



Unterrichtsmaterialien Elementa

Elementa 2

Inhaltsverzeichnis

1. Elektrotechnik	3
1.1 Bandgenerator	3
1.2 Blitze	4
1.3 Elektrische Flöhe	6
1.4 Elektrophor	7
1.5 Leydener Flasche	8
1.6 Reibversuche	9
1.7 Magnetfelder	10
1.8 Magnetspule	11
1.9 Induktion	12
1.10 Elektromotor	13
1.11 Motor – Generator	14
1.12 Springender Ring	15
1.13 Transformator	16
1.14 Hochspannungsleitung	17
1.15 Leiter – Nichtleiter	18
1.16 Reihen- und Parallelschaltung	19
1.17 Handbatterie	20
2. Kommunikation	21
2.1 Rohrpost	21
2.2 Morsetisch	22
2.3 Zoetrop	23
3. Wahrnehmung	24
3.1 Magische Klötzchen	24
3.2 Tischflächentäuschung	25
3.3 Temperaturfühlen	26
3.4 Stangenfangen	27
3.5 Feinzeiger	28
4. Aerodynamik	29
4.1 Strömungswand	29
4.2 Stromlinien	30
4.3 Klebeluft	31



4.4	Flugzeug	32
5.	Thermodynamik	33
5.1	Adiabatische Erwärmung	33
5.2	Gaskinetik	34
5.3	Fliehkraftregler	35
5.4	Dampfmaschine	36
5.5	Urmotor	37
5.6	Gleislauf	38
6.	Kreisel	39
6.1	Kreiselrad	39
6.2	Wilde Koffer	40
7.	Schwingungen	41
7.1	Wellenwanne	41
7.2	Große Federn	42



1. Elektrotechnik

1.1 Bandgenerator

Haarsträubende Elektrizität

Achtung: Dieser Versuch wird von einem Tutor vorgeführt. Folgen Sie seinen Anweisungen! Fassen Sie an die große Metallkugel. Sobald der Bandgenerator anläuft, spüren Sie ein Kribbeln auf der Haut und die Haare auf dem Kopf fangen an sich zu sträuben.

Was geschieht hier?

Durch Reibung von Kunststoffen lässt sich elektrische Ladung erzeugen. In diesem Fall reibt sich das Gummiband an den Kunststoffwalzen, auf denen es transportiert wird, und lädt sich elektrisch auf: bis zu etwa 20.000 Volt.

Diese elektrische Ladung wird auf die große Metallkugel übertragen. Wenn Sie die Metallkugel berühren, geht die Ladung auf Ihren isoliert stehenden Körper über und lädt ihn auf.

Da sich gleichnamige Ladungen gegenseitig abstoßen, versuchen alle leichten Gegenstände, sich vom Körper weg zu bewegen, vor allem die Haare: Sie sträuben sich.

Dieser Vorgang ist trotz der hohen Spannungen völlig ungefährlich, da nur äußerst geringe Strommengen fließen.

Genauer betrachtet

Der Bandgenerator wirkt wie ein Fließband, das elektrische Ladung transportiert.

Das breite Gummiband läuft über zwei Walzen. Durch Reibung an der oberen Walze lädt es sich dabei negativ auf. Die Ladung wird auf dem Band nach unten transportiert und über einen Metallkamm zur Erde abgeleitet.

Auf der Bandseite gegenüber, der aufwärts laufenden Seite, entsteht durch Influenz eine positive Ladung. Diese wird nach oben zur Kugel transportiert und dort abgestreift.

Auf der Kugel sammelt sich eine immer größer werdende positive Ladungsmenge an. Auf diese Weise können bei entsprechender Ausführung der Maschine mehrere Millionen Volt erzeugt werden.

Dieser Bandgenerator kann im Leerlauf etwa 150.000 Volt erzeugen. Bei einem Kurzschluss zwischen Kugel und Erde fließt aber nur ein Strom von maximal 6 millionstel Ampere.

Woher und wozu?

Der Bandgenerator ist eine Weiterentwicklung der Influenzmaschinen – jener frühen Elektrisiermaschinen, mit denen in den physikalischen Kabinetten des 18. Jahrhunderts elektrostatische Phänomene erforscht wurden.

Beliebt waren diese Maschinen auch in Hofgesellschaften. Dort dienten sie der unterhaltsamen Demonstration elektrostatischer Effekte: von tanzenden Papierschnipseln bis zum elektrischen Kuss.

Der amerikanische Physiker Robert Jemison Van de Graaf (1901-1967) entwickelte 1929 den Bandgenerator, daher auch Van de Graaf-Generator genannt. 1933 konstruierte er am Massachusetts Institute of Technology einen 10 Meter hohen Generator zur Erzeugung von 7 Millionen Volt als Energiequelle für einen Teilchenbeschleuniger in der Kernforschung.

Ab 1937 wurden Van de Graaf-Generatoren auch in der Röntgenographie und der Krebstherapie eingesetzt. Heute benutzt man für diese Zwecke andere Hochspannungsquellen.



1.2 Blitze

1.2.1 Blitzhaus

Wie funktioniert ein Blitzableiter?

Stellen Sie mit dem rechten Handrad die beiden Kugeln auf dem Schlitten den beiden linken Kugeln auf der festen Leiste gegenüber. Jetzt können Sie an der Elektrisiermaschine im Uhrzeigersinn mit der Kurbel drehen.

Was geschieht hier?

Die Wolke baut eine Spannung gegenüber der Erde auf. Wenn die Spannung groß genug ist, entlädt sie sich als Blitz. Der Blitzableiter und das Häuschen sind Teile der Erde. Weil der Blitz sich immer den kürzesten Weg zur Erde sucht, schlägt er in den Blitzableiter ein. Nach dem Einschlag folgt er dem Blitzableiter weiter zur Erde, weil dieser ihm weniger Widerstand bietet als das Haus.

Genauer betrachtet

Ein Schlag von der Elektrisiermaschine wäre zwar schmerzhaft, aber nicht tödlich. Grund dafür sind die geringen Stromstärken. Sämtliche Anschlüsse und Pole bei diesen Versuchen sind kugelförmig. Spitze Pole würden bei den hohen Spannungen (bis zu 120.000 Volt) zu Spitzenentladungen führen. Das elektrische Feld wäre so stark, dass der Strom direkt in die umgebende ionisierte Luft abfließt, bevor ein Blitz entsteht. Diesen Effekt können Sie beim mittleren Versuchsaufbau beobachten. Bei der Spitzenentladung fließen die Ladungs-Ionen gleichmäßig. Ein Blitz hingegen ist eine Ionen-Lawine, die sich schlagartig ihren Weg durch die Luft bahnt.

Woher und Wozu?

Der Nutzen von Blitzableitern liegt auf der Hand. In vielen Fällen sind sie von der Gebäudeversicherung vorgeschrieben. Erforscht wurde ihre Wirkung ab Mitte des 18. Jahrhunderts. Der Physiker Johann Jakob Hemmer von der Mannheimer Akademie der Wissenschaften stattete 1776 alle Schlösser und Pulvertürme der Kurpfalz mit Blitzableitern aus. Er folgte dabei der Konstruktion von Benjamin Franklin.

1.2.2 Elektrische Jäger

Wie kann man mit einem Blitz den Vogel abschießen?

Stellen Sie mit dem rechten Handrad die beiden Kugeln auf dem Schlitten den beiden rechten Kugeln auf der festen Leiste gegenüber. Jetzt können Sie an der Elektrisiermaschine im Uhrzeigersinn mit der Kurbel drehen.

Was geschieht hier?

Die Kugel mit den Papiervögeln lädt sich elektrisch auf. Die Vögel sind dann gleichnamig geladen und stoßen sich gegenseitig ab. Wenn die Spannung groß genug ist, entlädt sich die Kugel mit einem Blitz auf die Flinte. Die Vögel und die Kugel verlieren schlagartig ihre Ladung, stoßen sich nicht mehr ab und die Vögel fallen herunter.

Genauer betrachtet

Damit die Vögel sich voneinander abstoßen, muss die Flinte des Jägers geerdet sein. Nur so erhält die Kugel mit den Vögeln als Gegenpol eine Spannung gegenüber der Umgebung. Wäre die Flinte nicht geerdet, könnte die Kugel im Baum keine Spannung gegenüber der Umgebung aufbauen und die Vögel würden nicht fliegen.

Woher und Wozu?

Sie kennen den gezeigten Effekt aus dem Alltag. Wenn Sie zum Beispiel Kleidungsstücke aus Kunstfaser übereinander tragen, laden diese sich auf. Ziehen Sie nun beispielsweise den Pullover aus, sträuben sich Ihre Haare und Sie können das Knistern der Entladungen hören. Im Dunkeln sind



sogar kleine Blitze sichtbar. Die Abstoßung gleich geladener Körper wird beim Elektroskop (andere Experimentierstation) auch zum Nachweis elektrischer Ladung genutzt.

1.2.3 Spitzenrad

Ein Ionen-Antrieb aus dem Barock?

Stellen Sie mit dem rechten Handrad die beiden Kugeln auf dem Schlitten den beiden mittleren Kugeln auf der festen Leiste gegenüber. Jetzt können Sie an der Elektrisiermaschine im Uhrzeigersinn mit der Kurbel drehen.

Was geschieht hier?

Die benachbarte Antenne ist geerdet, und das Spitzenrad baut eine Spannung gegenüber seiner Umgebung auf. An den Spitzen wird das elektrische Feld so stark, dass die Luft sich auflädt, sich abstößt und so einen Rückstoß erzeugt. Von Zeit zu Zeit springt ein Blitz als schlagartige Entladung auf die Antenne über. Die Abstoßung gleich geladener Körper wird beim Elektroskop (andere Experimentierstation) auch zum Nachweis elektrischer Ladung genutzt.

Genauer betrachtet

Durch das starke elektrische Feld an den Spitzen wird die umgebende Luft ionisiert. So fließt die Ladung des Rades in Form von Ionen in die Luft ab. Oder anders formuliert: Im Hochspannungsbereich wird die ansonsten isolierende Luft leitend. Ladungen fließen im Gegensatz zum Blitz gleichmäßig. Dieser Effekt heißt Spitzenentladung.

Woher und Wozu?

Die Spitzenentladung ist der Grund, weshalb die hohe Spannung der Elektrisiermaschine (bis zu 120.000 V) und die Blitze hier bei allen Versuchen über Kugeln geleitet werden. Spitze Pole würden zu Spitzenentladungen führen und die elektrische Ladung schon in die Luft entweichen lassen, bevor es zu einem Blitz kommt. Bei allen Versuchen und technischen Geräten mit Hochspannung werden Spitzen vermieden.



1.3 Elektrische Flöhe

Wie können Sie dem Konfetti auf die Sprünge helfen?

Nehmen Sie einen Lappen und reiben Sie damit kräftig an der Plexiglasscheibe. Probieren Sie es an verschiedenen Stellen der Scheibe aus.

Was geschieht hier?

Durch das Reiben mit dem Lappen lädt die Plexiglasscheibe sich elektrisch auf und die gesamte Umgebung der Scheibe bildet den Gegenpol. Diese beiden Ladungen haben das Bestreben, sich wieder auszugleichen. Weil es aber keine elektrischen Leiter gibt, springen die Konfettistückchen zwischen der Scheibe und dem Tisch wie Flöhe hin und her. Wie kleine Fähren nehmen sie dabei jedes Mal etwas Ladung von einem Pol zum anderen mit.

Genauer betrachtet

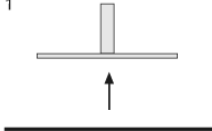

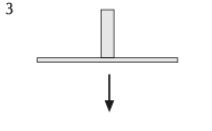
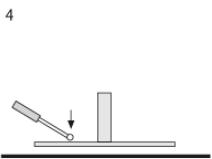
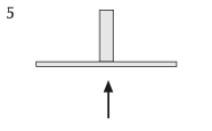
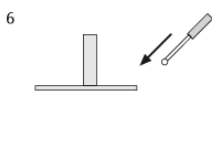
Wenn die Plexiglasscheibe sich negativ auflädt, ist die Umgebung im Verhältnis zu ihr positiv geladen. Die positiv geladenen Konfettistückchen werden von der negativ geladenen Scheibe angezogen und springen zu ihr hoch. Oben angekommen, geben sie zunächst ihre positive Ladung ab, um dann sogleich die negative Ladung der Scheibe anzunehmen. Jetzt werden sie vom positiv geladenen Tisch unter der Scheibe angezogen und der gleiche Vorgang läuft wieder in umgekehrter Richtung.

Woher und Wozu?

Jedes leitfähige Material enthält frei bewegliche Ladungsträger. Das sind Teilchen, die elektrisch geladen sind und sich zwischen den Atomen frei bewegen können. In Metallen sind es Elektronen, in Salzlösungen sind es Ionen. Wie die elektrischen Flöhe machen sie sich auf den Weg, um ihre Ladung am ungleichnamig geladenen Pol abzugeben. Allerdings bleiben sie danach dort und strömen nicht wieder in die andere Richtung zurück.

1.4 Elektrophor

Wie kann man damit Blitze erzeugen?

- 1  Heben Sie die Metallplatte am Kunststoffgriff von der Plexiglasplatte ab.
- 2  Reiben Sie die Plexiglasplatte mit dem Fell
- 3  und stellen Sie die Metallplatte wieder auf die Plexiglasplatte.
- 4  Nun berühren Sie die Metallplatte kurz mit der Messingkugel, die sich an der Spitze des Entladers befindet.
- 5  Heben Sie nun die Metallplatte wieder von der Plexiglasplatte ab
- 6  und nähern Sie den Entlader der Metallplatte. Sie hören es knistern, ein Blitz springt über.

Was geschieht hier?

Die Plexiglasplatte lädt sich durch das Reiben auf. Dadurch werden beim Aufsetzen der Metallplatte deren Ober- und Unterseite unterschiedlich geladen. Durch das Berühren mit dem Entlader (oder für weniger Schreckhafte mit dem Finger) wird die Ladung von der Oberseite der Metallplatte abgeführt. Sie ist jetzt nur noch mit der Ladung der Unterseite geladen. Wird die Metallplatte von der Plexiglasplatte senkrecht abgehoben, so kommt es zur räumlichen Trennung der Ladung. Sobald die Kugel des Entladers in die Nähe der Metallplatte kommt, gleicht sich die Ladung in Form eines Blitzes wieder aus.

Genauer betrachtet

Durch Reiben mit dem Fell wird negative Ladung auf die Plexiglasplatte abgestreift. Wenn Sie mit dem Handrücken in die Nähe der Platte kommen, spüren Sie deutlich, wie Ihre Härchen angezogen werden. Wird die Metallplatte (Leiter) in die Nähe der geladenen Plexiglasplatte (Nichtleiter) gebracht, so verschieben sich die Elektronen auf der Metallplatte (ungleichnamige Ladungen ziehen sich an). Diese Erscheinung wird als elektrische Influenz bezeichnet. Nun stehen sich ungleichnamige Ladungen gegenüber. In sich ist die Metallplatte aber immer noch elektrisch neutral, da sie genauso viel positive wie negative Ladung in sich trägt. Wird die Ladung auf einer Seite der Metallplatte durch eine Erdverbindung abgeleitet, zum Beispiel durch Berühren mit der Hand, ist sie in sich nicht mehr neutral. In diesem Falle ist sie elektrisch positiv geladen, da die negative Ladung abgeleitet wurde. Weil nun beide Platten ungleichnamige Ladung besitzen, ziehen sie sich an. Werden die Platten voneinander getrennt, erhöht sich die Spannung noch weiter. Sie steigt so weit an, dass es zum Funkenüberschlag durch die Luft kommt, sobald ein geerdeter Gegenstand in die Nähe der Platte kommt.

Woher und Wozu?

Der Elektrophor war ein sehr wichtiges Gerät in der Frühzeit der Erforschung der Elektrizität. Sein Prinzip ist seit etwa 1750 bekannt und wurde 1775 von Alessandro Volta verbessert. Er nannte dieses Gerät „Elettroforo Perpetuo“. Der Göttinger Forscher Georg Christoph Lichtenberg (1742-1799) baute einen Elektrophor mit 2,5 m Durchmesser. Mit ihm konnte er Funken bis zu 70 cm Länge erzeugen. An den Einschlagstellen der Blitze entdeckte er, dass angezogene Staubteilchen sich in bestimmten Strukturen niederschlagen (Lichtenberg-Figuren). Später wurde das Prinzip des Elektrophors mechanisiert und zu den so genannten Influenzmaschinen weiterentwickelt. Eine Maschine dieser Bauart erzeugt die Spannung für die Versuche mit dem Blitzhäuschen, dem Jäger und dem Spitzenrad.



1.5 Leydener Flasche

Lässt sich elektrische Ladung in ein Glas füllen?

Nehmen Sie das runde Glas in die Hand und holen Sie mit der Kugel die elektrische Ladung vom Elektrophor (benachbartes Experiment). Entladen Sie das Glas dann wieder am Elektroskop.

Was geschieht hier?

Dieses Glas heißt Leydener Flasche und ist ein Vorläufer heutiger Kondensatoren. Das sind elektronische Bauteile, die Ladungen speichern und wieder abgeben. Wie Sie sehen, lässt sich eine Ladung vom Elektrophor tatsächlich in die Leydener Flasche füllen und zum Elektroskop transportieren. Das Elektroskop macht sie dann durch die Abstoßung der gleich geladenen Metallfolie sichtbar.

Genauer betrachtet

Im Vergleich zu Akkus können Kondensatoren nur sehr kleine Ladungsmengen speichern und wieder abgeben. Während in einem Akku jedoch langsame chemische Reaktionen ablaufen, ist der Speichervorgang im Kondensator rein physikalisch. Deshalb können Kondensatoren die Ladung geradezu blitzartig aufnehmen und wieder abgeben.

Je höher die Spannung ist, mit der ein Kondensator geladen wird, desto mehr Ladung nimmt er auf. Die Ladungsmenge, die ein Kondensator aufnimmt, steigt proportional zur Ladespannung. Der Faktor hängt von Größe und Bauart des Kondensators ab und heißt Kapazität:

Ladungsmenge(Q) = Kapazität(C) · Spannung(U), kurz: $Q = C \cdot U$

Die Leydener Flasche ist ein Glasbehälter, der innen und außen mit Metallfolie beschichtet ist. Wenn Sie die Leydener Flasche anfassen, ist die Folie auf der Außenseite über Ihre Hand geerdet. Die Folie auf der Innenseite ist mit der Kugel leitend verbunden, aber von der äußeren Folie durch das Glas isoliert. Deshalb lässt sich die innere gegenüber der äußeren, geerdeten Folie aufladen.

Die Kapazität einer Leydener Flasche ist umso größer, je größer die Oberfläche der Folien und je kleiner die Dicke des Glases ist. Außerdem hängt sie von der Art des Glases ab.

Woher und Wozu?

Die Leydener Flasche wurde im 18. Jahrhundert in Leyden (Holland) entwickelt, als man versuchte, elektrische Ladung in einer wassergefüllten Flasche zu speichern. Im Vergleich zu modernen Kondensatoren gleichen Ausmaßes hat sie eine kleine Kapazität, lässt sich dafür aber mit hohen Spannungen aufladen. Deshalb wird sie noch manchmal für elektrische Versuche mit hohen Spannungen genutzt.

Heutige Kondensatoren sind oft nur noch so groß wie Stecknadelköpfe, da sie nicht so hohe Spannungen aushalten müssen. Sie sind zu hunderten in Radios, Fernsehern und Computern eingebaut und zählen zu den wichtigsten Bauelementen in der Elektronik.



1.6 Reibversuche

Wie können Sie elektrische Ladung erzeugen?

An dieser Experimentierstation haben Sie verschiedene Stäbe und verschiedene Materialien zum Reiben der Stäbe. Probieren Sie verschiedene Kombinationen aus und nähern Sie den Stab dann langsam an das Elektroskop an.

Was geschieht hier?

Mit einer günstigen Kombination von Materialien können Sie elektrische Ladungen auf den Stab reiben. Je stärker der Stab geladen ist, desto früher schlägt das Elektroskop aus. Das elektrische Feld des geladenen Stabes zieht die ungleichnamige Ladung im Elektroskop nach oben und stößt die gleichnamige in Richtung Metallfolie ab. Die Metallfolie ist dann wie der Stab geladen und spreizt sich.

Genauer betrachtet

Sie können die elektrische Ladung mit dem Stab auch am Elektroskop abstreifen.

Das Berühren allein reicht dafür nicht, da die Stäbe Nichtleiter sind und die Ladungen auf ihnen nicht fließen können; sie müssen die Ladung abstreifen. Wenn Sie den Stab jetzt wieder entfernen, bleibt das Elektroskop geladen.

Wenn Sie diesen Vorgang mit einer anderen Kombination von Materialien wiederholen, gibt es zwei Möglichkeiten: Der Stab ist wieder gleich geladen und der Ausschlag der Metallfolie wird noch größer. Oder der Stab erhält die entgegengesetzte Ladung und das Elektroskop wird neutralisiert oder gar umgepol. Die Metallfolie geht zusammen, im Falle einer Umpolung gleich darauf wieder auseinander.

Woher und Wozu?

Das Entstehen elektrischer Ladung durch Reibung ist uns aus dem Alltag wohl bekannt. Schmerzhaft Entladungen an Türklinken oder an Menschen werden Sie kennen, wenn Sie Schuhe mit Kunststoffsohlen besitzen.

Kleiner Alltagstipp: Wenn Sie aus Ihrem Auto aussteigen, halten Sie sich schon vor dem Aufstehen an der Karosserie fest. Die Ladung, die Sie dann vom Sitzpolster abstreifen, kann so direkt wieder abfließen und entlädt sich nicht mehr mit einem schmerzhaften Schlag.



1.7 Magnetfelder

Welche Kräfte sind hier am Werk?

Legen Sie die Magnete auf das Feld mit den vielen kleinen Kompassnadeln. Die stabförmigen Magnete können Sie auch in den durchsichtigen Zylinder stecken. – Den Zylinder vorher gut schütteln!

Was geschieht hier?

Die kleinen Kompassnadeln sind selbst magnetisch. Deshalb richten sie sich nach den stärkeren Feldern der großen Magnete aus. Ihre Nordpole werden vom Südpol des großen Magneten angezogen und umgekehrt.

Im durchsichtigen Zylinder ist Öl mit feinen Eisenspänen. Auch die Späne richten sich nach dem Feld der großen Magnete aus. So können Sie ein Magnetfeld in 3D beobachten.

Genauer betrachtet

Im Feld des großen Magneten werden die Eisenspäne selbst magnetisch und verhalten sich deshalb wie die Kompassnadeln.

Wussten Sie schon, dass es außer Eisen nur zwei weitere Metalle gibt, die auf Magnete reagieren: Nickel und Kobalt.

Woher und Wozu?

Der elektrische Strom erzeugt ebenfalls Magnetfelder (siehe „Magnetspule“).

Erst durch sie können Elektromotoren (siehe „Elektromotor“) und Generatoren (siehe „Motor-Generator“) funktionieren.



1.8 Magnetspule

Wie lässt sich ein Magnet an- und ausschalten?

Wenn das grüne Lämpchen am Knopf leuchtet, können Sie kurz drücken und Strom durch die Spule fließen lassen. Beobachten Sie dabei die kleinen Kompassnadeln.

Nach kurzer Zeit schaltet sich der Strom wieder aus; das Lämpchen leuchtet dann rot. Was machen die Kompassnadeln jetzt?

Was geschieht hier?

Wenn Strom durch die Spule fließt, erzeugt sie das gleiche Feld wie ein großer, stabförmiger Magnet. Die kleinen Kompassnadeln sind Dauermagnete, also von sich aus magnetisch. Deshalb richten sie sich nach dem Magnetfeld der Spule aus. Ohne Strom wird die Spule sofort wieder unmagnetisch, und die Nadeln können sich beliebig ausrichten.

Genauer betrachtet

Jedes stromdurchflossene Kabel ist von einem Magnetfeld umgeben. Seine Feldlinien verlaufen kreisförmig um das Kabel. Die Richtung der Feldlinien zeigt immer auf den magnetischen Südpol. Wenn Sie das Kabel zu einer Spule wickeln, dann addieren sich die kreisförmigen Felder zu einem größeren, länglichen Feld.

Woher und Wozu?

An- und ausschaltbare Elektromagnete sind sehr praktisch:

- Auf dem Schrottplatz können sie Autowracks anheben und absetzen.
- Im richtigen Takt ein- und ausgeschaltet versetzen sie andere Magnete in Drehung. So funktionieren Elektromotoren. Probieren Sie es an unserem Versuch „Elektromotor“ doch einmal aus.
- In so genannten Relais können sie Schalter betätigen, indem sie ein Metallblättchen anziehen.
- Im Rhythmus der Musik können sie sich von einem Dauermagneten abstoßen und dabei Schallwellen erzeugen. So funktionieren Lautsprecher.

Vielleicht kennen Sie sogar noch mehr Beispiele aus dem Alltag?



1.9 Induktion

Elektrizität aus dem Magneten?

Nehmen Sie den Kupferdraht und führen Sie ihn entlang des Stabmagneten, der vor Ihnen steht. Beobachten Sie das Messgerät.

Was geschieht hier?

Wenn ein Leiter an einem Magneten vorbeigeführt wird, entsteht in ihm eine elektrische Spannung. Je schneller Sie den Leiter im Magnetfeld bewegen, umso höher ist die Spannung und umso heftiger schlägt das Messgerät aus.

Wenn Sie nun die Leitung noch in Windungen legen und als Spule über den Magneten bewegen, schlägt das Messgerät noch heftiger aus.

Genauer betrachtet

Dieser Vorgang wird elektromagnetische Induktion genannt. Darunter versteht man das Entstehen einer elektrischen Spannung in einem Leiter (Draht), wenn dieser ein Magnetfeld „schneidet“. Dies ist der Fall, wenn ein Leiter quer durch ein Magnetfeld bewegt wird.

Je länger der Draht ist und je schneller er die Feldlinien schneidet, umso höher ist die Spannung, die „induziert“ wird. Deshalb wickelt man in der Elektrotechnik den Draht auf Spulen und bewegt ihn möglichst schnell im Magnetfeld.

Woher und Wozu?

Bei dem Versuch, die Wirkung des Elektromagneten umzukehren, entdeckte der Engländer Michael Faraday 1831 die elektromagnetische Induktion.

Im Jahr 1866 verbesserte Werner von Siemens dieses Prinzip so weit, dass er mit seinem Dynamo Elektrizität in großen Mengen erzeugen konnte.

Die Induktionswirkung wird technisch vor allem zur Stromerzeugung im Generator und für Transformatoren genutzt. Aber auch im Mikrophon wandelt die Induktionswirkung Schallwellen in elektrische Schwingungen um.



1.10 Elektromotor

Wieso dreht sich der Magnet?

Drücken Sie die drei grünen Knöpfe nacheinander. Wenn Sie den richtigen Takt finden, beginnt der Magnet in der Mitte zu kreisen. Noch besser geht's zu zweit oder zu dritt. Versuchen Sie doch einmal, den Magneten richtig auf Touren zu bringen.

Was geschieht hier?

Solange Sie einen Knopf gedrückt halten, fließt Strom durch die zugehörige Spule. Diese Spule wird dadurch magnetisch. Der Magnet in der Mitte dreht sich, weil dann einer seiner beiden Pole von der Spule angezogen und der andere Pol abgestoßen wird. Wieso eine stromdurchflossene Spule magnetisch wird, können Sie beim Experiment „Magnetspule“ erfahren.

Genauer betrachtet

Dieses Experiment entspricht der Bauweise eines Synchronmotors. Wenn Sie die Spulen im richtigen Takt ein- und ausschalten, erzeugen Sie ein drehendes Magnetfeld.

Der Magnet in der Mitte nimmt dann die Drehzahl des Magnetfeldes an.

Richtige Synchronmotoren werden mit Drehstrom angetrieben. Ihre Drehzahl beträgt bei einer Spannungsfrequenz von 50 Hertz 3000 Umdrehungen pro Minute.

Woher und Wozu?

Synchron-Drehstrom-Motoren bleiben stehen, wenn sie nicht angeworfen oder durch eine Belastung zu stark gebremst werden. Zudem laufen sie immer mit der gleichen Drehzahl. Aus diesen Gründen finden sie in der Technik selten Verwendung. Sie eignen sich aber zum Antrieb elektrischer Uhren, wo ein gleichmäßiger Gang bei gleichmäßiger Belastung verlangt wird.

Weiter verbreitet sind Asynchronmotoren. Sie sind anders gebaut, sodass ihre Drehzahl immer unterhalb der des Magnetfeldes liegt. Wenn ein Asynchronmotor belastet wird, sinkt seine Drehzahl, aber sein Antrieb wird stärker.



1.11 Motor – Generator

Was ist das für eine Kraftübertragung?

Drehen Sie an einer der Kurbeln und schauen Sie, was mit der anderen passiert. Sie können auch beide Kurbeln gleichzeitig drehen – in die gleiche Richtung oder entgegengesetzt. Beobachten Sie dabei den Zeiger in der Mitte.

Was geschieht hier?

Wenn Sie kurbeln, dann treiben Sie über ein Getriebe einen Generator an. Wie schnell er sich dreht, können Sie an der schwarz-weißen Scheibe sehen.

Der Strom aus dem Generator treibt dann auf der anderen Seite einen Motor an.

Die Seiten sind vertauschbar, weil Sie einen Generator auch als Motor benutzen können und umgekehrt.

Genauer betrachtet

Das Instrument in der Mitte zeigt den Strom an, der zwischen Generator und Motor fließt. Dieser wird stärker, wenn Sie den Motor belasten – ihn also bremsen oder sogar in die entgegengesetzte Richtung drehen.

Der Generator muss dann auch diesen zusätzlichen Strom erzeugen und lässt sich dadurch schwerer drehen. Folglich überträgt sich eine Belastung des Motors direkt auf den Generator.

Woher und Wozu?

An diesem Modell erfahren Sie im Kleinen ein großes Problem der Energieversorgung: Die Kraftwerke müssen den Strom genau in dem Augenblick erzeugen, wenn er gebraucht wird. Ein einzelnes Kraftwerk kann aber nicht so schnell auf wechselnde Belastungen reagieren. Um dieses Problem zu entschärfen, bilden Energieversorger große Netze. So können sie sich den Strom gegenseitig abkaufen und solche Schwankungen ausgleichen.

Manche Energieversorger benutzen auch Pumpspeicherwerke: In Zeiten niedrigen Verbrauchs treibt ihr Strom große Pumpen an, die Wasser in einen höher gelegenen See befördern. Wenn der Verbrauch wieder zunimmt, läuft das Wasser wieder bergab und erzeugt Strom.



1.12 Springender Ring

Lassen Sie mal was springen!

Drücken Sie den grünen Knopf, wenn das grüne Licht brennt.

Was geschieht hier?

Der Aluminiumring, der auf einer Spule mit einem Kern aus Eisenstäben ruht, fliegt nach oben und fällt zurück.

Genauer betrachtet

Der springende Ring ist nichts anderes als ein Transformator, der aus der feststehenden Kupferwicklung als Primärspule und dem beweglichen Aluminiumring als Sekundärspule besteht. Durch die Spule fließt ein Wechselstrom, der wie in einem Elektromagneten ein Magnetfeld erzeugt, das sich dauernd umpolt.

Nur wegen dieser dauernden Feldänderung wird auch im Ring eine Wechselspannung induziert, die einen Wechselstrom fließen lässt. Dieser hat immer die umgekehrte Flussrichtung wie in der Spule und erzeugt deshalb ein wechselndes Magnetfeld, das dem der Spule entgegengesetzt ist.

In einer Sekunde wechseln die Magnetpole der Spule und des Rings 50-mal, bleiben aber immer umgekehrt gepolt und stoßen sich pulsierend ab. Der Ring fliegt nach oben weg.

Wenn Sie genau zuhören, können Sie einen Brummtönen hören, der durch die dauernden Wechsel erzeugt wird.

Weil der Aluminiumring eine Sekundärspule mit nur einer Windung ist, also ein extremes Übersetzungsverhältnis vorliegt, fließt dort ein immenser Strom. Hielte man den Ring fest, dann würde er sofort zu schmelzen beginnen.



1.13 Transformator

Warum brummt's hier?

Klappen Sie den oberen Eisenkern mit dem grünen Griff hoch und setzen Sie eine der drei angebundenen Spulen auf den rechten Eisenkern.

Schließen Sie die rechte Spule dann mit den beiden roten Steckern an, drücken Sie auf den grünen Startknopf und klappen Sie den oberen Eisenkern wieder herunter. Achten Sie nun auf die Glühbirne und die Messinstrumente.

Was geschieht hier?

Zwei Spulen auf einem im Kreis geschlossenen Eisenkern bilden einen Transformator.

Die linke, fest installierte Spule heißt Primärspule, weil sie direkt mit der Wechselstromquelle verbunden ist.

Die rechte, austauschbare Spule heißt Sekundärspule und gibt den transformierten Wechselstrom ab. Der Strom hat eine Frequenz von 50 Hertz, wechselt also 100-mal in der Sekunde seine Polung. Der Transformator schwingt mechanisch im Takt des Stromes mit und erzeugt so den typischen Brummtön.

Genauer betrachtet

Die Primärspule erzeugt ein Magnetfeld, wie der Versuch „Magnetspule“ beschreibt. Dieses Magnetfeld wechselt mit dem Strom 100-mal in der Sekunde seine Polung. Der geschlossene Eisenkern leitet das wechselnde Magnetfeld weiter in die Sekundärspule, wo es wiederum eine Wechselspannung erzeugt (siehe Versuch „Induktion“). Die erzeugte Spannung wird umso größer, je mehr Windungen die Sekundärspule hat.

Auf beiden Seiten des Transformators (Primär- und Sekundärseite) werden Spannung (Volt) und Stromstärke (Ampère) angezeigt. Die elektrische Leistung ist das Produkt dieser beiden Größen. Im Idealfall, wenn der Transformator ohne Verluste arbeiten würde, wäre das Produkt auf beiden Seiten gleich groß. Das Verhältnis der Spannungen zueinander entspricht dem Verhältnis der Windungszahlen in den Spulen. Mit den Stromstärken verhält es sich genau umgekehrt.

Woher und Wozu?

Der größte Vorteil des Wechselstroms ist, dass er sich transformieren lässt. Um den Strom über weite Strecken zu transportieren, verwenden die Energieversorger möglichst hohe Spannungen und möglichst niedrige Stromstärken. Das verringert enorm die Energieverluste, wie der Versuch „Hochspannungsleitung“ zeigt.

Aber auch das Gegenteil kann sehr nützlich sein: Bei Halogenbeleuchtungen mit offenen Leitungen, wie sie besonders in den 1990er-Jahren in Mode waren, transformieren Sie die Spannung auf ungefährliche 12 Volt herunter. Sie können diese Leitungen anfassen, ohne einen Schlag zu bekommen. Dafür wird die Stromstärke entsprechend größer.

Niedrige Spannungen und hohe Stromstärken sind auch beim Elektroschweißen gefragt. Die hohe Stromstärke bringt die Metalle am Schweißpunkt zum Schmelzen.



1.14 Hochspannungsleitung

Wieso stehen Fernleitungen unter Hochspannung?

Mit den grünen Knöpfen können Sie die zugehörigen Glühlampen einschalten. Beobachten Sie dabei die Modelle der Fernleitungen und die Helligkeiten der Lampen.

Was geschieht hier?

Die elektrische Leistung, die ein Verbraucher benötigt, ist das Produkt aus Spannung und Stromstärke. Die Fernleitung ohne Transformator arbeitet mit niedriger Spannung und hoher Stromstärke. Die hohe Stromstärke erhitzt die Drähte, und so geht viel Energie verloren.

Die Fernleitung mit Transformator arbeitet mit hoher Spannung und niedriger Stromstärke. Die Drähte werden nicht so heiß und es geht weniger Energie verloren.

Genauer betrachtet

Die Funktionsweise eines Transformators und die Zusammenhänge zwischen Spannung und Stromstärke können Sie beim Versuch „Transformator“ näher erforschen.

Die Drähte, die in diesem Modell die Fernleitungen darstellen, sind aus Konstantan. Das ist eine Legierung mit hohem spezifischen Widerstand. So hat bei gleicher Dicke ein kurzer Draht aus Konstantan den gleichen elektrischen Widerstand wie ein langer Draht aus anderem Metall.

Woher und Wozu?

Hochspannung verringert den Energieverlust in Fernleitungen. Deshalb bestehen Stromnetze aus Hochspannungsleitungen, die bis zu 400.000 Volt führen.

Allerdings haben solche Leitungen auch Nachteile: Wegen der hohen Spannung müssen die einzelnen Drähte weit genug auseinander hängen, damit keine Blitze zwischen ihnen überspringen. Durch den großen Abstand der Drähte können sich ihre Magnetfelder (siehe „Magnetspule“) nicht mehr gegenseitig auslöschen. So entstehen starke wechselnde Magnetfelder in der Nähe der Leitungen, deren Auswirkungen auf Mensch und Umwelt bis heute umstritten sind.



1.15 Leiter – Nichtleiter

Was leitet den Strom?

Im linken Stromkreis (A) können Sie den Schalter schließen und öffnen, also die Lampe ein- und ausschalten.

Im rechten Stromkreis (B) ist eine Lücke, an der Sie verschiedene Stäbchen als Schalter testen können. Beobachten Sie dabei die Lampe.

Was geschieht hier?

Damit die Lampe leuchtet, muss der Stromkreis geschlossen sein. Dann fließt der Strom von einem Pol der Spannungsquelle durch die Lampe zum anderen Pol. Das funktioniert nur, wenn der Strom dabei auch durch den Schalter fließen kann.

Wenn Sie einen elektrischen Nichtleiter als Schalter nehmen, kann der Strom nicht durch ihn fließen und die Lampe leuchtet nicht.

Genauer betrachtet

Wenn ein Stoff den Strom leitet, besitzt er frei bewegliche Ladungen. Das sind elektrisch geladene Teilchen, die sich im Material bewegen können. Bei Metallen sind es nur Elektronen.

In Salzlösungen bewegen sich außer Elektronen auch positiv geladene Ionen.

Je leichter die Ladungen sich bewegen können, desto besser leitet der Stoff den Strom.

Beispielsweise leitet Kupfer siebenmal so gut wie Eisen.

Woher und Wozu?

Leiter und Nichtleiter sind in der Technik gleichermaßen nützlich. Nehmen Sie als Beispiel ein einfaches Stromkabel. Im Inneren muss sich ein guter Leiter wie Kupfer befinden. Außen herum ist ein Nichtleiter, auch Isolator genannt. Dieser sorgt dafür, dass der Strom nur im Kabel fließt und keine Irrwege durch andere Leiter nimmt – wie den menschlichen Körper.



1.16 Reihen- und Parallelschaltung

Zwei Lampen an einer Stromquelle – Wie geht das?

Probieren Sie in beiden Schaltungen die grünen Drehschalter aus. Achten Sie dabei auf die Messgeräte.

Was geschieht hier?

Die blauen Elemente sind die Stromquellen. Die Messgeräte zeigen die Spannung in Volt oder die Stromstärke in Ampère an.

Auf der linken Seite sehen Sie eine Parallelschaltung: Beide Lampen bekommen die gleiche Spannung. Ihre Stromstärken addieren sich zur gesamten Stromstärke, die die Stromquelle liefert.

Auf der rechten Seite sehen Sie eine Reihenschaltung: Durch beide Lampen fließt gleich starker Strom. Die Spannungen an den Lampen addieren sich zur gesamten Spannung, die die Stromquelle liefert. Das heißt, an jeder Lampe liegt nur die halbe Spannung, daher die geringere Helligkeit. Die linke Lampe in dieser Schaltung können Sie überbrücken. Dann entsteht ein einfacher Stromkreis.

Genauer betrachtet

Mit der Parallelschaltung auf der linken Seite bekommen beide Lampen die gleiche Spannung und die gleiche Stromstärke wie im einfachen Stromkreis. Deshalb brennen sie auch genauso hell wie eine einzelne Lampe im einfachen Stromkreis.

Woher und Wozu?

In der Parallelschaltung brennen also mehrere Lampen genauso hell wie sonst eine einzelne. Aber diese Schaltung hat noch mehr Vorteile:

Wenn von mehreren parallelgeschalteten Lampen eine durchbrennt, leuchten die anderen unverändert weiter. Bei einer Reihenschaltung würden gleich alle erlöschen.

Die Spannung bleibt an jeder Lampe gleich. Das ist praktisch, weil die meisten Elektrogeräte für eine bestimmte Spannung ausgelegt sind.



1.17 Handbatterie

Elektrizität aus den Händen?

Stecken Sie die Stecker in die Buchsen von zwei unterschiedlichen Metallstäben.
Nun umfassen Sie die beiden Metallstäbe jeweils mit einer Hand.

Was geschieht hier?

Auf dem Messgerät können Sie nun eine Spannung in Volt ablesen.

Versuchen Sie nun, die Metalle herauszufinden, die die höchste oder die niedrigste Spannung ergeben.

Bei welchen Metallen schlägt der Zeiger immer nach links oder nach rechts aus?

Genauer betrachtet

Die Haut Ihrer Hände enthält immer Feuchtigkeit und Salz. Wenn Sie die Metallstäbe anfassen, greift diese Salzlösung die Metallstäbe an.

Da die beiden Stäbe über Ihren Körper miteinander verbunden sind, entsteht eine elektrische Spannung zwischen den Metallen.

Das Messgerät zeigt diese Spannung an. Wie hoch sie ist, hängt von der Art der Metalle ab.

Von links nach rechts sind es: Aluminium, Eisen, Kupfer, Zink, Messing, Edelstahl.

Woher und Wozu?

Der italienische Arzt Luigi Galvani entdeckte in den 1780er-Jahren diesen Effekt, als er einen präparierten Froschschenkel mit zwei verschiedenen Metallen berührte und dieser zu zucken begann. Er hatte damit das später nach ihm benannte galvanische Element gefunden: eine Kombination zweier verschiedener Metalle, die über ein Elektrolyt miteinander verbunden sind und zwischen denen eine Spannung entsteht.

Im Jahr 1800 verbesserte Alessandro Volta die Entdeckung Galvanis durch Hintereinanderschalten mehrerer solcher Elemente zu einer Batterie.

Batterien sind aus unserem täglichen Leben nicht mehr wegzudenken. Ob als Zink-Kohle Element (Leclanché-Element) in der Taschenlampe, als Nickel-Cadmium Akku im Handy oder als Blei-Akkumulator im Auto.



2. Kommunikation

2.1 Rohrpost

Hier geht die Rohrpost ab!

Öffnen Sie den Schieber am Aufgabefach, legen Sie die Kartusche ein und schließen Sie das Fach. Ziehen Sie am Blasebalg, damit er sich mit Luft füllt, und drücken Sie ihn kräftig zusammen, um die Post loszuschicken.

Wie oft müssen Sie pumpen, bis die Kartusche in der Empfangsstation landet?

Was geschieht hier?

Die aus dem Blasebalg herausgetriebene Luft schiebt die Kartusche durch die Rohrleitung.

Genauer betrachtet

Die Rohrpost ist ein Kommunikationssystem, mit dem sich nicht nur Nachrichten, sondern auch kleine Mengen stofflicher Güter sehr schnell transportieren lassen.

Reale Systeme werden mit Verdichter und Sauggebläsen betrieben. Sie sind außerdem mit Zwischenstationen und Weichen versehen, sodass verschiedene Adressaten angesteuert werden können.

Besonders geeignet sind sie für ein begrenztes räumliches Umfeld, etwa für eine Stadt oder für einen Großbetrieb. Weiter ausgreifende Systeme werden dagegen zu teuer.

Woher und Wozu?

Die ersten Rohrpostsysteme entstanden kurz nach 1850 in London. Zwischen 1875 und 1945 fanden sie große Verbreitung.

Durch die Konkurrenz von Telefon, Fernschreiber und elektronischen Medien ist die Rohrpost dann in den Hintergrund gedrängt worden. Erst in den letzten Jahren erlebt sie eine gewisse Renaissance, etwa zum Transport von Medikamenten und Laborproben in Krankenhäusern.



2.2 Morsetisch

Sie können nicht morsen?

Probieren Sie´s trotzdem mal aus! Suchen Sie sich einen Partner und nehmen Sie beide Platz, jeder auf einer Seite des Tisches.

Wenn Sie den schwarzen Knopf drücken, leuchtet beim Gegenüber die Diode auf. Sie können mit „kurz“ und „lang“ Buchstaben und Worte aus dem Morse-Alphabet auf der Tafel zusammensetzen.

Was Ihr Partner zurück morst, können Sie mit Kreide notieren: entweder erst mal im Morse-Alphabet oder gleich entschlüsselt mit dem Empfangscode.

Was geschieht hier?

Als Sender codieren (übersetzen) Sie unsere Buchstabenschrift in eine Form, die die Übertragung als elektrisches Signal erleichtert.

Als Empfänger müssen Sie diese Signale rückübersetzen.

Genauer betrachtet

Sie merken sicher, dass das am Anfang nicht ganz einfach ist.

Stellen Sie sich vor: Ein geübter Funker kann in der Minute 300 Buchstaben direkt verstehen bzw. eingeben!

Woher und Wozu?

Mit dem Bau der Eisenbahnnetze seit etwa 1830 wurde klar, dass man für den sicheren Betrieb dieser neuen Großtechnik sehr schnell über weite Strecken musste kommunizieren können.

Die neu entstehende Elektrotechnik bot dafür bessere Möglichkeiten als die optischen Telegrafen, die es seit der Antike gab. Der Amerikaner Samuel Morse entwickelte in den 1830er-Jahren einen Schreibtelegrafen und die ersten Anfänge des Codes, der später nach ihm benannt wurde. 1865 wurde dieser Code dann standardisiert.

Trotz der rasanten Weiterentwicklung der Kommunikationstechniken ist der Morsecode immer noch in Gebrauch und wird sogar noch weiter entwickelt: Im Jahre 2004 wurde eine Zeichenfolge für das @, den „Klammeraffen“ in Internetadressen, aufgenommen.



2.3 Zoetrop

Als die Bilder laufen lernten

Drehen Sie den Zylinder in der markierten Richtung und betrachten Sie durch die Sehschlitze die Bilder auf der gegenüber liegenden Innenseite.

Was geschieht hier?

Die Bilder fließen ineinander zu einer stufenlosen Bewegung. Die einzelnen Phasen des Schmiedens gehen über in einen fortlaufenden Arbeitsvorgang.

Genauer betrachtet

Immer wenn ein Schlitz am Auge vorbeiläuft, gibt er für einen kurzen Moment den Blick frei auf das gegenüber liegende Bild.

Die Bilder zeigen aufeinander folgende Bewegungsphasen. Sie werden in so rascher Folge wahrgenommen, dass das Auge die einzelnen Phasenbilder nicht mehr auseinander halten kann. So entsteht die Illusion einer fließenden, lückenlosen Bewegung – wie im Kino.

Woher und Wozu?

Im 19. Jahrhundert wurden vielerlei Apparate entwickelt, die dem Auge eine fortlaufende Bewegung vortäuschen konnten: mit Einzelbildern auf Trommeln oder Scheiben und Betrachtungshilfen wie Schlitzen, Spiegeln oder Beleuchtung durch Lichtblitze.

Zu den frühesten Geräten dieser Art gehörte das Zoetrop (griech. Lebensrad) von 1834. In der zweiten Jahrhunderthälfte wurden Filmaufnahme- und Projektionstechniken entwickelt.

1895 fanden die ersten öffentlichen Filmvorführungen statt: von Skladanowski und Messter in Berlin, Le Roy in den USA und Lumière in Frankreich.



3. Wahrnehmung

3.1 Magische Klötzchen

Wie gut können Sie Gewichte schätzen?

Legen Sie die Klötzchen aufeinander und heben Sie beide mit einer Hand an. Heben Sie anschließend nur das obere Klötzchen.
Na? Überrascht?

Was geschieht hier?

Das obere Klötzchen wird Ihnen unerwartet schwer vorkommen, wahrscheinlich sogar schwerer als beide Klötzchen zusammen. Woran liegt das? Haben Sie eine Vermutung?

Genauer betrachtet

Aus Erfahrung wissen wir, dass zwei Körper zusammen schwerer sind als jeder einzelne. Und wenn sich beide Körper so ähnlich sehen wie unsere Klötzchen, dann sind sie in der Regel auch aus demselben Material und gleich schwer; jeder trägt also die Hälfte zum Gesamtgewicht bei. Diese durchaus sinnvollen und vielfach bewährten Erfahrungen lenken unsere Erwartung, wenn wir das obere Klötzchen abheben: Wir erwarten, dass es halb so schwer ist wie beide zusammen. Weil es aber aus viel schwererem Material ist als das untere, überrascht uns sein Gewicht und kommt uns noch viel größer vor als es tatsächlich ist. Ja, wir halten das obere Klötzchen sogar für schwerer als beide zusammen.
Der Verstand sagt uns zwar, dass das nicht sein kann. Aber unsere Wahrnehmung wird so stark von unseren Lernerfahrungen und Erwartungen geprägt, dass wir uns der Täuschung kaum entziehen können.

Woher und Wozu?

Sinnestäuschungen lassen sich nicht vermeiden. Sie wirken unmittelbar, denn sie beruhen auf Lernerfahrungen und elementaren Funktionen unserer Wahrnehmung, die wir durch Denkprozesse kaum beeinflussen können.

Doch wir können Sinneswahrnehmung objektivieren: durch Vergleich, Experiment und Messung. Das sind grundlegende Methoden der Naturwissenschaften und der Technik. Messinstrumente wie zum Beispiel Waagen zur Bestimmung von Gewichten helfen uns überall dort, wo der unmittelbare Sinneseindruck täuscht oder unsere Wahrnehmung nicht fein genug ist.



3.2 Tischflächentäuschung

Welche Tischfläche ist größer?

Schätzen Sie zuerst nach Augenmaß. Prüfen Sie dann die Größe der Tischflächen mit der Schablone. Sie werden verblüfft sein.

Der Schablonentest beweist: Die Tischflächen sind deckungsgleich. Trotz dieses Beweises werden Sie der Täuschung immer wieder erliegen. Das beruht auf wichtigen Funktionen unserer Wahrnehmung.

Wir überschätzen die Länge senkrechter Strecken, also die nach oben laufenden Kanten der Tischflächen. Und wir deuten perspektivisch wirkende Zeichnungen räumlich: Die Tische verlängern sich zusätzlich nach hinten in den Raum hinein.



3.3 Temperaturfühlen

Testen Sie Ihr Temperaturgefühl!

Legen Sie Ihre Hände zuerst auf die beiden vorderen Köpfe: auf jeden Kopf eine Hand. Lassen Sie die unterschiedlichen Temperaturen etwa eine halbe Minute lang auf sich wirken. Legen Sie dann beide Hände auf den hinteren, größeren Kopf. Was fühlen Sie?

Was geschieht hier?

Die Temperaturanzeige verrät: Der linke Kopf ist etwa 40 °C warm, der rechte etwa 10 °C; der hintere Kopf hat Raumtemperatur.

Aber Ihre linke Hand, die zuvor auf dem warmen Kopf gelegen hat, empfindet den Raumtemperatur-Kopf viel kälter als es die rechte Hand tut, die zuvor auf dem kalten Kopf war.

Genauer betrachtet

Unser Temperaturempfinden ist subjektiv. Wie wir eine Temperatur einschätzen, hängt stark davon ab, ob wir uns ihr vom Wärmeren oder vom Kälteren her nähern. Das wird an diesem Experiment besonders deutlich: Die Hände kommen von entgegengesetzten Richtungen auf das Niveau der Raumtemperatur.

Woher und Wozu?

Sinnestäuschungen lassen sich nicht vermeiden. Sie wirken unmittelbar, denn sie beruhen auf elementaren Funktionen unserer Wahrnehmung, die wir durch Denkprozesse kaum beeinflussen können.

Doch wir können Sinneswahrnehmung objektivieren: durch Vergleich, Experiment und Messung. Das sind grundlegende Methoden der Naturwissenschaften und der Technik. Messinstrumente wie in unserem Experiment Thermometer zur Bestimmung der Temperatur helfen uns überall dort, wo der unmittelbare Sinneseindruck täuscht oder unsere Wahrnehmung nicht fein genug ist.



3.4 Stangenfangen

Prüfen Sie Ihre Reaktionsgeschwindigkeit!

Hängen Sie beide Stangen in die Magnethalterungen oben im Kasten.
Eine Zufallsschaltung lässt sie nach einigen Sekunden herabfallen.
Versuchen Sie, die Stangen zu fangen.

Was geschieht hier?

Bevor Sie zugepackt haben, sind die Stangen 20 cm oder mehr gefallen.
Meist ist dabei eine Hand schneller als die andere, in der Regel immer dieselbe.

Genauer betrachtet

20 cm Fallhöhe entsprechen ungefähr 0,2 Sekunden Fallzeit.
So lange braucht ein aufmerksamer Erwachsener mit guter Kondition,
um die Fallbewegung der Stangen wahrzunehmen und darauf zu reagieren. Bei Kindern dauert das
normalerweise deutlich länger.

Unterschiede in den Fangzeiten beider Hände weisen darauf hin,
dass unsere Hände nicht gleich trainiert und in ihrer Geschicklichkeit nicht gleich ausgebildet sind.

Woher und Wozu?

Reaktionsschnelligkeit ist bei der Arbeit an Maschinen und in gefährlichen Situationen wichtig.
Deshalb begann man Ende des 19. Jahrhunderts damit, sie zu testen. Der Stangenfallapparat war ein
Gerät, das in den 1920er-Jahren dafür benutzt wurde.



3.5 Feinzeiger

Wie misst man Längen, die man kaum noch sieht?

Drehen Sie den Aluminiumzylinder am geriffelten Knopf.

Beobachten Sie die Formabweichung des Zylinders und den Ausschlag des Zeigers.

Was geschieht hier?

Der Zylinder ist im hinteren Teil leicht exzentrisch. Diese Formabweichung ist rot markiert.

Am einfachen Feinzeiger erzeugt die Formabweichung über den kurzen Hebelarm am Ende des langen eine deutliche, gut an der Skala ablesbare Bewegung.

Beim Doppel-Feinzeiger wirkt die Abweichung über einen Taster auf zwei hintereinander liegende Hebel und erzeugt an der Skala eine mehrfach größere Bewegung.

Genauer betrachtet

Unsere Feinzeiger machen mit dem Hebelprinzip Abweichungen sichtbar, die im Bereich von 1 bis 2 Millimetern liegen.

Sie sind aber etwa 10fach vergrößert gegenüber den Originalen aus der Zeit um 1900. Die waren entsprechend kleiner und ertasteten feine Abweichungen zwischen zehntel und hundertstel Millimetern.

Einfache Feinzeiger haben Übersetzungen von 1:10 bis 1:20, maximal 1:50. Unser Modell liegt bei etwa 1:15. Beim Doppelfeinzeiger multiplizieren sich die Übersetzungen, man kommt ohne weiteres auf 1:50, 1:100 oder mehr (unserer erreicht 1:60).

Woher und Wozu?

In der Technik wächst das Verlangen nach geometrischer Genauigkeit. Vor 1800 tolerierte man bei Maschinenteilen oft noch Abweichungen von mehreren Millimetern bis über einen Zentimeter. 1850 musste man im Maschinenbau häufig auf zehntel oder gar hundertstel Millimeter genau arbeiten, und um 1900 kam es manchmal schon auf das Tausendstel an.

So feine Differenzen ließen sich mit bloßem Auge und einfachen Maßstäben nicht mehr wahrnehmen. Mechanische Feinzeiger waren ein Hilfsmittel, mit dem das damals möglich wurde. Heute kann man mit optischen und optoelektronischen Geräten noch viel feinere Abweichungen messen.



4. Aerodynamik

4.1 Strömungswand

Welche Profile sind strömungsgünstig?

Ziehen Sie mit dem Magneten die verschiedenen Körper durch die Flüssigkeit. Welche Verwirbelungen können Sie so erzeugen? Geht es auch ohne Wirbel?

Was geschieht hier?

Die Flüssigkeit umströmt den bewegten Körper: Sie wird von ihm zur Seite gedrängt und tritt hinter ihm wieder zusammen.

Die Strömung bleibt an Vorderseiten glatt, an Rückseiten, im Strömungsschatten, bildet sie meist Wirbel. Das Strömungsbild als Ganzes hängt ab von der Form, der Lage und der Geschwindigkeit der Körper.

Genauer betrachtet

Glatte Strömung nennt man „laminar“, verwirbelte „turbulent“. Turbulente Strömung deutet auf hohen Widerstand und großen Energieverlust beim Bewegen des Profilkörpers. Laminare Strömung verweist auf das Gegenteil: Das Profil ist strömungsgünstig oder „stromlinienförmig“.

Zum Fliegen braucht man stromlinienförmige Profile wie das rote. Aber auch bei diesen Profilen muss die Strömung an der Oberseite weitgehend anliegen und laminar sein, damit der Unterdruck entsteht, der zum Aufbau der Druckdifferenz und damit zum Fliegen notwendig ist.



4.2 Stromlinien

Was macht die Strömung am Profil?

Drücken Sie auf den grünen Starttaster.

Ändern Sie am Drehknopf die Windgeschwindigkeit und am Handrad den Anstellwinkel des Profils. Probieren Sie, wie sich dabei die Strömung ändert und glatte und verwirbelte Abschnitte ausbildet.

Was geschieht hier?

Unter dem Profil liegt die Strömung immer an.

Oben ist sie bei kleinen Winkeln und Geschwindigkeiten glatt, bei größeren entsteht weiter hinten ein verwirbelter Bereich.

Bei etwa 15° löst sich die Strömung an der ganzen O berseite ab und bildet eine große Wirbelblase, in der die Luft zurückströmt.

Genauer betrachtet

Glatte Strömung nennt man „laminar“, verwirbelte „turbulent“.

Um ein schweres Flugzeug am Fliegen zu halten, braucht man eine ausreichende Druckdifferenz am Flügel. Sie entsteht zum einen durch Überdruck an der Unterseite, wo die Luft partiell gestaut und nach unten abgelenkt wird, vor allem aber durch den Unterdruck an der Oberseite. Der ist am größten, wenn die Strömung weitgehend anliegt und größtenteils laminar fließt.

Wächst der Anstellwinkel, bis sich die obere Strömung völlig ablöst, verliert das Flugzeug seinen Auftrieb und sackt weg.

Woher und Wozu?

Erst das Sichtbarmachen der Strömung am Profil ließ die Ingenieure verstehen, wozu eine bestimmte Profilgeometrie taugt.

Für die Piloten ergab sich die Möglichkeit, das Verhalten des Flugzeugs bei verschiedenen Geschwindigkeiten und Fluglagen zu interpretieren.



4.3 Klebeluft

Was macht die Platte im Luftstrom?

Schalten Sie mit dem grünen Knopf das Gebläse ein.

Heben Sie die Platte langsam bis an den Teller mit der Ausblasöffnung.

Was geschieht hier?

Beim Heben spüren Sie anfangs den Druck der ausströmenden Luft auf die Platte.

Wenn diese aber nah an den Teller kommt, wird sie angehoben und schwebt frei.

Genauer betrachtet

Das ist erstaunlich, denn man erwartet ja, dass der Luftstrom die Platte nach unten drückt. Stattdessen wird sie an den Teller gesaugt.

Hier wirkt das Gesetz von Bernoulli. Es besagt, dass in schnellen Strömungen geringerer Druck herrscht als in langsamen.

Der Luftstrom trifft die Mitte der Platte und fließt nach allen Seiten zum Rand ab. Nähern Sie die Platte dem Teller, fließt die Luft dort immer schneller und erzeugt so einen Unterdruck, der die Platte nach oben zieht.

Woher und Wozu?

Daniel Bernoulli gehörte zu einer Schweizer Familie, aus der einige Mathematiker und Physiker hervorgingen, die im 17. und 18. Jahrhundert wichtige Beiträge zu Strömungslehre und Technischer Mechanik lieferten.

Bernoullis Gesetz beschreibt mathematisch den Effekt, der das Fliegen von Objekten, die schwerer als Luft sind, überhaupt erst möglich macht: die Druckdifferenz zwischen Unter- und Oberseite des umströmten Profils.



4.4 Flugzeug

Heben Sie ab!

Drücken Sie auf den grünen Starttaster.

Geben Sie „Gas“ mit dem grünen Drehknopf und steuern Sie mit dem Steuerknüppel. Starten und landen Sie mehrere Male. Beobachten Sie, wie das Flugzeug auf Windgeschwindigkeit und Steuerausschlag reagiert!

Was geschieht hier?

Das Flugzeug ruht ausbalanciert auf einer Waage und wird von Ventilatoren angeblasen. Bei höherer Windgeschwindigkeit hebt es ab und steigt so weit, wie die Waage es zulässt.

Mit dem Seitenruder ändert man die Flugrichtung nach links oder nach rechts. Mit dem Höhenruder beeinflusst man den Steigflug und kann in Horizontalflug oder Sinkflug übergehen.

Genauer betrachtet

Das Tragflügelprofil steht schräg zum Luftstrom, mit einem „Anstellwinkel“ von etwa 5-10°.

Das Höhenruder beeinflusst diesen Winkel: Vergrößert man ihn, steigt das Flugzeug schneller, verkleinert man ihn, geht es in den Horizontalflug und schließlich in den Sinkflug über.

Dahinter steckt etwas, das hier nicht zu sehen ist, aber am Versuch „Stromlinien“ deutlich wird: Mit dem Winkel ändert sich die Strömung am Profil und damit die Druckdifferenz zwischen unten und oben, die das Flugzeug steigen oder sinken lässt.

Auch die Geschwindigkeit verändert die Strömung. Deshalb kann man starten und landen, ohne das Höhenruder zu Hilfe zu nehmen.



5. Thermodynamik

5.1 Adiabatische Erwärmung

Was geschieht, wenn man Luft zusammendrückt?

Pumpen Sie mehrmals kräftig und beobachten Sie die Temperatur-Anzeige.

Was geschieht hier?

Wenn Sie pumpen, machen sie dasselbe wie beim Aufpumpen Ihres Fahrradreifens: Sie drücken Luft zusammen. Beim Aufpumpen des Reifens spüren Sie sofort, dass die Pumpe warm wird.

Bei diesem Versuch hier können Sie an der Temperatur-Anzeige verfolgen, wie sich die Luft beim Pumpen erwärmt.

Genauer betrachtet

Wenn Sie Luft oder irgendein anderes Gas zusammendrücken, leisten Sie Kompressionsarbeit. Diese Arbeit wird in Wärme umgesetzt: Mechanische Energie und Wärmeenergie sind gemäß dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik äquivalent.

Wenn Sie das Gas schnell genug zusammendrücken oder wenn die Pumpe gut isoliert ist, kann keine Wärme an die Umgebung abfließen und die Temperatur des komprimierten Gases steigt. Man spricht dann von adiabatischer Erwärmung.

Woher und Wozu?

Mit den Zusammenhängen zwischen Druck, Temperatur und Volumen befasst sich die Thermodynamik. Sie entwickelte sich im 19. Jahrhundert aus der wissenschaftlichen Untersuchung von Dampfmaschinen und erforschte die Grundlagen für jede Art von Wärmekraftmaschinen: von Maschinen, die Wärme in mechanische Antriebskraft umsetzen.

Der erste Hauptsatz der Thermodynamik ist der Energieerhaltungssatz. Er besagt, dass mechanische Energie und Wärmeenergie äquivalent sind. Den Umrechnungsfaktor zwischen diesen beiden Energieformen, das so genannte mechanische Wärmeäquivalent, fand 1842 Julius Robert Mayer.



5.2 Gaskinetik

Wie bewegen sich Gasteilchen?

Drücken Sie auf den grünen Startknopf und beobachten Sie, was geschieht.
Drehen Sie den schwarzen Schalter nach links und nach rechts. Ändert sich dadurch etwas?

Was geschieht hier?

Stellen Sie sich vor, Sie hätten eine kleine Menge Gas in einem Glaszylinder und könnten es mit einer Lupe ins Riesenhafte vergrößern.

Dann würden Sie ungefähr das sehen, was Sie hier beobachten können, wenn die Kügelchen hüpfen: wild durcheinander fliegende Gasteilchen.

Wenn Sie die Temperatur steigen oder sinken ließen, könnten Sie sehen, wie sich die Gasteilchen schneller oder langsamer bewegen und mehr oder weniger Raum einnehmen – genau wie die Kügelchen in unserem Glaszylinder, wenn Sie den „Temperatur“-Schalter drehen.

Genauer betrachtet

Das Modell veranschaulicht die kinetische Gastheorie. Diese Theorie interpretiert Wärme als Bewegung von Gasteilchen.

Je wärmer das Gas ist, desto heftiger bewegen sich die Teilchen. Sie stoßen dann kräftiger gegen die Gefäßwände, was wir als Erhöhung von Druck und Temperatur messen können; und sie nehmen, falls die Gefäßwände verschiebbar sind, mehr Raum ein, was wir als Volumenvergrößerung messen können.

Woher und Wozu?

Mit den Zusammenhängen zwischen Druck, Temperatur und Volumen befasst sich die Thermodynamik. Sie entwickelte sich im 19. Jahrhundert aus der wissenschaftlichen Untersuchung von Dampfmaschinen und erforschte die Grundlagen für jede Art von Wärmekraftmaschinen: von Maschinen, die Wärme in mechanische Antriebskraft umsetzen.

Der erste Hauptsatz der Thermodynamik ist der Energieerhaltungssatz. Er besagt, dass mechanische Energie und Wärmeenergie äquivalent sind. Den Umrechnungsfaktor zwischen diesen beiden Energieformen, das so genannte mechanische Wärmeäquivalent, fand 1842 Julius Robert Mayer. Die kinetische Gastheorie wurde in den 1850er-Jahren von August Karl Krönig und Rudolf Clausius geschaffen. Sie interpretierten Wärme als Teilchenbewegung und führten so den ersten Hauptsatz der Thermodynamik auf das schon lange bekannte Prinzip der Erhaltung mechanischer Energie zurück.



5.3 Fliehkraftregler

Lässt sich die obere Platte beliebig schnell drehen?

Probieren Sie es aus. Drehen Sie an der Kurbel, so schnell Sie können. Was passiert mit der oberen Platte?

Was geschieht hier?

Sie können die obere Platte nicht beliebig schnell antreiben. Der Fliehkraftregler begrenzt die Drehzahl.

Genauer betrachtet

Die Drehbewegung der Kurbel wird von der unteren Platte auf die obere nur durch Reibung übertragen.

Wenn Sie schnell genug drehen, hebt der Fliehkraftregler mit seinen beiden Schwungmassen die obere Platte so weit an, dass die Reibungskräfte nicht mehr ausreichen, sie weiter zu beschleunigen. Die obere Platte hat damit ihre höchste Drehzahl erreicht. Diese lässt sich nicht überschreiten, auch wenn Sie die Kurbel noch schneller drehen.

Woher und Wozu?

Fliehkraftregler dienen der Regelung von Drehzahlen. Läuft eine Maschine zum Beispiel wegen wechselnder Belastung langsamer oder schneller als sie soll, dann greift die Fliehkraftregelung ein und bringt die Maschine selbsttätig wieder auf die Soll-Drehzahl.

Bei unserem Experiment müsste man eher von einer Drehzahlbegrenzung sprechen. Denn der Fliehkraftregler sorgt nur dafür, dass die Grenzdrehzahl nicht überschritten wird. Bleibt man unterhalb dieser Drehzahl, kann der Regler nicht eingreifen.

Fliehkraftregler waren die wichtigste Gruppe der Geschwindigkeitsregler im Zeitalter der Industrialisierung. In Dampfmaschinen wurden sie ebenso eingesetzt wie beispielsweise in Grammophonen, deren Abspielgeschwindigkeit konstant bleiben musste, obwohl sie mit einem Federaufzugswerk angetrieben wurden, dessen Kraft beim Ablaufen nachließ.



5.4 Dampfmaschine

Also, wat is en Dampfmaschin?

Hier können Sie am Modell alles ausführlich studieren.
Sogar am laufenden Modell – fragen Sie unser Museumspersonal.

Was geschieht hier?

Anstelle des Dampfes lassen wir Druckluft arbeiten, die durch ein Gebläse in die Maschine geleitet wird.

Sie sehen, wie der Luftdruck, stellvertretend für die Kraft des Dampfes, in Bewegung umgesetzt wird und wie er einen Generator antreibt, der Glühbirnen mit Strom versorgt.

Und Sie können beobachten, wie der Fliehkraftregler Belastungsschwankungen ausgleicht, wenn Sie eine oder mehrere Glühbirnen einschalten.

Genauer betrachtet

Wenn das Gebläse nicht eingeschaltet ist, können Sie mit dem rechten Handrad die Maschine langsam durch alle Stellungen hindurch drehen. Sie sehen dann die Bewegungen der Steuer- und Kraftübertragungs-Elemente. Mit dem linken Handrad können Sie die untere Drosselklappe verstellen. Bei eingeschaltetem Gebläse können Sie den Weg der Druckluft über Drosselklappen, Schiebersteuerung und Zylinder bis zum Auspuff verfolgen. Sie sehen, wie der Luftdruck Kolben, Pleuelstange und Schwungrad in Bewegung setzt und wie über den Riemen der Generator angetrieben wird, der die Glühbirnen mit Strom versorgt. Die Spannungsfrequenz beträgt rund 50 Hertz, wie Sie am Frequenzmesser ablesen können.

Sie können auch beobachten, wie der Fliehkraftregler wirkt: wie er je nach Belastung des Generators die Drosselklappe und damit die Luftzufuhr so einstellt, dass die Belastungsschwankungen ausgeglichen werden und die Drehzahl nur im Bereich von plus/minus 10 Prozent schwankt.

Woher und Wozu?

Dampfkraft war eine zentrale Antriebskraft für die Industrialisierung. In einer Lobesrede auf James Watt hieß es: „Mit einigen Pfund Kohlen wird der Mensch die Elemente besiegen, Windstille, widrige Winde, Stürme wird er verlachen.“

Dampfschiffe und Lokomotiven revolutionierten das Verkehrswesen im 19. Jahrhundert. In Gegenden ohne ausreichende Wasserkraft konnten stationäre Dampfmaschinen mechanische Energie erzeugen. Fliehkraftregler dienen der Regelung von Drehzahlen. Obwohl bereits im Mühlenbau eingesetzt, begann ihre große Zeit mit der Entwicklung rotierender Dampfmaschinen im ausgehenden 18. Jahrhundert.

James Watt führte 1788 erstmals das Fliehkraftpendel für die Regelung der Dampfmaschinen-Drehzahl ein. Nahezu jede rotierende Dampfmaschine der Folgezeit bis ins 20. Jahrhundert hinein hatte einen Fliehkraftregler, der die Drehzahl auch bei Belastungsschwankungen selbsttätig konstant hielt.



5.5 Urmotor

Wodurch wird das Schwungrad gedreht?

Halten Sie den schwarzen Knopf gedrückt!

Führen Sie mit der anderen Hand den Gebläseschlauch abwechselnd an die Öffnungen unter dem Knopf. Versuchen Sie durch geschicktes Wechseln, das Schwungrad gleichmäßig in Gang zu halten!

Was geschieht hier?

Wird links oder rechts vom Kolben Luft in den Zylinder eingeblasen, entsteht dort jeweils ein Überdruck.

Dieser Überdruck wirkt auf den Kolben und setzt ihn in Bewegung. Über Kolbenstange und Pleuel wird das Schwungrad in Drehung versetzt.

Gleichmäßige Drehbewegung erreicht man, wenn man mit dem Gebläseschlauch zur anderen Öffnung wechselt, sobald der Kolben einen Umkehrpunkt seines Weges überschritten hat.

Genauer betrachtet

Beim Guericke-Kran arbeitet der äußere Luftdruck gegen den Kolben, und das kann erst wiederholt werden, wenn man das Zwischengefäß mühselig ausgepumpt hat. Ähnlich verhält es sich beim Papinschen Dampftopf (s. Video).

Hier beim Urmotor dagegen arbeitet der Überdruck der eingeblasenen Luft, und der Kolben kann in beiden Hubrichtungen ("doppelt wirkend") und kurz nacheinander die Arbeitsleistung des Luftdruckes aufnehmen. Im Prinzip lässt sich auch der Druck von Dampf oder von heißen Verbrennungsgasen nutzen.

Außerdem wandelt der Kurbeltrieb die hin- und hergehende Kolbenbewegung in gleichförmige Rotation – eine Bewegungsform, die technisch sehr effektiv ist und in den meisten Maschinen zur Anwendung kommt.

Wir haben hier die Grundform der Hubkolbenmaschine, die für Antriebe als Dampfmaschine, Wassersäulenmaschine oder Verbrennungsmotor Verwendung findet. Und wenn man das Schwungrad antreibt, dient sie als Kolbenpumpe, mit der sich Wasser oder Luft und andere Gase fördern lassen.

Sehr wichtig ist, dass solche Maschinen exakt gesteuert werden. Deshalb wird das, was man hier von Hand macht, nämlich das rechtzeitige Trennen und Verbinden der Gaskanäle, an richtigen Hubkolbenmaschinen von automatisch gesteuerten Ventilen bewirkt.

5.6 Gleislauf

Welcher Rollkörper bleibt sicher im Gleis?

Legen Sie die Rollkörper gerade und mittig auf und lassen Sie sie losrollen. Starten Sie die Körper auch seitlich versetzt oder schräg zur Gleisrichtung.

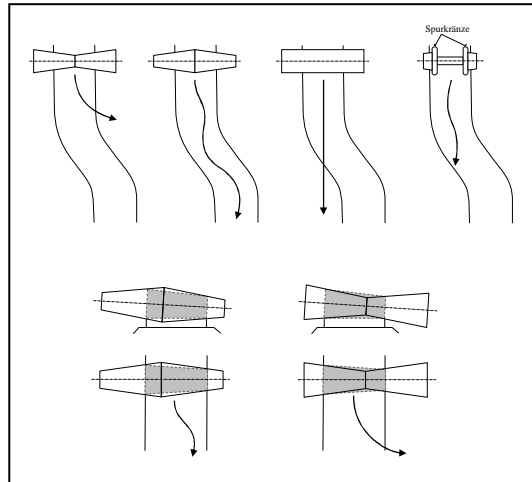
Was geschieht hier?

Der Zylinder bleibt nur bis zur Kurve in der Spur, spätestens dort fällt er vom Gleis.

Der Doppelkegel mit kleinem Mittendurchmesser gerät noch schneller aus der Bahn.

Der Doppelkegel mit großem Mittendurchmesser schafft die Strecke auch bei leicht schrägem Start.

Der Radsatz bleibt im Gleis, wird aber gebremst: Er rollt, bis ein Spurkranz an die Schiene läuft, und kommt dann zum Stillstand.



Genauer betrachtet

Entscheidend für den Gleislauf sind zwei Faktoren: die beiden Rolldurchmesser, mit denen der Körper auf den Schienen läuft, und die Lage zum Gleis, aus der er startet.

Beim Zylinder sind die Durchmesser immer gleich, er rollt deshalb rechtwinklig zur Startlage stets geradeaus, unabhängig vom Verlauf der Schiene.

Wenn man die beiden Doppelkegel nicht ganz gerade und mittig auflegt, sind die Rolldurchmesser immer unterschiedlich groß. Sie bilden einen gedachten Kegel. Um dessen Spitze bewegt sich der Rollkörper auf einer Kreisbahn, die ihn von der Richtung des Gleises weglenkt. Dabei verändert sich aber ständig der Bahnradius, weil die Rolldurchmesser auf dem Doppelkegel wandern.

Der Doppelkegel mit kleinem Mittendurchmesser läuft instabil: Je stärker er abgelenkt wird, desto mehr verstärkt sich die Tendenz zur Ablenkung.

Der Doppelkegel mit großem Mittendurchmesser rollt stabil: Je stärker er abgelenkt wird, desto stärker wird die Tendenz zum Zurücklaufen in die Mittellage.

Der Radsatz rollt ebenfalls stabil, aber nicht wegen der Spurkränze, sondern weil die Laufflächen der Räder Teile eines Doppelkegels mit großem Mittendurchmesser sind, also sich nach außen hin konisch verjüngen.

Woher und Wozu?

Schienenfahrzeuge nutzen den Effekt des stabil rollenden Doppelkegels: Ihre Räder haben konische Laufflächen. Die Spurkränze dienen nur der zusätzlichen Sicherheit gegen Entgleisen in den Kurven.

Spurkranzgeführte Schienenfahrzeuge hatte es vereinzelt schon vor 1800 gegeben. Mit der Ausbreitung der Eisenbahnen nach 1830 gewannen sie enorm an Bedeutung.

Dass die Kegelflächen den Lauf stabilisieren, wurde wahrscheinlich empirisch herausgefunden. Um 1840 gehörte es bereits zum Grundwissen der Eisenbahntechnik.

Der Vorteil besteht in der verringerten Abnutzung. Bei Fahrt geradeaus halten allein die Laufflächen den Radsatz im Gleis; der Spurkranz reibt nur dann an der Schiene, wenn er in den Kurven anläuft.



6. Kreisel

6.1 Kreiselrad

Wohin will der Kreisel?

Halten Sie die Radgabel an einem der Handgriffe fest und versetzen Sie das gelbe Rad in schnelle Drehbewegung.

Stellen Sie sich so auf die innere Plattform am Fuß der Säule, dass Sie beide Handgriffe fassen können. Versuchen Sie nun, das rotierende Rad um die Gabelachse zu schwenken.

Was geschieht hier?

Wenn Sie die Kreiselachse aus ihrer ursprünglichen Richtung drehen, braucht das Kraft, und der Kreisel vollführt mit Säule, Plattform und Ihnen darauf eine Drehbewegung um die senkrechte Achse.

Genauer betrachtet

Rotierende Körper sind bestrebt, ihre Achsrichtung beizubehalten.

Auf den Versuch, diese zu ändern, reagieren sie mit "Kreiselkräften", die eine Ausgleichsbewegung hervorrufen.

Woher und Wozu?

Schnell rotierende Teile in industriellen Maschinen nötigten die Ingenieure dazu, Kreiselkräfte zu berücksichtigen.

Zugleich zeigten sich Nutzungsmöglichkeiten: der Kreiselkompass entstand um 1900 als eine Navigationshilfe, die vom Magnetfeld der Erde unabhängig ist.

Und das Fahrrad, das damals seinen ersten Boom erlebte, fällt dank der stabilisierenden Kreiselwirkung seiner Räder nicht um.



6.2 Wilde Koffer

Was ist mit dem Koffer los?

Heben Sie den Koffer am Griff aus der Halterung.
Bewegen Sie ihn hin und her und drehen Sie ihn.

Was geschieht hier?

Wenn Sie den Koffer gerade bewegen, passiert nichts Ungewöhnliches. Drehen Sie ihn aber, dann müssen Sie erhebliche Kraft aufwenden: Der Koffer macht merkwürdige Bewegungen und bäumt sich auf.

Genauer betrachtet

Im Koffer befindet sich ein schweres, schnell drehendes Kreiselrad. Es setzt jeder Änderung seiner Achsrichtung Widerstand entgegen.

Wenn man versucht, die Achse aus ihrer Lage zu schwenken, reagiert der Kreisel im Koffer mit einer Bewegung senkrecht dazu.

Was hier im Verborgenen geschieht, können Sie nebenan, beim Kreiselrad, an einer offenen Konstruktion ausprobieren.



7. Schwingungen

7.1 Wellenwanne

Welche Muster machen Wellen?

Bitten Sie einen Tutor um Hilfe.

Wählen Sie einen der 3 Wellenerzeuger aus, drücken Sie den Startknopf und regeln Sie am Drehknopf die Dichte der Wellenfolge (die Frequenz).

Legen Sie eine rote Barriere oder eine Glaslinse in den Wellenlauf.

Beobachten Sie im Becken und auf der weißen Projektionsfläche, wie sich die Wellen bewegen und sich überlagern.

Was geschieht hier?

Der Linear-Anreger hinter der Glaswand erzeugt gerade Wellenfronten, die von den Barrieren reflektiert und an deren Kanten und Durchlässen gebrochen werden.

Hinter der konvexen Linse werden die Wellen gebündelt, hinter der konkaven gestreut.

An den Punkt-Anregern entstehen konzentrische Kreiswellen. Beim doppelten Anreger überlagern sie sich und bilden ein typisches Muster.

Genauer betrachtet

An unserer Wellenwanne sind so viele Beobachtungen möglich, dass wir Sie hier nur auf ein bekanntes Phänomen hinweisen wollen: Wenn Sie den einfachen Punkt-Anreger bewegen, werden die Kreiswellen exzentrisch zueinander verschoben. Vor dem Anreger rücken sie enger aneinander, dort wird die Frequenz erhöht; dahinter wird der Abstand größer, die Frequenz sinkt.

Das ist der berühmte Dopplereffekt, den Sie von der Sirene des Polizeiautos kennen – dort sehen Sie ihn nicht, aber Sie hören ihn: Vor dem Wagen sind die Schallwellen zusammengedrückt, die Sirene klingt höher. Dahinter werden sie auseinander gezogen, der Klang wird tiefer. Sie hören das typische „iiiiiiiiiiiiieeeeeaaouuuuuuu“.

Woher und Wozu?

Das Sichtbarmachen der Wasserwellen und ihres Verhaltens an Hindernissen lässt wichtige Schlüsse zu über das Verhalten von Schallwellen, Lichtwellen und elektromagnetischen Wellen.



7.2 Große Federn

Let it swing!

Regen Sie die beiden Federn mit den Schubstangen an.

Ändern Sie die Frequenz, d. h. den Zeitabstand der Anregungsstöße.

Vergleichen Sie die Form und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der entstehenden Schwingungen.

Was geschieht hier?

Die linke Feder schwingt quer zu ihrer Achse (man nennt das „transversal“), die rechte in Längsrichtung (oder „longitudinal“).

Beide Schwingungen laufen gleich schnell hin und her, aber die Dichte der Wellenfolge hängt von der Anregungsfrequenz ab.

Für jede Feder gibt es eine Frequenz, bei der die erzeugte Schwingung besonders stark ausfällt – das ist ihre Eigenfrequenz.

Genauer betrachtet

Jede Feder, die man anstößt und frei schwingen lässt, schwingt mit einer Eigenfrequenz, die von der Drahtdicke, dem Durchmesser und der Länge der Feder und der Elastizität des Materials bestimmt wird. Auch die Fortpflanzungsgeschwindigkeit hängt von diesen Kennwerten ab.

Regt man die Feder weiter mit einer Frequenz an, die nahe bei der Eigenfrequenz liegt, so schaukelt sich die Feder auf und schwingt immer weiter aus – im Extremfall bis sie zerreißt.

Woher und Wozu?

Alle realen mechanischen Systeme besitzen Elastizität und können in Schwingung geraten.

Maschinenteile sind zwar meist kompakt gebaut und haben daher hohe Eigenfrequenz. Aber seit Ende des 19. Jahrhunderts stiegen die Drehzahlen von Maschinen schnell an, sodass es öfter zu Anregungen nahe der Eigenfrequenz kommen konnte.

Deshalb bekam die Analyse des Schwingungsverhaltens eine immer größere Bedeutung.