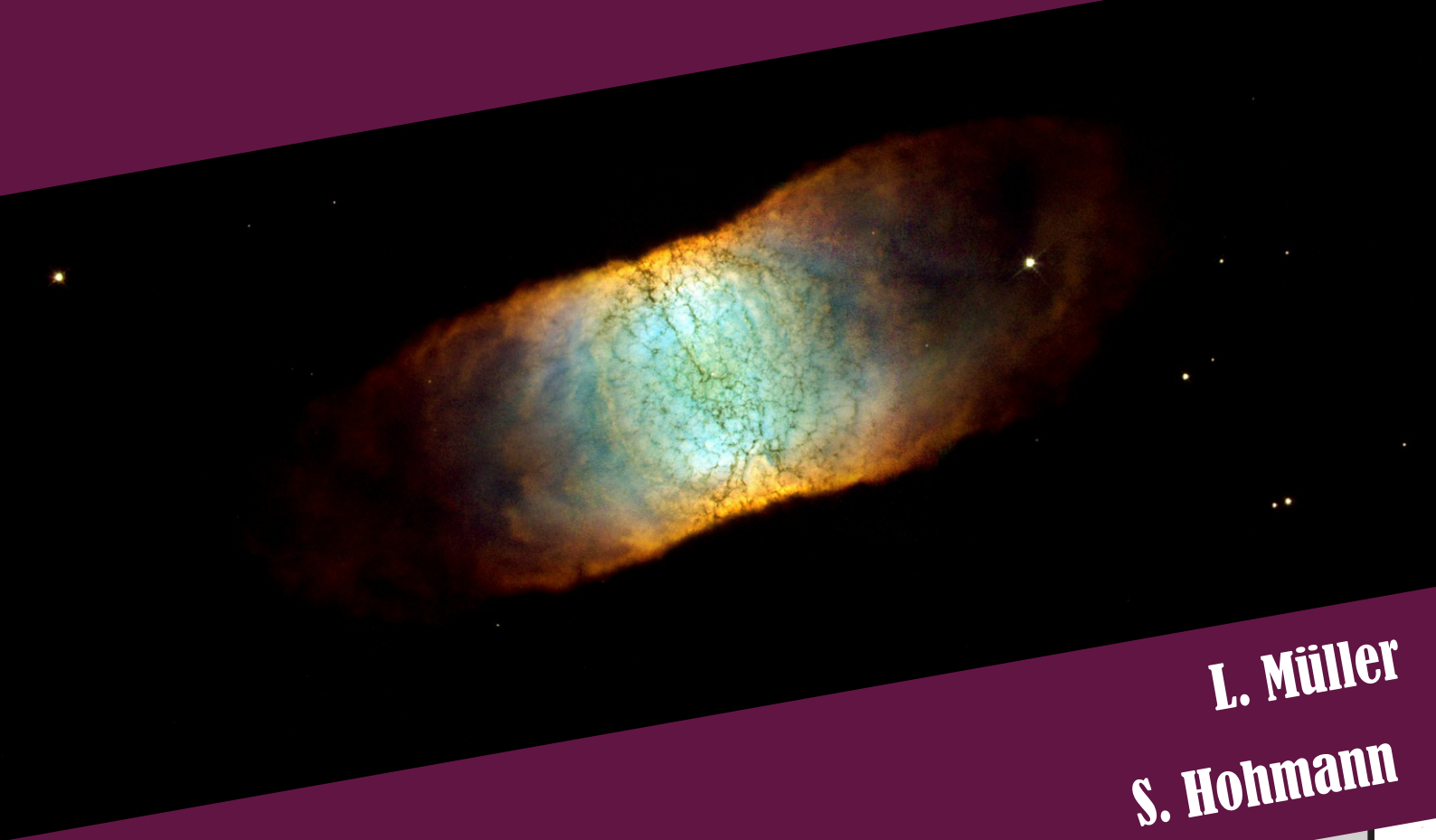


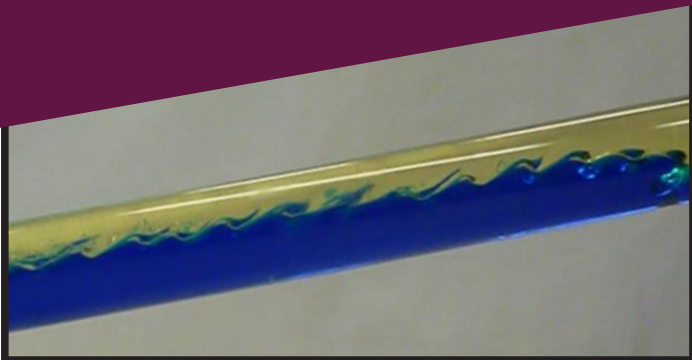
Planetarische Nebel

Zugänge für die Schule

Arbeitsheft



L. Müller
S. Hohmann



Die Autoren



Lenka Müller (geb. Bzduskova) entwickelt im Rahmen ihrer Promotion an der Universität Siegen im Fachbereich Physikdidaktik seit 2014 physische Modelle zu fluiddynamischen Phänomenen, die ihre Anwendung im Schulbetrieb finden sollen. Die Modelle sind einfach gestaltet, damit das Lehrpersonal diese ohne Probleme nachbauen kann. Darüber hinaus beschäftigt sie sich mit der physikalischen Ähnlichkeitstheorie, die beim Bau der Modelle ihre Anwendung findet. Mit Hilfe dieser Theorie wurden auch elementarisierte theoretische Modelle zu fluiddynamischen Phänomenen entwickelt, die ebenfalls im Schulbetrieb angewendet werden können.

✉ Mueller2@physik.uni-siegen.de



Dr. Sascha Hohmann beschäftigt sich mit der Entwicklung elementarisierter mathematischer Modelle zum Aufbau und zur Entwicklung von Himmelskörpern. Der Schwerpunkt liegt bei Hauptreihensternen, deren kompakten Überresten und den verbleibenden planetarischen Nebeln. Die entwickelten Modelle dienen primär der Einführung in die stellare Physik für Studierende in den ersten Semestern. Weiterhin entwickelt er Materialien für robotische Teleskope für den Schulbetrieb, bei denen Schülerinnen und Schülern mithilfe ihrer eigenen Aufnahmen verschiedene Messungen und Berechnungen durchführen können, wie etwa die Bestimmung des Alters des Krebsnebels.

✉ hohmann@physik.uni-siegen.de

Umschlagbild oben und hinten: Der Retina-Nebel, ein planetarischer Nebel im Sternbild Wolf (CC0)

Umschlagbild unten: Zwei Versuche aus dem vorliegenden Heft

UNIVERSITÄT SIEGEN - Didaktik der Physik

Planetarische Nebel
Zugänge für die Schule
Ein Arbeitsheft

Lenka Müller
Sascha Hohmann

Alle Rechte vorbehalten.
Universität Siegen, Didaktik der Physik
Adolf-Reichwein-Straße 2, 57068 Siegen
Zweite Auflage, 2020

Inhaltsverzeichnis

1	Vorwort	4
2	Einleitung	5
3	Theoretische Grundlagen	6
3.1	Kelvin-Helmholtz-Instabilität	6
3.2	Rayleigh-Taylor-Instabilität	7
3.3	Infrarotastronomie	8
4	Konstruktionsanleitungen	11
4.1	Konstruktion der Apparatur für den Fadenstrahlversuch	11
4.2	Konstruktion der Kelvin-Helmholtz-Röhre	14
4.3	Konstruktion der Apparatur zum Versuch „Zwei Luftballons“	16
A Kärtchen zur Kelvin-Helmholtz-Instabilität		
B Kärtchen zur Rayleigh-Taylor-Instabilität		
C Kärtchen zur Infrarotstrahlung		
Literaturhinweise		

1 Vorwort

Liebe Lehrerinnen und Lehrer,

dieses Heft über planetarische Nebel und Infrarotastronomie ist für Sie gedacht! Es beinhaltet einfache Erklärungen für das Lehrpersonal zur Kelvin-Helmholtz- und Rayleigh-Taylor-Instabilität - zwei wichtige Faktoren bei der Bildung der charakteristischen Strukturen planetarischer Nebel - und soll dabei helfen, diese faszinierenden astronomischen Objekte zu begreifen. Des Weiteren werden die Vorteile und die Problematik der Beobachtung der planetarischen Nebel im infraroten Bereich erläutert.

Dieses Heft gibt eine Hilfestellung für den Schulunterricht zum Thema planetarische Nebel und Infrarotastronomie in Form der Methode des Stationenlernens. Als Stationen wurden Versuche zu den bereits erwähnten Themen entwickelt, die selbstständig von den Schülerinnen und Schülern durchgeführt werden können. Die Hauptversuche werden von der Kelvin-Helmholtz- und der Rayleigh-Taylor-Instabilität gebildet. Diese Versuche bauen auf Unterversuchen auf, die für ein besseres Verständnis der Schülerinnen und Schüler für die Hauptversuche sorgen sollen. Zur Infrarotastronomie werden keine Unterversuche benötigt. Damit die Schülerinnen und Schüler ihre Experimente selbstständig durchführen können, werden Beschreibungskarten zum Versuchsaufbau, zur Versuchsdurchführung und eine physikalische Erklärung des Phänomens gebraucht, diese wurden im Anhang beigelegt. Des Weiteren wurden die Karten um einen Alltagsbezug ergänzt, da solche Phänomene nicht nur in planetarischen Nebeln zu beobachten sind. Die Erklärungen auf den Karten sind für die 8. bis 10. Klasse ausgelegt. Ebenfalls wurden Konstruktionsbeschreibungen zu aufwendigeren Versuchen mit Versuchsaapparaturen beigelegt.

Planetarische Nebel und Infrarotastronomie gehört in den meisten Bundesländern nicht zum Lehrplan. Es kann dennoch nützlich sein, solche Themen anzusprechen, um das Interesse von Schülerinnen und Schülern für Astronomie, Astrophysik oder generell für Physik zu wecken, da die Zahlen der Studierenden der Physik immer weiter abnehmen.

Das Autorenteam hofft, dass das Heft eine Erleichterung im Schulbetrieb darstellt und den Einzug von eher ungewöhnlichen Themen im Physikunterricht erleichtert.

-Das Autorenteam

2 Einleitung

Im Weltall befinden sich unzählige Objekte, die die Aufmerksamkeit von Astronomen auf sich ziehen. Dazu gehören auch die planetarischen Nebel. Sie entstehen, wenn ein Stern das Ende seiner Lebenszeit erreicht hat und seine äußere Hülle ins Weltall schleudert. Übrig bleiben nur noch ein heißer Kern und die eigentliche Hülle (der planetarische Nebel), die den Kern umgibt. Der Nebel hat meistens eine Kugelform oder er setzt sich aus Doppel- und Dreifachhüllen zusammen, es können aber auch irreguläre Formen entstehen, wie beispielsweise der Krebsnebel (Abb. 1) zeigt. Dieser Nebel hat seine Form zum größten Teil durch die Rayleigh-Taylor-Instabilität erhalten. Für dieses Phänomen sind fingerartige bzw. pilzförmige Formen mit Fäden typisch, die auch der Krebsnebel aufweist. Die planetarischen Nebel können auch wellenförmige Muster aufweisen, wie der Medusa-Nebel oder der Uhrglasnebel. Genauso wie die Wellenbildung des Meeres und andere irdische Phänomene sind diese Strukturen auf die Kelvin-Helmholtz-Instabilität zurückzuführen. Beide Instabilitäten wirken aufgrund ihrer Entstehung meistens gemeinsam.

Bei der Erforschung dieser Nebel spielt die Infrarotastronomie eine tragende Rolle. Durch sie können die Astronomen z.B. Informationen über das Spät- und Endstadium der Sternentwicklung oder über die Struktur der planetarischen Nebel erhalten - der Name „Nebel“ suggeriert bereits die fehlende Transparenz der Materie im Bereich des sichtbaren Lichts. Man kann also nicht sehen, was sich im Inneren oder hinter dem Nebel befindet. Dies ist im Wesentlichen auf zwei Faktoren zurückzuführen. Die leuchtenden Gasnebel bestehen größtenteils aus Wasserstoff. Der Wasserstoff kann durch elektromagnetische Strahlung angeregt oder ab einer Energie von 13,6 Elektronenvolt auch ionisiert werden. In beiden Fällen wird das Licht absorbiert und wieder emittiert, was Rückschlüsse auf den Nebel, aber keine auf die ursprüngliche Lichtquelle mehr zulässt. Den zweiten Effekt, der die Beobachtung im sichtbaren Spektrum erschwert, kennt man auch aus der Erdatmosphäre: Die elektromagnetische Strahlung wird an Staubwolken, die sich zwischen dem Nebel und der Erde befinden, gestreut (Rayleigh-Streuung) - je kürzer die Wellenlänge, desto stärker die Streuung.

Sowohl die Gasnebel als auch Staubwolken sind also im nahinfraroten Spektrum durchsichtig - im mittleren Infraroten können dagegen die direkten Emissionen kühler Nebel betrachtet werden, die mit kurzwelligerem Licht nicht beobachtet werden können. Am Ende des fernen infraroten Lichtes kann bereits die kosmische Hintergrundstrahlung observiert werden.

Es lohnt sich also, planetarische Nebel im Infraroten zu beobachten. Auf Abb. 2, einem Vergleich des Jets HH901/902 aus dem Carina Nebel¹ kann man sehr gut den Unterschied zwischen sichtbarem Licht und Infrarotstrahlung erkennen.

¹Hierbei handelt es sich um ein HII-Sternentstehungsgebiet, nicht um einen planetarischen Nebel. Die Vorteile der Infrarotastronomie werden hier jedoch ebenso deutlich, wie bei planetarischen Nebeln.

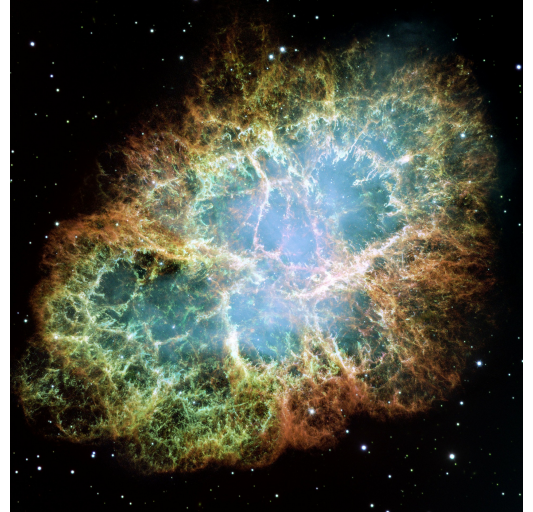


Abbildung 1: Der Krebsnebel, einer der bekanntesten astronomischen Nebel - allerdings kein planetarischer Nebel, sondern ein Supernova-überrest. Die strukturbildenden, physikalischen Prozesse sind jedoch ähnlich (CC0)

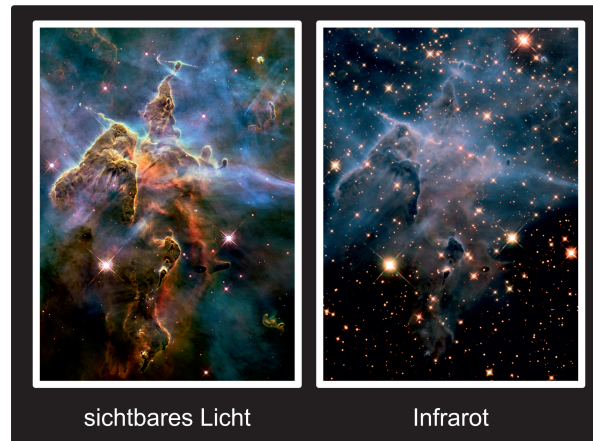


Abbildung 2: Ein Vergleich des Jets HH901/902 im Carina Nebel im sichtbaren und infraroten Licht. Die Vorteile der Infrarotstrahlung werden sofort deutlich: Man kann in den Nebel schauen und Details erkennen, die in oder hinter ihm liegen. Credit (beide Bilder): NASA, ESA, and M. Livio and the Hubble 20th Anniversary Team (STScI)

3 Theoretische Grundlagen

3.1 Kelvin-Helmholtz-Instabilität

Die Kelvin-Helmholtz-Instabilität tritt in Schichtströmungen an der Scherschicht² auf. Fließen zwei Schichten unterschiedlicher Dichten mit einer Relativgeschwindigkeit v aneinander vorbei, dann entstehen laminare bzw. turbulente³ Strömungen. Aus diesem Grund entstehen auch Wellen an der Meeresoberfläche, hier bewegen sich Luft- und Wasserschichten mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten (vgl. [3] S. 435).

Bewegen sich zwei inkompressible Fluide relativ zueinander, dann entstehen unterschiedliche Drücke in den einzelnen Fluiden. Dies ist besonders gut an der **Bernoulli-Gleichung** abzulesen, die sich sehr leicht herleiten lässt. Geht man davon aus, dass keine Reibung wirkt, dann gilt die Energieerhaltung der Mechanik. Strömungen haben im Allgemeinen eine kinetische ($E_{kin} = 1/2 mv^2$) und eine potentielle Energie ($E_{pot} = mgh$), deren Summe in einem abgeschlossenen System konstant bleiben muss. Dividiert man diese Energiesumme durch das Teilvolumen V , so ergibt sich eine Druckgleichung (Drücke können im Prinzip als Energiedichten aufgefasst werden):

$$p_{ges} = \frac{\rho}{2}v^2 + \rho gh + p_{st} = const. \quad (1)$$

Gleichung 1 nennt man Bernoulli-Gleichung. In Gleichung 1 tritt neben dem kinetischen und potentiellen Energieanteilen noch die Größe p_{st} auf, die einem äußeren statischen Druck entspricht, der auf dem Gesamtsystem lastet. Die Größe ρgh entspricht dem hydrostatischen Druck und die Größe $\rho/2 \cdot v^2$ dem Staudruck.

Nachfolgend wenden wir Gleichung 1 auf die Kelvin-Helmholtz-Instabilität an. Bewegt sich das obere Fluid mit konstanter Geschwindigkeit über das ruhende untere Fluid, dann kann auf Grund der Bernoulli-Gleichung eine kleine Störung an der Grenzschicht zwischen den Fluiden verstärkt werden. Die Störung kann sich zum Beispiel als ein Wellenbuckel darstellen. Zunächst befindet sich der Gesamtdruck in beiden Fluiden im Gleichgewicht, wenn keine Störung (Wellenbuckel) auftritt. Dieses Gleichgewicht wird durch einen Wellenbuckel ins Wanken gebracht, da dieser den für die Strömung zu überwindenden Weg verlängert. Dadurch erhöht sich die Geschwindigkeit der

²Die Scherschicht bezeichnet in der Strömungslehre den Übergangsbereich zwischen zwei Schichten mit unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten.

³In Strömungen mit Turbulenzen entstehen Verwirbelungen im Fluid, wenn die Trägheitskräfte größer werden als die Reibungskräfte. Ist das Größenverhältnis der Kräfte umgekehrt, dann ist die Strömung laminar.



Abbildung 3: Eine brechende („zusammenfallende“) Welle (CC0)

Strömung an dieser Stelle und erzeugt einen Unterdruck, der wiederum den Wellenbuckel vergrößert. Dadurch kann sich eine Störung an der Grenzschicht verstärken.

Die dabei entstehenden Wellen haben zunächst eine Sinus-Form. Durch die unterschiedlichen Drücke werden die Wellen weiter verstärkt, bis die Schwerkraft einen sehr steilen Wellenkamm⁴ erzeugt und die Wellen in sich zusammenfallen (siehe Abb. 3).

3.2 Rayleigh-Taylor-Instabilität

Die Rayleigh-Taylor-Instabilität entsteht, wenn zwei Fluide mit unterschiedlichen Dichten gegeneinander beschleunigt werden. Ist zum Beispiel ein schwereres auf ein leichteres Fluid geschichtet und es wirkt die Schwerkraft, dann bezeichnet man diese Schichtung als Rayleigh-Taylor-instabil. Ein Beispiel für diese Instabilität ist der Vorgang einer Supernovaexplosion, bei der sich die Materie aus dem Kern des Sterns an seiner Hülle vorbei schiebt, so dass die soeben angesprochenen Grenzschichten zwischen Fluiden unterschiedlicher Dichte im Schwerfeld auftreten. So hat auch der Krebsnebel im Sternbild des Stiers (Abb. 1) typische morphologische Strukturmuster erhalten. Auf Bildern erkennt man die fingerartigen Gebilde, die eine Folge der Rayleigh-Taylor-Instabilität darstellen. Ganz allgemein entsteht diese spezifische Form der Instabilität, weil die Schwerkraft der Auftriebskraft entgegenwirkt. Dadurch ergibt sich der folgende Druckunterschied an der Grenzfläche zwischen den beiden Fluiden:

$$\Delta p_1 = \frac{F}{A} = \frac{\Delta \rho \cdot g \cdot V}{A} = \Delta \rho g h \quad (2)$$

Hier ist h die vertikale Verschiebung an der Grenzfläche, $\Delta \rho$ die Dichtedifferenz und g die Gravitationsbeschleunigung. Wie gleich deutlich wird, nimmt die Instabilität näherungsweise die Form einer Kugel an, deshalb gilt:

$$\Delta p_1 = \Delta \rho \cdot g \cdot 2R \quad (3)$$

R ist der Kugelradius. Dem entgegen wirkt die Oberflächenspannung, die versucht, den Flächeninhalt der Oberfläche zu minimieren, weil auf die Oberflächenmoleküle lediglich eine nach unten gerichtete Kraft wirkt - im Gegensatz zu den Molekülen im Inneren des Mediums. Dadurch haben die Oberflächenmoleküle eine größere potentielle Energie als die inneren Moleküle. Das bedeutet, dass Arbeit verrichtet werden muss, um die Oberfläche zu vergrößern oder anders ausgedrückt: Das sich selbst überlassene System wird einen Zustand minimaler potentieller Energie

⁴Der Wellenkamm ist die höchste Position des Wellenberges.

annehmen. Dadurch wird die Oberfläche minimiert und es entwickelt sich ein kreisförmiger Tropfen. Die Oberflächenspannung erzeugt die stabilisierende Druckdifferenz:

$$\Delta p_2 = \frac{F}{A} = 2 \cdot \frac{\sigma}{R} \quad (4)$$

Hier ist R der Krümmungsradius der Grenzfläche⁵ und σ die Oberflächenspannung. Bildet man den Quotienten aus den Drücken Δp_1 und Δp_2 , so ergibt die resultierende Zahl ein Maß dafür, wie sich der durch Schwerkraft bedingte Druckunterschied relativ zum Druck verhält. Dieser ist von der Oberflächenspannung abhängig:

$$\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = \frac{\Delta \rho \cdot g \cdot R^2}{\sigma} \quad (5)$$

Der Wert dieses Verhältnisses bestimmt die Stabilität der Grenzfläche und die Form des Tropfens. Es wird auch als Bond-Zahl bezeichnet (vgl. [3] S. 40-43). Ist die Bond-Zahl kleiner als eins, so spielt die Gravitation kaum eine Rolle und der Tropfen ist kugelförmig. Ist die Zahl größer als eins, dann wird die Gestalt eher ellipsenförmig. Es bildet sich ein tropfenartiges Gebilde, welches sich aus der kontinuierlichen Grenzschicht ablöst. Dabei kommt es zusätzlich bei der Ablösung des Tropfens durch Einschnürung zur Entstehung eines „Fadens“. In hoch viskosen Medien können sich die Moleküle allerdings nicht in den Tropfen oder in die Grenzschicht zurückziehen, weil die Reibung die dazu erforderliche Bewegung „einfriert“. Die Einschnürungsregion und der Faden bleiben als eigenständige Gebilde erhalten. Die Tropfen mit Einschnürung lassen sich sehr gut im Krebsnebel (Abb. 1) erkennen.

3.3 Infrarotastronomie

Infrarotstrahlung ist der Teil elektromagnetischer Strahlung, der an das langwellige Ende des sichtbaren Lichtes anschließt. Unterteilt wird es für gewöhnlich in nahes (etwa 800 nm bis 3 μm), mittleres (3 μm bis 50 μm) und fernes Infrarot (50 μm bis 1 mm), wobei die Angaben schwanken können. An das langwellige Ende des Infraroten schließt die Mikrowellenstrahlung an.

Treffen elektromagnetische Wellen auf Moleküle, die kleiner sind als die Wellenlänge, so werden sie gestreut. Für den Streuquerschnitt σ - ein Maß für die Stärke der Streuung - gilt (für eine Herleitung, siehe beispielsweise [2] S. 578ff.):

$$\sigma \approx \frac{8\pi^3 V^2}{3\lambda^4} \quad (6)$$

Hier ist V das Volumen des Moleküls, an dem die Strahlung mit der Wellenlänge λ gestreut wird. Der Streuquerschnitt hängt empfindlich von der Wellenlänge ab ($\sigma \propto \lambda^{-4}$), dementsprechend wird kurzwellige elektromagnetische Strahlung erheblich stärker gestreut als langwellige. Die Streuverluste durch die Erdatmosphäre kann man auf Abb. 4 sehen: Für Wellenlängen unterhalb des sichtbaren Bereichs betragen die Verluste nahezu 100%, während sie bei größeren Wellenlängen vernachlässigbar sind. Der gleiche Effekt tritt auch bei Gaswolken im Universum, wie beispielsweise planetarischen Nebeln, auf, die infrarote Strahlung besser durchdringen kann als sichtbares Licht.

Trifft Infrarotstrahlung jedoch auf mehratomige Moleküle, wie beispielsweise Wasser oder Kohlenstoffdioxid, so können diese in Normalschwingungen (vgl. Abb. 5) versetzt werden. Um eine Wechselwirkung zwischen elektromagnetischer Welle und Molekül zu erreichen, muss sich das elektrische Dipolmoment des Moleküls ändern. Dies ist bei

⁵Der Krümmungsradius und der Radius aus Gleichung 3 können gleichgesetzt werden, da beide Werte für Kreise bzw. Kugeln identisch sind.

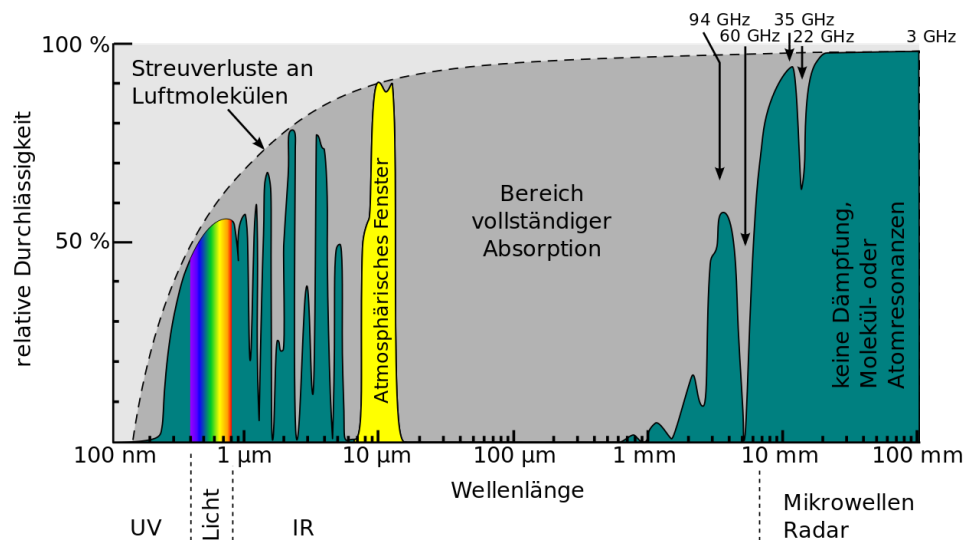


Abbildung 4: Die Durchlässigkeit der Erdatmosphäre bei verschiedenen Wellenlängen elektromagnetischer Strahlung (gemeinfrei/public domain)

beispielsweise Wasserstoff- oder Stickstoffmolekülen nicht möglich⁶. Auf Abb. 5 (nach [1] S. 321) sind als Beispiele die Normalschwingungen von Wasser und Kohlenstoffdioxid dargestellt. Insbesondere der Anteil an Wasserdampf ist in der Atmosphäre hoch genug, um einen erheblichen Teil der Infrarotstrahlung zu absorbieren und damit eine Beobachtung vom Erdboden deutlich zu erschweren. Abgesehen von einzelnen durchlässigen Bändern, in denen die Durchlässigkeit der Atmosphäre hoch ist (siehe Abb. 4), ist daher eine Beobachtung vom Erdboden aus schwierig. Während die Absorption im sichtbaren Licht relativ gering ist und die Intensität der Strahlung am Boden im Bereich von 400 bis 800 Nanometern nur durch die Streuung an den Luftmolekülen um etwa die Hälfte reduziert wird, fällt die Intensität im Infraroten - im Wesentlichen aufgrund der Absorption, nicht durch die Streuung - drastisch ab.

Um das Problem der Absorption durch Wasser(dampf) zu reduzieren, werden Infrarotteleskope - wie beispielsweise das Very Large Telescope in der Atacamawüste in Chile - meist an hohen, trockenen Orten installiert. Eine alternative, aber aufwendigere, Möglichkeit ist das Verlassen des Erdbodens und der Stratosphäre, die zu einem wesentlichen Teil für die Absorption verantwortlich ist. Zunächst wurden dafür Ballons genutzt, seit den 60er Jahren auch Flugzeuge (LJO, KAO). Ein aktuelles Projekt ist SOFIA, eine Zusammenarbeit von NASA und DLR (siehe Abb. 6).

Die besten Ergebnisse erhält man jedoch, wenn man die Erdatmosphäre verlässt. Seit den 80er Jahren sind daher Weltraumteleskope wie IRAS, HERSCHEL und SPITZER im Einsatz, auch das HUBBLE Weltraumteleskop kann Infrarotmessungen durchführen. Für die besseren Bilder muss man jedoch einen erheblich höheren Wartungsaufwand und höhere Kosten in Kauf nehmen.

⁶Weitere Informationen dazu findet man in den meisten Physik-Standardwerken, die Festkörperphysik behandeln (beispielsweise [1]).

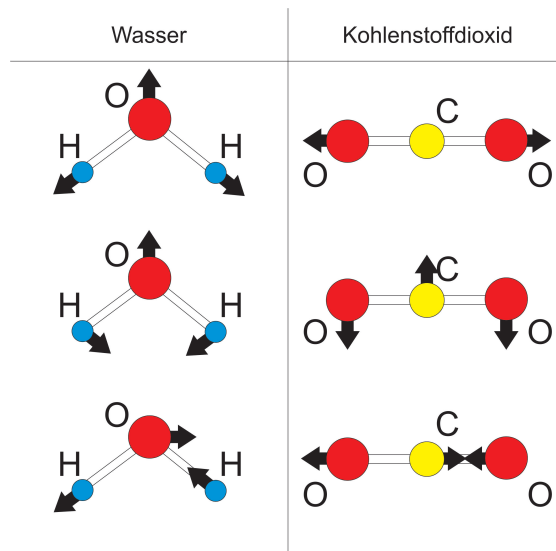


Abbildung 5: Die möglichen Normalschwingungen von Wasser (nichtlineares Molekül) und Kohlenstoffdioxid (lineares Molekül), nach [1] S. 321



Abbildung 6: SOFIA, eine umgebaute Boeing 747SP mit Infrarotteleskop (CC0)

4 Konstruktionsanleitungen

4.1 Konstruktion der Apparatur für den Fadenstrahlversuch

Benötigte Materialien:

- Kunststoffflasche
- Glasrohr (Durchmesser 2 cm)
- Glasrohr (Durchmesser 2 mm)
- Silikon (durchsichtig)
- Wasser
- Becherglas
- Kunststoffschläuche
- Stativfuß
- Doppelmuffe
- Muffe
- Stativklemme
- Stativstangen
- Cuttermesser
- Farbstoff
- Stopfen mit Loch

Anmerkung: Der Versuch sollte in der Nähe eines Waschbeckens aufgebaut werden, damit das Wasser auch direkt abfließen kann.

Zuerst muss die Kunststoffflasche präpariert werden. In die Flasche werden 2 cm über dem Boden zwei sich gegenüberliegende Löcher mit einem Cuttermesser eingeschnitten. Das erste Loch soll den Durchmesser der ersten und das zweite den der zweiten Glasröhre haben.

Die Röhren werden von jeder Seite in die Flasche gesteckt. Im Inneren der Kunststoffflasche wird die kleine Röhre⁷ in die große Röhre eingeführt (siehe Abb. 7). Diese Position behalten die Röhren bei. Die entstandenen Öffnungen werden mit Silikon abgedichtet, damit später beim Experimentieren kein Wasser austreten kann. Das Silikon braucht einige Zeit zum Trocknen.

Danach wird ein Schlauch mit einer Länge von einem Meter über die dünne Glasröhre gestülpt (siehe Abb. 8). Dazwischen kann auch ein Hahn oder eine Muffe angebracht werden, um den Zufluss später regulieren zu können.

In die Öffnung des breiteren Rohres wird ein Stopfen mit Loch eingeführt. In diesem Loch kann ein weiterer Schlauch mittels einer Muffe angebracht werden. Über diese kann die Fließgeschwindigkeit reguliert werden. Das Rohr mit dem größeren Durchmesser wird zum Teil über dem Waschbecken positioniert.

Nun wird das Stativmaterial so aufgebaut, dass man ein Becherglas in der Stativklemme befestigen und dessen Höhe mit der Muffe verändern kann. In das Becherglas wird gefärbtes Wasser gegeben, das Glas wird in einer Höhe von 90 cm über dem Tisch angebracht, damit das gefärbte Wasser später in die zweite Röhre fließen kann. In das Becherglas kommt das Ende des Kunststoffschlauchs. Es sollte mit einer Wäscheklammer befestigt werden, damit der Schlauch nicht herausfallen kann.

Wenn alles aufgebaut ist (den kompletten Versuchsaufbau sieht man nochmals auf Abb. 9), wird Wasser in die Kunststoffflasche eingefüllt, bis sie randvoll ist. Der Zulauf des gefärbten Wassers wird zuerst zugedreht.

⁷Der Durchmesser der kleineren Röhre sollte so klein wie möglich sein, damit die Röhre selbst keine turbulenten Strömungen erzeugen kann.

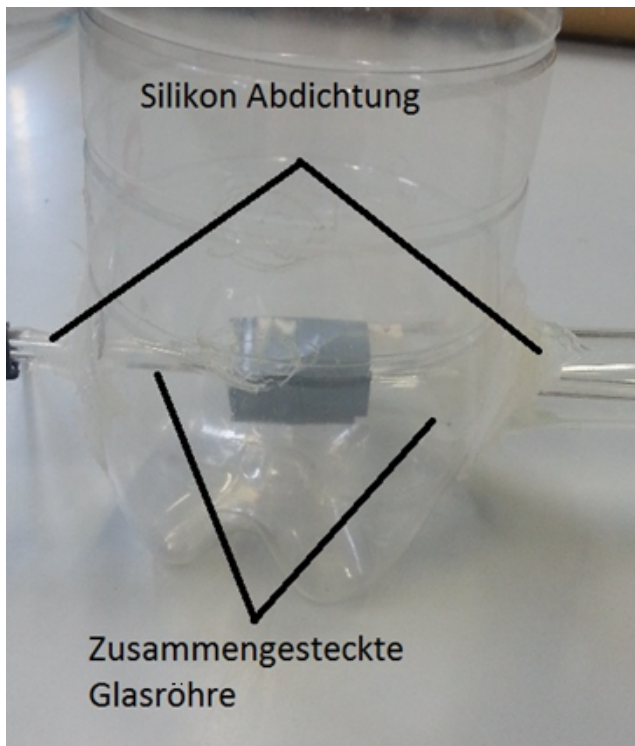


Abbildung 7: Aufbau der beiden Glasrohre in der Flasche

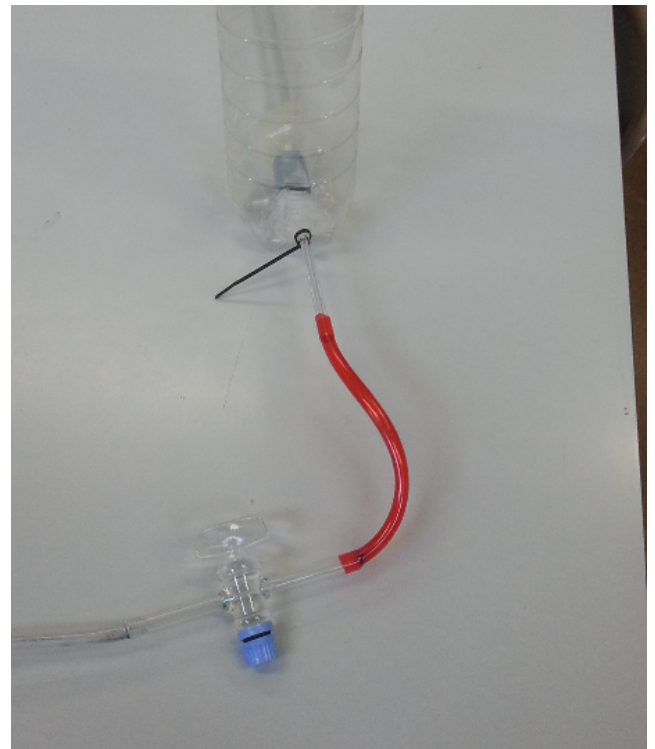


Abbildung 8: Anbringung des Schlauches hinten

Einen Vergleich, wie der Unterschied zwischen laminaren und turbulenten Strömungen aussieht, findet man auf Abb. 10.

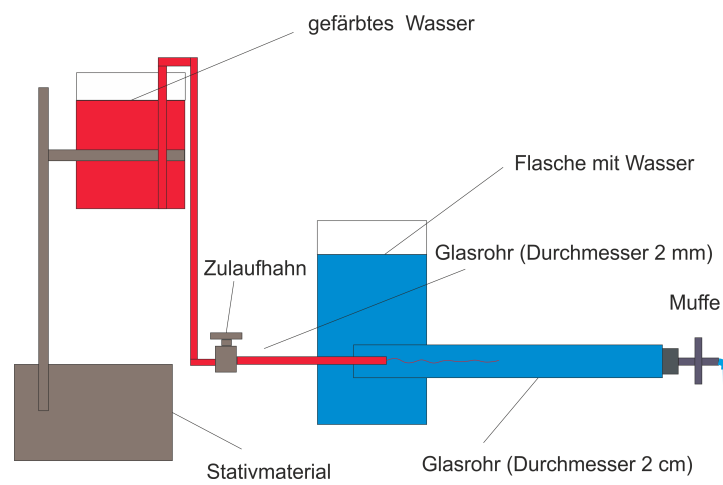


Abbildung 9: Der komplette Versuchsaufbau

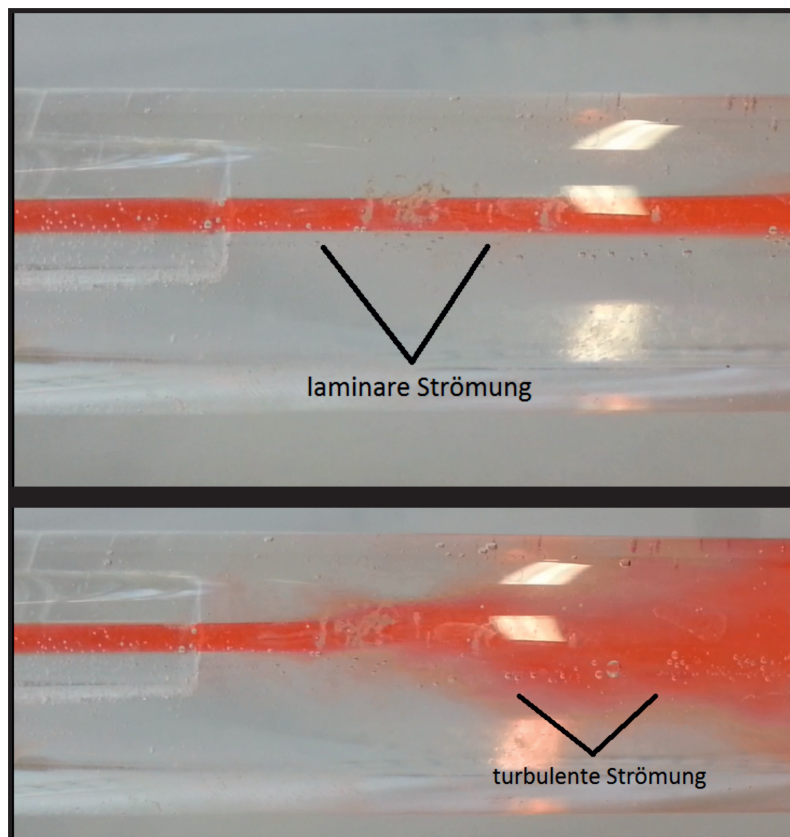


Abbildung 10: Laminare und turbulente Strömungen

4.2 Konstruktion der Kelvin-Helmholtz-Röhre

Benötigte Materialien:

- 1 etwa einen Meter lange Ballsammelröhre für Tennisbälle aus Kunststoff ((siehe Abb. 11), findet man im Tennisbedarf, muss noch präpariert werden)
- 1 Tube MS Polymer
- Olivenöl/Sonnenblumenöl
- Wasser
- Flüssige Lebensmittelfarbe
- 2 dünne Metallplatten 15 cm x 15 cm
- 1 Metallschere
- Zauberschwamm (findet man in der Drogerie)

Bevor sie zum Einsatz kommen kann, muss sie noch vorbereitet werden: Meistens befindet sich eine Aufschrift auf der Röhre, diese muss mithilfe der Zauberschwämme entfernt werden.

Die Ballsammelröhre hat zwei vorgefertigte Deckel, welche von oben offen sind. Um diese Öffnungen zu verschließen, benötigt man die zwei Metallplatten. Auf diese werden zwei Kreise eingezeichnet, der Radius muss etwas größer sein als die Öffnungen an den Deckeln. Anschließend werden die Kreise mit einer Metallschere ausgeschnitten und dann mit Hilfe des MS Polymerklebers in die Deckel geklebt. Der Kleber sollte von beiden Seiten aufgetragen werden und mindestens zwei Tage trocknen (vgl. Abb. 12).

Danach sollte überprüft werden, ob beide Deckel dicht sind und keine Flüssigkeit austreten kann, andernfalls muss noch einmal der Kleber aufgetragen werden. Anschließend wird einer der Deckel auf die Ballsammelröhre geklebt und wieder auf Dichtigkeit überprüft.

Zum Schluss werden etwa gleiche Mengen Wasser und Öl in die Röhre geschüttet (die Röhre sollte bis zum Rand gefüllt werden) und danach mit dem zweiten Deckel verschlossen. Den zweiten Deckel sollte man nicht verkleben, um ein Auskippen und Wechseln der Flüssigkeiten zu ermöglichen. **Wichtig:** Beim Kippen muss darauf geachtet werden, dass der nicht verklebte Deckel stets angehoben wird. Es wird empfohlen, sie in einem Behälter oder Waschbecken stehen zu lassen, falls - trotz aller Vorsicht - Flüssigkeit austreten sollte.

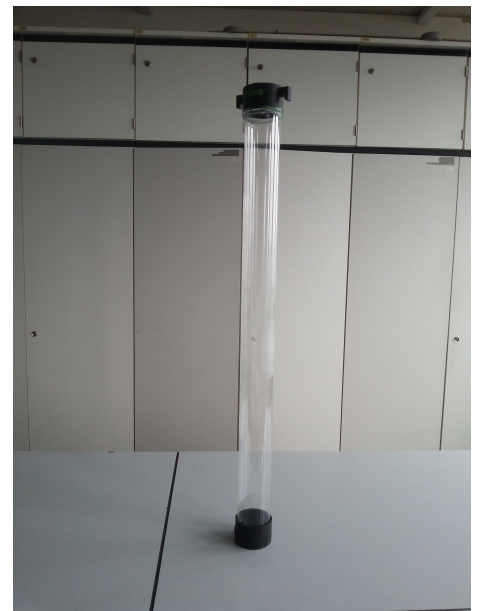


Abbildung 11: Eine Ballsammelröhre aus dem Tennisbedarf



Abbildung 12: Der im Deckel aufgetragene Kleber von innen (links) und von außen (rechts)



Abbildung 13: Die fertige Röhre in Aktion

4.3 Konstruktion der Apparatur zum Versuch „Zwei Luftballons“

Benötigte Materialien:

- 2 Absperrventile/Kunststoffhähne (Außendurchmesser 0,7 cm)
- Kunststoffklebeband
- Luftballons

Die zwei Kunststoffventile werden mit dem Klebeband so miteinander verbunden, dass sie eine Linie bilden (siehe Abb. 14).



Abbildung 14: Zwei miteinander verbundene Ventile

Danach kann die Öffnung eines Luftballons über eines der Enden der Ventile gestülpt werden. Sollte der Durchmesser des Endstücks zu klein sein und die Öffnung des Ballons nicht eng genug am Ende des Ventils anliegen, so muss dieses mit dem Klebeband umwickelt werden, bis der Ballon eng genug am Ende des Ventils sitzt. Hier darf keine Luft entweichen. Nun müssen die Hähne geöffnet werden. Durch das andere Ende, an dem sich kein Ballon befindet, wird der Ballon aufgepustet, bis er die Hälfte seiner maximalen Größe erreicht hat. Anschließend wird der Hahn am Ballon geschlossen (siehe Abb. 15).

Daraufhin wird ein zweiter Luftballon zu einem Viertel seiner maximalen Größe aufgepustet und über das übrig gebliebene Ende gestülpt. Dies erfordert ein wenig Übung! Mit dem Öffnen des geschlossenen Hahns startet das Experiment. Der kleinere Ballon pustet den größeren auf (siehe auch Anleitungskärtchen). Die Luftballons sollten nach drei bis vier Durchgängen ausgetauscht werden, da sie ihren materialbedingten Widerstand nach mehrmaligem Aufpusten verlieren. Aufgrund von Materialbedingungen kann auch die Farbe der verwendeten Ballons Einfluss auf das Experiment nehmen, hier muss man ausprobieren.

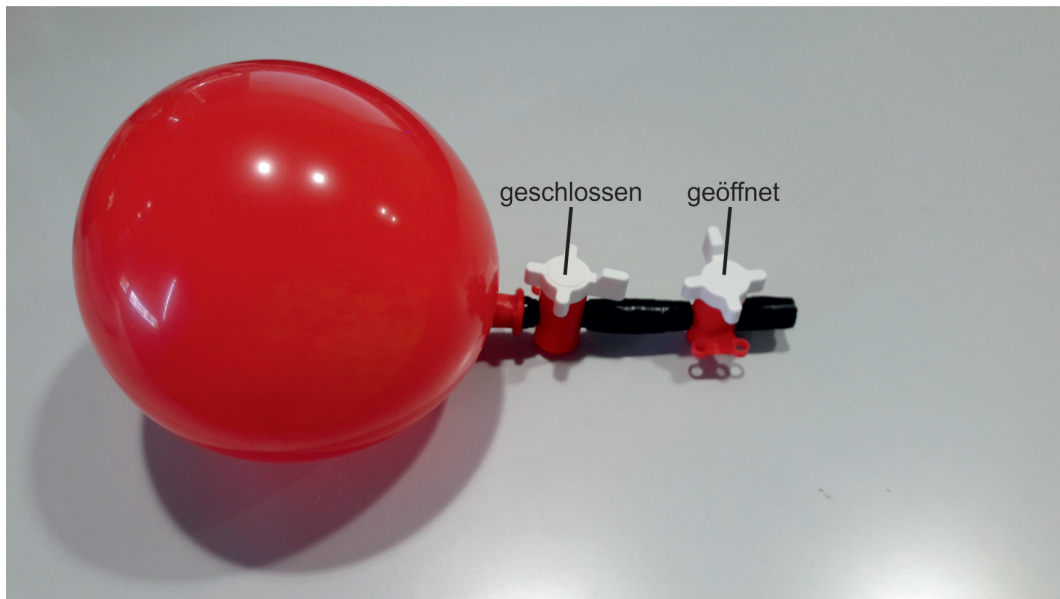


Abbildung 15: Der erste aufgepustete Ballon

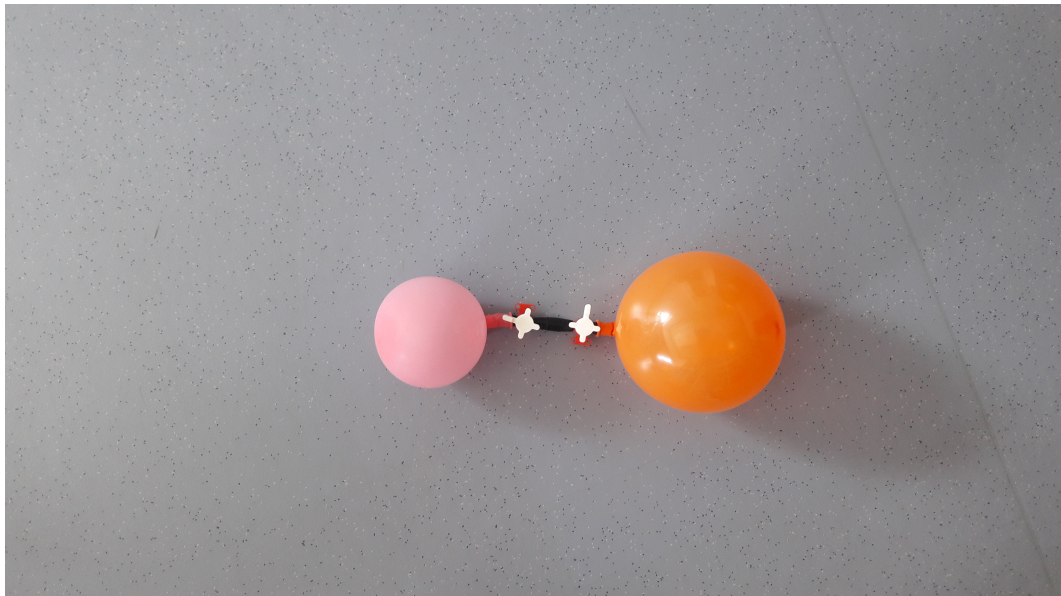


Abbildung 16: Die komplette Versuchsanordnung

A Kärtchen zur Kelvin-Helmholtz-Instabilität

Versuch: Bernoulli-Effekt (Papierstreifen)

Materialien:

Papierstreifen
(5 cm × 18 cm),
Schere



Versuchsdurchführung:

1. Schneide dir mit einer Schere einen 5 cm breiten und 18 cm langen Papierstreifen zurecht.
2. Lege diesen Papierstreifen so an, dass die 5 cm lange Seite parallel in einem geringen Abstand zu deinem Mund liegt.
3. Daraufhin puste über die obere Fläche des Papierstreifens.
4. Was geschieht mit dem Papierstreifen, wenn sich die Luft über die obere Fläche des Streifens bewegt?

Wo kommt das vor?- Bernoulli-Effekt



Du hast bestimmt schon einmal eine wehende Fahne im Wind gesehen! Hast du dich auch gefragt, warum diese Fahne überhaupt weht? Auf dem Mond können z.B. Fahnen nicht wehen!

Oder hast du dich schon einmal gefragt, warum ein Flugzeug überhaupt fliegen kann und welche Rolle dabei die Tragflügel spielen?

Beide Gegebenheiten sind auf den Bernoulli-Effekt zurückzuführen.

Erklärung: Bernoulli-Effekt (Papierstreifen)

Was passiert?

Wenn sich Luft über die obere Fläche des Papierstreifens bewegt, dann wird der Streifen nach oben gezogen.

Warum ist das so?

Am Papierstreifen bilden sich zwei Luftschichten mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten, wenn man über die obere Oberfläche pustet. Unterhalb des Papierstreifens befindet sich eine Luftschicht, die sich kaum bewegt und oberhalb des Papierstreifens befindet sich eine weitere Luftschicht, welche in Bewegung versetzt wird. Der Bernoulli-Effekt besagt, dass sich in beiden Schichten ein Druck ausbildet. Die Drücke sind aber unterschiedlich! In der Schicht mit der größeren Geschwindigkeit ist der Druck geringer als in der Schicht mit der geringeren Geschwindigkeit. (Je größer die Geschwindigkeit, desto kleiner wird der Druck. Je kleiner die Geschwindigkeit, desto größer wird der Druck.) Der Druck in der kaum bewegten Luftschicht wirkt nach oben und der Druck in der bewegten Luftschicht nach unten. Da der Druck, der nach unten wirkt, kleiner ist als der nach oben wirkende Druck, entsteht ein Sog der den Papierstreifen nach oben hebt.

Auch die Tragflügel eines Flugzeuges funktionieren nach demselben Prinzip. Dabei wird die Geschwindigkeit der Luft durch die Form des Flügels beeinflusst. Die Geschwindigkeit der Luft oberhalb ist größer als unterhalb des Tragflügels. Es entsteht wieder ein nach oben gerichteter Sog!

Ein weiterer Effekt, der ebenfalls dazu beiträgt, dass die Geschwindigkeit oberhalb des Tragflügels größer ist als unterhalb, ist der Anfahrwirbel (Ein Wirbel ist eine drehende Bewegung eines Gases oder einer Flüssigkeit.). Dieser entsteht am hinteren Ende des Tragflügels beim Startvorgang und wird abgeworfen sobald sich das Flugzeug in die Luft erhoben hat. Wirbel entstehen immer paarweise und zirkulieren entgegengesetzt. Der zweite Wirbel bildet sich um den Tragflügel herum und bleibt auch nach dem Start erhalten. Durch die Zirkulationsrichtung des zweiten Wirbels wird die Luft oberhalb des Tragflügels schneller als unterhalb.

Die Fahne weht, weil die Luft um die Fahne in zwei Luftschichten unterteilt wird, die dadurch unterschiedliche Geschwindigkeiten erhalten. Eine Fahne auf dem Mond kann nicht wehen, weil es dort keine Luft gibt, die den Bernoulli-Effekt verursachen könnte.

Wo kommt das vor? – Laminare und turbulente Strömungen



Hast du schon einmal die Strömung eines Flusses beobachtet? Dabei ist dir bestimmt aufgefallen, dass das Wasser unterschiedliche Bewegungen ausführt! Wenn kaum Steine im Fluss liegen, dann fließt das Wasser ohne Verwirbelungen den Fluss entlang. Befinden sich aber sehr viele Steine innerhalb des Wassers, dann wird die Bewegung des Wassers unruhiger und es entstehen Wasserwirbel.

Versuch: Fadenstrahlversuch (Laminare und turbulente Strömungen)

Material

Versuchsapparatur,
Stativmaterial, Becherglas,
Wasser, Farbstoff, Stopfen



Versuchsdurchführung

1. Schließe den Zulauf zum Becherglas und fülle dieses mit gefärbten Wasser
2. Fülle die PET-Flasche mit Wasser.
3. Prüfe, ob der Stopfen am Ende des dickeren Rohres so positioniert ist, dass beim Öffnen das Wasser ins Waschbecken abfließen kann.
4. Öffne den Zulauf und entferne behutsam den Stopfen!
5. Welche Veränderungen sind dir im Glasrohr, im Zusammenhang mit dem Wasserfüllstand in der PET-Flasche aufgefallen?

Erklärung: Fadenstrahlversuch (Laminare und turbulente Strömungen)

Was passiert?

Wird der Zulauf des gefärbten Wassers geöffnet und der Stopfen am Glasrohr entfernt, dann bildet sich ein Fadenstrahl im Glasrohr aus. Die Form dieses Fadens ist vom Wasserfüllstand der PET-Flasche abhängig. Ist die Flasche nahezu gefüllt, dann beinhaltet der Strahl am Anfang des Rohres Verwirbelungen. Ist der Wasserfüllstand der Flasche gering, dann bleiben die Verwirbelungen im Strahl aus.

Warum ist das so?

Die Geschwindigkeit des Wassers im Glasrohr wird durch den Füllstand des Wassers in der PET-Flasche bestimmt. Je niedriger der Füllstand ist, desto geringer ist die Geschwindigkeit des Wassers. Bei geringen Geschwindigkeiten bewegt sich das Wasser laminar (ohne Verwirbelungen), bei großen Geschwindigkeiten geht die Bewegung des Wassers in Verwirbelungen (turbulente Strömungen) über.

Versuch: Schweredruck von Flüssigkeiten

Material:

PET-Flasche
mit drei Abläufen



Versuchsdurchführung:

1. Prüfe, ob die Abläufe geschlossen sind!
2. Fülle das Gefäß mit Wasser und platziere es so, dass das Wasser in ein Waschbecken ablaufen kann.
3. Öffne die Abläufe.
4. Beschreibe die drei Wasserstrahlen an den Abläufen!

Wo kommt das vor?- Schweredruck von Flüssigkeiten



Bestimmt hast du schon einmal ein Bild von einem Tiefseebewohner gesehen! Diese Tiere sind sehr gut an ihre Umweltbedingungen angepasst. In der Tiefe der See herrschen sehr hohe Drücke, die von der Tiefe abhängig sind. Pro 10 Meter Tauchtiefe steigt der Druck um 1 bar. Der innere Druck in den Körpern der Tiere entspricht dem Außendruck ihrer Umgebung. Ein Mensch kann solchen Bedingungen nur mit einem Pressluftgerät trotzen. Dieses Gerät stellt ihm Luft zu Verfügung, die den gleichen Druck besitzt wie seine Umgebung.

Erklärung: Schweredruck von Flüssigkeiten

Was passiert?

Der Strahl am unteren Ende der PET-Flasche ist am stärksten ausgeprägt, wohingegen die Ausprägung der Wasserstrahlen mit der Höhe abnimmt.

Warum ist das so?

Aufgrund des Gewichtes des Wassers herrscht ein Schweredruck auf der Wassersäule in der PET-Flasche. Je höher die Wassersäule ist, desto größer ist der Druck. Der Wasserstrahl am unteren Ende der PET-Flasche ist am stärksten, weil die Wassersäule über der Öffnung des Wasserstrahls am höchsten ist. Je größer der Schweredruck, desto größer ist die Geschwindigkeit des Wassers im Wasserstrahl.

Versuch: Kelvin-Helmholtz-Instabilität

Material

Großes Kunststoffrohr,
gefüllt mit gefärbtem
Wasser und Öl



Versuchsdurchführung

1. Lege die Röhre waagrecht auf den Tisch, so dass sich die beiden Flüssigkeiten horizontal anordnen.
2. Hebe nun schnell das Ende mit dem losen Deckel an. Pass auf, dass der Deckel sich nicht löst!
3. Was kannst du beobachten? Notiere oder zeichne deine Feststellung!

Wo kommt das vor? – Kelvin-Helmholtz-Instabilität



Man kann dieses Phänomen am Himmel beobachten, wenn sich zwei Luftschichten mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten aneinander vorbei bewegen. Haben sich in den Luftschichten Wolken gebildet, dann werden die Verwirbelungen für uns sichtbar.

Dasselbe Phänomen ist auch für die Wellenbildung am Meer verantwortlich. Dort bewegt sich der Wind (Luftschicht) an der Wasseroberfläche (Wasserschicht) entlang.

Erklärung: Kelvin-Helmholtz-Instabilität

Was passiert?

Beim Kippen der Röhre entstehen Wirbel bzw. Wellen zwischen den beiden Flüssigkeitsschichten.

Warum ist das so?

Durch das Kippen der Röhre bewegen sich beide Flüssigkeiten an der Grenzfläche (Fläche zwischen zwei Flüssigkeiten) unterschiedlich schnell. Das Öl fließt zum angehobenen Ende und das Wasser fließt zum aufliegenden Ende. Das Öl (obere Schicht) ist an der Grenzschicht schneller als das blau gefärbte Wasser (untere Schicht), dadurch können Störungen in Form von kleinen Wellenbuckeln an der Schicht entstehen. Diese Störung wird von der Gravitation und der Grenzflächenspannung unterdrückt. (Die Grenzflächenspannung beschreibt Kräfte, die zwischen zwei Flüssigkeiten oder einem Gas und einer Flüssigkeit hervorgerufen werden, die sich nicht vermischen. Die Oberflächenspannung hingegen beschreibt Kräfte an der Oberflächenschicht einer Flüssigkeit. Schaue dir dazu den Versuch „Glas mit Münze“ an.) Erreicht das Öl jedoch durch ein stärkeres Kippen der Röhre eine bestimmte Geschwindigkeit, dann kann die Störung verstärkt werden. Durch die unterschiedlichen Geschwindigkeiten entstehen ein Unterdruck in der oberen Grenzfläche der Schicht und ein Überdruck in der unteren Grenzfläche der Schicht (Erklärung in Vorversuchen). Der Druck in der Ölschicht wirkt nach unten und der Druck in der Wasserschicht nach oben. Die beiden Drücke werden ab einer bestimmten Geschwindigkeit so groß und können nicht mehr von der Gravitation und der Grenzflächenspannung unterdrückt werden, dass eine Verwirbelung bzw. Wellen an der Grenzschicht entstehen.

B Kärtchen zur Rayleigh-Taylor-Instabilität

Versuch: Glas mit Münzen (Oberflächenspannung)

Material:

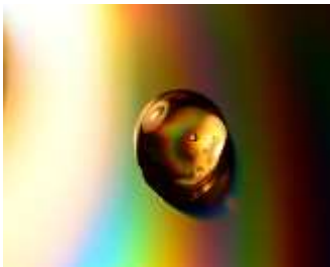
Glas, Wasser
Münzen



Versuchsdurchführung:

1. Fülle das Glas randvoll mit Wasser.
2. Gebe nun nacheinander ein paar Münzen mit in das wassergefüllte Glas.
3. Welche Form bildet die Wasseroberfläche auf dem Rand des Glases?
4. Nach wie vielen Münzen läuft das Wasser über?

Wo kommt das vor?- Glas mit Münzen (Oberflächenspannung)



Hast du dich schon einmal gefragt, warum Tropfen eine kugelförmige Form haben oder warum ein Wasserläufer auf dem Wasser laufen kann?

Diese Phänomene beruhen auf der Oberflächenspannung.

Erklärung: Glas mit Münzen (Oberflächenspannung)

Was passiert?

Das Wasser bildet in einem übervollen Glas einen „Wasserberg“. Dieser „Berg“ wird mit jeder dazu gegebenen Münze größer, bis der „Berg“ aufplatzt und überläuft.

Warum ist das so?

Das Wasser besteht aus Molekülen, die sich gegenseitig anziehen und Kräfte aufeinander ausüben. Innerhalb der Wassermoleküle heben sich diese Kräfte gegenseitig auf. Liegen aber Wassermoleküle z.B. an der Luft an, dann heben sich die Kräfte, die die oberen Wassermoleküle ausüben, nicht auf. Dadurch werden die oberen Wassermoleküle auf Grund ihres Gewichtes nach innen gezogen. Sie üben also einen Druck auf die unteren Wassermoleküle aus und ordnen sich sehr dicht aneinander an. Dadurch entsteht eine „Wasserhaut“. Es bildet sich ein Tropfen (Kugel), weil alle oberen Wassermoleküle nach innen gezogen werden. Dieses Phänomen heißt Oberflächenspannung. Die Oberflächenspannung ist immer bestrebt, die kleinste Oberfläche bei größtmöglichen Volumen zu bilden, weil die Moleküle auf Grund der wirkenden Kräfte regelrecht zusammen gepresst werden.

Der Wasserläufer nutzt auch die Oberflächenspannung des Wassers aus. Er verteilt sein Gewicht so auf seine Beine, dass er auf Grund der Oberflächenspannung getragen wird.

Versuch: Zwei Luftballons

Material:

Versuchsapparatur
mit Ventilen,
zwei Luftballons



Versuchsdurchführung:

1. Puste den ersten Luftballon ein wenig auf.
2. Daraufhin puste auch den zweiten Ballon auf. Dieser sollte aber größer sein als der erste Ballon.
3. Öffne das Verbindungsventil!
4. Beschreibe, was mit den Ballons passiert!

Wo kommt das vor?- Zwei Luftballons



Hast du dich schon einmal gefragt, warum eine Seifenblase die Form einer Kugel hat und nicht z.B. die Form eines Würfels?

Dies kann mit der Oberflächenspannung erklärt werden!

Erklärung: Zwei Luftballons

Was passiert?

Der kleinere Luftballon bläst den Größeren auf.

Warum ist das so?

Die Oberflächenspannung hast du bereits im Versuch „Glas mit Münzen“ kennengelernt. Die oberen Moleküle des Wassers bilden eine „Haut“ und üben einen Druck auf die unteren Wassermoleküle aus. In diesem Versuch wurde durch die Luftballons eine „künstliche Haut“ geschaffen. Innerhalb der Gummihaut befindet sich in beiden Luftballons Luft. Auf die Luft im Inneren der Ballons wird durch die Gummihaut ein Druck ausgeübt. Der Druck in dem kleineren Ballon ist größer, weil die Luft stärker durch die Gummihaut zusammen gedrückt wird. Werden die Ballons miteinander verbunden, dann sind die beiden Ballons bestrebt, einen Druckausgleich (gleicher Druck in beiden Ballons) zu erreichen. Da der Druck im kleineren Ballon größer ist, strömt die Luft in den größeren Ballon und bläst ihn weiter auf. Würde man diesen Versuch mit zwei Seifenblasen wiederholen, die der Oberflächenspannung von Wasser unterliegen, dann würde auch die kleinere Seifenblase die größere aufblasen.

Die Oberflächenspannung ist immer bestrebt, die kleinste Oberfläche bei größten Volumen zu bilden. Deshalb haben Seifenblasen die Form einer Kugel und nicht die Form eines Würfels, deshalb hat der kleine Luftballon in diesem Versuch den größeren aufgeblasen.

Versuch: Rayleigh-Taylor-Instabilität

Materialien:

Eiswürfel, Becherglas (länglich), kleinen Becher, Lebensmittelfarbe, Wasser, Wasserkocher, Spritze



Versuchsdurchführung:

1. Erhitze Wasser im Wasserkocher und schütte dieses Wasser in den kleinen Becher.
2. Füge ein wenig blaue Lebensmittelfarbe hinzu.
3. Fülle das längliche Becherglas mit 800 ml Wasser (Zimmertemperatur) und färbe es gelb ein.
4. Ziehe das blau gefärbte Wasser in die Spritze (ca. 60 ml) und schichte es vorsichtig über das gelb gefärbte Wasser im länglichen Becherglas.
5. Gebe vorsichtig 2 bis 3 Eiswürfel in das blaue, heiße Wasser.
6. Beobachte dann die Schichtung im länglichen Becherglas!

Wo kommt das vor?- Rayleigh-Taylor-Instabilität

NASA, ESA, J. Hester (Arizona State University)



Hast du schon einmal ein Bild des Krebsnebels gesehen und dich dabei gefragt, warum er ausgerechnet diese Form angenommen hat? Der Krebsnebel ist ein gasförmiger Überrest eines explodierten Sternes im Sternbild Stier.

Erklärung: Rayleigh-Taylor-Instabilität

Was passiert?

Das warme, blau gefärbte Wasser sinkt nach einiger Zeit nach unten. Es zieht Tropfen mit Fäden durch das kalte Wasser.

Warum ist das so?

Wasser kann unterschiedlich viel wiegen bei gleichem Volumen. Das kochende, blau gefärbte Wasser wiegt bei gleichem Volumen weniger als das Wasser bei Zimmertemperatur. Deswegen kann man das warme Wasser auf das kalte Wasser schichten. Durch die Eiswürfel kühlt das warme, blau gefärbte Wasser unterhalb der Zimmertemperatur ab und wird dadurch schwerer als das gelb gefärbte Wasser. Auf Grund der Schwerkraft bahnt sich das blau gefärbte Wasser einen Weg durch das gelb gefärbte Wasser. Durch die Oberflächenspannung vermischt sich das blaue Wasser nicht sofort mit dem gelben Wasser, sondern es bilden sich Tropfen mit Fäden. Diese Schichtung wird Rayleigh-Taylor-Instabilität genannt. Beachte die Versuche zur Oberflächenspannung!

Wenn man sich den Krebsnebel anschaut, dann hat er ebenfalls wie im Versuch Tropfen mit Fäden gebildet. Der Krebsnebel ist bei einer Explosion eines Sterns entstanden, dabei hat sich das schwere Material aus dem Inneren des Sterns einen Weg durch das leichtere Material (wie im Versuch) gebahnt. Da an der Grenzschicht zwischen dem schweren und leichten Material auch eine Art von Oberflächenspannung wirkt, haben sich dort Tropfen gebildet. Diese Tropfen ziehen Fäden mit sich, weil sich diese auf Grund von Reibung nicht schnell genug ablösen konnten.

C Kärtchen zur Infrarotstrahlung

Versuch: Infrarotastronomie (Infrarot-Strahlung)

Materialien:

Infrarotstrahler,
Papierblatt,
Handy ohne IR-Filter



Versuchsdurchführung:

1. Schalte den Infrarotstrahler ein.
2. Das Blatt Papier wird in einen Abstand von ca. 20 cm zum Strahler aufgestellt und festgehalten. Das Blatt sollte den Strahler aus deinem Blickwinkel komplett verdecken.
3. Siehe auf das Blatt! Wieviel kannst du noch von dem Licht der Infrarotlampe erkennen?
4. Nimm dir jetzt dein Handy, stelle den Kamera-Modus ein und betrachte wieder das Licht des Strahlers auf dem Blatt Papier. Sieh auf das Display des Handys. Erkennst du einen Unterschied zwischen der Betrachtung mit und ohne Hilfe des Handys?

Wo kommt das vor?- Infrarotastronomie (Infrarot-Strahlung)



Die Infrarotastronomie nutzt die Infrarotstrahlung, um beispielsweise Sterne hinter interstellaren Staubwolken sichtbar zu machen, da das sichtbare Licht diese Wolken kaum durchdringt. In der Infrarotastronomie werden auch „kühle“ Objekte (unter 1000 K) beobachtet, da jeder Körper Wärmestrahlung abgibt.

Erklärung: Infrarotastronomie (Infrarot-Strahlung)

Was passiert?

Das für uns sichtbare Licht des Strahlers wird zum Teil durch das Blatt Papier abgeschirmt. Durch die Handykamera (ohne Infrarotfilter) wird ein Teil der IR-Strahlung für unser Auge sichtbar und man kann auf dem Handydisplay den Glühdraht des Strahler bzw. das Intensitätsmaximum erkennen.

Warum ist das so?

Die Infrarotstrahlung gehört zur elektromagnetischen Strahlung, wie auch das für uns sichtbare Licht. Infrarotstrahlung nehmen Menschen in Form von Wärme wahr. Die unterschiedlichen Formen der elektromagnetischen Strahlung haben unterschiedliche Energien, die IR-Strahlung ist zum Beispiel energieärmer als das für uns sichtbare Licht. Die elektromagnetische Strahlung wird unterschiedlich stark an Teilchen gestreut (siehe Versuch zur Streuung), wobei die IR-Strahlung weniger gestreut wird als das sichtbare Licht. Aus diesem Grund durchdringt IR-Strahlung interstellare Wolken eher als sichtbares Licht. Die interstellaren Wolken bestehen zum größten Teil aus Wasserstoffmolekülen, die kaum IR-Strahlung absorbieren (siehe Versuch zur Absorption von IR-Strahlung). Diese Gründe tragen dazu bei, dass z.B. Sterne hinter solchen Wolken mit Hilfe der IR-Strahlung beobachtet werden können. Im sichtbaren Licht werden die Sterne von den interstellaren Wolken verdeckt.

Versuch: Infrarotastronomie (Streuung von Licht)

Materialien:

Strahler,
Aquarium,
Wasser,
Milch,
Spritze



Versuchsdurchführung:

1. Fülle das Aquarium mit Wasser und gebe mit Hilfe einer Spritze ca. 20 ml Milch dazu.
2. Postiere den Strahler vor dem Ende des Aquariums (siehe Versuchsaufbau).
3. Stelle dich zuerst an das andere Ende des Aquariums. Wie sieht die Farbe des Strahlers durch das Aquarium aus?
4. Stelle dich vor das Aquarium. Welche Farbe kannst du jetzt in dem Wasser-Milch-Gemisch beobachten?

Wo kommt das vor? - Infrarotastronomie (Streuung von Licht)



Hast du dich schon mal gefragt, warum der Himmel tagsüber blau erscheint? Wenn die Sonne am Ende des Tages untergeht, dann erscheinen der Himmel und die Sonne am Horizont rötlich. Woran liegt das?

Erklärung: Infrarotastronomie (Streuung von Licht)

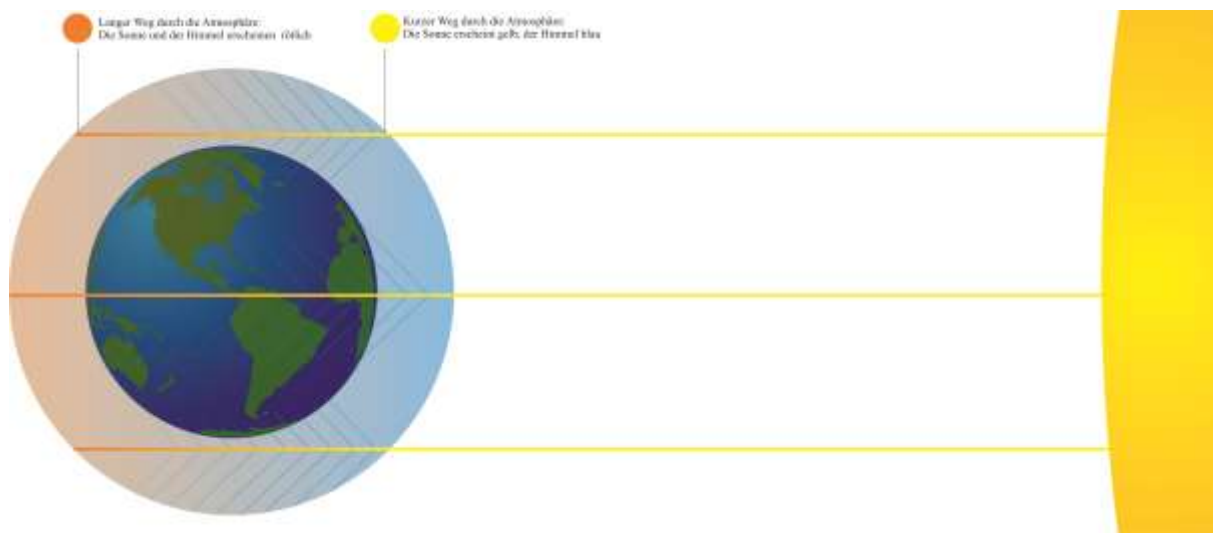
Was passiert?

Am Ende des Aquariums erscheint das Licht rot und von der Seite erscheint das Licht blau.

Warum ist das so?

Das Licht des Strahlers wird an den Milchpartikeln abgelenkt (gestreut). Das blaue Licht wird stärker gestreut als das rote, deshalb kann das rote Licht einen längeren Weg durch das Aquarium durchlaufen als das blaue Licht. Aus diesem Grund kommt das rote Licht am Ende des Aquariums an, im Gegensatz zum blauen Licht. Infrarotstrahlung wird z.B. noch weniger stark gestreut als das rote Licht, ist aber für uns nicht sichtbar.

Der Himmel erscheint für uns tagsüber blau, weil die Erde zu diesem Zeitpunkt der Sonne zugewandt ist und das blaue Licht stärker von der Atmosphäre der Erde gestreut wird. Das rote Licht kann einen längeren Weg zurücklegen als das blaue Licht und gelangt noch an die äußeren Ränder der Erde. Dort geht in diesem Augenblick die Sonne unter. Deshalb erscheinen der Horizont und die Sonne rot.



Versuch: Infrarotastronomie (Absorption von Infrarot-Strahlung)

Materialien:

Gleichstromverstärker,
Amperemeter,
Thermosäule,
Infrarotstrahler,
Kabel, Becherglas,
Wasserkocher, Beutel
mit Eiswürfeln, Wasser,
Streichhölzer



Versuchsdurchführung:

1. Zuerst wird eine künstliche „Wolke“ im Becherglas erzeugt.
 - a. Erhitze ca. 200 ml Wasser im Wasserkocher und gieße dieses Wasser in das Becherglas.
 - b. Dann zünde ein Streichholz an und gebe es mit in das Becherglas.
 - c. Verschließe das Becherglas mit dem Beutel mit Eiswürfeln. Damit ist die künstliche „Wolke“ hergestellt.
2. Schalte den Infrarotstrahler ein.
3. Beobachte den Ausschlag des Zeigers am Amperemeter! Notiere den Wert!
4. Stelle zwischen den Infrarotstrahler und die Thermosäule das Becherglas mit der „Wolke“.
5. Welchen Wert zeigt das Amperemeter jetzt an?
6. Stelle einen mit Wasser gefüllten Becher anstatt der „Wolke“ zwischen Strahler und Thermosäule. Vergleiche den Wert mit den beiden zuvor bestimmten.

Wo kommt das vor? - Infrarotastronomie (Absorption von IR-Strahlung)



IR-Teleskope werden an sehr hohen, trockenen Standorten installiert, wenn nicht sogar mit Flugzeugen (SOFIA) in sehr große Höhen (13.200 Meter) über den Erdboden transportiert. Einige Teleskope (Spitzer) werden auch in den Weltraum befördert. Warum macht man sich aber so eine große Mühe, um die IR-Teleskope auf solche Höhen zu bringen?

Erklärung: Infrarotastronomie (Absorption von IR-Strahlung)

Was passiert?

Die Infrarotstrahlung des Strahlers wird durch die Thermosäule in ein elektrisches Signal umgewandelt und am Amperemeter angezeigt. Je stärker die Infrarotstrahlung ist, desto größer ist der Ausschlag (Wert) am Amperemeter. Wird das Becherglas mit der „Wolke“ zwischen den Infrarotstrahler und die Thermosäule gestellt, dann wird der Ausschlag am Amperemeter kleiner. Wird das Becherglas wieder entfernt, so wird der Ausschlag wieder größer.

Warum ist das so?

Eine Wolke besteht aus sehr kleinen Wassertröpfchen (Nebel), die sich an Schwebeteilchen in der Luft absetzen. Diese „Wolke“ wird im Versuch künstlich erzeugt. Wassermoleküle wechselwirken aufgrund ihres Aufbaus sehr stark mit der IR-Strahlung. Dieser Strahlung wird Energie durch die Wassermoleküle entzogen. Die Menge an Energie, die der Strahlung entnommen wird, hängt von der Art der Moleküle ab. Im Vergleich zu anderen Molekülen entnimmt das Wassermolekül sehr viel Energie aus der IR-Strahlung, das Wasserstoffmolekül (H_2) entnimmt der Infrarotstrahlung dagegen kaum Energie. Dadurch wird ein Teil der Energie der IR-Strahlung durch Wasser aufgenommen (absorbiert). Die künstlich erzeugte „Wolke“ absorbiert ebenfalls einen Teil der Energie der Infrarot-Strahlung. Der Ausschlag des Amperemeters wird kleiner, wenn die „Wolke“ zwischen den Strahler und die Thermosäule gestellt wird.

IR-Teleskope werden auf sehr hohen Bergen aufgestellt, weil das Wasser (Wasserdampf) in der Atmosphäre die IR-Strahlung absorbiert. Dadurch gehen den Astronomen wertvolle Informationen verloren, wenn die IR-Strahlung von beispielsweise Sternen durch die Erdatmosphäre absorbiert wird.

Literaturhinweise

Allgemein

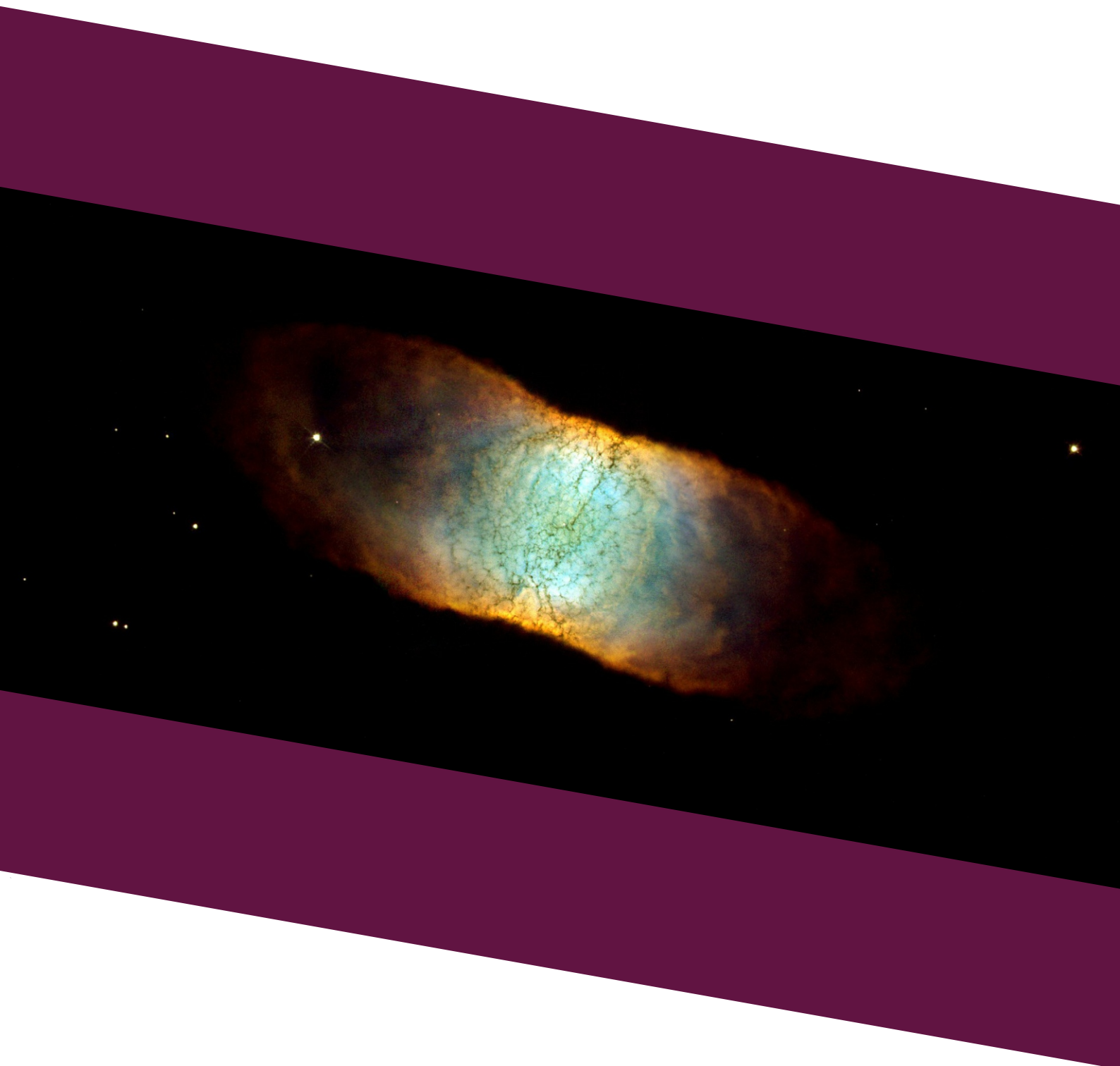
- [1] Demtröder, W.: Experimentalphysik 3. Atome, Moleküle und Festkörper. 5., neu bearbeitete und aktualisierte Auflage, Springer Spektrum, 2016
- [2] Meschede, D. (Hrsg.): Gerthsen Physik. 25. Auflage, Springer Spektrum, 2015

Instabilitäten

- [3] Guyon, E.; Hulin, J.-P. und Petit, L.: Hydrodynamik. Springer Vieweg, 1997
- [4] Oertel Jr., H.; Böhle, M. und Reviol, T.: Strömungsmechanik für Ingenieure und Naturwissenschaftler. 7. Auflage, Springer Vieweg, 2015
- [5] Zierep, J. und Bühler, K.: Grundzüge der Störungslehre. Grundlagen, Statistik und Dynamik der Fluide. 10. Auflage, Springer Vieweg, 2015

Infrarotastronomie

- [6] Glass, I.: Handbook of Infrared Astronomy. Cambridge University Press, 1999
- [7] Unsöld A. und Baschek B.: Der neue Kosmos. Einführung in die Astronomie und Astrophysik. 7. Auflage, Springer, 2005
- [8] Voigt, H.-H.; Röser H.-J. (Hrsg.) und Tscharnuter, W. (Hrsg.): Abriss der Astronomie. 6., wesentlich überarbeitete und erweiterte Auflage, Wiley-VCH, 2012



Alle Rechte vorbehalten.

Universität Siegen, Didaktik der Physik

Adolf-Reichwein-Straße 2, 57068 Siegen

Erste Auflage, 2017

www.physik.uni-siegen.de/didaktik