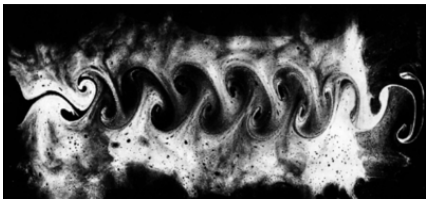
Die Kármánsche Wirbelstraße



Einleitung

Leonardo da Vinci als Strömungsforscher

Sicherlich kennst Du den Maler Leonardo da Vinci (1452-1519). Sein berühmtes Gemälde von der „Mona Lisa“ hast Du bestimmt schon einmal gesehen.

Wusstest Du aber, dass Leonardo da Vinci auch ein großartiger Erfinder, Naturwissenschaftler und Forscher war?

Ab 1482 arbeitete Leonardo als Ingenieur in Mailand, um ein Kanalsystem zu bauen. Dazu entwarf er verschiedene Geräte wie schwimmende Bagger, Wasserräder oder fahrbare Brücken.

Besonders fasziniert war Leonardo von der Bewegung des Wassers und der Luft. Er versuchte seine Beobachtungen mit dem Zeichenstift festzuhalten, wodurch viele Skizzen vom Verhalten der Wasser- und Luftströmungen entstanden. Leonardo da Vinci beobachtete, dass sich das Wasser nicht von allein, sondern durch eine Strömung bewegt wird.

Die Abbildung auf der rechten Seite zeigt, wie sich Wasser verhält, das an einem Stab oder an einem Hindernis vorbeifließt. Leonardo versuchte, in den wilden, unüberschaubaren Wasserbewegungen Formen zu erkennen und diese zu zeichnen. Um die Bewegung des Wassers besser beobachten zu können, hatte Leonardo die Idee, Pulver auf die Wasseroberfläche zu streuen. Dies machen Strömungsforscher auch heute noch.

Aufgabe 1

Material: Flache Wanne, Korkmehl, Finger oder Lineal, DIN A4 Blatt, Bleistift

Arbeitsauftrag: Probiere es doch einmal selbst aus. Fülle dazu eine flache Wanne mit Wasser und streue Korkmehl auf die Oberfläche. Tauche einen oder zwei Finger ins Wasser und ziehe die Hand mit verschiedenen Geschwindigkeiten durch das Wasser. Du kannst dazu auch ein flaches Lineal verwenden.

Welche Strömungsmuster kannst Du im Wasser erkennen …

a) bei niedrigen Geschwindigkeiten?

b) wenn Du die Geschwindigkeit erhöhst?

Versuche die Strömungsmuster wie Du sie siehst auf einem DIN A4 Blatt nachzuzeichnen.

Die Kármánsche Wirbelstraße

Wirbelstraße in einem Glyzerin-Wassergemisch

Die interessanteste Strömungsform ist die Kármánsche Wirbelstraße, die Du im linken Bild sehen kannst.

Sie wurde 1910 von dem ungarischen Ingenieur und Mathematiker Théodore von Kármán, (1881-1963) entdeckt.

1911 befasste sich Kármán näher mit diesem Phänomen und fand Wirbel, die sich abwechselnd ablösen. Diese Wirbel haben entgegengesetzte Drehrichtungen, d.h. immer wenn sich ein Wirbel abgelöst hat und sich ein neuer bildet, wechselt die Strömungsrichtung am Körper.

Die Bezeichnung „Straße“ rührt angeblich von der Ähnlichkeit der Strömungsform mit den gleichmäßig gegeneinander versetzten Fußstapfen von Passanten her.

In der Natur treten solche Wirbelstraßen in Wolkenfeldern auf.

Auf der Abbildung kannst Du eine Wirbelstraße sehen, die hinter Madeira in einem Wolkenfeld entstanden ist.

Die Ursachen für die Ausbildung der Wirbelstraße können eine Bergspitze oder die Auftriebsströmung der Luft an einem erwärmten Berghang sein.

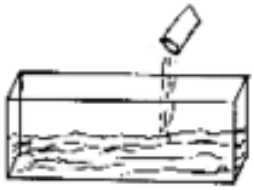
Satellitenbild einer Wirbelstraße in einem Wolkenfeld

Aufgabe 2

Material: Wanne, Marmorierfarben, Tapetenkleister, dickes weißes DIN A4 Papier, Kleenextücher, Handschuhe, Schürze oder alte unempfindliche Kleidung

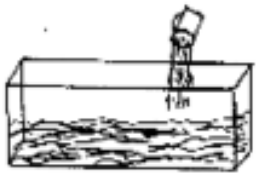
Arbeitsauftrag: Führe die folgenden Arbeitsanweisungen aus.

Tipp: Baue die Station direkt neben einem Waschbecken auf.



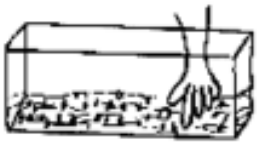
1. Rühre den Kleister je nach Gebrauchsanweisung auf der Verpackung an.

2. Füge Wasser in den angerührten Kleisterbrei, bis eine fast wässrige Lösungsmischung entsteht.

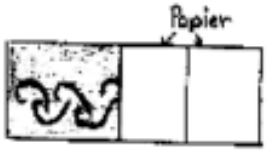


3. Ziehe nun die Handschuhe an und verteile die Marmorierfarben gleichmäßig auf die Lösungsoberfläche.
Achtung: nur wenig Farbe verwenden!

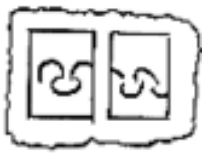
4. Tauche einen oder zwei Finger in die Lösung und ziehe sie mit gleicher Geschwindigkeit von einem zum anderen Ende der Wanne. Dies kannst du solange wiederholen, bist du eine sehr schöne Wirbelstraße hergestellt hast.
Wenn sich die Wirbel nicht vom Finger ablösen, Du also nur einen Strich erhältst, musst Du die Flüssigkeit noch etwas mit Wasser verdünnen. Wenn die Wirbel nicht stehenbleiben musst Du ein wenig warten, bis der Kleister nachdickt oder Du kannst versuchen ein wenig angerührten Kleister mit hereinzumischen.



5. Nun wird die Wirbelstraße fixiert. Dazu brauchst du 3 bis 4 weiße Papierblätter. Diese werden für zirka 5 Sekunden auf die Lösungsoberfläche gelegt.

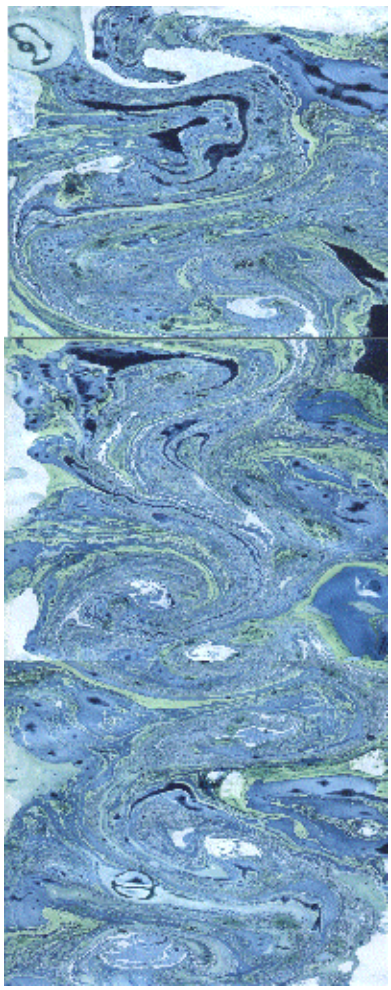


6. Ziehe das Papier vorsichtig von der Lösungsoberfläche ab.
Spüle die restliche Farbe ab, indem du das Papierblatt unter einen kalten, fließenden Wasserstrahl hältst.

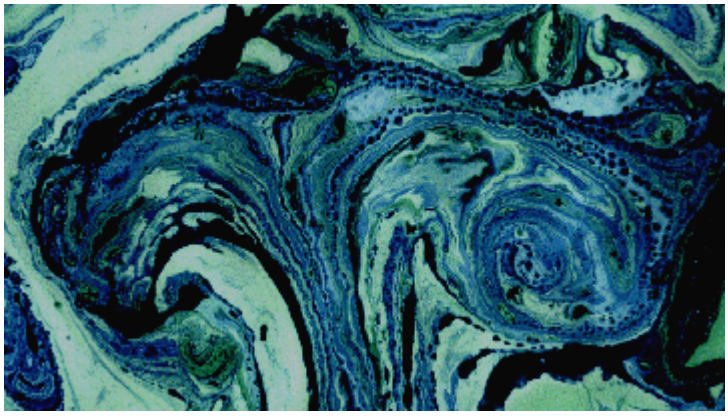


7. Lege die Blätter zum trocknen mit dem Bild nach oben auf Kleenextücher.

Unsere schönste Kármánsche Wirbelstraße.



Hier siehst Du unsere schönste Wirbelstraße.
Wir hatten bei der Gestaltung der Straßen so viel Spaß, dass noch viele andere Bilder entstanden sind. Nur leider können wir hier nicht alle ausstellen.
Du kannst aber selbst Deine eigenen Wirbelstraßen basteln. Welche Farben Du dafür verwendest, ist Dir überlassen.
Ihr könnt ja Eure fertigen Bilder in der Klasse oder im Flur wie in einer Galerie ausstellen oder auch Hefte und Bücher damit bekleben (achtet darauf, dass Ihr dann auch klare selbstklebende Buchfolie darüber klebt).



Auf dem rechten Bild kannst Du zwei Wirbel sehen, die sich in entgegengesetzter Richtung voneinander zur Seite wegdrehen. Man sagt auch, die Wirbel lösen sich ab. In den Wirbelzentren kannst Du die Kerne gut erkennen.

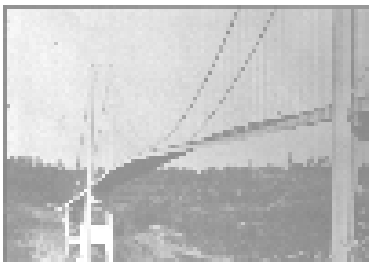
Aufgabe 3

Material: Marmorierte Wirbelstraße, Klarsichtfolie DIN A4, Folienstifte, Briefklammern, Overheadprojektor

Arbeitsauftrag: Wähle von Deinen Wirbelstraßen die aus, die Dir am besten gefällt. Befestige mit den Briefklammern die Klarsichtfolie auf Deiner Wirbelstrasse, so dass sie nicht verrutschen kann. Zeichne nun mit einem Folienstift die Wirbelstrasse nach. Nimm die Folie vorsichtig wieder von deinem Blatt ab.
Beschreibe kurz die charakteristischen Eigenschaften der Wirbelstrasse:

Lege deine Folie auf den Overheadprojektor, zeige deinen Mitschülern die Wirbelstrasse. Ihr könnt auch zwei Wirbelstrassen übereinanderlegen und diese vergleichen.

Kármánsche Wirbelstraße im Alltag: Der Einsturz der Tacoma-Brücke



Im Juli 1940 wurde im Staate Washington eine zwei Kilometer lange Hängebrücke fertiggestellt. Diese Brücke wurde als „galoppierende Gertie“ bezeichnet, da sie schon bei sehr schwachen Windgeschwindigkeiten (5-8 km/h) anfing bis zu einem Meter auf und ab zu schaukeln. Am Vormittag des 7. November 1940 betrug die Windgeschwindigkeit 67 km/h, verursacht durch einen nächtlichen Sturm. Dadurch schwang zwar der mittlere Teil der Brücke etwas stärker, doch die Gesamtbewegung der Brücke schien wie jeden Tag zu sein. Einige Minuten später veränderte sich ganz plötzlich die Bewegung der Brücke. Das gleichmäßige Auf und Abschwingen wurde durch eine heftige spiralförmige Drehbewegung abgelöst, die sich in kürzester Zeit noch verstärkte. Der eine Fahrbahnrand schwang so kräftig hin und her, dass er einmal 9 Meter höher und dann wieder 9 Meter tiefer lag als der andere Fahrbahnrand. Die in der Mitte der Brücke befindlichen Tragekabel zogen und zerrten in entgegengesetzten Richtungen, so dass die Fahrbahn um etwa 45° aus ihrer ursprünglichen Lage nach rechts und links gekippt wurde. Etwa eine halbe Stunde lang hielt die Brückenkonstruktion größten Belastungen stand, bevor sie zusammenbrach und sechzig Meter tief hinab stürzte.

Schuld an dem Einsturz war eine Kármánsche Wirbelstraße, die sich hinter den Seitenplatten der Brücke ausgebildet hatte. An den Plattenrändern lösten sich die Wirbel periodisch ab und regten so die Brücke zum Schwingen an. Unglücklicherweise war die Anregungsfrequenz durch die Wirbel gleich der Eigenfrequenz der Brücke, so dass der Resonanzfall eintrat. Die periodisch auf die Brücke wirkenden Kräfte verstärkten sich immer mehr, bis die Brücke diesen Kräften nicht mehr standhielt und einstürzte.

Nach dieser Katastrophe wurde zum ersten Mal erkannt, dass bei der Planung von Brücken und anderen Bauwerken Belastungen durch Windströmungen berücksichtigt werden müssen. Damit es nicht noch einmal zu einer solchen Katastrophe kommt, wurden bei Nachfolgebauten, wie der Golden-Gate- Bridge, die Seitenwände mit großen Löchern versehen oder durch ein Gitter ersetzt. Zusätzlich wurden Schlitze in die Fahrbahn geschnitten, damit sich der Druckunterschied über und unter der Fahrbahn ausgleichen kann.

Aufgabe 4

Material: Stift

Arbeitsaufgabe: Beschreibe kurz die physikalischen Ursachen, die zum Einsturz der Brücke im Text genannt werden!