Translation) ist dann gegeben, wenn in gleichen Zeiten gleiche Wege zurückgelegt werden (doppelte Zeitdauer – doppelte Strecke). Egal welches Zeitintervall untersucht wird, die Geschwindigkeit ist immer dieselbe.

Eine Bewegung, bei der die Beschleunigung (Geschwindigkeitsänderung pro Zeit) konstant ist, nennt man **gleichmäßig beschleunigte Bewegung** (z.B. freier Fall).

Geschwindigkeit= Weg / Zeit,

Beschleunigung= Änderung d. Geschwindigkeit pro Zeit,

Arbeit= Kraft · Weg,

potentielle Energie= Masse · Anziehungskraft · Höhe,

kinetische Energie= (Masse · Geschwindigkeit²)/2 und

Leistung= Arbeit / Zeit.

Vektoren sind Geschwindigkeit und Beschleunigung.

A3. Wie lauten die drei Grundgesetze (Newton'sche Axiome) der Mechanik? Welche Kräfte kennen Sie?

1) Lex Prima (Trägheitsprinzip)

Ein Körper verharrt in seinem Zustand der Ruhe oder der gleichförmigen geradlinigen Bewegung, solange die Summe aller auf ihn einwirkenden Kräfte Null ist.

2) Lex Secunda (Grundgesetz der Mechanik)

Die Änderung der Bewegung ist proportional zur Einwirkung der bewegenden Kraft und geschieht in Richtung jener geraden Linie, in welche diese Kraft wirkt.

3) Lex Tertia (Wechselwirkungsprinzip)

Kräfte treten immer paarweise auf. Übt ein Körper A auf einen anderen Körper B eine Kraft aus (actio), so wirkt eine gleichgroße, aber entgegen gerichtete Kraft von Körper B auf Körper A (reactio).

Kräfte:

Kontaktkräfte (geringe Reichweite: Stoß-, Kompressions-, Kohäsions-, Reibungskräfte),
Fernwirkung (Reichweite unbeschränkt: Gravitations-, elektrische, magnetische Kräfte)

A4. Wie ist die mechanische Arbeit definiert? Beschreiben Sie an Hand von Beispielen die potentielle Energie (Hebearbeit) und die kinetische Energie. Geben Sie die Formeln an und diskutieren Sie, wie diese Energieformen miteinander zusammenhängen. Was ist die Leistung?

Wird durch eine Kraft \vec{F} eine Bewegung um die Strecke \vec{s} hervorgerufen, so nennt man das Produkt aus Kraft und Weg die **Arbeit** W:

$$W = \vec{F} \cdot \vec{s} = |\vec{F}| \cdot |\vec{s}| \cdot \cos \alpha$$

Die Einheit der Arbeit ist $[W] = 1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ Nm} = 1 \text{ Joule (J)}$.

Bsp. für **potentielle Energie**: Specht, dessen Schnabel mit dem 25fachen seiner tatsächlich aufgewendeten Kraft auf den Baum auftrifft (5 cm Ausholweg: F_1 , 2 mm Eindringung in das Holz: F_2) $F_1 \cdot 5 \text{ cm} = F_2 \cdot 2 \text{ mm} \rightarrow F_2 = F_1 \cdot 50 \text{ mm} / 2 \text{ mm} = 25 F_1$.

Bsp. für **kinetische Energie**: Möwe lässt Muschel auf Felsen fallen, um sie aufzubrechen. Beim Steigen erfährt die Muschel potentielle Energie, die beim Fallen jedoch in kinetische Energie umgewandelt wird. Beim Auftreffen auf den Felsen tritt durch die plötzliche Abbremsung auf kurzer Strecke eine so große Kraft auf, dass die Muschel bricht.

Potentielle Energie (Hebearbeit): $E_p = m \cdot g \cdot h$

Kinetische Energie (Bewegungsenergie): $E_k = m \cdot v^2 / 2$

Der **Zusammenhang** besteht darin, dass potentielle Energie in kinetische Energie umgewandelt werden kann und beide Energieformen gespeicherte Arbeit darstellen.

Die **Leistung P** beurteilt die Schnelligkeit, mit der eine Arbeit verrichtet wird. Leistung ist die pro Zeit Δt verrichtete Arbeit ΔW : $P = \Delta W / \Delta t$

Die Einheit ist $[P] = 1 \text{ J} / 1 \text{ s} = 1 \text{ Watt (W)}$.

A10. Was passiert wenn Sie ein schwingungsfähiges System (z.B. einen Getreidehalm) mit Frequenzen anregen, die weit unterhalb, nahe bei, oder weit oberhalb seiner Eigenfrequenz liegen? Wie ändert sich die Eigenfrequenz, wenn durch Hagel ein Teil der Getreidekörner abgefallen, der Halm aber stehen geblieben ist?

Liegt die Erregungsfrequenz ω **weit unterhalb** oder **weit oberhalb** der Eigenschwingung ω_0 des Systems, ist die Amplitude nur klein.

Liegt die Erregungsfrequenz ω **in der Nähe** der Eigenschwingung ω_0 des Systems, so ist die Amplitude der erzwungenen Schwingung trotz gleich bleibender Erregung wesentlich größer. Man nennt diese Erscheinung Resonanz (Getreidehalm knickt meist wegen Resonanz).

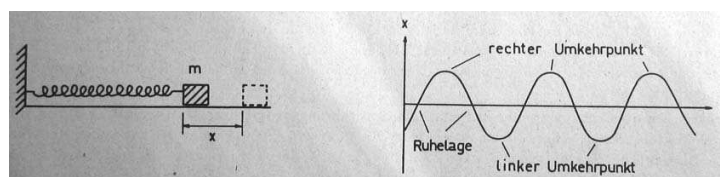
Falls ein Teil der **Getreidekörner abfällt**:

Winkelgeschwindigkeit (=Kreisfrequenz) ω wird größer, da die Masse m kleiner wird ($\omega = \sqrt{k / m}$), die Frequenz ist $f = \omega / 2\pi$. Da ω größer wird, wird die Eigenfrequenz auch größer, da die Federkonstante k gleich bleibt (der Halm ist noch immer gleich elastisch).

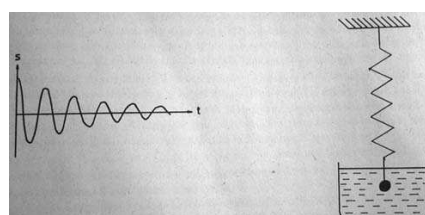
A12. Diskutieren Sie die Begriffe: harmonische Schwingung, gedämpfte Schwingung, erzwungene Schwingung und Schwebung?

Ein schwingungsfähiges System besteht aus einer Masse, die bei Auslenkung aus der Ruhelage in diese zurückgezogen wird. Je weiter die Auslenkung, desto größer die rücktreibende Kraft.

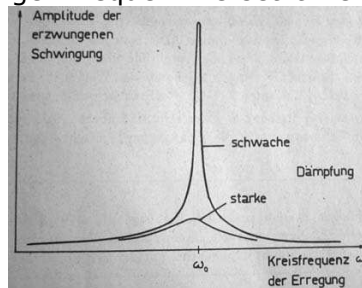
Harmonische Schwingungen treten überall dort auf, wo eine Masse durch eine elastische Kraft in der Ruhelage gehalten wird. Bei Entfernung aus der Ruhelage wird die rücktreibende Kraft proportional der Auslenkung aus der Ruhelage größer. Die dadurch auftretende Schwingung ist im Weg-Zeit-Diagramm eine Sinusfunktion. Die Schwingungsdauer hängt nicht von der Schwingungsweite (Amplitude), sondern nur von der Größe der rücktreibenden Kraft und der Masse ab. Beim Schwingungsvorgang tritt die Schwingungsenergie abwechselnd in elastischer (potentieller) und in kinetischer Energie auf. Bei strenger Proportionalität zwischen Auslenkung aus der Ruhelage und rücktreibender Kraft spricht man von einer harmonischen Schwingung.



Tritt bei einem schwingungsfähigen System zusätzlich Reibung auf, so wird durch die Reibung ständig Schwingungsenergie in Wärme umgewandelt, die nicht mehr in mechanische Energie rückwandelbar ist, daher nimmt die Amplitude der Schwingung im Laufe des Schwingungsvorganges ab und die Amplitude wird immer kleiner. Es entsteht eine **gedämpfte Schwingung**, die Amplitude nimmt exponentiell mit der Zeit ab.



Ein schwingungsfähiges System kann durch von außen wirkende Kräfte zu **erzwungenen Schwingungen** angeregt werden. Resonanz ist das starke Mitschwingen eines wenig gedämpften Schwingungssystems, wenn es durch schwache periodische Kräfte zu Schwingungen angeregt wird. Besonders hohe Amplitude der erzwungenen Schwingung tritt bei jener Frequenz auf, bei der das schwingungsfähige System von selbst schwingen würde (Resonanzfrequenz). Die Amplitude der Resonanzschwingung kann bei geringer Dämpfung sehr groß werden. Diese große Amplitude wird deshalb erreicht, weil durch die Erregung dem System jeweils im richtigen Augenblick Energie zugeführt wird und im schwingungsfähigen System in Schwingungsenergie gespeichert wird. Jedes schwingungsfähige System kann durch erzwungene Schwingungen mit Gewalt in Schwingungen beliebiger Frequenz versetzt werden.



Die Zusammensetzung von Schwingungen mit fast gleichen Frequenzen ergibt sich eine Schwingung, deren Amplitude periodisch ansteigt und abfällt mit einer mittleren Frequenz (**Schwebung**). Die Schwebungsdifferenz ist Differenz der beiden Frequenzen.

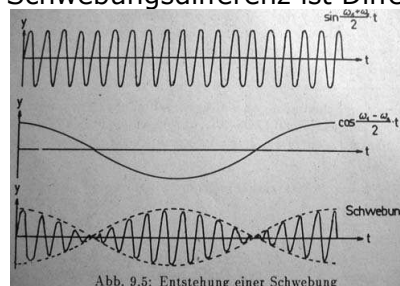


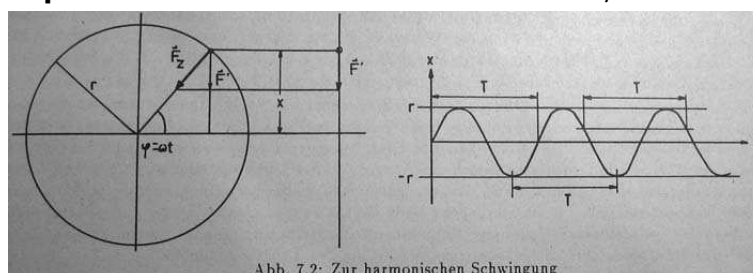
Abb. 9.5: Entstehung einer Schwebung

A13. Erklären Sie die Begriffe: Schwingungsdauer, Frequenz, Kreisfrequenz, Wellenlänge, Phasengeschwindigkeit, Amplitude, Elongation. Geben Sie zwischen den oben angegebenen Größen insgesamt 3 Beziehungen an.

Die Geschwindigkeit, mit der sich ein Welle (=Schwingungszustand) ausbreitet, wird **Phasengeschwindigkeit** c genannt. $c = \lambda \cdot f$

Der Abstand zweier benachbarter Punkte, die im selben Schwingungszustand sind, ist die **Wellenlänge** λ .

Die Winkelgeschwindigkeit ω einer Drehbewegung bestimmt wie welcher Winkel φ in der Zeit t überstrichen wird. Bei Schwingungen wird anstatt Winkelgeschwindigkeit der Ausdruck **Kreisfrequenz** ω verwendet. $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot \pi / T$

Abb. 7.2: Zur harmonischen Schwingung
harmonische Schwingung

Man bezeichnet die Entfernung x von der Ruhelage als die **Elongation**. Sie schwankt zwischen den Werten $+r$ und $-r$ (da die Winkelfunktionen zwischen $+1$ und -1 schwanken).

Die maximale Elongation wird die **Amplitude** r genannt.

Die **Schwingungs- oder Periodendauer** T ist jene Zeit nach der erneut eine Wiederholung des abgelaufenen Schwingungsvorganges stattfindet.

Die **Frequenz** f stellt die Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde dar. $f = 1 / T$

A14. Was ist Resonanz? Unter welchen Bedingungen tritt sie auf? Wie kann sie möglichst verhindert werden? Geben Sie zwei Beispiele für „Resonanzkatastrophen“ an.

Ein schwingungsfähiges System kann durch von außen wirkende Kräfte zu erzwungenen Schwingungen angeregt werden. **Resonanz** ist das starke Mitschwingen eines wenig gedämpften Schwingungssystems, wenn es durch schwache periodische Kräfte zu Schwingungen angeregt wird.

Eine besonders hohe Amplitude **tritt** bei jener Frequenz **auf**, bei der das System von selbst schwingen würde (Resonanzfrequenz ω_0). Die Amplitude der Resonanzschwingung kann bei geringer Dämpfung sehr groß werden. Diese große Amplitude wird deshalb erreicht, weil durch die Erregung dem System jeweils im richtigen Augenblick Energie zugeführt wird und im schwingungsfähigen System in Schwingungsenergie gespeichert wird.

Resonanz kann durch Schwingungsdämpfer (Element, das die Reibung erhöht) **verhindert** werden: Die Schwingungsenergie wird ständig in Wärme umgewandelt und die Amplitude sinkt. Es entsteht eine gedämpfte Schwingung. (siehe Abb. erzwungene Schwingung)

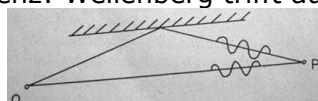
- 1) Bauwerk, dessen zulässige Zugspannung durch die starke Dehnung infolge hoher Amplitude überschritten wird.
- 2) Getreidehalm, der durch periodische Luftwirbel überbeansprucht wird und abbricht.

A15. Erklären Sie kurz die Begriffe: Schwebung, Resonanz, Interferenz, Longitudinalwelle und Transversalwelle.

Werden Schwingungen fast gleicher Frequenz zusammengesetzt, so entsteht eine periodisch stärker und schwächer werdende Schwingung mit einer mittleren Frequenz (**Schwebung**).

Resonanz ist das starke Mitschwingen eines wenig gedämpften Schwingungssystems, wenn es durch schwache periodische Kräfte zu Schwingungen angeregt wird. Eine besonders hohe Amplitude tritt bei jener Frequenz auf, bei der das System von selbst schwingen würde. Es wird im richtigen Moment Energie zugeführt und im schwingungsfähigen System als Schwingungsenergie gespeichert.

Interferenz ist die gegenseitige Verstärkung oder Auslöschung von Wellen. Eine Welle, die von einem Punkt Q ausgeht und auf verschiedenen Wegen zum Punkt P gelangt. Der eine Weg kann z.B. der direkte Weg sein, der andere durch Reflexion an einer Wand entstehen. Im Punkt P mögen die Wellen wieder zusammentreffen, dh die Teilchen führen dort sowohl die Schwingungen aufgrund der ersten als auch aufgrund der zweiten Welle aus. Wegen des längeren Weges durch die Reflexion an der Wand ist die zweite Welle verspätet und die Schwingungen, die von der zweiten Welle ausgeführt werden, haben somit eine Phasenverschiebung (konstruktive Interferenz: Wellenberg trifft auf Wellenberg; destruktive Interferenz: Wellenberg trifft auf Wellental).



Bei einer fortschreitenden Welle kann die Schwingung normal zur Ausbreitungsrichtung (**Transversalwelle**) oder parallel zur Ausbreitungsrichtung (**Longitudinalwelle**) erfolgen. Bei transversalen Wellen entstehen aufgrund der Auf- und Abbewegungen Wellenberge und Wellentäler, bei der Longitudinalwelle aufgrund der Vor- und Rückwärtsbewegung Verdichtungen und Verdünnungen. Longitudinale Wellen sind in jedem Medium, Transversalwellen nur in Festkörpern und an Grenzschichten zweier Medien möglich.

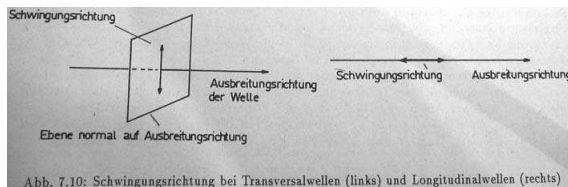


Abb. 7.10: Schwingungsrichtung bei Transversalwellen (links) und Longitudinalwellen (rechts)

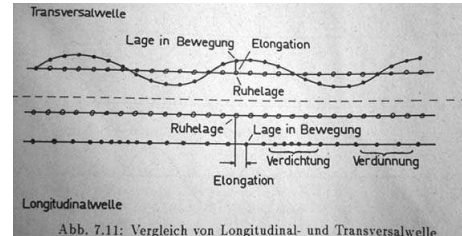


Abb. 7.11: Vergleich von Longitudinal- und Transversalwelle

A16. Unter welchen Umständen kann Resonanz auftreten? Wovon hängt die Amplitude der Resonanzschwingung ab?

Liegt die Erregungsfrequenz ω weit unterhalb oder weit oberhalb der Eigenschwingung ω_0 des Systems, ist die Amplitude nur klein. Liegt die Erregungsfrequenz ω in der Nähe der Eigenschwingung ω_0 des Systems, so ist die Amplitude der erzwungenen Schwingung trotz gleichbleibender Erregung wesentlich größer. Man nennt diese Erscheinung **Resonanz**.

Die **Amplitude** der Resonanzschwingung kann bei geringer Dämpfung sehr groß werden. Diese große Amplitude wird deshalb erreicht, weil durch die Erregung dem System jeweils im richtigen Augenblick Energie zugeführt wird und im schwingungsfähigen System in Schwingungsenergie gespeichert wird.

A17. Erklären Sie folgende Begriffe: Schwebung, Resonanz, Resonanzkatastrophe, harmonische Schwingung, Schwingungsdämpfer.

Werden Schwingungen fast gleicher Frequenz zusammengesetzt, so entsteht eine periodisch stärker und schwächer werdende Schwingung mit einer mittleren Frequenz (**Schwebung**). Die Schwebungsdifferenz ist Differenz der beiden Frequenzen.

Resonanz ist das starke Mitschwingen eines wenig gedämpften Schwingungssystems, wenn es durch schwache periodische Kräfte zu Schwingungen angeregt wird. Eine besonders hohe Amplitude tritt bei jener Frequenz auf, bei der das System von selbst schwingen würde. Es wird im richtigen Moment Energie zugeführt und im schwingungsfähigen System als Schwingungsenergie gespeichert.

Eine **Resonanzkatastrophe** entsteht, wenn aufgrund von Resonanz die Amplitude zu groß wird und das Objekt (z.B. Bauwerk) aufgrund der großen Schwingungsweite die zulässige Zugspannung überschreitet und abbricht bzw. einstürzt.

Schwingungsdämpfer sind Elemente, die Reibung haben und somit die Schwingungsenergie durch eben diese Reibung in Wärmeenergie umwandeln. Die Schwingungsenergie wird ständig in Wärme umgewandelt und die Amplitude sinkt.

Bei strenger Proportionalität zwischen Auslenkung aus der Ruhelage und rücktreibender Kraft spricht man von einer **harmonischen Schwingung**.

A19. Warum steht eine Flüssigkeitsoberfläche stets normal zur wirkenden Kraft? Warum ist der Druck einer Flüssigkeit normal zur Fläche? Was ist der Gewichtsdruck und wie kommt er zustande? Wie kommt es zum Auftrieb? Was ist der Staudruck?

Jede ruhende Flüssigkeit hat eine Oberfläche, die stets **normal** zu einer wirkenden Kraft ist.

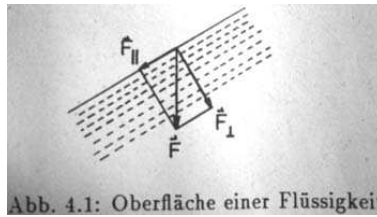


Abb. 4.1: Oberfläche einer Flüssigkeit

Wirkt nämlich eine Kraft F auf ein Molekül ein, dann kann sie in eine Komponente F_{\perp} normal zur Oberfläche und eine Komponente F_{\parallel} parallel zur Oberfläche zerlegt werden. Da Moleküle in einer Flüssigkeit beliebig verschiebbar sind, gleiten sie unter der Wirkung der Kraft, die parallel zur Oberfläche wirkt, an dieser solange entlang, bis die Flüssigkeitsoberfläche normal zur wirkenden Kraft ist. Analog wirkt auch die Kraft einer Flüssigkeit auf die Wand des Gefäßes stets normal dazu, da sonst eine Verschiebung entlang der Wand erfolgen würde.

Auch unter dem Einfluss der Schwerkraft entsteht in einer Flüssigkeit ein **Druck**. Er ergibt sich dadurch, dass das Gewicht aller Moleküle über der Bodenfläche lastet. Über der Fläche A bis zur Höhe h liegt das Volumen $V = A \cdot h$,

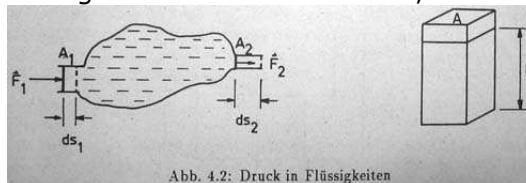


Abb. 4.2: Druck in Flüssigkeiten

die Masse der Flüssigkeit somit $m = \rho \cdot A \cdot h$ (ρ ist die Dichte der Flüssigkeit, die Masse pro Volumen). Die Kraft, mit der die Flüssigkeit drückt, ergibt sich durch Multiplikation mit der Erdbeschleunigung g:

$$F = \rho \cdot g \cdot A \cdot h \quad \text{daher ist der **Gewichtsdruck** } p = F / A = \rho \cdot g \cdot h$$

Der Druck hängt von der Höhe der Flüssigkeitsschicht über dem betrachteten Punkt und der Dichte der Flüssigkeit ab. Er nimmt in einer Flüssigkeit mit der Tiefe zu.

Diese Zunahme des Druckes mit der Tiefe ist der Grund für das Auftreten des **Auftriebes**. Der eingetauchte Körper verdrängt das Wasservolumen V der Masse $\rho \cdot V$. Die Kraft, mit der das verdrängte Wasser von der Erde angezogen wird, ist $\rho \cdot g \cdot V$. Daher ist die Auftriebskraft gleich dem Gewicht (Schwerkraft) des vom Körper verdrängten Flüssigkeitsvolumens. Hat der eintauchende Körper eine höhere Dichte als die Flüssigkeit, sinkt er ab. Ist seine Dichte kleiner, steigt er auf. Sind die Dichten gleich, schwebt der Körper in jeder beliebigen Lage.

Bei großen Strömungsgeschwindigkeiten von ist nur mehr der Druck, der beim Abbremsen der Flüssigkeit entsteht, maßgebend für die Reibungskraft. Der Druck beim Abbremsen einer Flüssigkeit (Staudruck) ergibt sich aus der Bernoullischen Gleichung, er ist $p = (\rho \cdot v^2) / 2$

A20. Welche Form hat ein Wassertropfen wenn keine äußere Kraft auf ihn wirkt? Durch welche Kräfte kommt die „Tropfenform“ eines fallenden Wassertropfens zustande? Haben ganz kleine Tröpfchen (z.B. $50 \mu\text{m}$) Tropfenform? Begründen Sie Ihre Antwort.

Tropfen, auf die so gut wie keine äußere Kraft wirkt, sind durch die Molekularkräfte im Inneren (Van der Waals - Kräfte), die in alle Richtungen mit gleicher Stärke wirken, kugelförmig. Um eine Oberfläche zu bilden, wird Arbeit geleistet (Oberflächenspannung), die Kugelform hat die geringste Oberfläche.

Die Tropfenform eines **fallenden Tropfens** kommt durch Reibungs- und Anziehungskräfte zustande.

Ganz kleine Tropfen sind kugelförmig, weil im Gegensatz zu großen Tropfen kaum Arbeit durch mehr weiter unten befindliche Teile einsparen würden (siehe Frage 23).

A23. Warum nehmen kleine Wassertropfen Kugelgestalt an, während größere Tropfen auf einer nicht benetzenden Fläche „zusammengedrückt“ aussehen? Was ist verantwortlich dafür, dass eine Flüssigkeit benetzend oder nicht benetzend ist? Machen Sie eine Skizze mit den auftretenden Kräften.

In der Oberfläche einer Flüssigkeit ist potentielle Energie gespeichert (wird Arbeit geleistet). Daher ist jede Flüssigkeitsoberfläche, die hauptsächlich unter dem Einfluss der Oberflächenspannung steht (z.B. nicht benetzende kleine Tropfen, bei denen die Wirkung der Schwerkraft klein ist), bestrebt, jene Form anzunehmen, bei der die geringste potentielle Energie auftritt (allgemeines Prinzip). Bei gegebenem Volumen hat die **Kugel** die kleinste Oberfläche, daher sind Nebeltropfen kugelförmig, Wassertropfen auf nicht benetzenden Unterlagen (z.B. auf Teflon oder auf Vogelfedern) ebenfalls.

Große nichtbenetzende Tropfen sind jedoch nicht kugelförmig („**zusammengedrückt**“), da dann auch die Energie der Lage eine Rolle spielt. Wenn höhere Schichten des Tropfens etwas näher der Auflagenfläche liegen, haben sie daher geringere potentielle Energie. Dadurch hat der Tropfen zwar größere Oberfläche, daher größere Oberflächenenergie, aber der Gewinn an potentieller Energie überwiegt.

Die unmittelbar an die Gefäßwand anstoßenden Flüssigkeitsteilchen werden von der Gefäßwand angezogen (Kraft F_1).

Durch die molekularen Anziehungskräfte innerhalb der Flüssigkeit (Molekularkräfte) wirkt auf ein Teilchen an der Oberfläche in unmittelbarer Nähe der Wand eine Kraft (Kraft F_2).

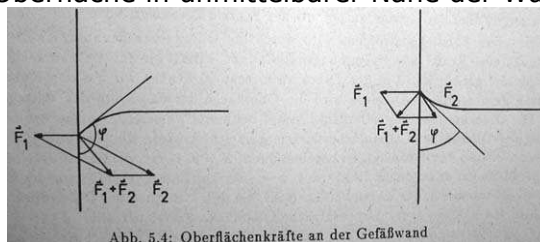


Abb. 5.4: Oberflächenkräfte an der Gefäßwand

nicht benetzend

benetzend

Bei einer **nicht benetzenden Flüssigkeit** sind die Anziehungskräfte innerhalb der Flüssigkeit größer als jene der Gefäßwand. Der Randwinkel ist größer als 90 Grad.

Bei einer **benetzenden Flüssigkeit** überwiegt die anziehende Kraft der Gefäßwand. Der Randwinkel ist geringer als 90 Grad.



Abb. 5.5: Grenzwinkel bei benetzenden und nicht benetzenden Flüssigkeiten

Benetzend oder nicht benetzend hängt sowohl von der Eigenschaft der Wand / Boden als auch der Flüssigkeit ab. Wird die Anziehungskraft der Wand verringert, so kann aus einer benetzenden Flüssigkeit eine nichtbenetzende werden. Zum Beispiel durch Einfetten der Oberfläche (Schwimmvögel!). Umgekehrt kann eine Flüssigkeit benetzend werden, wenn ihre Oberflächenspannung herabgesetzt wird. Zum Beispiel durch Beigabe von Waschmittel zu Wasser.

A24. Wie verhält sich eine Flüssigkeit in einer Kapillare? Erklären Sie dieses Verhalten anhand einer einfachen Skizze. Wovon hängt der sich einstellende Flüssigkeitsspiegel ab? Was verstehen Sie unter benetzender Flüssigkeit und was unter nichtbenetzender Flüssigkeit?

In **dünnen Rohren** steigen benetzende Flüssigkeiten auf, bzw. sinken nicht benetzende Flüssigkeiten. Betrachten wir eine Röhre, die mit Flüssigkeit bis zu einer bestimmten Höhe gefüllt ist. Die Wasseroberfläche schließt mit der Rohrwandung den Grenzwinkel φ

ein. Die Oberflächenkraft wirkt entlang der Wasseroberfläche unter dem Winkel φ zur Wand schräg nach außen. Ihre Größe ergibt sich als Produkt von Oberflächenspannung γ , und Länge l (l ist gleich dem Umfang des Rohres) der benetzten Rohrwand. Da die Kraft schräg nach oben wirkt, kann man sie in vertikale und eine horizontale Komponente zerlegen. Da die horizontalen Komponenten einander gegenüber liegen und gleich groß sind, löschen sie einander aus und übrige bleibt nur mehr die vertikale Kraft, die die Flüssigkeit so lange nach oben zieht, bis durch das Gewicht $m \cdot g$ eine gleich große Gegenkraft erzeugt wird. (Erklärung für benetzende Flüssigkeiten)

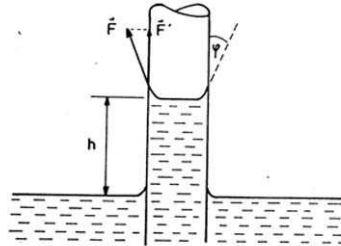


Abb. 5.6: Steigen einer Flüssigkeit in einer Kapillaren

Bei nicht benetzenden Flüssigkeiten kann die Kapillare in die Flüssigkeit getaucht werden und sie steigt nicht hoch.

A25. Was ist die Oberflächenspannung und wie kommt sie zustande? Wann und warum sind manche Flüssigkeiten benetzend und manche nichtbenetzend? Führen Sie Beispiele an wo die Oberflächenspannung eine wichtige Rolle spielt?

An jeder Stelle der Oberfläche werden die Moleküle in die Flüssigkeit hineingezogen, drücken auf darunter liegende Moleküle und erzeugen so eine Kraft nach innen. Soll die Flüssigkeitsoberfläche vergrößert werden, müssen Moleküle an die Oberfläche gebracht werden und es muss Arbeit gegen die wirkenden Kräfte verrichtet werden. Diese Arbeit ist in der vergrößerten Oberfläche gespeichert und wird spezifische Oberflächenenergie genannt (=Oberflächenspannung).

Bei einer nicht **benetzenden Flüssigkeit** sind die Anziehungskräfte innerhalb der Flüssigkeit größer als jene der Gefäßwand. Der Randwinkel ist größer als 90 Grad.

Bei einer benetzenden **Flüssigkeit** überwiegt die anziehende Kraft der Gefäßwand. Der Randwinkel ist geringer als 90 Grad.

Benetzend oder nicht benetzend hängt sowohl von der Eigenschaft der Wand als auch der Flüssigkeit ab. Wird die Anziehungskraft der Wand verringert, so kann aus einer benetzenden Flüssigkeit eine nichtbenetzende werden. Zum **Beispiel** durch Einfetten der Oberfläche (Schwimmvögel!). Umgekehrt kann eine Flüssigkeit benetzend werden, wenn ihre Oberflächenspannung herabgesetzt wird. Zum Beispiel durch Beigabe von Waschmittel zu Wasser.

A26. Wie kommt die Oberflächenspannung zustande? Erklären Sie anhand von drei Beispielen, welche Wirkung die Oberflächenspannung hervorrufen kann. Wodurch kann eine Flüssigkeit benetzend gemacht werden?

An jeder Stelle der Oberfläche werden die Moleküle in die Flüssigkeit hineingezogen, drücken auf darunter liegende Moleküle und erzeugen so eine Kraft nach innen. Soll die Flüssigkeitsoberfläche vergrößert werden, müssen Moleküle an die Oberfläche gebracht werden und es muss Arbeit gegen die wirkenden Kräfte verrichtet werden. Diese Arbeit ist in der vergrößerten Oberfläche gespeichert und wird spezifische Oberflächenenergie genannt (=Oberflächenspannung).

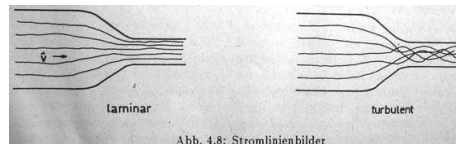
Umgekehrt kann eine Flüssigkeit **benetzend werden**, wenn ihre Oberflächenspannung herabgesetzt wird.

- 1) Zum Beispiel durch Beigabe von Waschmittel zu Wasser.
- 2) Spritzmittel nützen die Eigenschaft der Kapillarität, indem sie durch ihre sehr gute Benetzung in die Trachäen der Insekten eindringen und Atmung unmöglich machen.
- 3) Um zu atmen müssen Lungenbläschen entgegen des Drucks der Oberflächenspannung aufgeblasen werden. Durch ein Lipoprotein in der Lunge wird die Oberflächenspannung vermindert. Fehlt dieses, ist Atmung nahezu unmöglich.
- 4) Schwimmvögel verringern durch Fettüberzug die Anziehungskraft ihrer Federn. Somit überwiegen die Molekularkräfte des Wassers und es ist nicht benetzend.

A27. Eine Flüssigkeit strömt durch eine Rohr, das eine Verengung enthält. In der Flüssigkeit befinden sich einige Gasblasen. Werden diese in der Verengung schneller oder langsamer, größer oder kleiner oder ändert sich nichts? Begründen Sie ihre Antwort.

Da es durch die Verengung zu einer Verdichtung der Stromlinien kommt, werden auch die **Gasblasen** schneller. Außerdem wird der Druck geringer und die Gasblasen größer.

A34. Wodurch unterscheidet sich eine laminare von einer turbulenten Strömung? Wie sind Lebewesen gebaut, für die Bewegung durch das Medium ihres Lebensraums einer laminaren bzw. turbulenten Strömung entspricht? Welche „Zahl“ gibt uns Auskunft darüber, ob eine Strömung laminar oder turbulent ist?



Stromlinien zeigen die Bahn eines angenommenen Teilchens während der Strömung an, die Geschwindigkeit ist umso größer, je dichter die Stromlinien sind.

Besteht das Stromlinienbild größtenteils aus zueinander parallelen, jedoch nicht verschlungenen Stromlinien, handelt es sich um eine **laminare Strömung**.

Das Gegenteil dazu ist eine **turbulente Strömung**, bei der es vielfach nicht möglich ist, die Stromlinie zu verfolgen. Laminare Strömungen treten bei langsamen Bewegungen auf, turbulente bei raschen Bewegungen.

Die „**Reynoldszahl**“ (Re) stellt das Verhältnis zwischen Reibungskräften und Trägheitskräften dar und zeigt welcher dieser beiden Kräfte überwiegt. Je größer die Reynoldszahl ist, desto größer ist der Beitrag der Trägheits- (Turbulenz-)kräfte. Größere Reynoldszahlen können nicht nur durch große Geschwindigkeiten, sondern auch durch große Abmessungen oder sehr geringe Zähigkeiten (Luft statt Wasser) erreicht werden.

$$Re = (\rho \cdot v \cdot d) / \eta$$

[p...Dichte, v...Geschwindigkeit, d...Durchmesser/charakteristische Größe, η ...Zähigkeit der Flüssigkeit/des Gases]

Bei geringen Reynoldszahlen (**laminar**) treten kaum Wirbel auf, daher ist keine Stromlinienform notwendig -> z.B. Wimperntierchen 0.1, Mücke 150.

Bei hohen Reynoldszahlen (**turbulent**) ist eine Stromlinienform immens wichtig, da hier auftretende Wirbel minimiert werden -> z.B. Vögel $10^4 \dots 10^5$, Wale $10^7 \dots 10^8$.

A35. Welches Kriterium verwendet man um abzuschätzen, ob eine Strömung laminar oder turbulent sein wird? Welche Rolle spielt die Körperform bei Tieren, die sich in einem laminaren bzw. turbulenten Medium bewegen? Wie lässt sich der Strömungswiderstand bei turbulenter Strömung vermindern? Bringen Sie einige biologische Beispiele.

Die „**Reynoldszahl**“ (Re) stellt das Verhältnis zwischen Reibungskräften und Trägheitskräften dar und zeigt welcher dieser beiden Kräfte überwiegt. Je größer die Reynoldszahl ist, desto größer ist der Beitrag der Trägheits- (Turbulenz-)kräfte.

Bei geringen Reynoldszahlen (**laminar**) treten kaum Wirbel auf, daher ist keine Stromlinienform notwendig -> z.B. Mücke. Bei hohen Reynoldszahlen (**turbulent**) ist eine Stromlinienform immens wichtig, da hier auftretende Wirbel minimiert werden -> z.B. Vögel, Wale.

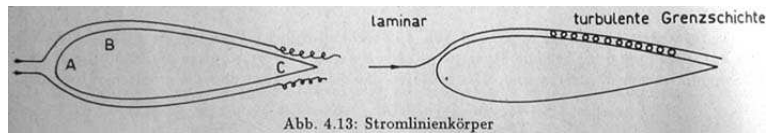


Abb. 4.13: Stromlinienkörper

Der Stromlinienkörper hat aufgrund seiner speziellen Formgebung einen sehr geringen Widerstandsbeiwert. Der Weg von B nach C ist im Gegensatz zur Kugel sehr lang. Daher steigt der Druck langsam an, das Ablösen der Grenzschicht und somit das Einsetzen von Wirbeln erfolgt möglichst weit hinten auf einer sehr kleinen Fläche. Daher wird der Reibungswiderstand geringer. Bei großen Reynoldszahlen ist es die wichtigste Aufgabe, zur Verringerung des Luftwiderstandes zumindest teilweise eine möglichst laminare Strömung zu erhalten und die Ablösung der Grenzschicht zu verhindern oder zu verzögern. Der Anfang einer Strömung ist fast immer laminar erst später tritt das Ablösen der Strömung auf. Dies lässt sich vermeiden, wenn die unmittelbare Grenzschicht turbulent ist, dh die Grenzschicht aus einer ganz dünnen Schicht von Wirbeln besteht. Bei **Tieren** wirken Schuppen, Fell oder Federkiele als Turbulenzgeneratoren, die Strömung gleitet dann auf der Grenzschicht weiter und bleibt stabil.

A42. Beschreiben Sie die Unterschiede einer laminaren und einer turbulenten Strömung um ein Hindernis. Welche zwei Kräfte sind dafür verantwortlich, welche überwiegen in welchem Fall? Definieren Sie die Reynolds Zahl.

Bei der **laminaren Strömung** verlaufen die Stromlinien parallel und sind nicht verschlungen, bei der **turbulenten** sind die Stromlinien verwirbelt.

Kräfte: Zeit, Geschwindigkeit. Laminare Strömungen treten im Allgemeinen bei langsamen Geschwindigkeiten auf, turbulente bei schnellen.

Die „**Reynoldszahl**“ (Re) stellt das Verhältnis zwischen Reibungskräften und Trägheitskräften dar und zeigt welcher dieser beiden Kräfte überwiegt. Je größer die Reynoldszahl ist, desto größer ist der Beitrag der Trägheits-/Turbulenzkräfte.

A43. Durch welches Gesetz wird die laminare Strömung einer Flüssigkeit oder eines Gases durch ein Rohr beschrieben? Welches Gesetz beschreibt das Sinken eines Körpers in einem viskosen Medium? Diskutieren Sie diese Gesetze.

Hagen-Poiseuillesches Gesetz: Bei einer Strömung durch eine Röhre haftet die äußere Schicht der Flüssigkeit an der Rohrwand. Damit die an die Wand unmittelbar anliegende Schicht vorbeiströmt, erzeugt der Druck eine Kraft, die der am Rand anliegenden Schicht eine Geschwindigkeit erteilt. Die Schicht, die an dieser Schicht weiter innen anliegt, kann dann aufgrund derselben Druckkraft mit einer größeren Geschwindigkeit strömen usw. Die mittlere Schicht wird daher am schnellsten strömen (parabolisches Geschwindigkeitsprofil!).

Die Strömung durch eine Röhre mit Radius R und Länge l bei einer gegebenen Druckdifferenz Δp errechnen. Pro Zeit strömt durch die Röhre das Volumen:

$$V = (\pi \cdot \Delta p \cdot R^4) / (8 \cdot \eta \cdot l)$$

Lässt man einen Körper in eine zähe Flüssigkeit fallen (z.B. Honig), so fällt der Körper langsam mit konstanter Geschwindigkeit zu Boden. Da abgesehen vom Beginn der Bewegung keine Beschleunigung erfolgt, muss die Reibungskraft während der Bewegung entgegengesetzt gleich der Gewichtskraft sein. Für die Beschreibung der Bewegung ist es

gleichgültig, ob wir eine Kugel betrachten, die durch die Flüssigkeit mit einer bestimmten Geschwindigkeit bewegt wird, oder ob wir die Kugel als ruhenden annehmen und die Flüssigkeit mit dieser Geschwindigkeit vorbeiströmen lassen. Für die Reibungskraft einer Kugel in einem zähen Medium ergibt sich das **Stokessche Gesetz**: $F = 6 \pi \eta \cdot r \cdot v$
 η ...Zähigkeit, r ...Radius, v ...Geschwindigkeit

Sie hängt von der Größe der Kugel, der Geschwindigkeit und der Zähigkeit des Mediums ab. Bei anderen Formen d. Gegenstandes wird r von der volumsäquivalenten Kugel angenommen und mit dem Formfaktor k multipliziert.

A44. Beschreiben Sie laminare und turbulente Strömungen bezüglich der wirkenden Kräfte, der Stromlinienbilder und des Strömungswiderstandes bei einer gegebenen Geschwindigkeit. Warum spielt die Körperform für kleine Tiere, z.B. Insekten, keine Rolle, für große, z.B. Adler, schon?

Die „**Reynoldszahl**“ (Re) stellt das Verhältnis zwischen Reibungskräften und Trägheitskräften dar und zeigt welcher dieser beiden Kräfte überwiegt. Je größer die Reynoldszahl ist, desto größer ist der Beitrag der Trägheits-/Turbulenzkräfte.

Bei geringen Reynoldszahlen (**laminar**) treten kaum Wirbel auf, daher ist keine Stromlinienform notwendig -> z.B. Mücke.

Bei hohen Reynoldszahlen (**turbulent**) ist eine Stromlinienform immens wichtig, da hier auftretende Wirbel minimiert werden -> z.B. Vögel, Wale.

Der Strömungswiderstand bei turbulenter Strömung lässt sich durch eine unmittelbare turbulente Grenzschicht, d.h. eine dünne Schicht aus Wirbeln, minimieren. Dadurch gleitet die Strömung dann auf dieser Grenzschicht weiter und bleibt stabil. Bei Tieren wirken Schuppen, Fell oder Federkiele als **Turbulenzgeneratoren**.

Bei geringen Reynoldszahlen (geringe Geschwindigkeit, **geringe Abmessungen**) treten kaum Wirbel auf, daher spielt die Form des Körpers eine untergeordnete Rolle.

Bei großen Reynoldszahlen (höhere Geschwindigkeit, **größere Abmessungen**) wird es ab dem höchsten Punkt der Kugel zu Grenzschichtablösungen und Wirbelbildung kommen. Dieser Effekt wird mit zunehmender Geschwindigkeit größer.

A45. Beschreiben Sie die Strömung um einen Körper, z.B. einer Kugel, bei großer und bei kleiner Reynolds Zahl. Was ist die Reynolds Zahl?

Die „**Reynoldszahl**“ (Re) stellt das Verhältnis zwischen Reibungskräften und Trägheitskräften dar und zeigt welcher dieser beiden Kräfte überwiegt. Je größer die Reynoldszahl ist, desto größer ist der Beitrag der Trägheits-/Turbulenzkräfte.

Bei **geringen Reynoldszahlen** (laminar) treten kaum Wirbel auf, daher ist keine Stromlinienform notwendig -> z.B. Mücke.

Bei **hohen Reynoldszahlen** (turbulent) ist eine Stromlinienform immens wichtig, da hier auftretende Wirbel minimiert werden -> z.B. Vögel, Wale.

Bei geringen Reynoldszahlen (geringe Geschwindigkeit, geringe Abmessungen) treten kaum Wirbel auf, daher spielt die Form des Körpers eine untergeordnete Rolle. Bei großen Reynoldszahlen (höhere Geschwindigkeit, größere Abmessungen) wird es ab dem höchsten Punkt der Kugel zu Grenzschichtablösungen und Wirbelbildung kommen. Dieser Effekt wird mit zunehmender Geschwindigkeit größer.

A46. Was ist eine harmonische, eine gedämpfte und eine erzwungene Schwingung?

Ein schwingungsfähiges System mechanisches System besteht aus einer Masse, die bei Auslenkung aus der Ruhelage in diese zurückgezogen wird. Je weiter die Auslenkung, desto größer die rücktreibende Kraft.

Bei strenger Proportionalität zwischen Auslenkung aus der Ruhelage und rücktreibender Kraft spricht man von einer **harmonischen Schwingung**.

Im Realfall wird die Energie einer Schwingung durch Reibung in Wärmeenergie umgewandelt, die nicht mehr in mechanische Energie rückwandelbar ist. Somit nimmt die Amplitude der Schwingung im Laufe des Schwingungsvorganges ab und die Amplitude wird kleiner. Dies wird **gedämpfte Schwingung** genannt.

Jedes schwingungsfähige System kann durch **erzwungene Schwingungen** mit Gewalt in Schwingungen beliebiger Frequenz versetzt werden.

A47. Wie kommt es zur Resonanz? Wovon hängt die Amplitude bei der Resonanzfrequenz ab. Wie ist es möglich Resonanz zu verhindern? Wo wird Resonanz ausgenützt?

Resonanz ist das starke Mitschwingen eines wenig gedämpften Schwingungssystems, wenn es durch schwache periodische Kräfte zu Schwingungen angeregt wird. Eine besonders hohe Amplitude tritt bei jener Frequenz auf, bei der das System von selbst schwingen würde. Es wird im richtigen Moment Energie zugeführt und im schwingungsfähigen System als Schwingungsenergie gespeichert.

Resonanz kann durch Schwingungsdämpfer (Elemente, die Reibung haben) **verhindert** werden: Die Schwingungsenergie wird ständig in Wärme umgewandelt und die Amplitude sinkt. Es entsteht eine gedämpfte Schwingung.

Resonanz wird z.B. bei Blasinstrumenten **ausgenützt**. Es ist ein schwingungsfähiges System bestehend aus Rohr und Schalltrichter, das nicht nur eine Frequenz ermöglicht. Der erzeugte Luftstrom erzeugt eine Schwingung großer Amplitude (=der hörbare Ton).

A51. Beschreiben Sie bitte, welche bei der geradlinigen Bewegung und welche bei der Drehbewegung wichtigen Größen einander entsprechen. Welche Einheiten haben diese Größen, welche sind Skalare, welche Vektoren? Welche Richtung haben diese Vektoren?

Geradlinige Bewegung		Drehbewegung	
Weg	s	Winkel	φ
Geschwindigkeit	$v = ds / dt$	Winkelgeschwindigkeit	$\omega = d\varphi / dt$
Beschleunigung	$a = dv / dt$	Winkelbeschleunigung	$\alpha = d\omega / dt$
Kinetische Energie	$E_k = (m \cdot v^2) / 2$	Rotationsenergie	$E_R = (I \cdot \omega^2) / 2$
Masse	m	Trägheitsmoment	I
Kraft	$F = m \cdot a$	Drehmoment	$M = I \cdot \alpha$
Impuls	$p = m \cdot v$	Drehimpuls	$J = I \cdot \omega$

Analogiebetrachtungen zeigen, dass alle Beziehungen der geradlinigen Bewegung in Beziehungen der Drehbewegung übergehen, wenn statt Weg, Geschwindigkeit, Masse und Impuls die Größen Winkel, Winkelgeschwindigkeit, Trägheitsmoment und Drehimpuls verwendet werden.

In einem isolierten System ist der Gesamtimpuls (geradlinige Bewegung) / Gesamtdrehimpuls (Rotation) konstant.

Vektoren: Geschwindigkeit, Beschleunigung, Kraft, Impuls, Moment

Skalare: Energie, Zeit, Temperatur, Ladung, Leistung, Arbeit, Masse, Abstand.

Mit der **Richtung** kann die Position oder das Wirkungs- oder Bewegungsziel eines Ortes oder Gegenstandes beschrieben werden.

A55. Welches Gesetz nützt die Katze aus, um immer mit den Beinen auf dem Boden aufzuspringen? Beschreiben Sie den Vorgang der die Katze immer in die richtige Lage bringt.

Drehimpulserhaltungssatz: In einem abgeschlossenen System ist die Summe der Drehimpulse konstant. Drehmoment = Trägheitsmoment \times Winkelgeschwindigkeit

Befindet sich eine Katze im freien Fall (im Sprung), so kann man sie bezüglich der Rotation als abgeschlossenes System (es wirken keine Drehmomente von außen) betrachten. Somit muss die Summe der Drehimpulse konstant bleiben. Hat die Katze z.B. zu Beginn des Sprunges eine unveränderliche **Lage** mit den Beinen nach oben, so ist der Gesamtdrehimpuls der Katze Null. Er kann auch nicht verändert werden, da jede Drehung eine Winkelgeschwindigkeit hat und damit einen Drehimpuls. Es besteht jedoch die Möglichkeit, einem Teil des Körpers einen Drehimpuls in eine Richtung, dem anderen Teil einen Drehimpuls in die andere Richtung zu geben. z.B. dem Schwanz eine Drehung im Uhrzeigersinn erteilt, so dreht sich der Rest des Körpers gegen den Uhrzeigersinn. Da das Trägheitsmoment des Schwanzes kleiner als das des Körpers ist, sind mehr Umdrehungen mit dem Schwanz notwendig, um eine Umdrehung des Körpers zu erreichen. Hört die Drehung des Schwanzes auf, so stoppt auch die gegenläufige Drehung des übrigen Körpers. So ist es der Katze jederzeit möglich den Körper in die richtige Lage zu drehen.

A57. Woran erkennen Sie, dass auf einen Körper eine Kraft wirkt? Was ist ein kräftefreier Körper und welche Bewegung führt er aus? Welche Gruppen von Kräften kennen Sie? Geben Sie für jede dieser Gruppen je zwei Beispiele an.

Jede Änderung einer Bewegung bedeutet Geschwindigkeitsänderung und somit Beschleunigung. Eine Beschleunigung tritt niemals von selbst auf, sondern sie wird durch eine Wechselwirkung, die wir **Kraft F** nennen, hervorgerufen. Die Kraft ist die Ursache einer Beschleunigung. Es ist plausibel anzunehmen, dass die Beschleunigung umso größer ist, je größer die Kraft ist. Wir definieren daher die Kraft als proportional zur Beschleunigung, den Proportionalitätsfaktor nennen wir die Masse m : $F = m \cdot a$. Die Kraft, die eine Beschleunigung hervorruft, ist daher umso größer, je größer die Masse und je größer die Beschleunigung ist.

Ein **freier Körper** (steht mit keinem anderen Körper in Wechselwirkung) führt eine gleichförmige Translation aus. Ein Körper, der keiner Wechselwirkung unterliegt, wäre am besten im Weltall vorstellbar. Ist der Körper in Bewegung führt er diese geradlinig und mit konstanter Geschwindigkeit fort, ansonsten bleibt er da wo er ist.

Es gibt **zwei Gruppen** von Kräften:

- 1) Kontaktkräfte: haben eine sehr geringe Reichweite, hervorgerufen durch die Wechselwirkung der einzelnen Moleküle. Ihre Reichweite ist ca. 10^{-11} bis 10^{-10} m.
Bsp: Kompressions-, Stoß-, Kohäsions- oder Reibungskräfte.
- 2) Fernwirkung: Reichweite ist unbeschränkt (Kraft nimmt aber mit steigender Entfernung ab). Bsp: Gravitations-, elektrische oder magnetische Kräfte.

A62. Welche Erhaltungssätze der Mechanik kennen Sie. Geben Sie Beispiele für deren Anwendung an.

Ein abgeschlossenes oder isoliertes System ist ein Bereich, der gegen die Außenwelt isoliert ist, kein (merklicher) Austausch an Energie und Masse ist mit der Umgebung möglich. Für abgeschlossenen Systeme gelten Erhaltungssätze, die hier kurz angeführt werden sollen:

- 1) **Massenerhaltung**: In einem abgeschlossenen System ist die Gesamtmasse (Summe aller Massen) konstant.

2) **Energieerhaltung:** In einem abgeschlossenem System ist die Summe aller Energien konstant (Bsp.: zu Boden fallender Stein).

Es muss noch bemerkt werden, dass bei Kernreaktionen Masse in Energie umgewandelt werden kann, sodass in diesem Fall bei der Energieerhaltung auch das Massenäquivalent der Energie berücksichtigt werden muss.

Energie kann daher weder gewonnen noch verloren werden, nur Umwandlungen verschiedener Energieformen ineinander sind möglich. Bisher bekannte Energieformen sind potentielle und kinetische Energie, beim freien Fall z.B. werden sie ineinander umgewandelt. Ein zu Boden fallender Stein verliert an potentieller Energie, wird dadurch immer schneller und gewinnt kinetische Energie.

3) **Impuls:** In einem abgeschlossenem System ist die Summe aller Impulse konstant (Bsp.: Rückstoss).

Drehimpuls: In einem abgeschlossenem System ist die Summe aller Drehimpulse konstant (Bsp.: Katze, die immer auf den Beinen landet).

A63. Definieren Sie Impuls und Drehimpuls. Welche gemeinsame Eigenschaft haben beide Größen? Führen Sie - wenn möglich biologische - Beispiele an, bei denen diese eine wichtige Rolle spielen.

Impuls:

Impuls p eines Körpers das Produkt seiner Masse m mit seiner Geschwindigkeit v .

$$p = m \cdot v$$

Bsp: Schwirrflug von Insekten oder Vögeln. Um an Ort und Stelle in der Luft stehen zu können, muss eine Entsprechende Luftmasse durch die Flügelschläge nach unten „geblasen“ werden. Durch entsprechende Stellung der Flügel beim Auf- und Abschlag (bzw: besser Vor- und Rückschlag) wird dies erreicht: Eine Wespe, die über einem Tisch mit verstreuten Zuckerkörnern steht, bläst diese direkt darunter zur Seite.

Analog wird beim Hubschrauber ein kräftiger Abwind erzeugt. Je schwerer der Helikopter, desto größere Luftmengen müssen beschleunigt werden.

Drehimpuls:

Drehimpuls J ist das Trägheitsmoment I mal die Winkelgeschwindigkeit ω . („Impuls“ der Drehbewegung) $J = I \cdot \omega$

Bsp: Katzen kann man in diesem Fall bezüglich der Rotation als abgeschlossenes System betrachten (= Summe aller Drehimpulse konstant).

Sind die Beine einer Katze zu Beginn eines Sprunges nach oben gerichtet, so ist der Gesamtdrehimpuls gleich Null. Dreht sie nun den Schwanz im Uhrzeigersinn, muss sich der restliche Körper entgegengesetzt drehen, um den Gesamtimpuls weiterhin bei Null zu belassen. Da das Trägheitsmoment des Schwanzes kleiner als jenes des Körpers ist, sind mehrere Umdrehungen mit dem Schwanz für eine Umdrehung des Körpers notwendig.

Bsp: Pirouette beim Eiskunstlauf: Drehung beginnt langsam mit weggestrecktem Arm und Bein und vorgebeugtem Oberkörper. Dadurch erhält der Körper einen Drehimpuls. Das Trägheitsmoment ist jedoch groß, da der Abstand von Arm und Bein von der Rotationsachse auch groß ist. Der Körper wird aufgerichtet und Arme und Beine möglichst nahe an die Rotationsachse gebracht. Dadurch wird das Trägheitsmoment verringert. Der Drehimpuls ist jedoch unverändert und die Winkelgeschwindigkeit erhöht sich daher.

Für beide gelten die Erhaltungssätze der Mechanik (Summe aller Drehimpulse/Impulse ist in einem abgeschlossenen System immer konstant).

A69. Zeichnen Sie ein Spannungs-Dehnungsdiagramm und definieren Sie die Begriffe „Hook'scher Bereich“, Fließzone, Bruchspannung. Was verstehen Sie unter spröden, zähen und plastischen Körpern?

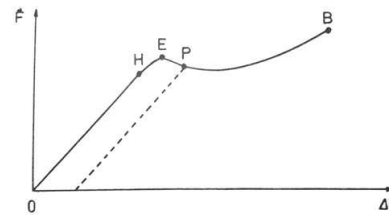
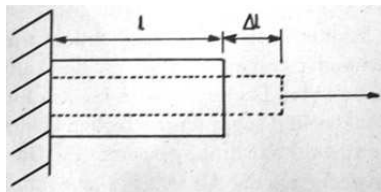


Abb. 3.2: Verhalten eines Festkörpers bei Dehnung

Wird ein Körper in eine Anordnung wie in der Abb. links einer immer größer werdenden Kraft ausgesetzt, so kann die Abhängigkeit der Kraft als Funktion der Dehnung ein Aussehen wie in der Abb. rechts haben. In der Horizontalen ist die Verlängerung Δl , in der Vertikalen die dazu notwendige Kraft F aufgetragen.

Hookeschen Bereich: Bei kleinen Dehnungen (von Punkt 0 bis H) sind Kraft und Dehnung zueinander proportional. Die Kraft-Dehnungskurve ist eine Gerade.

Elastischer Bereich: Bei Dehnungen bis zum Punkt E (der Grenze des elastischen Bereiches) nimmt der Körper nach Ende der Krafteinwirkung wieder seine ursprüngliche Gestalt an.

Fließzone: Bei stärkeren Dehnungen (in der Abbildung durch den Bereich von E bis B dargestellt) werden bleibende Verformung (Fließen) im Festkörper hervorgerufen. Nach einer Dehnung etwa bis zum Punkt P hat der Körper nach Entlastung entlang der strichlierten Linie eine größere Länge als vorher.

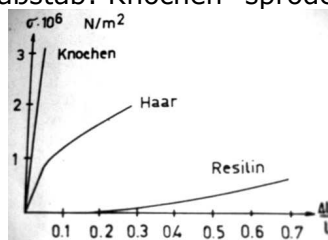
Bruchspannung(-zone): Bei Dehnung bis zum Punkt B tritt Bruch auf.

Spröde Körper zeigen nur geringe Formänderung bis zum Bruch, die Formänderung ist meist elastisch.

Zähe Stoffe haben zuerst einen elastischen Bereich, gefolgt von einer plastischen Dehnung bevor der Bruch erfolgt.

Plastische Stoffe dehnen sich ab dem Erreichen einer bestimmten Spannung ohne weitere Spannungszunahme.

Elastizitätsmodul von Knochen, Haar und Resilin ist ziemlich verschieden daher zeigt das entsprechende Spannungs-Dehnungsdiagramm die verschiedenen Eigenschaften der Materialien. Im gemeinsamen Maßstab: Knochen=spröde, Haar=zäh, Resilin=plastisch.



A70. Erklären Sie das elastische Verhalten eines kristallinen und eines aus Makromolekülen aufgebauten Körpers. Welches Temperaturverhalten zeigen die Körper?

Kristalline Körper bestehen aus Atomen (oder Ionen), die räumlich regelmäßig angeordnet sind und einen fixen Platz haben. Diese Atome werden durch starke Kräfte mit geringer Reichweite an ihrem Platz gehalten. Wird durch eine Dehnung die Reichweite dieser Kräfte überschritten kommt es zum Bruch.

Aus **Makromolekülen** aufgebaute Körper bestehen aus langen kettenförmigen Molekülen, die keine fix vorgegebene Orientierung (Form) der Ketten besitzen. Daher ist die wahrscheinlichste Anordnung die Form eines Knäuels, die an manchen Stellen zusätzlich vernetzt sind. Bei Dehnung werden die zwischen den Vernetzungsstellen liegenden Ketten in die Länge gezogen.

Bei **erhöhter Temperatur** ist in **kristallinen Körpern** durch die erhöhte Schwingungsenergie die Bewegung der Kristallbausteine zueinander geringer als die Bewegung auseinander. Das Material dehnt sich aus.

Bei einem **gedehnten elastischen Körper** bewirkt die **erhöhte Temperatur** (= Schwingungsenergie), dass die Atome aus den geraden Ketten heraus schwingen und sie verkürzen. Der Körper zieht sich in Streckrichtung zusammen.

A72. Welche Arten von Verformung kennen Sie? Welche „Moduln“ sind für die jeweiligen Verformungen von Bedeutung? Auf welchen molekularen Grundlagen beruht die Festigkeit von kristallinen Stoffen und biologischen Stoffen?

Verformungsarten:

- 1) Dehnung: Beim Einwirken einer Kraft auf einen einseitig fixierten Körper verlängert sich dieser in Richtung der Kraft.
- 2) Allseitige Kompression: Von allen Seiten wirkende Kräfte führen zu einer Volumsverkleinerung.
- 3) Scherung: Kräftepaar greift entgegengesetzt parallel zu Grund- und Deckfläche an und „verbiegt“ den rechten Winkel des Würfels

Elastizitätsmodul E ist jene Spannung, die notwendig ist, um den Körper auf die doppelte Länge zu dehnen (unter der Annahme, dass bis dorthin der Hooke'sche Bereich gilt).

Kompressionsmodul M ist analog ein Gesetz zur allseitigen Volumsverkleinerung für die relative Volumsverkleinerung. Sie ist ebenfalls proportional der Kraft pro Fläche.

Kristalline Körper bestehen aus Atomen (oder Ionen), die räumlich regelmäßig angeordnet sind und einen fixen Platz haben. Diese Atome werden durch starke Kräfte mit geringer Reichweite an ihrem Platz gehalten. Wird durch eine Dehnung die Reichweite dieser Kräfte überschritten kommt es zum Bruch.

Aus **biologischen Stoffen** (Makromolekülen) aufgebaute Körper bestehen aus langen kettenförmigen Molekülen, die keine fix vorgegebene Orientierung (Form) der Ketten besitzen. Daher ist die wahrscheinlichste Anordnung die Form eines Knäuels, die an manchen Stellen zusätzlich vernetzt sind. Bei Dehnung werden die zwischen den Vernetzungsstellen liegenden Ketten in die Länge gezogen.

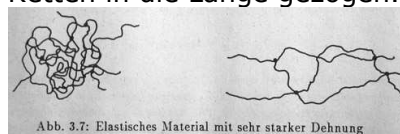


Abb. 3.7: Elastisches Material mit sehr starker Dehnung

A79. Was versteht man unter Arbeit, wie ist sie definiert, was bedeutet im Gegensatz dazu Energie? Bei welchen Ihnen bekannten Vorgängen wird Arbeit in eine leicht umwandelbare Energieform umgewandelt? Welche Vorgänge liefern kaum umwandelbare Energie?

Tritt durch eine Kraft F eine Bewegung um den Weg s auf, so ist das skalare Produkt aus Kraft und Weg $W = F \cdot s$ die **Arbeit W**.

Energie E (potentielle oder kinetische) stellt gespeicherte Arbeit dar.

Hebearbeit (=potentielle Energie), oder Energie der Lage liefert **leicht umwandelbare Energie**. Specht speichert Energie der Bewegung, beschleunigt den Kopf und beim Auftreffen auf den Baum wird sie freigesetzt, z.B. kann ein Körper über eine Rolle angehoben werden, wird dieser Körper wieder zu Boden gelassen, kann ein anderer Körper damit angehoben werden (Wasserkraftwerk, Staukraftwerk).

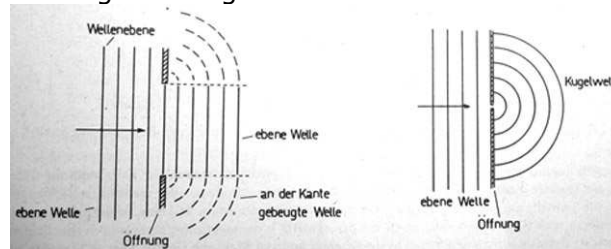
Gedämpfte Schwingungen, kinetische Energie oder Bewegungsenergie liefern **kaum umwandelbare Energie** (Reibungswärme). Arbeit, die eine bewegte Masse gespeichert hat (Möwe hebt die Muschel in die Höhe und lässt sie auf Felsen fallen, Energie wird beim abbremsen freigesetzt)

A81. Was sind Kugelwellen bzw. ebene Wellen? Was geschieht, wenn eine Welle ein kleines Hindernis passiert? Wie „klein“ muss das Hindernis für den von Ihnen beschriebenen Effekt sein? Beschreiben Sie die Beugung an einem Gitter.

Bei **ebenen Wellen** sind die Wellenflächen Ebenen.

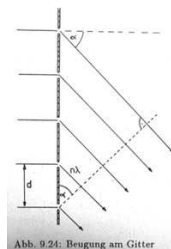
Bei **Kugelwellen** bilden die Wellenflächen konzentrische Kreise (Kugelwellen) um den Ausgangspunkt.

Bei beiden ist die Ausbreitungsrichtung normal auf die Wellenfläche.



Ist die **Öffnung größer** als die Wellenlänge, so geht die Welle gerade durch und nur am Rand treten Kugelwellen auf.

Ist die **Öffnung kleiner** als die Wellenlänge, so geht von der Öffnung eine Kugelwelle nach allen Richtungen aus.



Ein **Gitter** ist eine regelmäßige Anordnung von Spalten, deren Abstand d einige Wellenlängen beträgt. Trifft eine ebene Welle auf ein Gitter, so löschen die durchgehenden Elementarwellen einander größtenteils aus, nur in Richtungen, die durch $d \cdot \sin \alpha = n \cdot \lambda$ gegeben sind, verstärken sie einander.

A94. Definieren Sie folgende Begriffe. Transversalwelle, Longitudinalwelle. Was versteht man unter einer stehenden Welle, wo tritt sie auf? Was ist Dispersion?

Bei einer fortschreitenden Welle kann die Schwingung normal zur Ausbreitungsrichtung (**Transversalwelle**) oder parallel zur Ausbreitungsrichtung (**Longitudinalwelle**) erfolgen. Bei transversalen Wellen entstehen aufgrund der Auf- und Abbewegung Wellenberge und Wellentäler, bei der Longitudinalwelle aufgrund der Vor- und Rückwärtsbewegung Verdichtung und Verdünnung. Longitudinale Wellen sind in jedem Medium, Transversalwellen nur in Festkörpern und an Grenzschichten zweier Medien möglich.

Stehende Wellen entstehen durch Interferenz zweier entgegenlaufender Wellen. Alle Punkte einer stehenden Welle führen gleichphasige Schwingungen aus, deren Amplitude vom Ort abhängig ist. An Schwingungsknoten findet überhaupt keine Schwingung statt, an Schwingungsbäuchen ist die Amplitude maximal. Der Abstand benachbarter Schwingungsknoten ist eine halbe Wellenlänge, ebenso für benachbarte Schwingungsbäuche. Zwischen 2 Schwingungsbäuchen liegt ein Knoten und umgekehrt. Eine stehende Welle kann dann entstehen, wenn eine Welle in einem begrenzten Ausbreitungsmedium hin- und herläuft und an den enden reflektiert wird. Die mögliche

Wellenlänge ergibt sich daraus, dass zwischen den Begrenzungen ein ganzzahliges Vielfaches der halben Wellenlänge der stehenden Welle hineinpassen muss.

Diese können **entlang** einer Saite (z.B. Geige) oder in einer Röhre (z.B. Blasinstrument) ausbreiten. Zwischen den Spiegeln des Lasers bildet sich ebenfalls eine stehende Welle.

Die Eigenschaft, dass der Brechungsindex einer Substanz von der Farbe abhängt, wird **Dispersion** genannt.

A96. Erklären Sie die Begriffe: Interferenz, Schwebung, Brechung und Beugung.

Interferenz ist die gegenseitige Verstärkung von Wellen (konstruktive Interferenz; Wellenberg trifft auf Wellenberg) oder Auslöschung von Wellen (destruktive Interferenz; Wellenberg trifft auf Wellental).

Werden Schwingungen fast gleicher Frequenz zusammengesetzt, so entsteht eine periodisch stärker und schwächer werdende Schwingung mit einer mittleren Frequenz (**Schwebung**). Die Schwebungsdifferenz ist Differenz der beiden Frequenzen.

Beim Übertritt einer Welle von einem Medium mit der Phasengeschwindigkeit c_1 in ein Medium mit der Phasengeschwindigkeit c_2 ändert sich an der Grenzfläche die Ausbreitungsrichtung. Da die Strahlen geknickt erscheinen, spricht man von **Brechung**.

Beugung ist die "Ablenkung" von Wellen an einem Hindernis. Zur Beugung kommt es durch die Entstehung neuer Wellen entlang der Wellenfront.

A97. Welche grundlegenden Arten von Wellen kennen Sie? Wo treten sie auf? Wie unterscheiden sie sich? Was sind die grundlegenden Phänomene?

Mechanische Wellen:

entstehen durch Oszillationsbewegungen von Teilchen (z.B: Wasserwellen, Schallwellen, Wellen auf Saiten, Membranen)

Elektromagnetische Wellen:

charakterisiert durch Schwingungen elektromagnetischer Felder (z.B: Radiowellen, Wärmestrahlung, Licht, Röntgenstrahlung).

A100. Welcher Unterschied besteht zwischen Schwingungen und Wellen? Welche Arten von Wellen kennen Sie? (Beispiele!) Wie entsteht eine stehende Welle? Was sind Knoten und Bäuche von stehenden Wellen?

Schwingungen sind nur in einem System präsent, während durch **Wellen** Schwingungen von einem System auf ein benachbartes System übertragen werden.

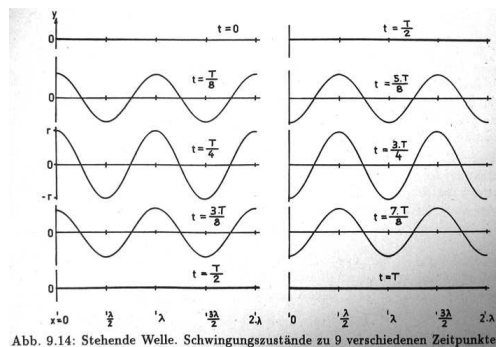
Mechanische Wellen:

entstehen durch Oszillationsbewegungen von Teilchen (z.B: Wasserwellen, Schallwellen, Wellen auf Saiten, Membranen)

Elektromagnetische Wellen:

charakterisiert durch Schwingungen elektromagnetischer Felder (z.B: Radiowellen, Wärmestrahlung, Licht, Röntgenstrahlung).

In einem begrenztem Medium (geschlossenem Raum) werden Wellen reflektiert. Die reflektierte Welle interferiert mit der ursprünglichen und es können stehende Wellen entstehen. Diese können entlang einer Saite (z.B. Geige) oder in einer Röhre (z.B. Blasinstrument) ausbreiten. Zwischen den Spiegeln des Lasers bildet sich ebenfalls eine stehende Welle.



In der Abb. ist eine stehende Welle zu 9 verschiedenen Zeitpunkten gezeichnet. **Schwingungsbäuche** treten auf, wenn die Kosinusfunktion den Wert +1 oder -1 hat (Amplitude ist maximal), das ist bei $x = 0, \lambda/2, \lambda, 3\lambda/2, \dots$. Benachbarte Schwingungsbäuche haben den Abstand $\lambda/2$. **Schwingungsknoten** treten auf, wenn $\cos 2\pi x/\lambda = 0$ ist (keine Schwingung), also für $x = \lambda/4, 3\lambda/4, 5\lambda/4, \dots$. Benachbarte Schwingungsknoten haben ebenfalls den Abstand $\lambda/2$. Sie liegen zwischen den Schwingungsbäuchen.

A101. Was sind transversale und longitudinale Wellen? Wo treten sie auf? Sind sie polarisierbar und wenn ja, wie?

Bei einer **longitudinalen Welle** ist die Schwingungsrichtung in Ausbreitungsrichtung; ist die Ausbreitungsrichtung bekannt, so ist auch die Schwingungsrichtung bekannt.

Bei einer **transversalen Welle** ist die Schwingungsrichtung normal zur Ausbreitung und daher nicht festgelegt. Da sich auf eine gegebene Gerade beliebig viele Geraden normal dazu angeben lassen (Abb.), gibt es unzählige Schwingungsrichtungen einer Transversalwelle gegebener Ausbreitungsrichtung.

Longitudinale Wellen sind in jedem Medium, **Transversalwellen** nur in Festkörpern und an Grenzschichten zweier Medien (z.B. Flüssigkeitsoberflächen) möglich.

Eine transversale Welle, bei der es nur eine einzige Schwingungsrichtung gibt, heißt (linear) **polarisiert**. Die Schwingung findet dann in der Ebene, die aus Strahlrichtung und Schwingungsrichtung bildet, statt. Man nennt diese Ebene Polarisationsebene.

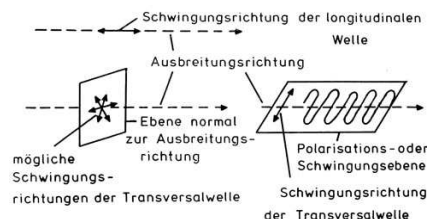


Abb. 11.6: Longitudinale und transversale Welle

Natürliches Licht ist meist unpolarisiert. Es kann durch Reflexion an durchsichtigen Medien, beim Durchgang durch doppelbrechende Substanzen oder durch Streuung an kleinen Teilchen **polarisiert werden**.

A103. Was ist das Huygensche Prinzip? Erklären Sie damit die Brechung einer ebenen Welle an einer ebenen Grenzfläche vom optisch dünneren ins optisch dichtere Medium.

Huygensche Prinzip: Jeder Punkt einer Wellenfläche kann als Ausgangspunkt einer elementaren Kugelwelle gedacht werden. Die durch Interferenz aus allen Elementarwellen gebildete Welle ist mit der sich ursprünglich ausbreitenden Welle identisch. Die Einhüllende aller Kugelwellen ist die neue Wellenfläche.

Bei Reflexion einer Welle an einer Wand liegen einfallender Strahl, reflektierter Strahl und Lot in einer Ebene. Einfallswinkel und Reflexionswinkel sind gleich.

Bei **Brechung** einer Welle an einer ebenen Grenzfläche zweier Medien mit verschiedenen Phasengeschwindigkeiten (c_1 und c_2) liegen wieder ein- und austretender Strahl sowie das Lot in einer Ebene. Der Einfallswinkel und der Austrittswinkel ergeben sich aus der Beziehung $\sin \alpha / \sin \beta = c_1 / c_2$. Brechung zum Lot tritt bei $c_1 > c_2$ auf, vom Lot für $c_1 < c_2$ auf.

A104. Beschreiben Sie anhand der Huygenschen Elementarwellen die Brechung eines Lichtstrahls beim Übergang vom optisch dichteren ins optisch dünnere Medium.

Huygensche Prinzip: Jeder Punkt einer Wellenfläche kann als Ausgangspunkt einer elementaren Kugelwelle gedacht werden. Die durch Interferenz aus allen **Elementarwellen** gebildete Welle ist mit der sich ursprünglich ausbreitenden Welle identisch. Die Einhüllende aller Kugelwellen ist die neue Wellenfläche.

Bei Reflexion einer Welle an einer Wand liegen einfallender Strahl, reflektierter Strahl und Lot in einer Ebene. Einfallswinkel und Reflexionswinkel sind gleich.

Bei **Brechung** einer Welle an einer ebenen Grenzfläche zweier Medien mit verschiedenen Phasengeschwindigkeiten (c_1 und c_2) liegen wieder ein- und austretender Strahl sowie das Lot in einer Ebene. Der Einfallswinkel und der Austrittswinkel ergeben sich aus der Beziehung $\sin \alpha / \sin \beta = c_1 / c_2$. Brechung zum Lot tritt bei $c_1 > c_2$ auf, vom Lot für $c_1 < c_2$ auf.

A106. Was ist Interferenz? Welche Möglichkeiten gibt es und wann treten sie auf? Beschreiben Sie das Zustandekommen von Wellenflächen? Was verstehen Sie unter dem Huygenschen Prinzip?

Interferenz ist die gegenseitige Verstärkung von Wellen (konstruktive Interferenz; Wellenberg trifft auf Wellenberg) oder Auslöschung von Wellen (destruktive Interferenz; Wellenberg trifft auf Wellental).

Wellenflächen sind all jene Punkte, zu denen sich eine Welle in einer gegebenen Zeit ausgebreitet hat. In Punkten einer Wellenfläche herrscht derselbe Schwingungszustand. Bei Kugelwellen nimmt die Schwingungsenergie quadratisch mit der Entfernung ab, bei ideal ebenen Wellen bleibt sie konstant.



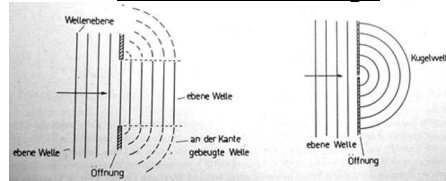
Huygensche Prinzip: Jeder Punkt einer Wellenfläche kann als Ausgangspunkt einer elementaren Kugelwelle gedacht werden. Die durch Interferenz aus allen Elementarwellen gebildete Welle ist mit der sich ursprünglich ausbreitenden Welle identisch. Die Einhüllende aller Kugelwellen ist die neue Wellenfläche.

A107. Wie erklären Sie auf Grund des Huygenschen Prinzips die Beugung hinter einer sehr kleinen Lochblende und hinter einem breiten Spalt? Worauf beziehen sich diese Größenangaben?

Trifft eine Welle auf eine Öffnung, die sehr **klein** ist (kleiner als die Wellenlänge), so geht von der Öffnung eine Kugelwelle nach allen Richtungen aus. Es existiert nur eine einzige Kugelwelle.

Trifft eine Welle auf einen sehr **breiten Spalt** so ergibt sich wieder eine Welle, da sehr viele Kugelwellen als Summe wieder eine ebene Welle ergeben. Nur an den Rändern (Schattenbereich) entstehen Kugelwellen.

Die **Größenangaben** beziehen sich auf die Wellenlänge.



B) Optik

B1. Wie groß ungefähr ist die Lichtgeschwindigkeit und welche Möglichkeit sie zu messen kennen Sie? Was ist das Besondere der Lichtgeschwindigkeit? Ist sie überall gleich groß?

In Vakuum breitet sich **Licht** mit der **Geschwindigkeit** $2,998 \cdot 10^8$ m/s geradlinig aus. Von Fizeau wurde die erste genaue **Messung** der Lichtgeschwindigkeit durchgeführt: Licht von der Lichtquelle geht durch eine periodisch geöffnete Blende, dadurch entsteht ein kurzer Lichtblitz. Dieser läuft zum entfernten Spiegel, wird reflektiert und muss wieder durch die periodisch geöffnete Blende. Durch den halbdurchlässigen Spiegel wird das zurücklaufende Licht betrachtet. Nun wird die Frequenz der periodischen Öffnung der Blende variiert. Bei sehr geringer Frequenz kann der reflektierte Strahl durch die Öffnung hindurchtreten, bei höherer Frequenz kommt der reflektierte Strahl erst beim nächsten Öffnen der Blende hindurch. Diese Frequenz, bei der das erste Mal Aufhellung auftritt, wird bestimmt. Die Zeit, die zwischen zwei Öffnungen der Blende vergeht, ist daher die Laufzeit des Lichtes. Spätere Methoden verwendeten statt des rotierenden Zahnrades rotierende Spiegel in ähnlicher Anordnung.

Die **Vakuumlichtgeschwindigkeit** ist eine sehr wichtige physikalische Größe, da sie unabhängig vom Bezugssystem denselben Wert hat.

B2. Was verstehen Sie unter den Ausdrücken: Umkehrbarkeit des Strahlengangs, Reelle und Virtuelle Bilder, Reflexion an einer glatten Oberfläche, Reflexion an einer rauen Oberfläche.

Umkehrbarkeit: gelangt ein Lichtstrahl auf einen durch geometrisch optische Überlegungen gefunden Weg von Punkt A nach B, so kann ein Lichtstrahl in der Gegenrichtung entlang desselben Weges verlaufen.

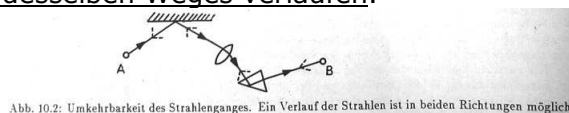
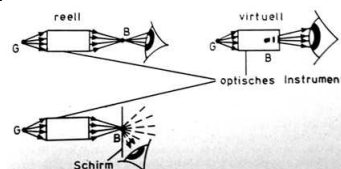


Abb. 10.2: Umkehrbarkeit des Strahlengangs. Ein Verlauf der Strahlen ist in beiden Richtungen möglich.

Reelles Bild: entsteht, wenn die Strahlen ein optisches Instrument so verlassen, dass sie zu einem Punkt hin konvergieren, es kann auf einem Schirm aufgefangen werden.

Virtuelles Bild: entsteht, wenn die Strahlen, scheinbar von einem Punkt kommend, das Instrument divergent verlassen.



Reflexion an einer vollkommen **ebenen Fläche** nennt man reguläre Reflexion. Trifft Licht auf eine **raue Oberfläche**, so wird es von den einzelnen Teilen der Oberfläche je nach Orientierung in alle Richtungen reflektiert (diffuse Reflexion).

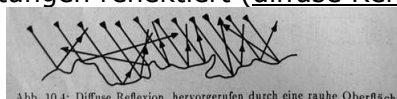


Abb. 10.4: Diffuse Reflexion, hervorgerufen durch eine raue Oberfläche

B4. Was ist ein "sphärischer Spiegel"? Welche seiner Kenngrößen kennen Sie. Wie stehen sie zueinander in Beziehung?

An einem **sphärischen Hohlspiegel** entsteht von jedem Punkt außerhalb der Brennweite (=halber Krümmungsradius) ein reeller Bildpunkt. Befindet sich ein Punkt innerhalb der einfachen Brennweite, so entsteht ein virtueller Bildpunkt.

Kenngrößen: Strecke OM...optische Achse, S...Scheitelpunkt, r...Abstand, M...Krümmungsmittelpunkt, F...Brennpunkt/Fokus, f...Brennweite, α ...Einfallswinkel, B,M,G...Schnittpunkte des reflektierten Strahles mit der Geraden Oa

Zusammenhang: $SG / SB = MG / MB$

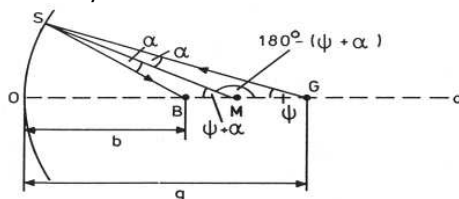


Abb. 10.7: Reflexion am sphärischen Spiegel

B5. Welche Formel beschreibt die Bildentstehung beim sphärischen Spiegel? Welche wichtigen „Hauptstrahlen“ verwenden Sie, um die Bilder B, die ein sphärischer Spiegel von einem Gegenstand G erzeugt, zu konstruieren? (Skizze wäre hilfreich)

Strahlen, die von einem Punkt G auf der optischen Achse zum sphärischen Spiegel gehen, werden so reflektiert, dass sie durch einen Punkt B auf der optischen Achse gehen. Für die Entfernung g des Punktes G und b des Punktes B von der Spiegelfläche gilt: $1/b + 1/g = 2/r$

Meist wird für $2/r$ der Ausdruck $1/f$ gesetzt und es ergibt sich die **Hohlspiegelgleichung:** $1/b + 1/g = 1/f$

Bei der Reflexion am Hohlspiegel lassen sich für die drei **Hauptstrahlen** folgende Gesetzmäßigkeiten formulieren:

Parallelstrahlen (parallel zur Achse) werden so reflektiert, dass sie durch den Brennpunkt gehen.

Brennstrahlen (gehen durch den Brennpunkt) werden so reflektiert, dass sie parallel zur optischen Achse gehen.

Mittelpunktsstrahlen (gehen durch den Krümmungsmittelpunkt) werden in sich reflektiert.

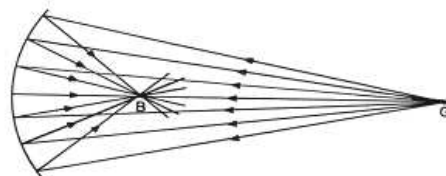
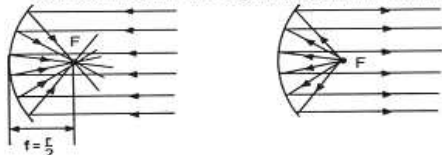


Abb. 10.9: Bildpunkt und Gegenstandspunkt am Hohlspiegel



B6. Es befände sich ein Gegenstand G in einem Abstand größer als die doppelte Brennweite, größer als die einfache aber kleiner als die doppelte Brennweite, kleiner als die einfache Brennweite, von einem sphärischen Spiegel entfernt. Wie sehen die jeweiligen Bilder aus. Sind sie reell oder virtuell?

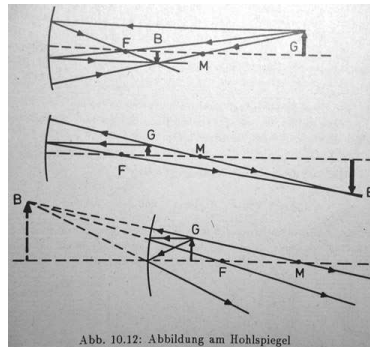


Abb. 10.12: Abbildung am Hohlspiegel

Gegenstände **außerhalb der doppelten Brennweite** liefern verkehrte verkleinerte reelle Bilder zwischen einfacher und doppelter Brennweite.

Gegenstände zwischen **einfacher und doppelter Brennweite** liefern verkehrte vergrößerte reelle Bilder außerhalb der doppelten Brennweite.

Befindet sich der Gegenstand **innerhalb der einfachen Brennweite**, so sind bei Konstruktion des Bildes mittels der drei Hauptstrahlen die von der Spitze des Gegenstandes kommenden Strahlen divergent, ein reelles Bild kommt nicht zustande. Daher sieht ein virtuelles Bild des Gegenstandes. Es erscheint aufrecht, vergrößert und hinter dem Spiegel.

B7. Welche "Fehler" hat ein sphärischer Spiegel? Wie sieht eine Weiterentwicklung des sphärischen Spiegels aus und wo wird er angewendet?

Die Abbildung eines Gegenstandspunktes auf einen Bildpunkt durch einen sphärischen Hohlspiegel erfolgt nur, wenn die einschränkenden Bedingungen (geringe Krümmung, die Strahlen schließen kleine Winkel mit der optischen Achse ein) erfüllt sind. Für Scheinwerfer oder konzentrierende Sonnenkollektoren, wo aus einem sehr großen Winkelbereich Strahlen einfallen, ist der **sphärische Spiegel ungeeignet**. Anstatt parallele Strahlen in einem Punkt zu konzentrieren tritt eine Brennfläche (Katakaustik) auf.

Hat der Spiegel jedoch die **Form** eines Rotationsparaboloides, so werden auch weit außen liegende Strahlen im Brennpunkt konzentriert. Anwendung bei Scheinwerfern und konzentrierende Sonnenkollektoren.

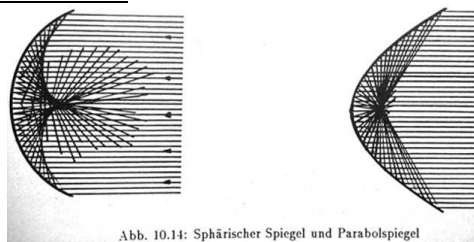


Abb. 10.14: Sphärischer Spiegel und Parabolspiegel

B9. Was verstehen Sie unter Brechung des Lichts? Welche Rolle spielt dabei die Tatsache, dass Licht eine Welle ist? (Huygensches Prinzip) Was ist der Brechungsindex?

Geht Licht in ein Medium mit einer anderen Phasengeschwindigkeit über, so tritt **Brechung** auf. Das Medium mit der geringeren Phasengeschwindigkeit heißt das optisch dichtere Medium. Beim Übergang zum dichteren Medium tritt Brechung zum Lot auf.

Für jede **Welle** gilt beim Übergang von Medium 1 in Medium 2 das Brechungsgesetz

$$\sin \alpha / \sin \beta = c_1 / c_2$$

Der Quotient aus den beiden Phasengeschwindigkeiten wird Brechungsquotient genannt und meist mit n_{12} bezeichnet; $n_{12} = c_1 / c_2$.

Der **Brechungsindex** eines Stoffes ist das Verhältnis der Vakuumlichtgeschwindigkeit und der Lichtgeschwindigkeit in dem Stoff. Üblicherweise charakterisiert man einen Stoff durch seinen Brechungsquotienten relativ zu Vakuum, dem Brechungsindex $n = c_{\text{Vakuum}} / c_{\text{Stoff}}$. Luft hat einen Brechungsindex, der sich wenig von 1 unterscheidet. Für die meisten Zwecke der Optik genügt es daher Luft und Vakuum gleichzusetzen.

B10. Wie lautet das Brechungsgesetz. Beschreiben Sie kurz den Einfluss der Brechung für den Durchgang von Licht durch eine: Planparallele Platte, Prisma. Wie verändern sich Bilder, wenn sie einen Gegenstand in Wasser oder aus dem Wasser betrachten. (Skizzen erwünscht)

Für jede Welle gilt beim Übergang von Medium 1 in Medium 2 das **Brechungsgesetz**

$$\sin \alpha / \sin \beta = c_1 / c_2$$

Tritt Licht durch eine **planparallele Platte**, so erfolgt lediglich eine Parallelverschiebung des Strahles.

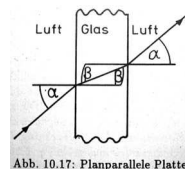


Abb. 10.17: Planparallele Platte

Beim Durchgang durch ein **Prisma** wird das Licht aus der ursprünglichen Richtung abgelenkt. Die Ablenkung ist umso stärker, je größer der brechende Winkel und je größer der Brechungsindex sind.

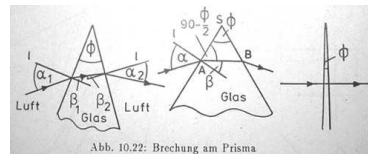
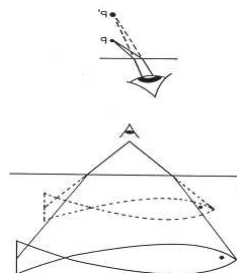


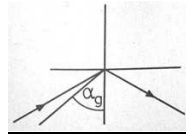
Abb. 10.22: Brechung am Prisma

Durch die Brechung des Lichtes beim Übergang in ein anderes Medium (**Wasser** zu Luft) werden Gegenstände unter anderen Winkeln und an einem anderen Ort gesehen. Die Bilder sind virtuell.



B11. Was verstehen Sie unter Totalreflexion und wie kann man sie technisch verwenden? Gibt es auch Anwendungen im Tierreich?

Beim Übergang vom optisch dichteren zum optisch dünneren Medium findet eine Brechung vom Lot statt. Bei sehr flachen Einfallswinkeln findet **Totalreflexion** statt. Sie erfolgt für Einfallswinkel, die größer sind als der Grenzwinkel. Es ergibt sich α_g aus $\sin \alpha_g = 1 / n$. Die Ausbreitung des Lichtes im Lichtleiter erfolgt aufgrund der Totalreflexion.



KFZ-Rückstrahler: Die Begrenzungsflächen eines Elementes eines Rückstrahler sind die drei Flächen eines Würfels. Die Totalreflexion erfolgt so, dass eintreffende Strahlen nach Reflexion an den drei Grenzflächen in die Einfallsrichtung zurückreflektiert werden.

Lichtleiter: Ein dünner Glasfaden erlaubt die Ausbreitung des Lichtes in Richtung des Fadens durch Totalreflexion. Der Strahl wird an der Begrenzung des Fadens hin und her reflektiert und folgt den Biegungen des Lichtleiters.

Lichtleiter in der Pflanzenwelt: Pflanzen leiten in Fasern Licht unter die Erdoberfläche, um auch dort die Photosynthese ablaufen lassen zu können.

Lichtleiter im Tierreich: Das Fell der Eisbären stellt eine möglichst gute Wärmeisolation dar. Dadurch ist aber die Aufnahme von Energie aus den Sonnenstrahlen in Form von Wärme unmöglich. Ihre Haare funktionieren aber wie Lichtleiter, da das Licht im Inneren der Haare zur Körperoberfläche weiterleiten.

B12. Skizzieren Sie kurz die Brechung an einem Prisma. Wie kann man damit die Brechung von Linsen erklären? Was ist Dispersion?

Beim Durchgang durch ein **Prisma** wird das Licht aus der ursprünglichen Richtung abgelenkt. Die Ablenkung ist umso stärker, je größer der brechende Winkel und je größer der Brechungsindex sind.

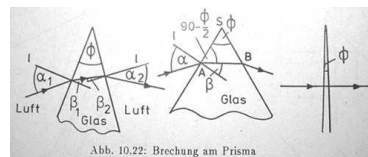


Abb. 10.22: Brechung am Prisma

Eine **Linse** kann als aus Prismen bestehend aufgefasst werden, wie in der Abb. für drei Teilbereiche der Linse gezeigt ist. Den größten brechenden Winkel hat der äußerste Teil der Linse, einen kleineren Winkel der weiter innen liegende Teil, der Mittelteil ist eine planparallele Platte.

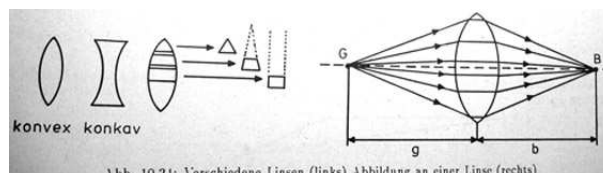


Abb. 10.24: Verschiedene Linsen (links) Abbildung an einer Linse (rechts)

Weißes Licht ist ein Gemisch aus den verschiedenen Spektralfarben. Die Zerlegung kann z.B. mittels eines Prismas erfolgen. Die Spektralfarben sind nicht weiter zerlegbar. Die Eigenschaft, dass der Brechungsindex einer Substanz von der Farbe abhängt, wird **Dispersion** genannt.

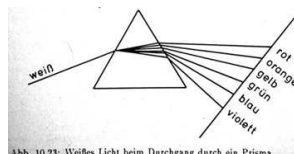


Abb. 10.23: Weißes Licht beim Durchgang durch ein Prisma

B13. Welche Arten von Linsen kennen Sie? Was sind reelle und virtuelle Bilder? Wie lautet die Linsengleichung? (Skizze mit den wichtigen Kenngrößen) Welche Hauptstrahlen verwenden Sie für die Konstruktion von Bildern? In welchem Punkt wird in eine Sammellinse einfallendes, paralleles Licht gebündelt?

Man unterscheidet zwischen Konvex- (Sammel-) und Konkav- (Zerstreuungs-) Linsen bzw. Mischtypen.

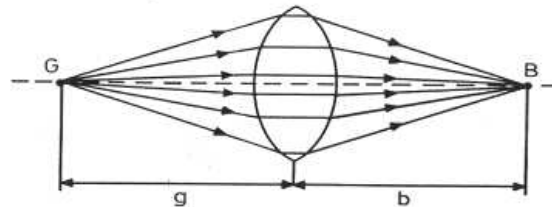
Reelles Bild entsteht, wenn die Strahlen ein optisches Instrument so verlassen, dass sie zu einem Punkt hin konvergieren, es kann auf einem Schirm aufgefangen werden.

Virtuelles Bild entsteht, wenn die Strahlen, scheinbar von einem Punkt kommend, das Instrument divergent verlassen.

Linsengleichung: $\frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} = (n-1)\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right)$

g...Abstand von Gegenstandspunkt, b...Abstand von Bildpunkt, f...Brennweite

1/f...Analogie zur Hohlspiegelgleichung



Hauptstrahlen: Parallelstrahlen, Brennpunktstrahlen, Mittelpunktstrahlen

Parallelstrahlen werden so gebrochen, dass sie durch den Brennpunkt auf der anderen Seite der Linse gehen.

B14. Ein Gegenstand befinde sich außerhalb der doppelten, zwischen der einfachen und der doppelten, innerhalb der einfachen Brennweite. Wie sehen die Bilder aus? Sind sie reell oder virtuell? (Skizze)

Frage: B6

B16. Was verstehen Sie unter einer Dioptrie? Wie groß ist die Gesamtbrennweite eines Systems aus zwei eng benachbarten dünnen Linsen und warum ist es günstig, Dioptrien zu verwenden?

Unter der Brechkraft einer Linse versteht man den reziproken Wert der Brennweite. Die Einheit der Brechkraft ist 1 **Dioptrie** = 1/m. Bei knapp hintereinander angeordneten Linsen ergibt sich die Gesamtbrechkraft als Summe der einzelnen Brechkräfte.

Die **Gesamtbrennweite** einer Linsenkombination ergibt sich durch Addition der Brechkräfte der einzelnen Linsen.

Bei Fehlsichtigkeit ist das Bild auf der Netzhaut nicht scharf. Abhilfe wird durch Korrekturlinsen geschaffen, die die Brennweite des brechenden Systems an die Länge des Auges anpassen, weil nur so Fehlsichtigkeit korrigiert werden kann, da das Auge bzw. die Linse nicht verändert werden kann.

B17. Wo erfolgt bei einem Auge hauptsächlich die Brechung? Wofür ist die Augenlinse gut? Was ist die Aufgabe der Iris?

Im **Auge** wird durch die brechenden Flächen Hornhaut, Linse und Glaskörper auf der Netzhaut ein verkehrtes, reelles Bild entworfen, welches in den Sehzellen Reize hervorruft.

Die Brennweite der **Augenlinse** kann durch Muskelspannung variiert werden (die Dicke und damit der Krümmungsradius der Linse wird verändert), dadurch wird die Gesamtbrechkraft des Auges leicht variiert (Nah- und Ferneinstellung).

Die in ihrem Durchmesser veränderliche **Iris** (verstellbare Blende) lässt mehr oder weniger Licht in das Auge eintreten.

B18. Erklären Sie bei einem Auge die Ausdrücke: Nahpunkt, Fernpunkt, Kurzsichtigkeit, Weitsichtigkeit, Astigmatismus und wie werden derartige Augenfehler "korrigiert"? Kann ein Mensch sowohl kurz- als auch weitsichtig sein?

Nahpunkt: maximale Akkomodation (= die Fähigkeit zur Änderung der optischen Brechkraft der körpereigenen Augenlinse des Auges. Der Zweck dieser Funktion ist, den Lichtweg im Auge so zu ändern, dass Gegenstände unterschiedlicher Entfernung in der Netzhautebene scharf abgebildet werden.)

Fernpunkt: minimale Akkomodation (Fähigkeit zur Anpassung der Brechkraft, ca. 5m)

Bei **Kurzsichtigkeit** ist es zwar ohne Anstrengung möglich, in kurzer Entfernung scharf zu sehen. Hier ist die Entfernung des Nahpunktes kleiner als bei Normalsichtigen. In großen Entfernungen ist es jedoch nicht möglich, scharf zu sehen: Für Sehen in großen Entfernungen ist es notwendig, die Brennweite der Augenlinse zu vergrößern. Dies ist aber dem Kurzsichtigen nicht möglich, da die Brechkraft des Auges relativ zum Abstand Linse – Netzhaut zu groß ist, und daher entsteht von Gegenständen in großer Entfernung das reelle Bild vor der Netzhaut. Durch Brillen mit Zerstreuungslinsen (negative Brennweite bzw. Brechkraft) kann die Brechkraft des Auges herabgesetzt werden und das Bild entsteht auf der Netzhaut.

Bei **Weitsichtigkeit** ist die Brechkraft des Auges im Verhältnis zu Augenlänge zu klein, durch Brillen mit Sammellinsen wird sie erhöht und ermöglicht scharfes Sehen auf kurzen Entfernungen.

Eine weitere auftretende Fehlsichtigkeit ist **Astigmatismus**. Hier ist die Hornhaut bzw. Linse nicht sphärisch, sondern hat in verschiedenen Ebenen verschiedenen Krümmungen (ähnlich einem Ellipsoid) und dadurch auch je nach Schnittebene verschiedene Brennpunkte. Eine scharfe Abbildung ist überhaupt nicht möglich. Die Korrektur dieser Fehlsichtigkeit geschieht durch Zylinderlinsen.

Kurz- und Weitsichtigkeit zugleich kann mit Gleitsichtgläsern korrigiert werden.

B25. Ist Licht eine longitudinale oder transversale Welle? Was verstehen Sie unter Polarisation? Was ist ein Polarisator, was ein Analysator? Wie kann man die Reflexion ausnützen, um polarisiertes Licht herzustellen?

Licht ist eine Transversalwelle, das heißt, dass die Welle senkrecht zu ihrer Ausbreitungsrichtung schwingt.

Unter **Polarisation** versteht man bei transversalen Wellen die Eigenschaft, dass die Schwingung nur in einer Richtung erfolgt.

Wird eine unpolarisierte Welle durch das Filter geschickt, so wird dadurch eine polarisierte Welle. Man bezeichnet die Vorrichtung, die es gestattet aus einer unpolarisierten Welle nur jene Anteile auszufiltern, die eine gegebene Polarisationsrichtung haben, einen **Polarisator**.

Um festzustellen, ob eine Welle polarisiert ist, bedient man sich eines **Analysators**. Dieser ist ebenfalls eine Vorrichtung, die nur Wellen einer bestimmten Polarisationsrichtung hindurchlässt. Stimmt die Schwingungsrichtung der polarisierten Welle mit der Richtung, die der Polarisator hindurchlässt, überein, so passiert die Welle den Polarisator ohne Amplitudenverringern.

Polarisation durch **Reflexion**. Wird Licht unter geeignetem Winkel an durchsichtigen Medien reflektiert, so ist das reflektierte Licht parallel zur Glasoberfläche polarisiert.

B27. Wie werden Röntgenstrahlen erzeugt (Skizze) und was bedeutet der Ausdruck Grenzwellenlänge?

Sie geschieht in Röntgenröhren. In einem evakuierten Gefäß befindet sich ein elektrisch zum Glühen gebrachter Metallfaden (Kathode). Von ihm werden negativ geladene Elektronen ausgesendet, die durch die hohe Spannungsdifferenz zur Anoden beschleunigt werden. Auf der Anode treffen sie mit großer Geschwindigkeit auf und werden jäh abgebremst. Der ebenfalls eingezeichnete Wehneltzylinder dient der Fokussierung der Elektronen auf einen kleinen Punkt der Anode. Je nach der Art der Abbremsung der Elektronen entsteht eine **Röntgenstrahlung** mit einer bestimmten Wellenlänge.

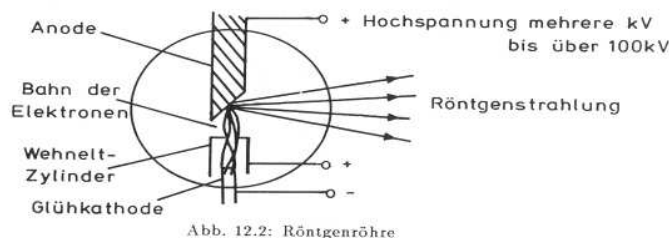


Abb. 12.2: Röntgenröhre

Grenzwellenlänge: alle Wellen die über/unter der Grenzwellenlänge liegen, werden „weg geschnitten“

B28. Was wissen Sie über die Absorption von Röntgenstrahlen und welche Rolle spielt sie in der medizinischen Diagnostik?

Röntgenstrahlung durchdringt die Materien, wobei ein Intensitätsverlust auftritt, der von der Dicke und Substanz der Schichte, sowie der Wellenlänge der Röntgenstrahlung abhängig ist. Strahlung kurzer Wellenlänge, sogenannte harte Röntgenstrahlung (entstanden durch Elektronen hoher Energie) wird weniger **absorbiert** als langwellige (weiche) Röntgenstrahlung. Die Absorption ist für Stoffe mit hohem Atomgewicht größer. Daher wird meist Blei als Abschirmung für Röntgenstrahlung verwendet.

Röntgenstrahlen finden in der **Medizin** vielfache Anwendung, vor allem wegen ihrer Fähigkeit, den Körper zu durchdringen. Die Knochen haben wegen des höheren Atomgewichtes von Kalzium und Phosphor eine stärkere Absorption als die Gewebe. Dadurch wird beim Durchgang durch den Körper ein „Schattenbild“ der Knochen gebildet. Innere Organe sind kaum sichtbar, da sie wenig absorbieren. Erst durch Aufnahme von Kontrastmitteln (Schwermetallhaltig) könne sie sichtbar gemacht werden.
Diagnostik: Brüche, Tumore...

C) Elektrizität

C1. Welche Ladungsträger kennen Sie und wie können Sie diese erzeugen? Wie können Sie die Ladungsträger nachweisen? Welche Kräfte wirken zwischen Ladungsträgern? Was ist die Einheit der elektrischen Ladung?

Elektrische Ladungen „entstehen“ bei Reibung. Es gibt zwei Arten von Ladungen (**Ladungsträger**): positive (Kationen) und negative Ladungen (Anionen). Gleichnamige Ladungen stoßen einander ab, ungleichnamige ziehen einander an. Die Wahl von + und - ist vollkommen willkürlich, ein geriebener Glasstab hat per Definition eine positive Ladung. Ladungen werden jedoch nicht erzeugt, sondern getrennt. Beim Reiben eines Glasstabes mit einem Tuch ist der Stab positiv und das Tuch negativ geladen.

Die **Messung** der Ladungen erfolgt mit dem Elektroskop: An einem isoliert montierten Metallstück (elektrischer Leiter) sind leicht beweglich Metallblättchen angebracht. Wird auf des Elektroskop durch Überstreichen mit einem geladenen Stab Ladung übertragen, so verteilen sich die Ladungen gleichmäßig über alle Metallteile und die Blättchen stoßen einander ab.

Die Anziehung der elektrischen Ladungen erfolgt ohne sichtliche „Verbindung“ der beiden Ladungen, also in einer anderen Form als z.B. bei elastischen Kräften. Die **elektrostatischen Kräfte** wirken genauso wie die Gravitation auch im Vakuum und in großen Entfernungen (Fernwirkungskraft).

Da elektrische Ladungen aufeinander Kräfte ausüben, kann man diese Kräfte verwenden, um Ladungen zu messen. Die **Einheit** der Ladung ist 1 Coulomb, abgekürzt 1 C.

C2. Wie lautet das Gesetz, das die Kraftwirkung zwischen zwei Ladungsträgern beschreibt? Welche Einheit haben die Ladungsträger? Was ist ein elektrostatisches Feld?

Coulombsches Gesetz: Die Anziehungskräfte zwischen zwei Ladungen können experimentell bestimmt werden. Für zwei punktförmige Ladungen der Größe Q_1 und Q_2 im Abstand r ergibt sich die anziehende (abstoßende) Kraft F zu:

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

Die **Einheit** der Ladung ist 1 Coulomb, abgekürzt 1 C. Jeweils positive oder negative Ladung.

Elektrostatisches Feld: das ist ein gerichtetes Vektorfeld. Für eine positive Ladung ist es genau von der Ladung weg, für eine negative Ladung zur Ladung hin gerichtet. Durch das Vorhandensein von Ladungen wird der Raum in einer für uns nicht erkennbaren Form verändert, sodass auf eine kleine Ladung q (sog. Probeladung) eine Kraft wirkt. Die Größe der Kraft hängt sowohl von den vorhandenen Ladungen (die eventuell gar nicht bekannt sein müssen) als auch von der Größe der Probeladung ab.

C3. Beschreiben Sie ein elektrostatisches Feld. Was verstehen Sie unter Feldlinien, was unter Äquipotentiallinien, wie stehen sie zueinander? Was ist die elektrische Spannung, welche Einheit hat sie?

Elektrostatisches Feld: das ist ein gerichtetes Vektorfeld. Für eine positive Ladung ist es genau von der Ladung weg, für eine negative Ladung zur Ladung hin gerichtet.

Feldlinien: bezeichnet die Richtung der Kraftwirkung.

Äquipotentiallinie: Gesamtheit aller Punkte gleichen Potentials.

Äquipotentialflächen stehen normal auf den Feldlinien.

Elektrische Spannung / Potentialdifferenz: physikalische Größe, die angibt, wie viel Arbeit nötig ist bzw. frei wird, um ein Objekt mit einer bestimmten Ladung entlang eines elektrischen Feldes zu bewegen. **Einheit:** Volt

C4. Was ist ein Kondensator? Was ist seine Kapazität und welches ist die Einheit der Kapazität? Wie ist die Gesamtkapazität, wenn Sie mehrere Einzelkapazitäten entweder parallel oder in Serie zueinander schalten? Welche Energie können Sie in einem Kondensator speichern?

Ein **Kondensator** besteht aus zwei gegeneinander isolierten Platten (in meist kurzem Abstand). Befinden sich auf den Platten Ladungen, so bildet sich zwischen den Platten ein elektrisches Feld und daher herrscht zwischen den Platten eine Potentialdifferenz. Je größer die Ladung auf den Platten, desto größer die Potentialdifferenz.

Der Quotient aus der Ladung auf den Platten und der Spannung zwischen den Platten wird **Kapazität** genannt. Diese hängt von Größe und Abstand der Platten ab. Ein Kondensator hat die Kapazität von 1 Farad, wenn bei einer Ladung von 1 Coulomb eine Potentialdifferenz von 1 Volt auftritt.

Bei **Parallelschaltung** von Kondensatoren ergibt sich die **Gesamtkapazität** als Summe der Einzelkapazitäten, bei **Serienschaltung** ist der Reziprokwert der Gesamtkapazität die Summe der Reziprokwerte der Einzelkapazitäten.

Befindet sich zwischen den Kondensatorplatten ein Dielektrikum (=Isolator), so richten sich dessen Dipole in Feldrichtung aus. Dadurch wird das Feld der Ladungen geschwächt, die Spannung zwischen den Platten sinkt, die Kapazität steigt. Im elektrischen Feld eines **Kondensators** wird elektrische Energie gespeichert.

C5. Welche technischen Anwendungen von Kapazitäten kennen Sie? Wie ändert sich die Kapazität eines Kondensators, wenn Sie den Zwischenraum mit einem Dielektrikum ausfüllen? Wie wirkt das elektrische Feld des Kondensators auf das Dielektrikum?

Kondensatoren werden in der Elektronik, zum Glätten von Wechselspannung, als Energiespeicher (z.B. bei Blitzlichtgeräten) zum Weiterleiten und Trennen von Wechselspannungen verschiedener Frequenzen, Defibrillator, Sensortasten in Liftanlagen etc. **verwendet**.

Die **Kapazität** erhöht sich beim Einsatz eines **Dielektrikums** weil die Feldstärke verringert wird, was wiederum die Spannung zwischen den Platten verringert.

Es richten sich beim Anlegen einer Spannung an die Platten die Dipole aus. Die negativen Pole der Dipole zeigen zur positiven Platte, die positiven Dipole zur negativen Platte. Dadurch wird von den Dipolen ein **Feld** entgegengesetzt dem Feld im Kondensator erzeugt und somit die Feldstärke verringert.

C6. Was verstehen Sie unter einem Gleichstrom? Was ist seine Einheit? Welche Ladungsträger sind für den Strom in einem Metall zuständig? In welcher Richtung bewegen sie sich? Bewegen sich Elektronen beim Stromfluss in einem Kupferkabel schnell oder langsam?

Die Bewegung von elektrischen Ladungen wird elektrischer Strom genannt. Bei gleichmäßiger Bewegung spricht man von **Gleichstrom** oder stationärem Strom.

Die **Einheit** der Stromstärke liegt dann vor, wenn in 1 Sekunde 1 Coulomb Ladung durch den Leiter fließt. Somit: $I = 1\text{C} / 1\text{s} = 1\text{A}$ (Ampere)

Die **Richtung** der Stromstärke gibt an in welcher Richtung sich positiven Ladungsträger bewegen würden. Diese Richtung geht immer vom positiven zum negativen Pol der Spannungsquelle. An der Stromleitung in **Metallen** sind allerdings ausschließlich Elektronen beteiligt, sodass sich diese demzufolge in der Gegenrichtung des elektrischen Stromes bewegen.

Stromfluss in einem **Kupferkabel** mit weniger als 1mm / 1 s sehr langsam.

C7. Was verstehen Sie unter dem Ohmschen Gesetz? Was ist der Widerstand, in welchen Einheiten wird er gemessen? Was ist der spezifische Widerstand?

Spannung und Stromstärke sind zueinander proportional: $U = R \cdot I$ (**Ohmsches Gesetz**).

Man bezeichnet die Proportionalitätskonstante R als den elektrischen **Widerstand**. Der Widerstand hängt selbstverständlich von Form und Material des Leiters ab. Die Dimension des Widerstandes ist $[R] = \text{V} / \text{A} = \Omega$ $1\text{V} / 1\text{A}$ wird als 1 Ohm bezeichnet.

Der Widerstand eines Drahtes hängt von der Länge l , vom Querschnitt A und vom Material des Drahtes ab. Er ergibt sich zu $R = \rho \cdot l / A$.

Die Größe ρ wird **spezifischer Widerstand** genannt und ist eine Materialkonstante. Der Widerstand eines Drahtes nimmt mit wachsender Länge zu und mit größer werdendem Querschnitt ab.

C9. Erläutern Sie die " Kirchhoffschen Regeln".

Für beliebige Netzwerke von Widerständen und Spannungsquellen lassen sich mit den beiden **Kirchhoffschen Regeln** Strom und Spannung in jedem beliebigen Punkt eines Netzwerkes errechnen.

Die beiden Regeln lauten:

1. In jedem Verzweigungspunkt ist die Summe der Ströme Null.
2. In jedem geschlossenen Stromkreis ist die Summe der Spannungen Null.

C10. Beschreiben Sie den Transport von elektrischen Ladungen in Flüssigkeiten. Hat Wasser eine hohe oder niedrige Leitfähigkeit? Was ist ein Elektrolyt?

Bei Stromleitung **wandern** die Ionen durch die Flüssigkeit zu der Elektrode entgegengesetzter Polarität. Je größer die Stromstärke, desto schneller bewegen sich die Ionen. Dort werden sie neutralisiert und abgeschieden.

Sehr reine Flüssigkeiten haben im allgemeinen kaum frei beweglich Ladungsträger und sind daher Isolatoren (z.B. **chemisch reines Wasser**).

Wässrige Lösungen (z.B. **Trinkwasser**) von Salzen, Säuren oder Laugen leiten den Strom ausgezeichnet. Sie werden **Elektrolyte** genannt. Bei der Lösung des Salzes dissoziiert es in gleich viele positive und negative Ladungen (Ionen).