

„Alles strömt – ein Abend voller Wirbel, Wellen und Wunder“ Physikalische Experimente zur „Nacht des Wissens“ 2025

Pascal Klein, Josefine Neuhaus, Joachim Feist
(mit freundlichem Dank an Stine Gerlach)

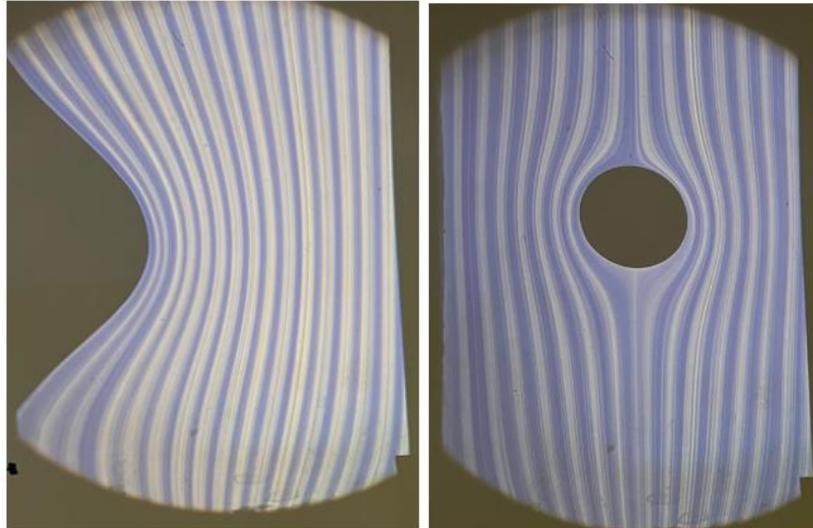


| | |
|---|----|
| Stromfäden..... | 2 |
| Gekoppelte Metronome..... | 4 |
| Geladene Seifenblase | 5 |
| Ball im Luftstrom | 6 |
| Feuerzeuge | 7 |
| Druckluftfeuerzeug (pneumatisches Feuerzeug)..... | 7 |
| Lichtbündelung..... | 7 |
| Rubenssches Flammenrohr | 8 |
| Empfindliche Flamme | 9 |
| Akustische Interferenz..... | 10 |
| Wasserrakete..... | 11 |
| Tesla-Transformator | 12 |

Stromfäden

Im vorliegenden Experiment wird veranschaulicht, wie Flüssigkeiten an Hindernissen vorbeiströmen.

Dazu verwenden wir einen flachen Quader (s. linkes Foto), dessen Zwischenraum zwischen der vorderen und hinteren Plexiglasscheibe nur etwa 1 mm beträgt. In diesem schmalen Spalt fließt ein Flüssigkeitsgemisch aus Wasser und blauer Tinte von oben nach unten. Das Gemisch wird aus zwei oberhalb des Quaders angeordneten Kammern (s. rechtes Foto) zugeführt und gelangt über kleine, versetzt angeordnete Löcher in einen sehr flachen Strömungskanal – die Einlasskanäle der beiden Kammern liegen dabei abwechselnd nebeneinander. Über eine Klemme am „Abfluss-Schlauch“ kann man das Fließen des Wassers starten und stoppen. Hierdurch kann man das Strömungsbild „einfrieren“. Die unterschiedlich gefärbten Streifen, die hierbei zu sehen sind, nennen wir „Stromfäden“ oder „Stromlinien“.



Die Fotos zeigen exemplarisch das Umfließverhalten für zwei Gegenstände, die ohne Wirbelbildung umflossen werden. Es ist zu beobachten, dass die Stromlinien sich nicht durchkreuzen oder vermischen. Das heißt, dass benachbarte Stromlinien stets benachbart bleiben. Außerdem erkennt man, dass neben den Gegenständen die Stromlinien dichter sind und das Hindernis nach einer Engstelle wieder vollständig umströmen. Da Wasser „inkompressibel“ ist, das heißt, dass man es nicht in einen kleineren Raum zusammendrücken kann, fließt es an den Engstellen schneller. In Bezug auf die Bilder kann man sagen: Je enger die Stromlinien zusammenliegen, desto größer ist die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers.

Zur allgemeinen Weiterbildung:

<https://www.wdrmaus.de/filme/sachgeschichten/zahnpastastreifen.php5>

Warum verhalten sich Menschenmengen anders?

Menschen sind, im Gegensatz zu Wasser, nicht „inkompressibel“. Man kennt es aus Bussen und Zügen: meistens können die Menschen noch enger stehen und Personen können sich „dazuquetschen“. Während bei Wasser die Abstände zwischen den Molekülen gleich bleiben, sind die Abstände zwischen Menschen variabel. Wenn Menschen an einer Engstelle zusammenkommen und beispielsweise viele Menschen durch eine Tür gehen, dann kommt es in der Regel dazu, dass man langsamer wird, dass gedrückt und gedrängelt wird.

Wie war das mit dem Wasserhahn?

Wie sieht der Wasserstrahl aus, der aus einem Wasserhahn kommt. Zunächst ist festzustellen, dass das davon abhängt, wie viel Wasser aus dem Hahn kommt. Wenn der Wasserhahn ausreichend stark aufgedreht ist, dann kann man beobachten, dass der Wasserhahn an der Öffnung breiter ist, als an dem Punkt, an dem er auf das Waschbecken auftritt. Diese Beobachtung ist mit der größeren Geschwindigkeit des Wassers und der Oberflächenspannung zu erklären. Das Wasser wird im Schwerfeld der Erde beschleunigt, wird also immer schneller. Da die Wassermenge aber nicht zunimmt, wird der Strahl hierbei schmaler. Es kommt zur Strahlverjüngung. Wenn der Wasserhahn nur leicht aufgedreht ist, dann kommt es irgendwann zur Tröpfchenbildung, die aus der Oberflächenspannung des Wassers resultiert. Probieren Sie es selbst aus!

Gekoppelte Metronome

Dieses Experiment demonstriert die Selbstorganisation gekoppelter Metronome durch die Synchronisation ihrer Schwingungen.

Dazu werden vier Metronome auf ein Brett gestellt. Zu Beginn ist dieses Brett noch fixiert und kann sich nicht bewegen. Die Metronome sind alle auf die gleiche Frequenz eingestellt, sie schwingen also alle gleich schnell. Nun werden die Metronome zu unterschiedlichen Zeiten ausgelenkt. Obwohl sie gleich schnell schwingen, haben sie unterschiedliche Phasen – die Zeiger zeigen also zu einem bestimmten Zeitpunkt bei jedem Metronom in verschiedene Richtungen. In diesem Zustand schwingt jedes Metronom gleichmäßig für sich allein weiter.

Nun wird die Befestigung des Bretts gelöst, es kann sich nun also in der Ebene frei bewegen. Aufgrund der Schwingungen der Metronome beginnt das Brett nun ebenfalls zu schwingen. Nach einiger Zeit lässt sich beobachten, dass sich die Phasen der Metronome zunehmend angleichen. Die Zeiger schwingen nun immer mehr im Gleichklang, bis schließlich alle Metronome synchronisiert sind – sie schwingen im gleichen Takt.

Dieser Effekt entsteht durch die Rückkopplung über das bewegliche Brett. Die einzelnen Metronome bewirken eine Bewegung des Bretts und die Bewegung des Bretts wiederum beeinflusst die Bewegung der Metronome. Wenn sich zum Beispiel der Zeiger eines Metronoms nach links bewegt, wirkt durch Impulserhaltung ein Rückstoß auf das Brett, das sich dadurch leicht nach rechts verschiebt. Dieses Prinzip ist vergleichbar mit dem Absprung von einem ruhenden Skateboard: Springt man nach vorne ab, wird das Skateboard nach hinten gestoßen.

Die Bewegung des Brettes überträgt sich auf die anderen Metronome und beeinflusst deren Schwingung. Das Brett bewegt sich beispielsweise nach rechts, was den Zeigern der Metronome einen kleinen Impuls nach links gibt. Durch diese wechselseitige Beeinflussung passen sich die Schwingungen der Metronome immer weiter aneinander an – bis schließlich alle im Gleichtakt schwingen.

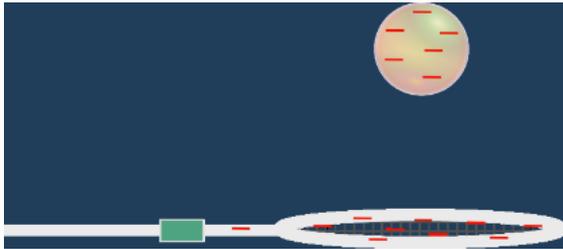
Weiterführende Informationen:

- https://www.youtube.com/watch?v=L-ZIbPe_3Jg
- Zur Selbstorganisation beim Klatschen: <https://www.spektrum.de/news/applaus-applaus-applaus/344190>
- Wissenschaftliche Analyse zur Selbstorganisation von Fußgänger:innen auf der Millenium-Brücke (London):
 - <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.75.021110>
 - <https://doi.org/10.1038/438043a>

Geladene Seifenblase

In diesem Experiment lassen wir eine Seifenblase über einem metallischen „Tennisschläger“ schweben. Wir nutzen hierbei die sogenannte elektrostatische Wechselwirkung aus, nach der sich gleichnamige elektrische Ladungen abstoßen und ungleichnamige Ladungen anziehen (ähnlich wie bei Nord- und Südpol bei Magneten).

Um die Seifenblase also schweben zu lassen, müssen wir dafür sorgen, dass Seifenblase und „Tennisschläger“ sich gegenseitig abstoßen, also gleichnamig geladen sind. Hierfür werden beide am gleichen Pol eines elektrostatischen Generators (einer Influenzmaschine) aufgeladen. Ob hierbei beide Gegenstände positiv oder beide negativ geladen sind, spielt hierbei keine Rolle.



Da sich Seifenblase und Schläger gleichartig aufladen, wächst mit der Zeit die abstoßende Kraft zwischen ihnen. Weil das Sieb festgehalten wird und sich nicht frei bewegen kann, wirkt die zunehmende Abstoßung stattdessen auf die Seifenblase. Schließlich reißt sie sich von der Influenzmaschine los und entfernt sich vom Sieb.

Dabei verliert die Seifenblase ihre Ladung nicht, sie wird aber auch nicht weiter aufgeladen. Dasselbe gilt für das Sieb, welches auch nach dem Trennen vom Generator seine Ladung behält. Deshalb stößt es die Seifenblase weiterhin ab – und genau das kann genutzt werden: Man kann die geladene Seifenblase mit dem ebenfalls geladenen Sieb durch den Raum lenken, ohne sie zu berühren.

Weiterführende Informationen:

- <https://lp.uni-goettingen.de/get/text/1250>

Ball im Luftstrom

In diesem Experiment transportieren wir einen Tischtennisball mit Hilfe eines Föhns durch den Raum, ohne den Ball zu berühren.

Mit diesem Experiment lassen sich drei spannende Effekte zeigen, die uns auch im Alltag begegnen: der Bernoulli-Effekt, der Coandă-Effekt und der Magnus-Effekt.

Hält man einen leichten Ball in den Luftstrom eines Föhns, wird er nicht einfach weggeblasen, sondern bleibt überraschend stabil an einer Position im Luftstrahl – selbst dann, wenn der Föhn bewegt oder zur Seite geneigt wird. Der Ball „schwebt“ im Luftstrom.

Warum bleibt der Ball stabil im Luftstrom?

Das liegt an mehreren physikalischen Effekten:

1. Der Bernoulli-Effekt:

Er besagt: Dort, wo Luft schneller strömt, ist der Luftdruck geringer. Befindet sich der Ball nicht exakt mittig im Luftstrahl, fließt die Luft an einer Seite schneller vorbei als an der anderen – und es entsteht ein Druckunterschied. Die Seite mit dem höheren Druck „drückt“ den Ball zurück in die Mitte des Strahls.

Dieser Unterdruck-Effekt ähnelt dem Prinzip eines Saugnapfs: Wird darunter die Luft herausgedrückt, entsteht ein Vakuum, das den Saugnapf festhält. Sobald wieder Luft eindringt, verschwindet der Unterdruck – und der Saugnapf fällt ab.

2. Der Magnus-Effekt:

Er tritt auf, wenn sich der Ball durch den Luftstrom leicht dreht. Die Luft, die an der rotierenden Oberfläche vorbeistreicht, wird durch Reibung mitgezogen. Dadurch verändert sich die Strömung hinter dem Ball – es entsteht ein Unterdruck, der den Luftstrom quasi „um den Ball herumzieht“. So bleibt der Ball stabil im Strahl, selbst wenn der Föhn geneigt wird.

3. Der Coandă-Effekt:

Dieser Effekt beschreibt, dass ein Luftstrahl dazu neigt, an einer nahegelegenen Oberfläche „anzuliegen“ und ihr zu folgen, anstatt geradeaus weiterzufließen. Auch dieser Effekt trägt dazu bei, dass der Luftstrom dem Ball folgt und ihn mitführt, statt ihn zur Seite wegzudrücken. Diese Phänomene resultieren aus der „Impulserhaltung“.

Fazit:

Alle drei Effekte – der Bernoulli-, der Magnus- und der Coandă-Effekt – wirken zusammen und sorgen dafür, dass der Ball im Luftstrom gehalten wird. Deshalb lässt sich der Ball mithilfe des Föhns sogar über eine Strecke hinweg transportieren, ohne dass er zu Boden fällt oder weggeschleudert wird.

Weiterführende Informationen:

- <https://www.youtube.com/watch?v=NvzXKZnj7ZU>
- <https://www.youtube.com/watch?v=UZImG081nDM>

Feuerzeuge

Druckluftfeuerzeug (pneumatisches Feuerzeug)

Dieser Versuch zeigt eindrucksvoll, wie sich ein Gas – in diesem Fall Luft – durch schnelle Kompression erwärmt.

Dazu wird ein Kolben in einen einseitig geschlossenen Hohlzylinder gedrückt. Der Kolben schließt luftdicht ab. Wird er mit hoher Geschwindigkeit nach unten gestoßen, wird die eingeschlossene Luft stark komprimiert. Dabei erhitzt sie sich so stark, dass ein kleines Stück Watte zum Glühen gebracht werden kann.

Der Grund dafür: Die Luft wird so schnell zusammengedrückt, dass keine Zeit bleibt, Wärme an die Umgebung abzugeben – der Vorgang ist also adiabatisch. Die mechanische Energie, die beim Zusammendrücken aufgebracht wird, verwandelt sich in innere Energie des Gases – und diese zeigt sich als Temperaturerhöhung.

Weiterführende Informationen:

- https://ilias.uni-marburg.de/ilias.php?baseClass=ilrepositorygui&cmdNode=zm:gg:193:19i&cmdClass=xoctPIayerGUI&cmd=streamVideo&ref_id=2529458&eid=d5eb8e10-3595-4eb4-8292-a1b0b622b93e
- <https://www.youtube.com/watch?v=rjs1GvDwjHM>

Lichtbündelung

In diesem Experiment wird mithilfe einer Linse ein Streichholz durch das Licht einer 100W Halogenlampe entzündet. Aber wie funktioniert das genau?

Die Linse bündelt das Licht der Lampe und konzentriert es auf den Kopf des Streichholzes. Sie besteht aus Quarzglas – einem Material, das sichtbares Licht, UV-Strahlung und Infrarotstrahlung auf die gleiche Weise bricht.



Wenn das Licht aus der Luft auf die Linse trifft, wird es beim Eintritt und beim Austritt gebrochen. Der Grund dafür ist, dass Quarzglas einen anderen Brechungsindex hat als Luft. Die Richtung der Lichtstrahlen ändert sich dadurch.

Durch die besondere Wölbung der Linse werden alle einfallenden Lichtstrahlen so abgelenkt, dass sie sich in einem einzigen Punkt sammeln: dem Brennpunkt. Genau in diesen Brennpunkt wird der Streichholzkopf gelegt.

Der Streichholzkopf ist schwarz gefärbt, damit er das Licht besser absorbiert – denn dunkle Farben nehmen mehr Strahlung auf als helle. Durch die konzentrierte Energie der Lichtstrahlen erhitzt sich der Streichholzkopf so stark, dass er schließlich Feuer fängt.

Rubenssches Flammenrohr

Dieses Experiment macht stehende Schallwellen auf eindrucksvolle Weise sichtbar.

Das Rubensche Flammenrohr besteht aus einem Metallrohr, das entlang seiner Oberseite mit einer gleichmäßigen Reihe kleiner Löcher versehen ist. Durch das Rohr wird Gas geleitet, das an den Öffnungen austritt und entzündet wird. An einem Ende ist das Rohr verschlossen, am anderen Ende befindet sich eine dünne Membran.

Wird diese Membran mit Schallwellen – z. B. durch einen Lautsprecher oder Frequenzgenerator – in Schwingung versetzt, übertragen sich die Schallwellen in das Innere des Rohrs. Dort breiten sie sich aus und werden am geschlossenen Ende reflektiert. Für bestimmte Frequenzen entstehen im Rohr sogenannte stehende Wellen.

Bei stehenden Wellen gibt es Orte mit unterschiedlichen Druckverhältnissen:

- Knoten: Hier bleibt der Schalldruck zeitlich konstant.
- Bäuche: Hier schwankt der Druck ständig.

So entsteht ein Muster aus unterschiedlich hohen Flammen, das die Schallwellen sichtbar macht. Wichtig ist, dass das, was wir als Flammenbauch wahrnehmen und was seine Höhe je nach Ton ändert an dem Punkt ist, wo bei der Welle der Knoten ist. Dies liegt daran, dass das Gas hier ungehindert ausströmen kann, da es keinen Schwankungen unterliegt.

Weiterführende Informationen:

- <https://doi.org/10.1002/andp.19053220608>

Empfindliche Flamme

In diesem Experiment ist zunächst eine große, ruhige Flamme aus einem Bunsenbrenner zu sehen. Wird nun in einiger Entfernung ein lauter, hoher Ton erzeugt – zum Beispiel mit einer Trillerpfeife – verändert sich die Flamme sichtbar: Sie wird für einen kurzen Moment kleiner, breiter und beginnt zu flackern. Danach kehrt sie zu ihrer ursprünglichen Form zurück.

Diese Beobachtung lässt sich mit der Art erklären, wie Gase (also Fluide) strömen können. Man unterscheidet dabei zwei Strömungsformen:

- Laminare Strömung: Das Gas bewegt sich geordnet in parallelen Schichten, ohne große Vermischung. Die Flamme wirkt ruhig und stabil.
- Turbulente Strömung: Es kommt zu Unregelmäßigkeiten, Wirbeln und Durchmischung – die Flamme erscheint unruhig, dicker und flackernd.

Ob eine Strömung laminar oder turbulent ist, hängt von mehreren Faktoren ab: der Dichte und Zähigkeit (Viskosität) des Gases sowie der Strömungsgeschwindigkeit. Der Übergang zwischen beiden Zuständen geschieht an einem bestimmten Schwellenwert – dem sogenannten kritischen Punkt.

In diesem Experiment ist die Flamme so eingestellt, dass die Strömung gerade noch laminar ist – also kurz vor dem Umschlag in eine turbulente Strömung. Wird nun durch den Ton der Trillerpfeife die Luft leicht in Bewegung gesetzt, verändert sich die Strömungsgeschwindigkeit. Diese minimale Störung reicht aus, um den kritischen Punkt zu überschreiten. Die Folge: Die Flamme geht kurzzeitig in einen turbulenten Zustand über – sie wird kleiner, dicker und beginnt sichtbar zu flackern.

Weiterführende Informationen:

- <https://www.youtube.com/watch?v=wbD3yLP2NBM>
- <https://expweb.phys.ethz.ch/03/06/02/bes.pdf>

Akustische Interferenz

In diesem Experiment kann akustische Interferenz im Raum hörbar gemacht werden.

Interferenz bedeutet, dass sich Wellen überlagern – sie können sich dabei gegenseitig verstärken oder abschwächen. Auch Schall ist eine Welle. Wenn zwei Lautsprecher denselben Ton abspielen, überlagern sich die Schallwellen überall im Raum.

Dabei kann Folgendes passieren:

- Konstruktive Interferenz: Treffen zwei Wellenberge oder zwei Wellentäler aufeinander, addieren sich ihre Amplituden – der Ton klingt lauter.
- Destruktive Interferenz: Trifft ein Wellenberg auf ein Wellental, heben sich die beiden Wellen gegenseitig auf – an dieser Stelle hört man nichts.
- An anderen Stellen treffen die Wellen mit unterschiedlicher Amplitude aufeinander – sie überlagern sich teilweise, sodass der Ton an diesen Stellen unterschiedlich laut klingt.

Insgesamt entsteht im Raum ein Muster, das an ein rundes Schachbrett erinnert – mit lauten, leiseren und ganz stillen Zonen. Je nachdem, wo sich die Zuschauenden befinden, hören sie den Ton sehr laut, gar nicht oder irgendwo dazwischen. Durch einfaches Bewegen im Raum kann man dieses Interferenzmuster direkt erleben.

Weiterführende Informationen:

- <https://www.youtube.com/watch?v=yqVP-ewukz4>

Wasserrakete

Bei diesem Experiment wird eine Flasche teilweise mit Wasser gefüllt. Anschließend wird unter hohem Druck Luft in die Flasche gepresst. Dadurch steigt der Druck im Inneren sehr schnell an.

Da die Luft Platz benötigt, wird das Wasser mit großer Kraft aus der Flasche gedrückt. Dabei wirkt das Rückstoßprinzip: Wenn das Wasser nach unten herausströmt, wird die Flasche selbst nach oben beschleunigt – ähnlich wie bei einer Rakete.

So lässt sich eindrucksvoll zeigen, wie durch Druck und Rückstoß eine Bewegung erzeugt werden kann.

Weiterführende Informationen:

- Bastelanleitungen:
 - <https://www.geo.de/geolino/basteln/4354-rtkl-basteln-rakete-mit-wasserkraft>
 - <https://www.dlr.de/de/next/medien/publikationen/anleitungen/flaschen-rakete>

Tesla-Transformator

In diesem Experiment kann eine Leuchtstoffröhre zum Leuchten gebracht werden, ohne dass sie mit einem Kabel an eine Stromquelle angeschlossen ist. Möglich wird das durch die Tesla-Spule, ein Gerät, das hohe Spannungen erzeugt und Energie berührungslos überträgt.

Die Tesla-Spule nutzt zwei zentrale physikalische Prinzipien:

- Ein sich veränderndes Magnetfeld erzeugt elektrischen Strom – und umgekehrt.
- Elektrischer Strom fließt nur, wenn ein Stromkreis geschlossen ist.

Die Spule besteht aus mehreren Spulenwicklungen, einem Kondensator (zum Beispiel einer Leidener Flasche) und einer sogenannten Funkenstrecke.

Zunächst wird eine erste Spule mit wenigen Windungen an das Stromnetz angeschlossen. Dadurch entsteht ein Magnetfeld, das wiederum in einer benachbarten Spule mit mehr Windungen einen Strom induziert – dabei erhöht sich die Spannung deutlich.

Diese Spule ist mit einem Kondensator verbunden, der elektrische Energie speichern kann. Wenn der Kondensator stark aufgeladen ist, versucht er, sich zu entladen – allerdings nicht einfach zurück, sondern über einen zweiten Stromkreis, in dem sich eine weitere Spule und die Funkenstrecke befinden.

Die Funkenstrecke stellt eine kleine Lücke im Stromkreis dar. Erst wenn die Spannung hoch genug ist, „springt“ ein Funke über – der Stromkreis schließt sich kurzzeitig, und der Kondensator entlädt sich explosionsartig über die Spule. Dabei entsteht ein starkes, schnell wechselndes Magnetfeld.

Dieses Feld erzeugt in einer weiteren Spule mit vielen Windungen eine sehr hohe Spannung und einen Strom – allerdings ist diese letzte Spule nicht mit einem elektrischen Verbraucher verbunden. Stattdessen „sucht“ sich der Strom einen Weg durch die Luft – es entstehen sichtbare Blitze, um den Stromkreis zu schließen.

Diese elektrischen Entladungen erzeugen ein starkes elektromagnetisches Feld, das die Leuchtstoffröhre in der Nähe zum Leuchten bringt – ganz ohne Kabel. Die hohe Spannung ionisiert das Gas in der Röhre, wodurch sie hell aufleuchtet.

Weiterführende Informationen:

- https://www.youtube.com/watch?v=n-__IYpSX4U

Fotos/Bilder: Joachim Feist, Pascal Klein, Josefine Neuhaus

Texte: Stine Gerlach, Josefine Neuhaus, Pascal Klein