

HEYNE <



Marcus und Judith Weber

# **PHYSIK IST, WENN'S KNALLT**

**Wie man selber Trockeneis herstellt und mit  
Käse einen Menschen schweben lässt –  
Experimentierspaß aus dem echten Leben mit  
den Physikanten**

Mit einem Vorwort von Elton

Mit Illustrationen von Fides Friedeberg

Wilhelm Heyne Verlag  
München

Die in diesem Buch aufgeführten Experimente wurden sorgfältig ausgearbeitet. Ihre Durchführung kann jedoch auch bei ordnungsgemäßer Vorbereitung und Handhabung mit Gefahren verbunden sein. Jede Durchführung der in diesem Buch aufgeführten Experimente erfolgt auf eigene Gefahr. Verlag und Autor übernehmen keine Haftung für Schäden, die bei der Durchführung der hier beschriebenen Experimente entstehen.

Sollte diese Publikation Links auf Webseiten Dritter enthalten, so übernehmen wir für deren Inhalte keine Haftung, da wir uns diese nicht zu eigen machen, sondern lediglich auf deren Stand zum Zeitpunkt der Erstveröffentlichung verweisen.



Penguin Random House Verlagsgruppe FSC® Noo1967

3. Auflage  
Originalausgabe 09/2019

Copyright © 2019 by Marcus und Judith Weber  
Die Veröffentlichung dieses Werkes erfolgt auf Vermittlung der literarischen Agentur Peter Molden, Köln

Copyright © 2019 by Wilhelm Heyne Verlag, München,  
in der Penguin Random House Verlagsgruppe GmbH,  
Neumarkter Straße 28, 81673 München

Redaktion: Dr. Michael Schmidt

Fachlektorat: Prof. Dr. Stefan Heusler

Umschlaggestaltung: Hauptmann & Kompanie Werbeagentur, Zürich

Satz: Satzwerk Huber, Germering

Druck: CPI books GmbH, Leck

Printed in Germany

ISBN: 978-3-453-60499-5

[www.heyne.de](http://www.heyne.de)

# Inhalt

|  |    |
|--|----|
| <b>Vorwort von Elton</b> .....   | 9  |
| <b>Rotweinflut im Wäschekeller - wie alles anfing...</b> .....           | 12 |
| <b>Staubsauger, Föhne und andere Monster</b> .....                       | 14 |
| <i>Der schwebende Tischtennisball</i>                                    |    |
| <b>Raketenparty</b> .....  | 23 |
| <i>Die Papier-Rakete</i>   |    |
| <b>Kondome, ganz jugendfrei</b> .....                                    | 30 |
| <i>Das glühende Kondom</i>   |    |
| <b>Karnevalsmuggel unter sich - Zauberstäbe selbst gemacht</b> .....     | 36 |
| <i>Die Tüteneschwebe</i>   |    |
| <i>Das Luftballonballet</i>  |    |
| <b>Der Käse-Lift</b> .....   | 48 |
| <i>Das Topfdeckel-Vakuum</i>   |    |
| <b>Gott würfelt nicht - bittere Niederlagen am Spieltisch</b> .....      | 54 |
| <i>Wahrscheinlichkeiten von Schnick, Schnack, Schnuck bis Backgammon</i> |    |
| <b>Gänsehaut - Styropor und wie man damit fertig wird</b> .....          | 65 |
| <i>Styropor verschwinden lassen</i>                                      |    |
| <b>King of the Road - Hoverboard und Co.</b> .....                       | 73 |
| <i>Das Hovercraft</i>  |    |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Auferstanden vom Handyfriedhof</b>   | 87  |
| <i>Das rotierende Handy</i>             |     |
| <i>Das Handy in der Mikrowelle</i>      |     |
| <b>Männersachen, Frauensachen</b>       | 102 |
| <i>Streichholzschachteln umschubsen</i> |     |
| <b>Oma und das Tote Meer</b>            | 110 |
| <i>Wasser kopfüber</i>                  |     |
| <b>Echte Arbeit</b>                     | 118 |
| <i>Trockeneis selber machen</i>         |     |
| <b>Nicht vom Beckenrand hängen!</b>     | 128 |
| <i>Schwimmbad-Wirbelringe</i>           |     |
| <i>Luft-Wirbelringe für zu Hause</i>    |     |
| <b>Ganz ernste Konfirmation</b>         | 139 |
| <i>Der mehrstimmige Kaffeebecher</i>    |     |
| <b>Gruselschuster und Blumenmessi</b>   | 147 |
| <i>Die unsichtbaren Gelkugeln</i>       |     |
| <b>Antikes Spotify</b>                  | 158 |
| <i>Der Nebel-Tornado</i>                |     |
| <i>Der Feuer-Tornado</i>                |     |
| <b>Die peinlichsten Eltern der Welt</b> | 166 |
| <i>Spaß mit Biomüll</i>                 |     |
| <b>Kochduell</b>                        | 171 |
| <i>Die Flamme in der Mikrowelle</i>     |     |
| <b>Miese Manieren</b>                   | 178 |
| <i>Eine Wolke im Mund machen</i>        |     |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Die Krimskramsbombe</b> . . . . .                  | 187 |
| Wasserstoff aus Anspitzern                            |     |
| <b>»Guck mal, Papa, meine Hand brennt!«</b> . . . . . | 195 |
| Brennender Schaum auf der Hand                        |     |
| Rasender Schaumfestiger                               |     |
| <b>Trittfester Nachtisch</b> . . . . .                | 206 |
| Über Wackelpudding laufen                             |     |
| <b>Die schrägstens Experimente</b> . . . . .          | 212 |
| Kind mit einem Staubsauger hochheben                  |     |
| Eine Zahnbürste um den Finger drehen                  |     |
| »Eis« aus Schweineblut oder Leber                     |     |
| <b>Danke!</b> . . . . .                               | 223 |



# Vorwort von Elton

Tach! Der Elton hier.

Aha! Erwischt! Beim Lesen! Soso.

Na ja, gibt Schlimmeres. Aber ein Buch über Physik? Freiwillig? Also noch vor 35 Jahren hätte ich gedacht, was für ein Freak. Eher hätte ich ein Telefonbuch gelesen – genauso langweilig, aber wenigstens gratis. Nee, mit Physik war ich noch vor meinem Stimmbruch durch. Eine einzige Enttäuschung, diese Naturwissenschaft.

Zum Ende der Grundschulzeit lagen all meine Hoffnungen auf dem Physikunterricht, der sich in der 5. Klasse erstmals auf dem Stundenplan ankündigte. Bis auf Sport hatten sich alle anderen Fächer bereits als ziemlich langweilig und lernintensiv entpuppt.

Aber Physik? Das musste einfach mein Lieblingsfach werden! Allein der Physikraum mit den ganzen Geräten und Apparaturen, dazu die speziellen Tische, mit Schaltern, Drehknöpfen und Kabeln, die hier und da heraushingen. Hightech! Wahnsinn! Und in Physik, hieß es, wird »richtig rumexperimentiert«! Das berichteten verschiedene Quellen übereinstimmend. Und da ich weder Zweifel noch Google hatte, glaubte ich den Quatsch.

Die allererste Stunde eröffnete mein Physiklehrer mit den Worten: »Die Physik lässt einen die Welt mit anderen Augen sehen!« Cool, das klang ja fast, als verleihe sie einem Superkräfte! Und dann, tatsächlich, kündigte er auch direkt das erste Experiment an.

Super! Jetzt geht's los, dachte ich, »richtig rumexperimentieren«! Wie aufregend! Was werde ich wohl als Erstes herausfinden? Ich sah mich schon als Entdecker der Unsichtbarkeitsformel oder Erfinder des Beamens in die Geschichte eingehen.

Kann alles passieren, man weiß ja bei Experimenten vorher nie, wie sie ausgehen. Darum macht man sie ja – dachte ich.

Und was machten wir? WIR BRACHTEN WASSER ZUM KOCHEN! Denn wenn Wasser kocht, verdampft es! Das tat es auch. Und das war unser »Experiment«. Wasser kochen!

Wir »experimentierten« mit einem Spielzeugauto auf der geneigten Ebene! Und siehe da, ja, es rollte hinunter! Ach was. Und ich hab all die Jahre versucht den Berg raufzurodeln!

UND DAS IST PHYSIK? JA! Ich dachte, das müsse ein Scherz sein.

Von wegen, »richtig rumexperimentieren«. In Physik werden Experimente durchgeführt, deren Ausgang man bereits kennt, um zu beweisen, dass dieses Experiment so ausgeht, wie man es vorher schon wusste. Man kann vielleicht noch ein, zwei Sachen berechnen, aber das war's auch. Nein, Physik ist nicht genauso langweilig wie die anderen Fächer bisher auch, Physik ist das allerlangweiligste. Physik war für mich gestorben.

Ganze 30 Jahre lang schenkte ich dieser Naturwissenschaft keine besondere Aufmerksamkeit. Warum auch. Sie änderte ja nichts an meinem Leben. Ich wurde trotzdem von der Erde angezogen, auch wenn ich mich nicht mit den ganzen Experimenten und Berechnungen zur Gravitation rumlangweilte. Für mich war Physik überflüssig und Zeitvergeudung.

Aber dann lernte ich sie kennen: die Physikanten! Und sie zeigten mir die Physik von einer anderen Seite. Über 30 Jahre hatte ich dieser Naturwissenschaft unrecht getan. Denn das Problem war nicht die Physik an sich, sondern ihr schlechtes Marketing, das mit langweiligen Experimenten in verstaubten Physikräumen dieser faszinierenden Wissenschaft nicht gerecht wurde.

Und mit den Physikanten hatte die Physik plötzlich ein PR-Team der Spitzenklasse. Die Physik selbst hatte sich nicht geändert, sowie Kaffee sich auch nie geändert hat. Doch so wie

Kaffeeketten über Nacht einen neuen Kaffee-Hype erzeugt hätten, so schafften es die Physikanten im Handumdrehen, mich für Physik zu begeistern. Mit Experimenten, die mir den Atem stocken ließen, mit so einfachen wie genialen Versuchen, durch die ich so vieles auf einmal verstanden hab. Allein weil Physik plötzlich Spaß gemacht hat, ob beim Zuschauen oder Mitmachen.

Mehr muss ich gar nicht sagen, denn alles andere wird jeder Leser dieses Buches ganz schnell selbst erleben und verstehen. Physik ist nicht, wenn's langweilig wird, Physik ist, wenn's knallt!

*Elton*

# **Rotweinflut im Wäschekeller - wie alles anfing...**

Als ich die rote Lache auf dem Kellerboden sah, wurde mir klar, dass die Physik die Kontrolle über mein Leben übernommen hatte. Zwischen Wäschekörben und der Truhe mit den Winterjacken breitete sie sich aus, lief in alle Ritzen und unter den Gefrierschrank.

»Ups«, sagte der Mann meiner Träume und schaute auf die halbe Rotweinflasche in seiner Hand und die Scherben auf seinen Pantoffeln. »Eigentlich sollte nur vorn der Korken rauspöppen.«

Eine halbe Stunde und zehn Meter Küchenpapier brauchten wir, um den Boden wieder sauber zu bekommen. Unter den Gefrierschrank kamen wir nicht.

»Wie genau ist das passiert?«, fragte ich, während ich den Müllsack für das triefende Küchenpapier aufhielt.

»Man kann den Korken aus einer Weinflasche ohne Korkenzieher rauspöppen, wenn man den Boden der Flasche sanft gegen die Wand haut«, sagte Marcus.

»Sanft?«, fragte ich und band den Müllsack zu. Aus einem kleinen Loch tropfte Wein.

»Tja«, sagte Marcus. »Müsste wohl sanfter sein.« Und er holte die nächste Flasche.

Seit diesem Abend wundert mich nichts mehr. Eine Badewanne voll Wackelpudding, Schweineblut im Gefrierschrank – was soll's. So ist das, wenn man einen Physiker heiratet. Schon an der Uni hatte Marcus immer wieder gedacht, dass man die Experimente in den Vorlesungen dringend entstauben und neu präsentieren müsste. Das tat er dann zusammen mit einem guten

Freund. In der Garage wurden die ersten bühnentauglichen Experimente gebaut. Inzwischen haben mehr als eine Million Zuschauer die Physikanten gesehen – auf Messen, an Schulen und Universitäten, auf Festivals, im Varieté, bei Unternehmen und im Fernsehen. Nicht nur Wissenschaftsaffine sind begeistert, sondern auch Menschen, die Physik in der Schule immer gehasst haben. Wie ich.

»Ist es bei euch zu Hause immer so superlustig?«, fragen uns Bekannte immer wieder. Wie es bei uns zu Hause ist? Das werden Sie in diesem Buch nicht erfahren – die Familie, in der die Geschichten in diesem Buch spielen, gibt es so nicht. Denn auch wenn das Leben angeblich die besten Geschichten schreibt: Es ist noch viel schöner, wenn man nachhilft.

Eines kann aber verraten werden: Wir kommen inzwischen gut miteinander klar, die Physik und ich. Denn sie bringt etwas mit sich: einen offenen Blick auf die Welt, die Neugier, Alltägliches wahrzunehmen und weiterzudenken. Kinder können das meistens, Erwachsene nicht immer. Das zu bewahren macht Spaß – auch wenn man Physik nicht immer geliebt hat.

Außerdem lernt man dank der Physik seine Grenzen kennen. Den Korken aus einer Flasche Wein rauszuklopfen, indem man die Flasche gegen die Wand schlägt, funktioniert beispielsweise nicht wirklich gut. Es geht, aber man braucht sehr viel Wein, bis man es kann. Um Flaschen an die Wand zu klopfen und sich das Chaos schön zu trinken.

# **Staubsauger, Föhne und andere Monster**

»Wir waren total verzweifelt, weil unser Kleiner über Stunden geschrien hatte. Wir haben die App runtergeladen, und es hat keine fünf Sekunden gedauert, bis die Augen zugingen. WAHNSINN!«

»Seitdem ich diese App habe, schlafe ich wie ein Stein.«

Die App, die im Playstore diese Begeisterung auslöst, ist ein Staubsauger. Wenn man sie herunterlädt, dröhnt das Handy wie ein Sauger, und Babys schlafen ein. Der Werbetext verheißt: »Es gibt Geräusche, die sind so vertraut und beruhigend, dass wir uns entspannen, sobald wir sie hören. Der Staubsauger liefert eines dieser Geräusche.« Schließlich hätten wir ihn alle schon im Mutterleib gehört.

Vielleicht haben wir zu wenig Staub gesaugt, als ich mit Julia schwanger war. Wir waren Studenten und versuchten, die letzten Klausuren zu bestehen. Möglicherweise ist unser Fußboden dabei ein wenig zu kurz gekommen. Baby Julia jedenfalls empfand den Staubsauger nicht als vertrautes Geräusch, sondern als Monster. Sie schlief auch nicht beim Haareföhnen. Möglicherweise war in der Schwangerschaft auch meine Frisur etwas zu kurz gekommen. Wir versuchten zu putzen, wenn Julia eingeschlafen war. Es half nicht. Staubsauger an – Geschrei an. Staubsauger aus – Geschrei aus.

Besser ging es, wenn sie beim Staubsaugen im Tragetuch saß, in sicherer Höhe über dem gefährlichen Sauger. Vor unseren Bauch geschnallt schlief sie ein, schlief stundenlang, an uns gekuschelt wie ein kleiner Heizofen, beschützt vor den Haushaltsmonstern dieser Welt.

So erledigten wir unsere Hausarbeit etwa zwölf Kilo lang. Als Julia so viel wog, war sie etwas mehr als ein Jahr alt. Sie konnte krabbeln und ein paar Schritte laufen. Mein Rücken war vom Tragen so verspannt, dass ich gar nicht mehr laufen mochte. »Es muss eine andere Lösung geben«, meinten Marcus und ich. Wir schenkten Julia einen Kinderstaubsauger, damit sie neben uns her saugen konnte. Ein hässliches, rot-blaues Ding, das das Parkett zerkratzte und schrill kreischte. Zwei Staubsauger an – Geschrei an. Zwei Staubsauger aus – Geschrei aus.

Das Wunder geschah eines Tages, als Marcus staubsaugte. Julia saß zeternd auf dem Sofa, Marcus schob den Sauger über den Boden. Mit der anderen Hand räumte er die Spielsachen zur Seite, die ihm im Weg lagen in dem Zimmer, das eigentlich unser Wohnzimmer war. Zwischen Bauklötzen und Schleichpferden lag ein Luftballon, den wir am Tag zuvor am Wahlwerbestand der SPD vor dem Supermarkt geschenkt bekommen hatten.

Marcus wusste nicht, wohin mit dem Ballon, er hatte keinen Platz im Regal und für die Spielzeugkiste war er zu groß. Marcus nahm ihn und legte ihn ab – auf dem Abluftgebläse des Staubsaugers. Dort schwebte der Ballon in der Luft, drehte sich ein bisschen und fuhr sogar über dem Staubsauger mit. Auf dem Sofa verstummte das Schreien. Julia kletterte herunter und lief mit wackligen Schritten auf den Ballon zu, ein Strahlen im Gesicht. Jauchzend folgte sie dem Sauger durchs Wohnzimmer, stupste den Ballon an, und wenn er herunterfiel, setzte Marcus ihn wieder auf das Gebläse.

Schließlich war das Zimmer sauber. Marcus stellte den Staubsauger aus. Der Ballon trudelte zu Boden. »Da!«, schrie Julia und zeigte auf den Sauger.

Marcus saugte auch noch im Bad.

»Daaa!«

Marcus saugte das Schuhregal aus.

»Daaaaaa!«

Ab diesem Tag galten neue Regeln: Staubsauger an – Geschrei aus! Staubsauer aus – Geschrei an. Es war jetzt sehr sauber bei uns. Auch der Föhn durfte laufen – solange ein Ballon darauf schwebte. Dann konnte man nur nicht mehr die Haare föhnen.

Inzwischen hat Julia ein Handy. Ohne Staubsaugerapp, obwohl die ja auch für Ältere sehr entspannend sein soll. »Ich bin 14 und liebe den Ton einfach«, schreibt eine Nutzerin im Play-store. Julia nutzt das physikalische Prinzip, nach dem der Ballon auf dem Gebläse schwebt, lieber anderweitig. Wenn die Hausaufgaben zu langweilig sind, schraubt sie ihren Kuli auseinander. Sie nimmt den spitzen Teil, aus dem die Mine herauskam, legt den Kopf in den Nacken und pustet von unten durch. Oben in den Luftstrom legt sie einen Tischtennisball. Unter dem Schreibtisch liegt hinterher ein schmäler, silberner Plastikring, der zwischen die beiden Hälften der Kulihülle geschraubt war und den Julia beim Wiederzusammenbauen vergessen hat. Und die kleine Feder, die eigentlich um die Mine gehört. Beides saugen wir einfach weg.



## **Experiment: Der schwebende Tischtennisball**

Was man physikalisch so alles mit einem Staubsauger machen kann, erklärt am besten der Physiker selbst. Das weiß Marcus einfacher besser.

**Sie brauchen (für Anfänger):**

- einen Haartrockner
- 1-2 Tischtennisbälle

**Sie brauchen außerdem (für ein Spiel):**

- Drahtkleiderbügel und eine Möglichkeit, diese frei hängend zu befestigen (zum Beispiel an einer Wäscheleine oder an einer Schnur, die Sie durchs Wohnzimmer spannen)

**Sie brauchen (für Fortgeschrittene):**

- einen auseinanderschraubbaren Kugelschreiber und einen Tischtennisball

oder

- einen Knick-Trinkhalm und eine Styroporkugel, Durchmesser ca. 3 cm

oder

- eine Styroporkugel, Durchmesser ca. 3 cm, und viel Luft

oder

- ein starkes Industriegebläse und einen großen Wasserball

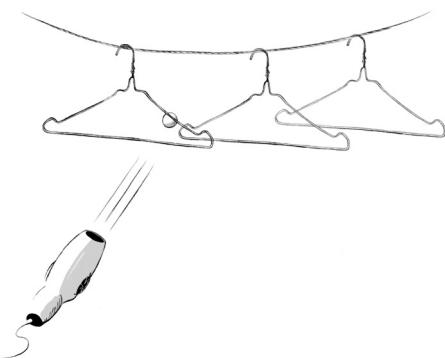
**So geht's:**

Richten Sie den Föhn nach oben, auf voller Stärke und mit Kaltluft (sollte Ihr Föhn keine Kaltluft haben, funktioniert das Experiment auch mit Warmluft). Am besten klappt es, wenn Sie einen Aufsatz benutzen, der oben schmal ist. Wer mag, kann auch als Verjüngung eine Tülle aus Papier basteln und an den Föhn kleben, sodass die Luft aus einer kleineren Öffnung strömt.

Legen Sie den Tischtennisball vorsichtig in den Luftstrom. Er schwebt! Neigen Sie den Föhn zur Seite und versuchen Sie,

den Ball möglichst lange im schräger werdenden Luftstrom zu halten. Der Ball entfernt sich immer weiter vom Gebläse – bis er schließlich herunterfällt.

Bauen Sie sich einen Schwebe-Parcours! Hängen Sie einfache Drahtkleiderbügel mit einer Schnur von der Decke herab. Führen Sie den Föhn unter den Kleiderbügeln hindurch und lassen Sie Ihren Tischtennisball so durch die Bügel »klettern«.



Probieren Sie, ob Sie zwei Bälle im Luftstrom balancieren können. Mir gelingt es immer nur für ein paar Sekunden, aber vielleicht sind Sie geschickter.

Wenn Sie viel Puste haben, probieren Sie es mit einem auseinandergeschraubten Kugelschreiber. Nehmen Sie die Innereien heraus, sodass Sie das Vorderteil als Düse nutzen können. Legen Sie den Kopf in den Nacken und pusten Sie kräftig hindurch. Versuchen Sie, den Tischtennisball auf dem schmalen Luftstrom schweben zu lassen.

Leichter geht es so: Eine kleine Styroporkugel (aus dem Bas telgeschäft) können Sie mit der Kugelschreiber-Düse viel höher pusten als den Tischtennisball. Noch bequemer geht es mit einem Knick-Strohhalm. Profis bauen mit einem Draht noch einen

Spiralkorb vorn um den Strohhalm, aus dem heraus man den Ball fliegen lassen kann – und in dem er wieder landet.

### **Was steckt physikalisch dahinter?**

Zwei bemerkenswerte Dinge sind hier zu beobachten: dass der Ball so stabil schweben kann und dass er sich im schrägen Luftstrom weiter von der Düse entfernt.

Schauen wir erst einmal, warum der Ball überhaupt schwebt. Ihm geht es wie einem Elternteil in einer Familie: Es wird von mehreren Seiten gezogen und geschoben, und am Schluss passiert gar nix mehr. Physikalisch gesprochen: Die beiden Kräfte, die hier wirken, heben sich auf. Die Gewichtskraft (auch Schwerkraft genannt) zieht den Ball nach unten, die Luft aus dem Föhn drückt ihn nach oben. Der Ball pendelt sich auf der Höhe ein, wo sich die Gewichtskraft und die Staukraft aus dem Föhn genau aufheben.

Wenn Sie den Föhn schräg halten, wird es kompliziert. Im schrägen Luftstrom sackt der Ball durch die Gewichtskraft ein wenig Richtung Boden. So strömt die Luft deutlich schneller über ihn hinweg als unter ihm hindurch.

Warum fällt der Ball nicht runter? In den meisten Büchern wird dies mit dem Bernoulli-Effekt erklärt. Dieser besagt ganz grob, dass in einem schnelleren Luftstrom ein niedrigerer Druck herrscht. Hier hieße das: Über dem Ball strömt die Luft schneller als unter ihm. Der Luftdruck unter dem Ball ist also höher. Er wirkt der Gewichtskraft entgegen und stabilisiert den Ball im Luftstrom.

Leider lässt sich das Bernoulli-Prinzip bei unserem Föhn nicht korrekt anwenden. Es gilt nämlich nur, wenn die Luft in einem eng begrenzten Raum strömt, zum Beispiel in einem Rohr. Das ist bei unserem Föhn ja nicht der Fall. Hier ist so viel Luft drumherum, dass die Raumluft einen Unterdruck einfach ausgleichen würde.

Es muss also eine andere Erklärung her, warum der Ball nicht runterfällt! Physikalisch sauber wird die Sache, wenn man sich überlegt, was mit der Luft passiert, die am Ball entlanggleitet. Gase und Flüssigkeiten neigen nämlich dazu, sich von gekrümmten Oberflächen umleiten zu lassen. Lassen Sie mal einen Wasserstrahl aus dem Wasserhahn über die Rückseite eines Löffels fließen: Der Strahl folgt dem gewölbten Verlauf des Löffels und wird seitlich abgelenkt. Dies wird Coandaeffekt genannt.

Gleichzeitig spüren Sie, dass der Löffel ein wenig in den Stahl hineingezogen wird. Isaac Newton hat festgestellt, dass es zu jeder Kraft eine gleichgroße Gegenkraft geben muss – Actio gleich Reactio. Der Löffel übt eine Kraft auf den Wasserstrahl aus und lenkt ihn ab. Dadurch entsteht eine Gegenkraft: Der Strahl zieht den Löffel an sich heran.

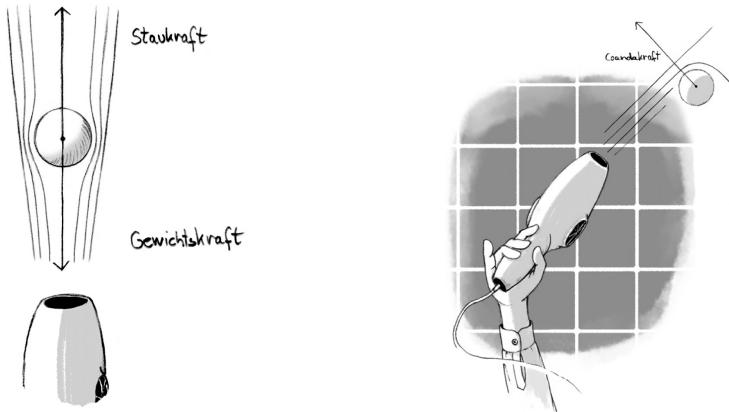
So können wir auch die Strömung über dem Tischtennisball betrachten, wenn wir den Föhn schräg halten. Der Ball übt eine Kraft auf den Luftstrom aus und lenkt ihn ab. Gleichzeitig übt der Luftstrom eine Gegenkraft auf den Ball aus, und der Ball wird in Richtung des Luftstroms gezogen. Actio gleich Reactio.

Das Fazit lautet also: Nicht Bernoulli und sein Gesetz von schnellerer Strömung und niedrigem Druck halten den Ball im schrägen Strom. Diese Ehre gebührt der durch den Ball umgelenkten Föhnluft selbst, die den Ball stabil schweben lässt.

### **Warum wandert der Ball im schrägen Luftstrom vom Föhn weg?**

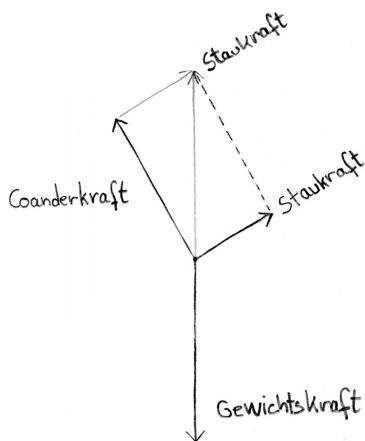
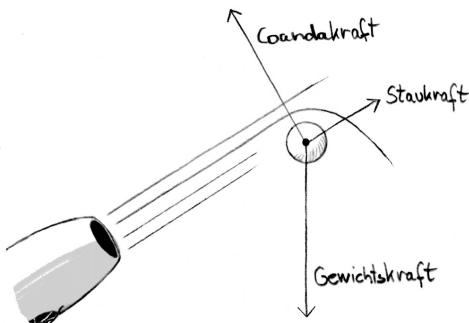
Lassen Sie uns nun das zweite Phänomen klären, nämlich den größeren Abstand des Balls vom Föhn im schrägen Luftstrom. Kurz gesagt: Im geraden Strahl wird der Ball im Gleichgewicht gehalten durch seine Gewichtskraft und die Staukraft aus dem Föhn, die der Gewichtskraft entgegen wirkt. Der Ball schwebt an der Stelle, an der die beiden Kräfte genau gleich groß sind. Im

schrägen Luftstrom wird der Ball zusätzlich durch die Ablenkung des Luftstroms und die entsprechende *Gegenkraft* gehalten. Diese Kraft möchte ich hier Coandakraft nennen. Weil die Coandakraft den Ball hält, braucht er weniger Staukraft aus dem Föhn, um zu schweben. Die Staukraft ist logischerweise nahe am Föhn größer als etwas weiter weg, wo der Luftstrom langsamer wird. Der Ball kann es sich leisten, etwas Abstand zu nehmen.



Wer es genauer wissen will, muss den Punkt berechnen, an dem sich Staukraft, Gewichtskraft und Coandakraft gegenseitig aufheben. Hier hilft uns die Mathematik. Mathematisch darf man Kräfte genauso behandeln wie Vektoren: Man darf sie als Pfeile zeichnen und parallel verschieben, um sie zu addieren. So findet man heraus, wie Kräfte in der Summe wirken.

In der Zeichnung auf der nächsten Seite könnten wir die Staukraft parallel hochschieben – die Richtung, in die sie wirkt, ist ja immer noch gleich. Wenn wir nun vom Ball einen Pfeil zeichnen zu dem Punkt, an dem unsere Staukraft endet, ist dieser Pfeil genauso lang wie der Pfeil für die Gewichtskraft. Und er zeigt in die entgegengesetzte Richtung! Dies ist also der Punkt, an dem sich alle Kräfte ausgleichen. Deshalb schwebt der Ball dort.



Bemerkenswert ist, dass der Staukraft-Pfeil jetzt kürzer ist als im Fall der senkrechten Strömung. Das muss so sein! Wäre die Staukraft größer, würde sie sich nicht mehr mit den anderen Kräften ausgleichen, und der Ball würde vom Gebläse weg beschleunigt. Einen stabilen Zustand kann es nur an der Stelle geben, wo die Staukraft kleiner ist – und das ist weiter weg vom Gebläse, nämlich dort, wo die Strömung langsamer wird.