

# EINFACHE EXPERIMENTE UM EINE KOMPLIZIERTE ERDE ZU VERSTEHEN

## 1. DER LUFTDRUCK UND DER FREIE FALL



SUSANA A. ALANIZ ÁLVAREZ UND ÁNGEL F. NIETO SAMANIEGO

ILLUSTRATION: LUIS D. MORÁN

ÜBERSETZUNG: VERÓNICA PEÑA C. UND PETER SCHAAF

# Einfache Experimente um eine komplizierte Erde zu verstehen

## 1. Der Luftdruck und der freie Fall

Text: Susana A. Alaniz Álvarez, Ángel F. Nieto-Samaniego  
Illustration: Luis D. Morán

Übersetzung: Verónica Peña C. und Peter Schaaf

---

## **Universidad Nacional Autónoma de México**

### **Enrique Luis Graue Wiechers**

Rektor

### **Leonardo Lomelí Vanegas**

Generalsekretär

### **Jorge Volpi Escalante**

Koordinator Kulturdiffusion

### **William Henry Lee Alardín**

Koordinator Wissenschaftliche Forschung

### **Joaquín Díez-Canedo Flores**

Generaldirektor Publikationen und Verlagsförderung

### **Susana A. Alaniz Álvarez**

### **Ángel F. Nieto Samaniego**

### **Manuel Lozano Leyva**

Herausgeber

### **Aurora Asprón**

Entwurf und Gestaltung

---

Erste Auflage, 2018

Alle Rechte vorbehalten © Universidad Nacional Autónoma de México  
Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, México

Centro de Geociencias  
Universidad Nacional Autónoma de México  
No. 3001, Boulevard Juriquilla, Juriquilla, Querétaro  
C.P. 76230, Méxique  
ISBN (General Works) 978-607-02-9619-2  
ISBN: 978-607-02-9620-8

*Gedruckt und in Mexiko hergestellt*

*Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt*

# INHALT

## Einführung Galileo Galilei (1564-1642)

<b>1. Ist die Flasche leer?</b> .....	7
Gesetz von Charles und Gay-Lussac	
<b>2. Das Glas, welches kein Wasser vergießt</b> .....	9
Luftdruck	
<b>3. Die Kerze, die das Wasser nach oben drückt</b> .....	11
Druck versus Volumen	
<b>4. Wie kann man einen Luftballon durchbohren ohne daß er platzt...</b> .....	13
Boyle´sches Gesetz	
<b>5. Wie kann man eine leere Tropfenpipette untertauchen?</b> ..	15
Pascal und Archimedisches Prinzip	
<b>6. Laß sie fliegen!</b> .....	17
Luftwiderstand	
<b>7. Laß sie fallen!</b> .....	19
Der freie Fall	
<b>8. Was fällt zuerst herunter?</b> .....	21
Experimentiere mit . . . dem Schwerkraftgesetz	
<b>9. Auf der Rutschbahn</b> .....	23
Experimentiere mit . . . der Schiefen Ebene	
<b>Anhang</b> .....	25
<b>Danksagung</b> .....	26
<b>Über die Autoren</b> .....	26

## **Vorwort zur zweiten Ausgabe**

Seit 2009 haben mehrere Dozenten und Studenten der UNAM wissenschaftliche Workshops für Grundschullehrer abgehalten. Die Themen basierten auf der Bücherreihe „Einfache Experimente um eine komplizierte Erde zu verstehen“ Nach einer Konversation mit den Lehrern haben wir festgestellt, daß dieses Buch das Experiment der „Schiefen Ebene“ von Galileo Galilei enthalten sollte. Wir denken daß es faszinierend ist zu entdecken, wie ein wissenschaftliches Experiment beginnt, in diesem Fall das der Erdbeschleunigung und der Schwerkraft. Galileo machte verschiedene Experimente um zu entdecken, daß die Fallgeschwindigkeit der Körper nicht vom Gewicht abhängt und mit der Zeit zunimmt. Wegen der Präsenz der Atmosphäre ist das jedoch teilweise schwer auf der Erde zu erkennen. Deswegen stellen wir in diesem Buch zuerst fünf Experimente aus dem täglichen Leben vor, die mit der Luft zusammenhängen und danach vier Experimente von Galileo die sich mit dem Fall der Körper beschäftigen.

## **Einführung**

Der Zeitraum, den der Homo Sapiens in der Erdgeschichte einnimmt ist sehr kurz, da er nur in den letzten 200 000 Jahren gelebt hat und die Erde im Vergleich dazu ein Alter von mehr als 4500 Millionen Jahren hat. Darüber hinaus erreicht er eine Größe von weniger als 2 m auf der Oberfläche von einem Planeten mit einem Radius von mehr als 6300 km aus festem und flüssigem Material und unter einer Atmosphäre von fast 120 km. Trotzdem haben wir Menschen unsere Erde gründlich untersucht, indem wir physikalische Parameter berechnet oder geschätzt haben wie zum Beispiel Masse, Volumen, Dichte, Temperatur, Druck, alles Werte, die oft nicht sinnlich wahrgenommen werden können. Man fragt sich, warum diese unbedeutenden Kreaturen so viel von der Natur ihres Planeten wissen und woran es liegt mit solcher Eindringlichkeit die Naturgesetze zu erfassen? Eine Antwort unter vielen könnte sein: wegen der Neugier einiger Personen, die sich trauten Dinge jenseits ihrer Sichtweite und Kenntnisse zu erforschen. Einer von ihnen war zweifellos Galileo Galilei.

## Galileo Galilei (1564-1642)

Den Großteil des Fortschritts in der Physik verdanken wir Galileo Galilei, den man als Vater der experimentellen Wissenschaft betrachten kann. Der Mathematik Professor wurde in Pisa, Italien als ältester Sohn eines virtuosen Lautenspielers geboren. Das Hauptinteresse Galileos war nicht nur sich zu fragen, wie die Erde funktioniert, sondern er widmete sich auch dem Sonnensystem. Sein Ruhm kommt von dem Satz, «und sie bewegt sich doch», den er angeblich vor einem Inquisitionsgericht gesagt hat. Unabhängig ob er dies gesagt oder nicht gesagt hat, was man weiß ist, daß er im Gottesdienst den Kern einer Pendelbewegung entdeckte während er die Schwingung einer Lampe im Dom von Pisa beobachtete und mit deren Ausschlägen die Zeit maß. Im XVII Jahrhundert gab es keine Messmethoden wie heute, aber er hat sie sich entwickelt, um die Zeit seiner Experimente zu messen: zuerst mit den Ausschlägen und danach mit der Pendelbewegung; auch hat er die Zeit gemessen mit der die Wassermenge aus einem Messbecher geflossen ist, und er hat auch eine selbst gespielte Lautenmelodie ausgenutzt um in der Partitur zu kennzeichnen, wie weit er fortgeschritten war.

Er hat sich ein Teleskop mit achtfacher Vergrößerung ausgedacht um den Himmel zu erforschen. Mit diesem hat er die Mondkrater, die Sonnenflecken, den Saturnring und die Jupitermonde entdeckt. Außerdem hat er festgestellt, dass Kopernicus recht hatte, daß die Erde um die Sonne kreist. Aber im Unterschied zu ihm hat Galileo dies publiziert, was ihm jedoch viele Probleme mit der katholischen Kirche einbrachte und damit bedauernswerterweise sein grandioses und erfolgreiches Leben beeinflusste.

Der Geniestreich Galileos bestand unter anderem darin Raum und Zeit gemessen zu haben. Daraus entwickelte er mathematische Formeln um Bewegungen zu beschreiben wie den Fall von Objekten vom Turm von Pisa und die Ortsveränderung Jupiters.





## Forsche mit. . . die Luft

# 1. Ist die Flasche leer?

Hast Du schon gemerkt, daß die Luft immer da ist obwohl wir sie nicht sehen und daß wir sie durch Nase und Mund einatmen?

### MATERIALLISTE

- 1 Kunststoffflasche
- 1 Luftballon
- 2 Gefäße mit warmen und kaltem (mit Eis) Wasser



### VORGEHENSWEISE

1. Decke mit dem Luftballon den Flaschenhals zu.
2. Fülle eins der Gefäße mit warmem Wasser und das andere mit kaltem Wasser.
3. Stell die Flasche in das Gefäß mit warmem Wasser und dann in das Gefäß mit kaltem Wasser.

**Beobachte!!!**



### WAS IST PASSIERT?

In einem Fall schwillt der Luftballon an, in dem anderen verliert er die Luft.

• Abwandlungen:

- \*Stell die mit dem Luftballon bedeckte Flasche in den Kühlschrank.
- \* Verwende eine Limodadenflasche.

Das Experiment kann scheitern, wenn die Verbindung zwischen dem Luftballon und der Flasche nicht dicht ist und auch, wenn der Temperaturunterschied nicht groß genug ist um das Luftvolumen in der Flasche signifikant zu ändern.

## KANNST DU ES ERLÄUTERN?

Die Luft ist ein Gas, und wie alle Gase ändert sie mit zunehmender Temperatur ihr Volumen und beansprucht mehr Raum.

Im Gegensatz dazu zieht sie sich zusammen mit fortschreitender Kälte und füllt weniger Raum aus. Beachte, daß es sich dabei um dieselbe Luftmenge handelt.

## FINDE EINE ANWENDUNG IN DEINEM ALLTAGSLEBEN

Die Heißluftballons fliegen, weil sich die warme Luft ausdehnt und weniger als die umgebende Luft wiegt.

Taucher atmen unter Wasser dank komprimierter Luft, die im dem Tank ist, also viel Luft in wenig Raum.



Gesetz von Charles und Gay-Lussac:  
«Das Volumen einer bestimmten Stoffmenge eines idealen Gases ist bei konstantem Druck direkt proportional zur Temperatur».

## WILLST DU MEHR WISSEN?

Gase ändern ihr Volumen wegen einer Temperatur- oder einer Druckänderung. Je höher die Temperatur und je niedriger der Druck ist, umso mehr Raum füllen sie aus.

## BEOBACHTE ES IN DER NATUR

Die Atmosphäre ist die Gashülle, welche die Erde umgibt und ist hauptsächlich aus einer Gasmischung zusammengesetzt, die wir Luft nennen.

Die Lufttemperatur verringert sich mit zunehmender Höhe, etwa  $6,5\text{ °C}$  pro  $1000\text{ m}$ ; wenn wir in Betracht ziehen, dass die Durchschnittstemperatur in Meereshöhe  $20\text{ °C}$  ist, dann erreichen wir die Frosttemperatur bei ca.  $3000\text{ m}$  über Meereshöhe.

Die Atmosphäre ist aus ungefähr  $78\%$  Stickstoff,  $21\%$  Sauerstoff und  $1\%$  anderer Gase zusammengesetzt. Zu diesen Bestandteilen muss man den Wasserdampf hinzufügen, der zwischen  $0\%$  und  $5\%$  der Gesamtsumme variieren kann.

In dem Maße, wie das Volumen des Wasserdampfs zunimmt, verringert sich das Volumen der anderen Gase in der selben Proportion.

Ausdehnungsgesetz der Gase nach Gay-Lussac: «Die Ausdehnung der Gase ist abhängig von der Temperatur und unabhängig von deren Art».

## Experimentiere mit... der Tragkraft der Luft

# 2. Das Glas, das kein Wasser ver- gießt

Hast Du schon gemerkt, dass dein Glas Milch ausläuft wenn Du es umdrehst? Sind wir am Boden eines Luftmeeres?



### MATERIALLISTE

1 Glas Wasser  
1 Stück Papier

### VORGEHENSWEISE

1. Decke das Glas Wasser mit einem Stück Papier zu das größer als die Glasöffnung sein muss. Du musst das Papier im Kontakt mit dem Wasserrand leicht nass machen.

2. Setze eine Hand auf das Papier und drehe das Glas um; nimm die Hand vom Papier weg aber halte das Glas fest.



### Bemerke!!

Vorzugsweise mach das Experiment im Freien, für den Fall dass es nicht funktioniert.

### WAS IST PASSIERT?

Das Wasser läuft nicht aus obwohl das Glas mit der Öffnung nach unten zeigt und obwohl es voll oder halb voll ist.

### Abwandlungen

\* Stecke einen Strohhalm in ein Glas mit Wasser und decke ihn oben mit dem Finger zu. Nimm den Strohhalm raus aus dem Wasser und beobachte, daß das Wasser nicht ausläuft. Dies passiert erst wenn Du Deinen Finger weg nimmst.

Das Experiment kann mißlingen, wenn Luft ins Glas gelangt.

## KANNST DU ES ERLÄUTERN?

Luft nahe der Erdoberfläche hat über sich eine Schicht von vielen Kilometern, die wir als Atmosphäre kennen. Je näher Du nahe der Meereshöhe wohnst, desto höher ist diese Schicht.

Diese Luftschicht dehnt sich in alle Richtungen aus, auch nach oben, und übersteigt so das Gewicht des Wassers; deshalb kann das Wasser nicht aus dem Glas fließen.

## FINDE EINE ANWENDUNG IN DEINEM ALLTAGSLEBEN

Wenn das Baby aus der Flasche saugt, muß diese einen Lufteintritt haben, damit die Milch rausfließen kann.

Dosen, die Flüssigkeiten enthalten, müssen zwei Löcher haben, damit der Lufteintritt in einem den Luftaustritt in dem anderen ermöglicht.

Höhe (m)		Druck (Atmosphäre, atm)	Druck (mbar)
0	Meereshöhe	1	1013
1000			898,36
2000	Mexiko Stadt	0,78	794,8
3000	La Paz, Bolivien	0,70	700,9
4000		0,61	616,2
5000	Popocatepetl Gipfel	0,53	540
10000	Höhe eines Flugzeugs bei Transatlantik-überquerung	0,26	264,1
15000		0,12	120,3

## WILLST DU MEHR WISSEN? DER ATMOSPHERISCHE DRUCK

Die Atmosphäre wird von vielen Schichten gebildet. Die Luft, so wie alle andere Materialien hat ein bestimmtes Gewicht, ist allerdings relativ leicht. Das Gewicht der Luftsäule über uns übt einen Druck in viele Richtungen aus. Die nächstliegende Schicht zur Atmosphäre der Erde heißt Troposphäre, mit einer Ausdehnung von 9 km an den Polen und 18 km am Äquator. Man hat das Luftgewicht mit 0,001 Kilo pro Liter (1 Liter ist gleich 1 Kubikdezimeter) berechnet. Du kannst dies mit dem Wassergewicht vergleichen, welches 1 Kilo pro Liter wiegt, oder mit einem Stein, der durchschnittlich 2,3 Kilo wiegt, oder mit dem menschlichen Körper, dessen durchschnittliches Gewicht 0,95 Kilo bei dem selben Volumen beträgt (sehr nahe an den Werten vom Wasser). Das Gewicht der Luftsäule verursacht einen viel höheren Druck auf der Meereshöhe als oben auf den Bergen.

## Experimentiere mit... Volumenänderungen der Luft

### 3. Die Kerze, die das Wasser steigen lässt

Hast Du es schon gemerkt? Das Wasser in einem Gefäß (in einem schrägen Glas, in einem See) steht immer waagrecht. Die Verbrennung findet immer mit Luftanteil statt, mehr spezifisch mit Sauerstoffanteil.

#### MATERIALLISTE

- 1 Kerze
- 3 Münzen
- 1 transparentes Glas
- 1 tiefer Teller



#### VORGEHENSWEISE

1. Klebe die Kerze mit ihrem Wachs in die Mitte des Tellers.
2. Fülle den Teller mit Wasser, ungefähr 3 cm hoch, und stelle die Münzen um die Kerze herum, dort wo Du das Glas aufstützen wirst.
3. Zünde die Kerze an und stell das Glas mit der Öffnung nach unten auf die Münzen. Achte darauf, daß das Wasser unter das Glas fließen kann.



**Bemerkel!**



#### WAS IST PASSIERT?

Die Kerze geht nach einigen Sekunden aus, nachdem Du sie mit dem Glas bedeckt hast. Das Wasserniveau steigt danach im Glas hoch.

## KANNST DU ES ERLÄUTERN?

Die Kerze geht aus sobald der Sauerstoff zu Ende ist. Während des Verbrennens wird Sauerstoff verbraucht und aus der Kerze wird Kohlenstoff gelöst um sich sofort in Kohlendioxid umzuwandeln. Wenn sich alles abkühlt, hat das Luft-Kohlenstoffgemisch einen geringeren Druck weshalb das Wasser im Glas hochsteigt.

## FINDE EINE ANWENDUNG IN DEINEM ALLTAGSLEBEN

Wenn Du etwas Brennendes vom Sauerstoff isolierst, kannst Du die Verbrennung stoppen: Es wird zum Beispiel empfohlen es mit einer Wolldecke es bedecken. Vielleicht hast Du auch schon gesehen, dass einige Heilkünstler eine brennende Kerze auf den Rücken eines Kranken stellen und anschließend ein Glas darüber stülpen. Die Haut wird hochgesaugt sobald die Kerze ausgelöscht ist. Das ist ein aufsehenerregendes physikalisches Phänomen.

## BEOBACHTE ES IN DER NATUR

### Luft, Meeresströmungen

Es gibt verschiedene Faktoren, die die Bewegungen von fließenden Medien beeinflussen (z.B. Luft und Wasser). Diese Faktoren sind unter anderem Temperatur- und Druckwechsel. Die warmen Fluide breiten sich nach oben aus drängen die kalten Fluide nach unten. Die Luft verlagert sich von Regionen mit höherem Druck zu solchen mit niedrigerem Druck und bildet auf diese Weise die Winde und Meeresströmungen.



Experimentiere mit . . . der Druck ist stärker als der Materialwiderstand

## 4. Wie einen Luftballon durchbohren...ohne daß er platzt?

### MATERIALLISTE

- 1 Stecknadel oder ein scharfer Zahnstocher
- 2 Luftballons



### VORGEHENSWEISE

1. Blase die Luftballons auf.
2. Steche einen Luftballon mit der Stecknadel im mittleren Teil an.
3. Jetzt stich den anderen Luftballon von oben oder von unten an.



### WAS IST PASSIERT?

Wenn Du den Luftballon seitlich anstichst, platzt er.



Wenn Du den Luftballon mittig von oben oder unten anstichst passiert anscheinend nichts.

Wenn Du es näher betrachtest siehst Du jedoch, daß die Luft leicht durch das Loch entweicht.



## KANNST DU ES ERLÄUTERN?

Die Luft, mit der Du den Luftballon aufgeblasen hast, bewirkt, dass sich seine Wände unterschiedlich ausdehnen, in einem Teil (z.B. der Mitte) mehr als in anderen Teilen (z.B. oben und unten). Die Luft im Ballon verbreitet sich in alle Richtungen. Je mehr Luft im Ballon ist, desto höher sein Innendruck. Wenn Du den Luftballon in der Mitte anstichst, ist sein Material stärker aufgeblasen und folglich dünner und nahe der Grenze zum Platzen, während in den oberen

und unteren Teilen das Material noch sehr stark ist und nicht reißt.

## FINDE EINE ANWENDUNG IN DEINEM ALLTAGSLEBEN

Wenn sich ein Material ausdehnt und dann in seine ursprüngliche Form zurückkehrt, wird dies elastische Verformung genannt. Ein Beispiel wäre ein Gummiband oder ein Straps. Bälle springen hoch, wenn sie auf den Fußboden aufschlagen. Wenn sie ihre Form zurückerhalten erfolgt ein Stoß in die gegenteilige Richtung.

Bei einem Erdbeben verformt sich die Erdoberfläche elastisch. Die Bewegung, die Du spürst kommt von der Deformation der Erdoberfläche, verursacht durch die Erdwellen.



## BEOBACHTE ES IN DER NATUR

### Die Dichte der Luft

In der Atmosphäre sind Druck, Temperatur und Dichte umgekehrt proportional zur Höhe. In größerer Höhe herrscht weniger Druck, weniger Temperatur und weniger Dichte.

In der Erdkruste sind Druck, Temperatur und Dichte direkt proportional zur Tiefe. In größerer Tiefe steigen Temperatur, Druck und Dichte. Mit diesem Experiment kann man beobachten, daß die Ballons sich mit der selben Luftmenge mehr oder weniger aufblasen, abhängig vom Materialwiderstand. Die Luft hat eine größere Dichte (Masse/Volumen) in einem sehr widerstandsfähigen Luftballon. Innerhalb des Luftballons ist der Druck in allen Richtungen gleich und die Temperatur konstant.

Boyle'sches Gesetz: „Bei konstanter Temperatur ist das Volumen eines Gases umgekehrt proportional zum Druck, dem es ausgesetzt ist“.

## Experimentiere mit... der Druckübertragung

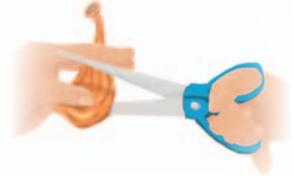
# 5. Wie können wir eine leere Tropfenpipette versenken

Hast Du Dich schon einmal gefragt warum Schiffe aus Stahl im Wasser schwimmen? Hast Du auch bemerkt, daß Du im Wasser schwimmst oder untergehst je nachdem wie viel Luft Du in den Lungen hast?



### MATERIALLISTE

- 1 durchsichtige Flasche
- 1 Luftballon
- 1 Schere
- 1 Tropfenpipette (oder eine Kugelschreiberkappe oder ein dursichtiger Strohhalm mit Knetmasse)



### VORGEHENSWEISE

1. Fülle die Flasche mit Wasser, lege die Tropfenpipette hinein und decke die Flasche mit dem aufgeblasenem Luftballon zu, so daß sich ein elastischer Deckel ergibt (Du kannst die Luftballonspitze abschneiden damit dieser besser auf die Flaschenöffnung passt).
2. Drücke den Luftballon nach unten und beobachte, wie sich die Tropfenpipette mit Wasser füllt. Wenn Du die Tropfenpipette vollständig versenken willst, fülle sie zur Hälfte mit Wasser bevor Du sie in die Flasche steckst.
3. Anstatt der Tropfenpipette kannst Du auch eine Kugelschreiberkappe oder einem Strohhalm mit Knetmasse benutzen.



### WAS IST PASSIERT?

Wenn Du den Luftballon nach unten drückst, drängt Luft in der Flasche und das Wasser steigt in die Tropfenpipette. Wenn die Tropfenpipette mit Wasser gefüllt ist wiegt sie mehr als wenn nur Luft drin ist. Folglich kann die Tropfenpipette untergehen, wenn sie genügend Wasser enthält.

Wenn die Tropfenpipette aus Plastik ist wird sie nicht vollständig untergehen, da deren Gewicht (Summe aus Plastik+Wasser) geringer ist als das Gewicht des Wassers mit dem selben Volumen.

## KANNST DU ES ERLÄUTERN?

Dieses Experiment basiert auf zwei physikalischen Gesetzen, dem Pascalschen Gesetz: „Eine Flüssigkeit kann unter Druck gesetzt werden, wenn darauf von außen eine Kraft einwirkt. Dabei wirkt der Druck gleichmäßig“, und dem Archimedisches Prinzip: „Der statische Auftrieb eines Körpers in einem Medium ist genauso groß wie die Gewichtskraft des vom Körper verdrängten Mediums..“

Wenn Du den Luftballondeckel nach unten drückst, wird die Luft in der Flasche das Wasser in die Tropfenpipette hineindrücken. Wenn Du den Luftballon loslässt, dehnt sich die Luft aus und das Wasser kommt wieder aus der Tropfenpipette heraus.



Die Tropfenpipette schwimmt da sie Luft enthält, die tausend Mal weniger wiegt als Wasser. Je mehr Luft die Tropfenpipette hat, umso leichter ist sie. Leichtere Dinge schwimmen eher als schwere.

## FINDE EINE ANWENDUNG IN DEINEM ALLTAGSLEBEN

Die hydraulische Bremse im Auto, der Hydraulikheber und die hydraulische Presse sind gute und wichtige Anwendungen des Pascalschen Gesetzes.

Die Schiffe schwimmen, weil der Raum den sie im Wasser ausfüllen viel Luft enthält, obwohl sie aus Stahl oder aus anderen schwere Materialien sind; Anwendung des Archimedisches Prinzips.

Die Ketchup-, Creme- und Schampooflaschen haben eine Plastikverpackung, die dünn und biegsam ist und den Inhalt nach draußen schiebt, wenn man sie drückt.

## BEOBACHTE ES IN DER NATUR

Warme Luft steigt nach oben. In dem Maße, wie die Lufttemperatur steigt separieren sich die Luftmoleküle und es gibt mehr Raum zwischen ihnen. Wenn eine Luftmasse aufsteigt ersetzt sie eine andere Masse, die nach unten geht, wenn sie kälter ist, um den Raum der Ersteren auszufüllen. Wenn die Luft aufsteigt trifft sie auf eine Schicht mit weniger Druck.

Infolgedessen dehnt sich die Luft aus. Wenn sich die Luftmoleküle trennen verbrauchen sie Energie und die Luft wird kalt. Deswegen ist es oben auf den Bergen kühler, obwohl warme Luft aufgestiegen ist.



## Experimentiere mit... dem Luftwiderstand

# 6. Laß sie fliegen!

Schwere Gegenstände fallen manchmal schneller als leichte. Warum manchmal?

### MATERIALLISTE

- 1 Buch
- 1 Papierblatt



### VORGEHENSWEISE

1. Halte die beiden Gegenstände, Buch und Blatt Papier, horizontal und laß sie zur gleichen Zeit fallen.
2. Beim zweiten Versuch lege das Blatt Papier auf das Buch.



### WAS IST PASSIERT?

Du kannst beobachten, daß das Buch viel schneller als das Blatt fällt.

Aber, wenn das Blatt auf das Buch gelegt wird, fallen beide gleichzeitig.

Nichts kann schief gehen in so einem einfachen Experiment.



## KANNST DU ES ERLÄUTERN?

Im ersten Schritt wiegt das Buch mehr und eliminiert den Luftwiderstand, während das Blatt von diesem gebremst wird. Im zweiten Schritt eliminiert das Buch für das Blatt den Luftwiderstand, deshalb fallen beide gleich schnell.

## FINDE EINE ANWENDUNG IN DEINEM ALLTAGSLEBEN

Hast Du beobachtet, dass Vögel und Flugzeuge fliegen und daß der Staub, die Fallschirmspringer und die Wolken in der Luft schweben? Sie können fliegen oder schweben dank des Luftauftriebs. Obwohl die Flugdynamik der Flugzeuge sehr kompliziert sein kann, kannst Du den Luftauftrieb eines Flugzeugs simulieren wenn Du Deine Hand aus dem Auto streckst während es in Bewegung ist (ganz vorsichtig!).

Wenn Deine Hand die Form eines Flugzeugflügels annimmt und Du diese nach oben neigst, wird die Luft Deine Hand nach oben drücken.



## WILLST DU MEHR WISSEN?

### Das Gesetz der Schwerkraft versus Luftwiderstand

Es gibt zwei Faktoren, die den Fall der Körper beeinflussen. Einer von ihnen, der wichtigste, ist die Schwerkraft. Der andere ist der Luftwiderstand, der abhängt von:

- \* Der Geschwindigkeit (je schneller ein Objekt sich in der Luft bewegt umso größer wird sein Widerstand).
- \* Die Form des Objekts (je größer die Oberfläche ist, desto mehr Luft wird verdrängt, wodurch sich der Widerstand erhöht).
- \* Der Unterschied zwischen der Dichte und der Luft (wenn der Gegenstand sehr leicht ist, wird er länger in der Luft schweben).

## Experimentiere wie Galileo Galilei

# 7. Laß sie fallen!

Hast Du gemerkt, daß der Astronaut der Apollo 15 Mondmission eine Feder und einen Hammer gleichzeitig wegwirft und beide fallen in der selben Zeit herab? Probiere hier auf der Erde ob zwei Dinge mit verschiedenem Gewicht auch gleichzeitig fallen können.

### MATERIALLISTE

2 Kunststoffflaschen  
Sand, Bohnen oder anderes Material, die das Gewicht der Flasche erhöhen.



### VORGEHENSWEISE

1. Fülle eine der Flaschen mit Sand oder einem anderem Material und laß die andere leer.
2. Laß beide Flaschen gleichzeitig von einem zweiten Stock runterfallen.



Sorge dafür, daß die Oberfläche des Bodens weich ist (z.B. ein Karton), damit die Flaschen nicht zerbrechen und Du sie mehrfach mit verschiedenen Gewichten verwenden kannst.

## WAS IST PASSIERT?

Beide Flaschen schlagen gleichzeitig auf, obwohl sie verschiedene Gewichte haben.



Das Experiment kann scheitern, wenn eine der Flaschen zu leicht ist oder eine rechteckige Form hat. In diesem Fall kann der Luftwiderstand den Fall beeinflussen.

## DIESER VERSUCH IN DER GESCHICHTE

Bis ins XVI Jahrhundert hat man geglaubt, daß schwere Gegenstände schneller fallen als leichte, so wie es Aristoteles 19 Jahrhunderte vorher postuliert hatte. Galileo Galilei, Mathematiklehrer der Universität von Pisa stellte dies jedoch in Frage. Er warf zwei Gegenstände mit verschiedenem Gewicht vom Schiefen Turm von Pisa und zeigte, daß sie zur selben Zeit am Boden aufschlugen. Dieser Versuch ist von Physikern als das zweitschönste Experiment in der Geschichte ausgewählt worden, weil es in einem einfachen Versuch zeigt, daß die Natur das letzte Wort in Wissenschaftsfragen hat.



## Experimentiere mit . . . dem Schwerkraftgesetz

# 8. Was fällt zuerst herunter?

Hast Du gemerkt, daß es scheinbar eine verborgene Anziehungskraft auf in der Erde gibt die bewirkt, daß alles auf dem Boden geklebt ist? Je höher Du springst, immer fällst Du auf die Erde zurück. Diese Kraft ist die Schwerkraft.



### MATERIALLISTE

2 Murmeln, Zitronen oder Bälle, die so groß wie Zitronen sind.

Beide müssen gleich groß sein und dieselbe Form und das gleiche Gewicht haben.

### VORGEHENSWEISE

1. Halte beide kugelförmigen Dinge mit einer Hand zwischen dem Zeigefinger und dem Daumen. Beachte, daß Deine Handfläche nach unten zeigt.
2. Mit der anderen Hand gib einer der beiden Kugeln einen kräftigen, waagrechten Stoß, sodaß diese nach vorn fliegt.

### WAS IST PASSIERT?

Im Augenblick der Trennung der zwei Kugeln fällt eine senkrecht zum Boden und die andere nach vorne. Beide treffen jedoch zur selben Zeit auf den Boden, obwohl eine von beiden eine größere Entfernung zurücklegt.



Dieses Experiment kann scheitern, wenn eine der beiden Kugeln nicht waagrecht fliegt.

## KANNST DU ES ERLÄUTERN?

Es gibt zwei Kräfte, die die Fallzeit der Körper kontrollieren: die Schwerkraft und der Luftwiderstand. Wenn Deine beide Dinge gleich sind und der Luftwiderstand vernachlässigbar ist, dann beeinflusst nur die Schwerkraft die Fallzeit, obwohl eine von beiden Körper anfangs waagrecht fliegt.



## FINDE EINE ANWENDUNG IN DEINEM ALLTAGSLEBEN

Die Schwerkraft ist eine sehr wichtige Kraft in deinem Alltagsleben. Dank ihrer Präsenz bleiben wir auf dem Boden. Die vertikale Linie ist senkrecht zur Erdoberfläche an dem kleinen Punkt, wo Du stehst. Deswegen ist es egal ob Du auf der Nord- oder auf der Südhalbkugel bist, auf dem Nord- oder Südpol oder am Äquator, der Himmel ist immer über Dir, wo Du stehst.



### Das Schwerkraftgesetz

Die Schwerkraft ist die Anziehungskraft, die die Gegenstände erfahren. Die Anziehungskraft zwischen zwei Gegenständen  $M_1$  und  $M_2$  ist direkt proportional zum Produkt der beiden Massen und umgekehrt proportional zum Quadrat der Distanz ( $R$ ), die sie trennt.

## WILLST DU MEHR WISSEN?

Die Schwerkraft, die wir „Gewicht“ nennen, ist immer in unserem täglichen Leben präsent, da sie uns immer auf der Erde hält. Beachte, daß die Masse des Planeten viel größer ist als irgendein anderer Gegenstand um uns herum und die Entfernung irgendeines menschlichen Körpers bis zur Mitte der Erde im wesentlichen konstant ist. Deswegen herrscht die maximale Schwerkraft auf der Erdoberfläche. Sie nimmt natürlich ab, wenn wir uns vom Planeten entfernen, weil die Distanz zwischen den beteiligten Massen steigt. Sie nimmt jedoch auch ab wenn wir ins Innere der Erde vordringen, da verhältnismäßig ein immer größerer Anteil der Erde über uns ist und die Masse unter uns sich verringert.

Im Inneren der Erde herrscht ein enormer Druck verursacht durch das Gewicht des ganzen Planeten, aber die Schwerkraft ist gleich null, ebenso wie im Weltall.

## Experimentiere mit . . . der Schiefen Ebene

# 9. Auf der Rutschbahn

Hast Du schon gemerkt daß Du auf einer Rutschbahn schneller runterkommst je steiler sie ist?

### MATERIALLISTE

2 PVC Rohre, 2 m

lang

5 Murmeln

1 Lineal

1 Filzstift

1 Tisch

2 gleich

dicke Bücher oder Holzblöcke



### VORGEHENSWEISE

1. Stelle beide Bücher (oder Ziegelsteine) unter die Beine des Tisches um ihn schräg zu stellen.

2. Befestige die beiden PVC Rohre mit Klebeband auf dem Tisch.

3. Markiere an einem der beiden Rohre alle dreißig Zentimeter.

4. Laß eine Murmel von oben durch das Rohr laufen und prüfe, ob sie am Boden ankommt.

5. Messe die Zeit (vom Anfang an und alle 30 Zentimeter) mit einer Stoppuhr und trage sie

in eine Tabelle ein, so wie sie auf der nächsten Seite gezeigt ist. Wiederhole diesen Prozess mehrfach.



### WAS IST PASSIERT?

In dem Maße wie die Murmel nach unten rollt, wird die Zeit zwischen jeder Marke immer kürzer, d.h. die Murmel wird immer schneller und passiert dieselbe Distanz in immer kürzerer Zeit. Diesen Wechsel der Geschwindigkeit nennt man Beschleunigung.



## Tabelle

	ZEIT 1	ZEIT 2	ZEIT 3	ZEIT 4	ZEIT 5	Zeitdifferenz zwischen den aufeinanderfolgenden Entfernungen
30 cm						
60 cm						
90 cm						
120 cm						
150 cm						
180 cm						
210 cm						

### DIESER VERSUCH IN DER GESCHICHTE

Galileo wollte wissen, wie sich die Körper im Fall verhalten, aber dies geschieht sehr schnell, ungefähr in einer Sekunde aus einer Höhe von 10 Metern. Deshalb hat er sich ein Experiment ausgedacht: er ließ das Objekt auf einer schiefen Ebene rollen; je geringer die Neigung der Fläche war, je mehr Zeit würde es dauern bis der Gegenstand unten ankommt und je genauer konnte er die Zeit messen. Mit einem ähnlichen Experiment wie dem unseren, hat er entdeckt, daß sich die Fallgeschwindigkeit mit der Zeit ändert und, daß die Beschleunigung nicht vom Gewicht des fallenden Gegenstands abhängt (siehe das "Laß sie fallen" Experiment).

Weil er sehr intelligent war, hat er dies in einer mathematischen Formel ausgedrückt: Die Distanz, die ein fallender Körper zurücklegt ist proportional zum Quadrat der Zeit, die er dafür gebraucht hat.

Dank Newton wissen wir jetzt ausserdem, daß die Beschleunigung im freien Fall auf der Erde in Luftabwesenheit, einen Wert von annähernd  $9,8 \text{ m/s}^2$  hat ist und als „Fallbeschleunigung „ bezeichnet wird.

Man kann es sich so vorstellen, daß im

freien Fall gleiche Distanzen in immer kürzerer Zeit zurückgelegt werden, oder anders gesagt, in gleicher Zeit eine immer größere Entfernung zurückgelegt wird.



## ANHANG

### Dieser Teil ist nur für Erwachsene oder sehr scharfsinnige Kinder

Zum Abschluß dieses Buchs, werden wir theoretisch beweisen, daß die Fallgeschwindigkeit unabhängig von dem Gewicht des Körpers ist. Wir werden dazu drei Gesetze verwenden: die Fallbeschleunigung, das uiniversale Gesetz der Schwerkraft und das zweite Newtonsche Gesetz.

**A)** Galileo hat festgelegt, daß die Distanz, die ein Objekt in seinem Fall zurücklegt direkt proportional zum Quadrat der Zeit ist; zum Beispiel wird es die vierfache Distanz in der doppelten Zeit zurücklegen. Die Beschleunigung während des Fall wird von der Schwerkraft verursacht.

**B)** Siebzig Jahre nach der Vorführung Galileos am Turm von Pisa, hat Newton die Universalgesetze der Gravitation vorgestellt. Er hat festgelegt, daß die Anziehungskraft zwischen zwei Körpern von folgender Gleichung gegeben ist:

$$F = GM_1M_2/R^2 \quad (1)$$

Wobei  $G$  die Gravitationskonstante ist (die gleiche für alle),  $F$  ist die Anziehungskraft der Erde von Masse  $M_1$  zu einem Individuum der Masse  $M_2$  und  $R$  ist die Distanz zwischen dem Schwerpunkt beider Körper. Das heißt,  $R$  ist die Distanz zwischen dem Erdmittelpunkt und der mittleren Zone des Bauchs des Individuums ungefähr auf Höhe des Nabels.

**C)** Im seinem zweiten Bewegungsgesetz hat Newton definiert, daß die Beschleunigung des Objekts direkt proportional ist zur Kraft die auf ihn wirkt und umgekehrt proportional zu seiner Masse ist.

$$a = F / M_2 \quad \dots \quad F = M_2 a \quad (2)$$

Wenn die Anfangsbeschleunigung gleich null ist, können wir die Endbeschleunigung errechnen indem wir die Beschleunigung mit der Zeit multiplizieren:

$$v = at \quad (3).$$

Wenn wir annehmen, daß  $F$  dieselbe Anziehungskraft der Erde auf ein Individuum ist, dann ist in der Gleichung (2)  $a$  die Gravitationbeschleunigung und in (3)  $v$  die Fallbeschleunigung. Da  $F$  in Gleichungen (1) und (2) gleich ist können wir auch schreiben:

$$GM_1M_2/R^2 = M_2 a \quad (4).$$

In der vierte Gleichung wird  $M_2$  gekürzt und wenn wir (3) ersetzen und die Geschwindigkeit bestimmen, können wir beweisen, daß in der Gleichung, die die Geschwindigkeit ( $v$ ) errechnet die Masse des Individuums nicht vorkommt:

$$v = at = tGM_1/R^2.$$

## **DANKSAGUNG**

Die Idee, eine Broschüre über wissenschaftliche Experimenten zu schreiben, kam nachdem wir das Buch von Manuel Lozano „Von Archimedes bis Einstein“ gelesen haben, in dem der Autor vorschlägt, wie man zu Hause die zehn schönsten Experimente der Geschichte ausführen kann. Wir wollten mit diesem Konzept eine Reihe von Büchern schreiben.

Die in diesem Heft vorgestellten Versuche sollen die Bedeutung der Experimente „Der Fall der Körper“ und „die Schiefe Ebene“ von Galileo Galilei für den Begriff der Schwerkraft hervorheben und dabei alle damit zusammenhängenden physikalischen Prozesse und ihre Anwendung in der Natur erklären.

Wir wollen Yuria und Emilia Cruz für ihre Beiträge zur ursprünglichen Idee dieses Buches und Paula Lopez für ihre Vorschläge zur Ausgestaltung danken. Die Doktoren Susana Orozco, Gerardo Carmona und Rosalba Fuentes haben den wissenschaftlichen Inhalt dieses Buchs überprüft. Teresa Orozco hat Verbesserungen im Stil vorgenommen und Jesús Silva hat die Version für die Druckerei vorbereitet.

Diese Broschüre ist Teil der Projekte PE400216 und PE104916 (DGAPA UNAM) Und CONACYT SEP\_SEB 264549, als didaktischer Vorschlag an Interdisziplinäres Lernen von Wissenschaft und Sprache (deutsch).

## **ÜBER DIE AUTOREN**

### **Susana A. Alaniz Alvarez**

Investigadora Titular C des Centro de Geociencias (CGEO) der Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Sie hat 1996 ihren Dokortitel in Geowissenschaften erlangt.. Sie ist Mitglied der Mexikanischen Akademie der Wissenschaften und der Academia de Ingeniería. Sie hat über 45 wissenschaftliche Artikel über die Verformung der oberen Kruste und ihre Beziehung mit dem Vulkanismus und mehrere populärwissenschaftliche Werke geschrieben. Sie gehört dem Sistema Nacional de Investigadores (SNI) an. Sie unterrichtet am Posgrado en Ciencias de la Tierra an der UNAM und ist Redakteurin der Revista Mexicana de Ciencias Geológicas. 2004 hat sie den Juana Ramírez De Asbaje Preis der UNAM erhalten.

### **Angel F. Nieto Samaniego**

Er ist Doktor der Geophysik der Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Dozent am Posgrado en Ciencias de la Tierra, Mitglied der Mexikanischen Akademie der Wissenschaften und des Sistema Nacional de Investigadores (SNI). Er war Präsident der Mexikanischen Geologischen Vereinigung (Sociedad Geológica Mexicana) und Herausgeber des Gedenkbandes zur Hundertjahrfeier dieser Vereinigung. Er ist Redakteur von mehreren nationalen und internationalen Zeitschriften und hat 67 hauptsächlich strukturgeologische und tektonische Artikel mit Schwerpunkt über die Känozoische Verformung von Mexiko veröffentlicht. Derzeit ist er Investigador Titular C am Centro de Geociencias der UNAM in in Juriquilla, Querétaro.

Finanzierung des Druckes durch *Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Nacional Autónoma de México.*

