

# FORSCHEN UND ENTWICKELN

Natur und Technik aus  
interdisziplinärer Sicht

August 2015  
© VDI Verein Deutscher Ingenieure e.V., Düsseldorf 2015  
All rights reserved.  
Printed in Germany.

# Unterrichtsentwurf 4: Die Kraft der Wärme

## Zum Thema

Die Weihnachtspyramide – ein Aufwindkraftwerk?

## Zur Sache

### Konstruktiver Aufbau und Funktionsweise einer Weihnachtspyramide

Eine Weihnachtspyramide ist technisch gesehen eine einfache Form einer Wärmekraftmaschine. Eine Wärmekraftmaschine ist eine Maschine, die Wärmeenergie in mechanische Energie umwandelt.

Die Weihnachtspyramide besteht aus folgenden Bauteilen: Gestell, Kerzen, Flügel, Flügelrad, Welle, Drehteller.

Bei der Weihnachtspyramide wird durch brennende Kerzen Luft erwärmt, die nach oben steigt und damit die Flügel eines Flügelrades bewegt. Das Flügelrad ist mit einer senkrecht stehenden Welle verbunden, die die Bewegung auf einen Drehteller überträgt. Die auf dem Drehteller befindlichen Figuren werden dadurch in Drehung gebracht.

### Konstruktiver Aufbau und Funktionsweise eines Aufwindkraftwerks

Ein Aufwindkraftwerk besteht prinzipiell aus folgenden Grundbauteilen: Glasdach, Kamin, Turbine.

Sonnenstrahlung (Solarenergie) erwärmt die unter dem Glasdach befindliche Luft. Die erhitzte Luft steigt durch den Kamin nach oben (Bewegungsenergie) und durchströmt dabei eine im unteren Teil befindliche Turbine. Die vertikal gerichtete Bewegung der Luft wird in eine Drehbewegung in der Turbine gewandelt, die dann in elektrische Energie umgewandelt wird.

### Physikalische Prinzipien

Diese Konstruktionen nutzen das thermodynamische Prinzip der Luftströmung infolge von Dichteunterschieden in der Luft. Dabei hat heiße Luft eine geringere Dichte als kalte, wodurch eine vertikal gerichtete Luftströmung entsteht (natürliche Konvektion). Dieser Effekt wird auch **Kamineffekt** genannt.

**Kamineffekt:** Eine Wärmequelle erwärmt Luft. Diese dehnt sich aus, d. h. Temperatur ( $T$ ) und Volumen ( $V$ ) der Luft steigen dabei und die Dichte ( $\rho$ ) der Luft sinkt. Die Außenluft besitzt eine geringere Temperatur und damit eine größere Dichte. Damit entsteht ein



Abbildung 1: „Moderne Weihnachtspyramide mit Krippe“ von Richard Huber – Eigenes Werk. Lizenziert unter CC BY-SA 3.0 über Wikimedia Commons (Quelle: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Moderne\\_Weihnachtspyramide\\_mit\\_Krippe.jpg#/media/File:Moderne\\_Weihnachtspyramide\\_mit\\_Krippe.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Moderne_Weihnachtspyramide_mit_Krippe.jpg#/media/File:Moderne_Weihnachtspyramide_mit_Krippe.jpg))

Dichteunterschied (Differenzdruck  $\Delta p$ ), der die Luft zum Strömen bringt: die kalte Außenluft wird durch die untere Kaminöffnung gezogen und die erhitzte Luft wird nach oben gedrückt. Beim Aufsteigen kühlt die Luft wieder ab, zieht sich zusammen (die Dichte wird größer) und sinkt wieder zu Boden. Daher steigt warme Luft nach oben und kalte Luft sinkt nach unten!

Der Differenzdruck  $\Delta p$  ist nicht nur vom Dichteunterschied  $\Delta \rho$ , sondern auch direkt von der Höhe  $h$  des Kamins abhängig. Die Strömung im Kamin kann also sowohl durch den Dichteunterschied als auch die Kaminhöhe beeinflusst werden:

- Große Temperaturunterschiede erzeugen große Dichteunterschiede und damit starke Luftströmungen.
- Hohe Kamine erzeugen große Dichteunterschiede und damit starke Luftströmungen.

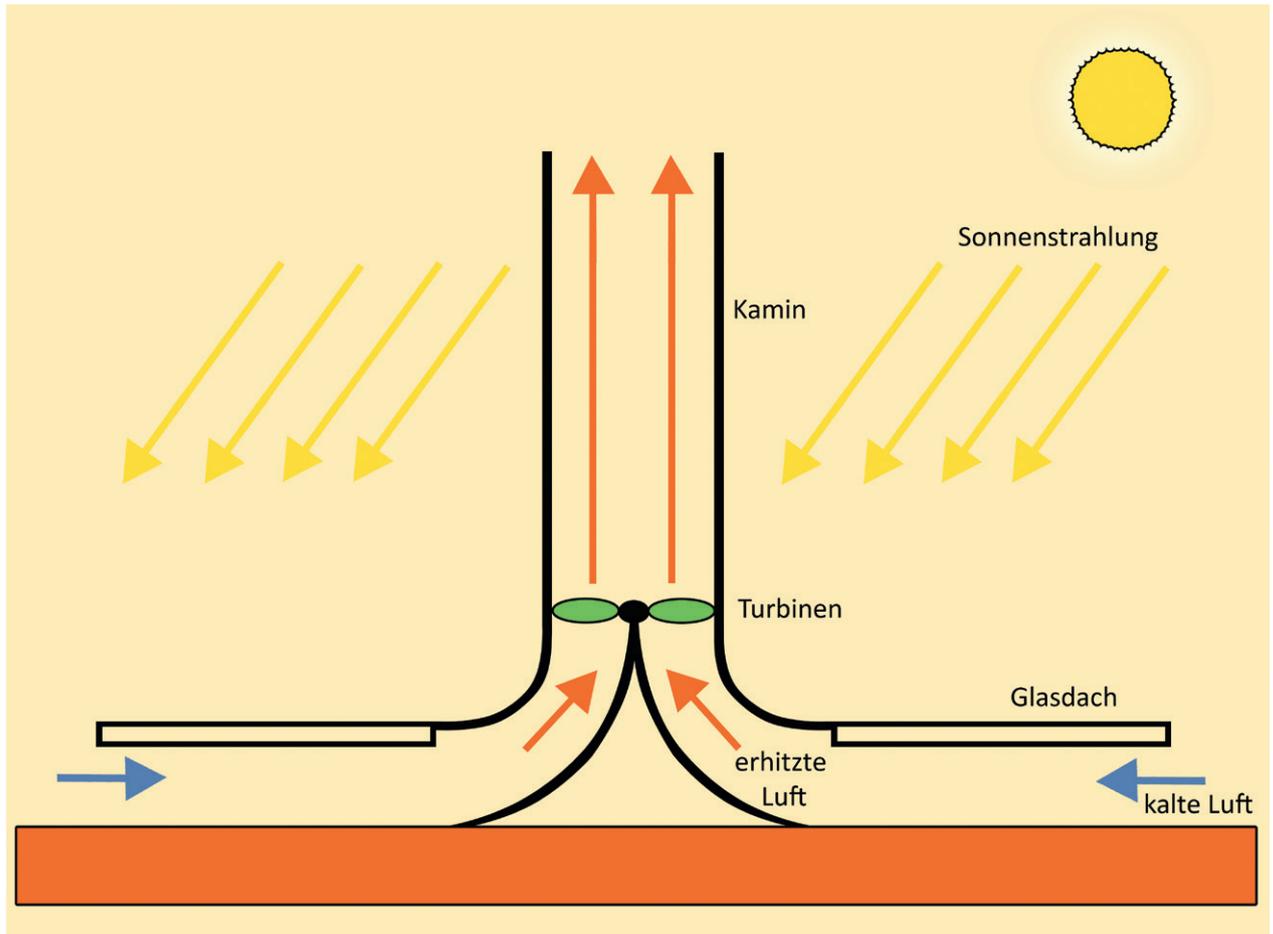


Abbildung 2: Prinzip eines Aufwindkraftwerks (Quelle: Nach Schlichting & Ucke (2002), S. 286)

### Technische Problemstellungen für die Konstruktion eines Aufwindkraftwerks

#### 1. Erzeuge eine Luftströmung durch einen Wärmeunterschied!

Eine technische Aufgabe besteht darin, eine Luftströmung (Dichteunterschied) zu erzeugen und dazu konstruktive Lösungen zu finden.

Bei der Weihnachtspyramide wird der Dichteunterschied der Luft durch **Abbrennen der Kerzen** erzeugt. Im Aufwindkraftwerk wird der **Glashaus-effekt** benutzt, um den Dichteunterschied der Luft zu erzeugen. Dieser Effekt beruht darauf, dass durch Glasöffnungen in Dächern und Wänden Sonnenlicht in Räume eintritt und den Innenraum erhitzt. Beispielsweise werden in parkenden Autos bei Sonnenschein sehr hohe Temperaturen erreicht.

#### 2. Nutze die Luftströmung als Antrieb!

Eine weitere technische Aufgabe ist die Nutzung der erzeugten Luftströmung als Antrieb.

Bei der Weihnachtspyramide sollen sich Figuren drehen. Beim Aufwindkraftwerk soll technisch nutzbare Energie (z. B. elektrische Energie) gewonnen werden.

#### Literatur:

Schlichting, H. J. & Ucke, C.: Thermodynamische Entzauberung. In: Physik in unserer Zeit. 33. Jahrgang 2002, Nr. 6, S. 284–286

### Zur Interdisziplinarität

Kern des Unterrichts ist ein Phänomen der Natur, welches für die Gewinnung von elektrischer Energie technisch nutzbar gemacht wird. Dabei soll zunächst die Funktionsweise einer Weihnachtspyramide ergründet und das natürliche Phänomen dann auf die technische Nutzung, wie z. B. ein Aufwindkraftwerk, übertragen werden.

## Zum Handlungsprinzip

Dieser Unterrichtseinheit liegt die Verknüpfung der Handlungsprinzipien Forschen und Entwickeln zugrunde. Ausgehend von einem technischen Artefakt wird das seiner Funktion zu Grunde liegende Phänomen der Natur ergründet, um dann technische Nutzungen zu ermitteln, die ein menschliches Problem lösen.

## Zum Unterricht

In diesem Unterricht steht zunächst einmal die Ergründung einer naturwissenschaftlichen Fragestellung im Zentrum des Geschehens. Dabei sollen mit Hilfe einer Weihnachtspyramide Phänomene von Luftströmungen kennengelernt werden. Hier wird mit Schülerexperimenten handelnd erarbeitet. Schwierigkeitsgrade können dabei je nach Kompetenzen der Lernenden durch weiterführende Versuche erhöht werden. Auf die Erkundungsphase folgend sollen die Schülerinnen und Schüler einen technischen Anwendungsbereich für das Phänomen ermitteln. In einer technischen Umsetzungsphase wird dann die Funktionsweise von Aufwindkraftwerken in einem Modell nachgeprüft. Weitere technische Anwendungen werden gesucht und vertieft die Erkenntnisse.

## Zum Kompetenzzuwachs

Experimentieren, Erfinden, Sachwissen, Recherchieren, Analysieren, Strukturieren, Bewerten, Entscheiden, Planen, Bearbeiten, Konstruieren.

## Zum Material

- Teelichter
- DIN A3 Pappen
- Klarsichthüllen
- Schere, Cuttermesser
- Tesafilm
- Strohhalme
- Knete
- Stecknadel
- Korken
- Papier
- Weihnachtspyramide
- Thermometer
- weiße und schwarze Pappe

## Zum methodischen Zugang

Erforschend, konstruierend

## Zur Problemstellung

Wie kann das Phänomen der Luftströmungen für Energiegewinnung genutzt werden?

## Themen der notwendigen Unterrichtssequenzen

- I. Zum Funktionsprinzip einer Weihnachtspyramide (ca. 45 min.)
- II. Wir bauen ein Modell eines Aufwindkraftwerks nach (ca. 90 min.)

## Unterrichtssequenz I

Zum Funktionsprinzip einer Weihnachtspyramide

## Zum Kompetenzzuwachs

Recherchieren, Analysieren, Strukturieren, Hypothesen bilden, Hypothesen überprüfen

## Zum Material

- Weihnachtspyramide
- Thermometer
- Rohr
- Stativ
- Infrarotstrahler
- Arbeitsblatt

## Zum methodischen Zugang

Die Schülerinnen und Schüler vermuten die Funktionsweise einer Weihnachtspyramide und überprüfen ihre Vermutung mit Hilfe von Schülerexperimenten.

## Zur Problemstellung

Wie funktioniert die Weihnachtspyramide?

## Unterrichtsgeschehen

t	Geplanter Unterrichtsverlauf	Arbeits-, Sozial-, Aktionsform	Medien, Material	Didaktisch-methodischer Kommentar	Weiterführender Impuls
5	L stellt Weihnachtspyramide ohne Kerzen in den Stuhlkreis.	UG	Weihnachtspyramide		„Wisst ihr, was das ist? Ich habe es gestern auf einem Flohmarkt gekauft und es funktioniert gar nicht.“
	L demonstriert Funktionsunfähigkeit durch Pusten. SuS erkennen Gegenstand und beschreiben ihn. SuS formulieren Problem: Istzustand: keine Funktionsfähigkeit ohne aufsteigende Luft. Zielzustand: Funktionsfähigkeit Konflikt: Antriebsquelle	UG		Problem analysieren und strukturieren	
5	SuS machen Lösungsvorschläge. SuS nennen Teelichter und erklären Wirkweise (Luftströmung).	UG		Lösung suchen	„Wir gehen nun wie ihr beschrieben habt vor. Ich stelle Teelichter unter dieses Gerät.“
	SuS und L probieren Weihnachtspyramide aus.	UG		Lösung analysieren	„Dass warme Luft aufsteigt, müssen wir erst einmal beweisen.“
5	SuS machen Vorschläge. Alternativ: L zeigt Thermometer (stummer Impuls) und/oder nennt Möglichkeiten der Überprüfung der Raumtemperatur.	UG			„In Gruppenarbeit sollt ihr eure Vermutung überprüfen.“
20	SuS messen an verschiedenen Stellen im Schulgebäude oben und unten die Temperatur.	GA	AB 1 Thermometer	Lösung analysieren:	„Zu welchem Ergebnis seid ihr gekommen?“
10	SuS präsentieren der Gesamtgruppe ihre Ergebnisse.	UG	Plakate, Postkarten	Lösung bewerten	„Jetzt wissen wir, wie eine Weihnachtspyramide funktioniert.“  „Als Hausaufgabe überlegt ihr, wo der Kamineffekt noch für technische Zwecke genutzt wird. Notiert jede Anwendung einzeln auf einer Postkarte.“

**Arbeitsmaterial**

**Arbeitsblatt I**

„Steigt warme Luft nach oben?“

**Du brauchst diese Geräte und Materialien:**  
Thermometer

**So gehst du vor:**

Suche verschiedene Örtlichkeiten im Schulgebäude auf (z. B. Keller, Lehrerzimmer, Flur, Treppenhaus), miss dort oben (nahe der Decke) und unten (am Boden) die Temperatur!

Wie verändert sich die Temperatur? Schreibe deine Messergebnisse auf!

Örtlichkeit	Temperatur oben	Temperatur unten

**Arbeitsmaterial**

**Postkarte I: Notiere! Wo findest du überall Luftströmungen, die technisch genutzt werden?**



### Unterrichtssequenz II

Wir bauen ein Modell eines Aufwindkraftwerks nach.

### Zum Kompetenzzuwachs

Konstruieren, Bewerten

### Zum Material

- Pappkarton
- Klarsichthülle
- Teelichter
- Knete
- Papier
- Stecknadel
- Korken
- Strohhalme

### Zum methodischer Zugang

Die Schülerinnen und Schüler erkennen das Aufwindkraftwerk als technische Anwendung.

### Zur Problemstellung

Konstruktion eines Aufwindkraftwerkmodells

### Unterrichtsgeschehen

t	Geplanter Unterrichtsverlauf	Arbeits-, Sozial-, Aktionsform	Medien, Material	Didaktisch-methodischer Kommentar	Weiterführender Impuls
5	L bittet die SuS ihre Postkarten (Hausaufgabe) an die Pinnwand zu hängen.	UG	Pinnwand	Lösungen bewerten	„Welche Anwendungen des Kamineffekts habt ihr finden können?“
	SuS hängen Beispiele an. Auch das Aufwindkraftwerk ist darunter. Alternativ: Die Lehrkraft hängt auch Karten an, darunter das Aufwindkraftwerk.	UG	Pinnwand	Lösungen bewerten	„Welche Lösungen haben wir denn ...?“
10	SuS und L gehen die Postkarten durch, sortieren und erläutern sie (z. B. nach Wiederholungen).	UG		Lösung auswählen	„Wer kennt denn ein Aufwindkraftwerk?“
10	SuS erklären Alternativ: Die Lehrkraft zeigt Bild eines Aufwindkraftwerks. SuS erklären anhand des Bildes.		OHP	Lösung suchen	„Kann ein Schornstein denn so viel mehr aus einem Windrad heraus-holen?“
5	SuS diskutieren	UG			„Das müssen wir unter-suchen. Wie können wir das machen und was brauchen wir dafür?“

t	Geplanter Unterrichtsverlauf	Arbeits-, Sozial-, Aktionsform	Medien, Material	Didaktisch- methodischer Kommentar	Weiterführender Impuls
5	L zeigt Kiste mit Material. SuS nennen mögliche Konstruktion zur Überprüfung und benötigtes Material.		AB 1 AB 2	Lösung überprüfen	„Untersucht einmal die Wirkung des Kamins. Hilfe findet ihr auf der Anleitung.“
40	SuS bauen zunächst Windrad und führen Versuch 1 durch. Dann bauen sie einen Kamin und führen Versuch 2 durch.	GA	Material	Lösung bewerten	„Was habt ihr herausgefunden?“
	Anmerkung: Um zu ermitteln, wie oft sich das Windrad mit und ohne Kamin dreht, kann ein Klebepunkt unter einen der Flügel des Windrads geklebt werden und ein Flügel mit einem roten Punkt versehen werden. Nun lässt sich die Anzahl der Umdrehungen messen.				
25	SuS zeigen ihre Modelle, nennen ihre Ergebnisse und diskutieren.	UG		Lösungen bewerten	Anmerkung: Ggf. muss hier die Anbindung der Erfahrungen der Lernenden an die Luftströmung erfolgen und verbal gelenkt werden.

## Arbeitsmaterial

### Arbeitsblatt I (Differenzierungsblatt)

**„Wir bauen eine Wärmekraftmaschine!“**

#### **Du brauchst diese Materialien**

Papier, Stecknadel, Korkstück, Knete, Strohalm, Schere, Teelichter

#### **So gehst du vor**

Baue dir zunächst ein Windrad. Stelle einen Strohalm aufrecht in einen Klumpen Knete. Fülle den Strohalm am Kopf mit einem Klümpchen Knete. Stecke nun die Stecknadel durch die Mitte deines Windrads. Schiebe auf die Stecknadel ein Stückchen Korken. Stecke nun die Stecknadel in das Klümpchen Knete **horizontal**, so dass sich das Windrad frei drehen kann. Probiere dies durch Pusten aus.

Nun stelle unter das Windrad fünf Teelichter und zünde diese an. Was kannst du beobachten?

---

---

---

---

Kannst du herausfinden, wie oft sich das Rad in einer Minute dreht?

---

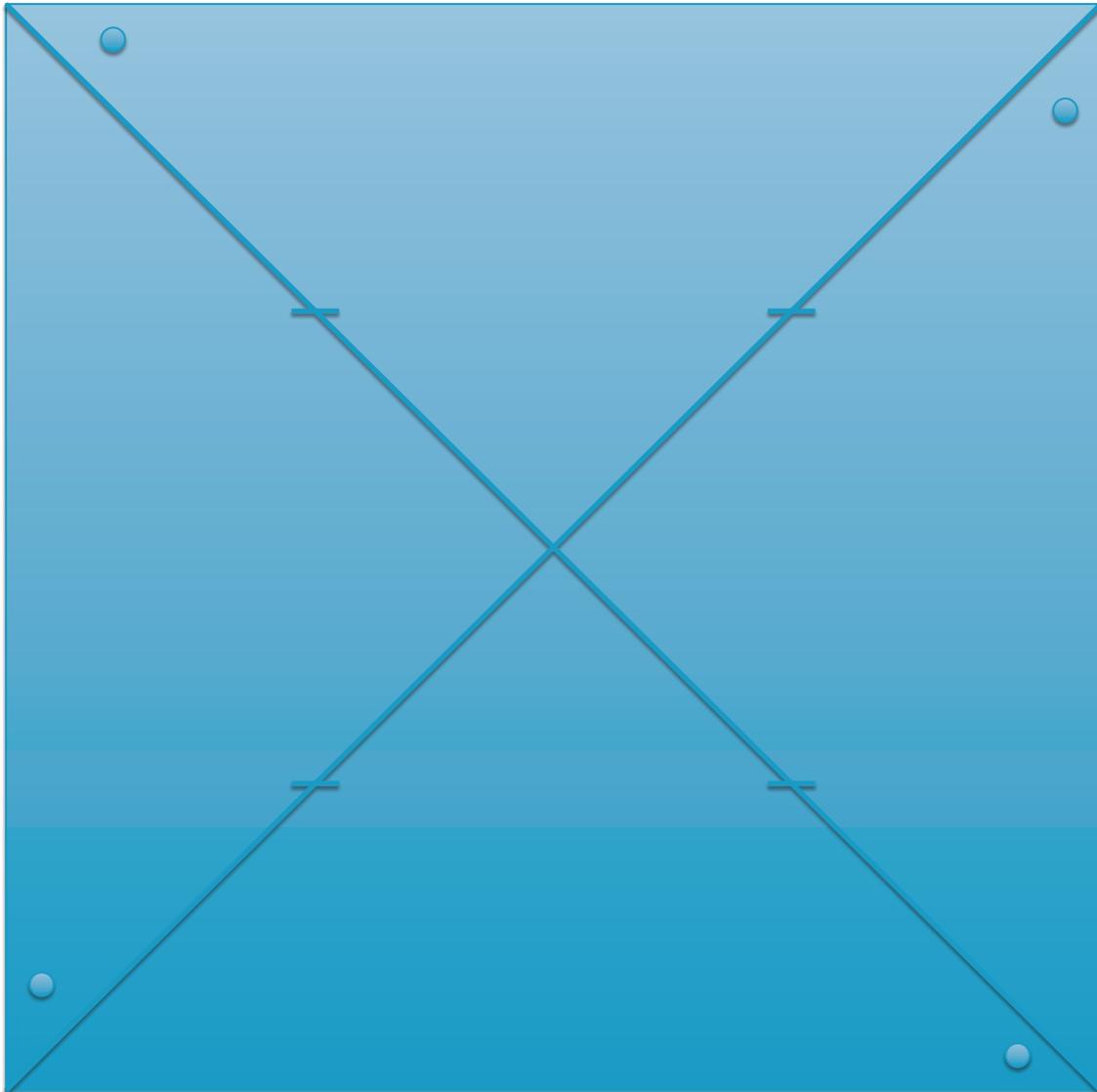
---

---

---

## Arbeitsmaterial

### Bauanleitung Windrad (Differenzierungsmaterial)



1. Schneide das Quadrat aus.
2. Knicke das Quadrat an seinen Diagonalen.
3. Schneide nun jeden Knick bis zur gekennzeichneten Linie mit einer Schere ein.
4. Biege nun die eingeschnittenen Spitzen mit dem Punkt zur Mitte des Quadrates um und durchstich die Punkte mit der Nadel.
5. Verfahre weiter wie in der Baueinleitung für dein Windrad.

## Arbeitsblatt II (Differenzierungsblatt)

„Wir bauen einen Kamin für das Aufwindkraftwerk.“

### Du brauchst diese Materialien

Pappe, Klarsichthülle, Klebstoff, Tesafilm

### So gehst du vor

Klebe mit Tesafilm zwei DIN A3 Pappen aneinander oder tackere sie zusammen. Rolle die Pappen nun zu einem Schornstein und verbinde die Enden fest miteinander.

Wenn du möchtest, kannst du noch ein Sichtfenster einbauen. Schneide in Höhe des Windrades ein Rechteck mit Hilfe eines Cuttermessers aus der Pappe, verklebe es mit der Klarsichthülle.

Nun stelle den Schornstein über dein Windrad. Achte darauf, dass von unten Luft in den Kamin strömen kann! Was kannst du beobachten? Notiere!

---

---

---

---

Kannst du herausfinden, wie oft sich das Rad jetzt in einer Minute dreht?

---

---

---

---

## Abbildungen

### Windrad



### Kamin

