

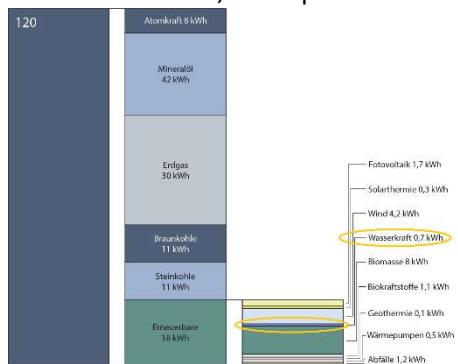
## Wie viel Wind steckt in Deutschlands Energiezukunft? (Teil 1 / 3 ):

Habt ihr euch schon einmal gefragt, welchen Beitrag Windkraft wirklich zur Energiewende leisten kann?

In diesem Quiz entdeckt ihr, wie viel Energie Deutschland aus Windkraft gewinnen könnte – ein zentraler Baustein auf dem Weg zur Klimaneutralität.

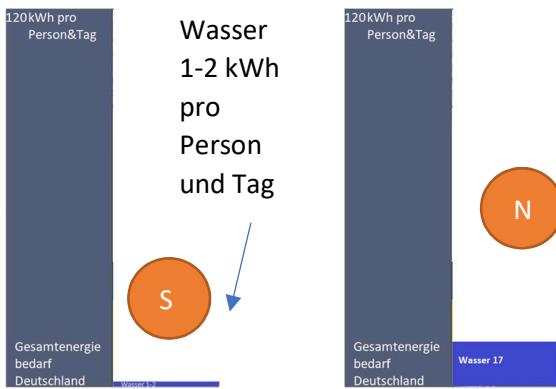
In rund 30 Minuten führt euch das Quiz Schritt für Schritt durch die physikalischen Grundlagen der Windenergie. Ihr müsst nichts selbst berechnen ☺, sondern könnt alles durch Überschlag lösen. Wer es noch genauer will, findet weitere Infos zu den Sternchen auf einem Extrablatt. ★★

Das ist der aktuelle Energiemix von Deutschland, bei dem die Wasserkraft 0,7kWh pro Person und Tag ausmacht.



**Wenn Deutschland die Wasserkraft maximal ausbauen würde, d.h. alle Kraftwerke bauen, die technisch könnte man dies als Graphik darstellen.**

Welche der unteren Darstellungen wäre die richtige?



Jede Form der Energiegewinnung hat ihre eigenen Grenzen - wie die Wasserkraft. Lassen Sie uns auf eine Reise gehen, um zu erkunden wo die Grenzen aber auch

Trotz aller Fortschritte in der Technik können wir Windräder nicht unbegrenzt effizient machen: **Wir können nicht die gesamte Energie aus dem Wind nutzen, sondern nur maximal 59% können in elektrische Energie umgewandelt werden.** Entnimmt man dem Wind Bewegungsenergie, so wird die Luft hinter dem Windrad langsamer. Irgendwann ist die Luft so langsam, dass sie die durch die Rotorblätter strömende Luft behindert. Das hat schon 1919 der deutsche Physiker A. Betz bewiesen.

**CODE:**

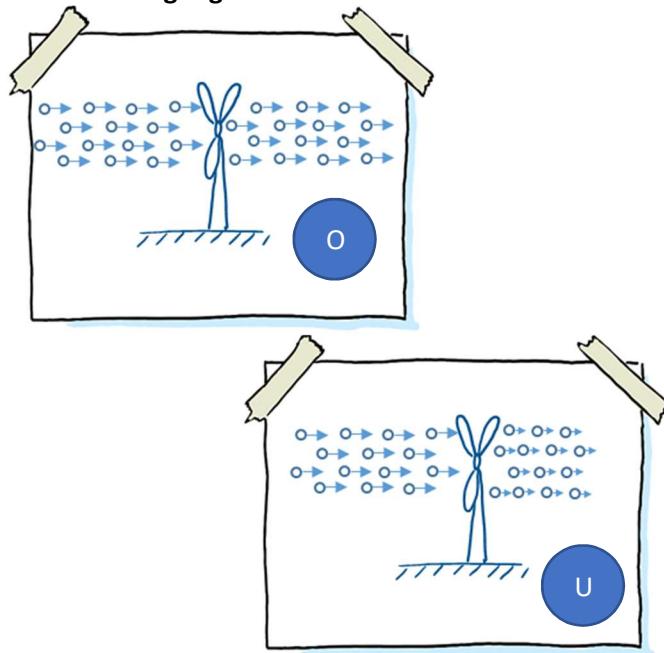
Löst die Aufgaben und tragt die Lösung bei diesem Link ein



## Wie kann man aus Wind elektrische Energie gewinnen?

- Die Luftteilchen bewegen sich bei Wind schnell. Sie besitzen Bewegungsenergie.
- Bei einer Windkraftanlagen stoßen die Luftteilchen gegen die Rotorblätter und übertragen dabei Teile ihrer Energie auf den Rotor und bringen diesen so zum Drehen.
- Mit dieser Drehbewegung kann, vergleichbar mit einem Fahrraddynamo, elektrische Energie gewonnen werden.

Die Abgabe von Energie hat aber auch eine Wirkung auf die Luftteilchen. Welche Graphik beschreibt die Teilchenbewegung am Windrad korrekt?



Die korrekte Aussagen bringt den letzten Buchstaben ☺

Windräder wandeln die Bewegungsenergie des Windes zu ca. 50% in elektrische Energie um.

Moderne Windräder können in Zukunft auch 80% der Energie des Windes in Strom umwandeln

N

S

## Wie viel Energie kann ein Windrad liefern? (Teil 2 /3 ):

Lasst uns mit einer Abschätzung zu einem mittelgroßen Windrad starten. Wenn wir annehmen, dass der Wind mit  $v_{Wind} = 6,5 \frac{m}{s}$  bläst und täglich rund  $m_{Luft} = 5,52 \cdot 10^9 \text{ kg}$  Luft die Rotorblätter umströmen, können wir etwa

$$E_{BewegungWind} = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{2} \cdot 5,52 \cdot 10^9 \text{ kg} \cdot \left(6,5 \frac{m}{s}\right)^2 = 1,17 \cdot 10^{11} \text{ J pro Tag}$$

das entspricht ca.  $E_{BewegungWind} = 32000 \text{ kWh pro Tag}$ !

Wieviel **elektrische** Energie kann ca. gewonnen werden?

- ①  $E_{elektrisch} = \text{ca. } 16000 \text{ kWh pro Tag}$
- ②  $E_{elektrisch} = \text{ca. } 32000 \text{ kWh pro Tag}$
- ③  $E_{elektrisch} = \text{ca. } 3000 \text{ kWh pro Tag}$

Nachdem die Luftteilchen, die ursprünglich mit  $v_{Wind} = 6,5 \frac{m}{s}$  das Windrad erreichen, einen Teil ihrer Energie übertragen, besitzen sie deutlich weniger Energie.

Überlegt strategisch welche Geschwindigkeit korrekt sein könnte?

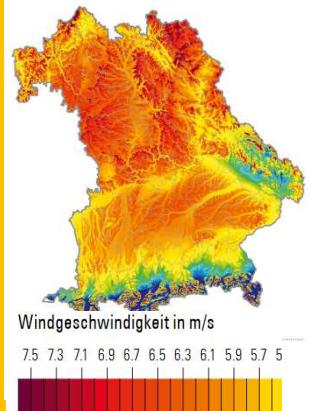
$$v_{nachWKA} = \text{② } 7,5 \text{ m/s} \quad \text{④ } 4,6 \text{ m/s} \quad \text{⑥ } 0,05 \text{ m/s}$$

An dieser Karte siehst du das  $v_{Wind} = 6,5 \frac{m}{s}$  ein sinnvoller Wert ist. Bestimmt die Höhe, auf die sich diese Karte bezieht.



(Die erste Ziffer gilt für den Code)

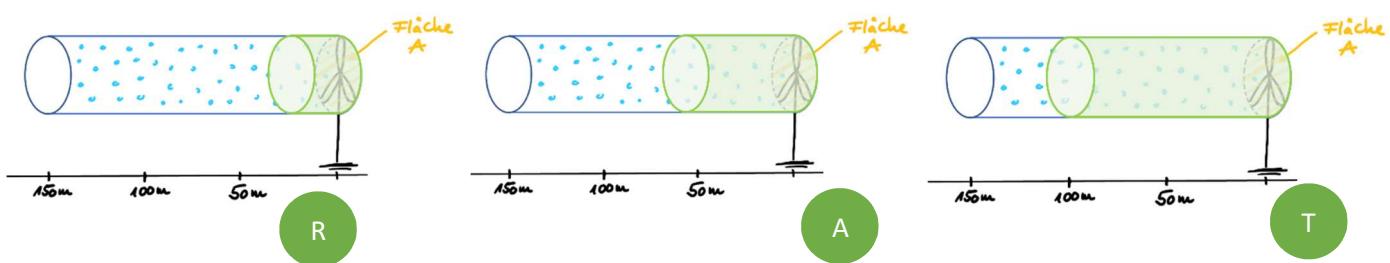
Lsg:  m über Grund



Die Formel aus dem **lila** Kasten zeigt, dass ein Windrad **mehr Energie** produziert, wenn die **Windgeschwindigkeit steigt**, sogar quadratisch.

Außerdem wird auch **auch die Masse**, die in einer bestimmten Zeit durch das Windrad strömt größer, wenn die **Windgeschwindigkeit steigt**. Das kann man sich gut am Luftschlauchmodell klarmachen. Der blaue Schlauch zeigt alle Teilchen die auf das Windrad zufliegen und die grüne Markierung zeigt die Luftteilchen, die in 10s den Rotor erreichen werden. Je länger der grüne Schlauch ist, um so mehr Masse erreicht das Windrad in dieser Zeit und umso mehr Energie wird erzeugt.

In welcher Zeichnung ist die Markierung korrekt angebracht, wenn der Wind mit  $6,5 \frac{m}{s}$  bläst?



Im **lila** Kasten wurde die Masse, die in einer Stunde durch das Windrad strömt, vorgegeben. Details → Extrablatt



Die Grafik im grünen Kasten hilft dir zu erkennen wovon die Masse abhängt.

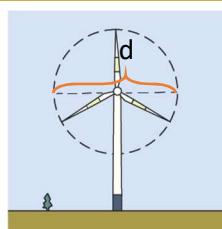
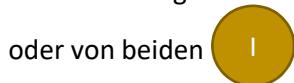
Von der Windgeschwindigkeit  $v_{Wind}$



vom Rotordurchmesser  $d$



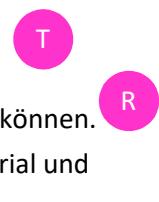
oder von beiden



Schaut euch alle Ergebnisse dieses Teils und findet die richtige Aussage.

Moderne Windräder werden immer höher gebaut. Woran liegt das?

- Sie sind stabiler
- Man kann mehr Energie erzeugen, weil in der Höhe die Windgeschwindigkeit steigt und die Rotoren größer sein können.
- Hohe Windräder haben kleinere Rotoren. Das spart Material und macht die Windräder günstiger



CODE:



CODE:

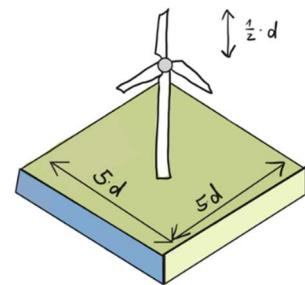


## Wie viel Energie kann die Windkraft theoretisch für ganz Deutschland liefern? (3/3)

Im **roten Kasten im Teil 2** ergab sich, dass  $v_{Wind\_nach\_Windrad}$  deutlich geringer ist als  $v_{Wind\_vorher}$ . => Baut man die Windräder ohne ausreichenden Abstand hintereinander so gewinnt man bei den hinteren Windrädern wenig Energie.

Als Faustregel gilt: Jedes Windrad mit Rotordurchmesser  $d$  beansprucht ein Quadrat mit der Kantenlänge  $5 \cdot d$ , da die Anlage sonst nicht genug Wind erhält.

Um abzuschätzen, wieviel Energie mit Windkraft pro  $km^2$  erzeugt werden kann betrachten wir ein mittelgroßes Windkraftwerk mit  $d = 100m$ . Dann passen genau **4 Windräder auf diese Fläche.** 



Im **lila Kasten** hat sich ergeben, dass ein mittelgroßes Windrad pro Tag 16 000 kWh elektrische Energie erzeugen kann. Bestimmt damit wie viel elektrische Energie auf einem  $km^2$  pro Tag erzeugt werden kann.

$$E_{ges} = \textcircled{2} \ 32000 \text{ kWh} \quad \textcircled{4} \ 80000 \text{ kWh} \quad \textcircled{6} \ 64000 \text{ kWh pro } km^2 \text{ pro Tag}$$

Wie viel Landfläche für Windkraft genutzt wird, ist eine politische Entscheidung z.B. könnten  $25000 \text{ km}^2$  auf der Landfläche von Deutschland genutzt werden. Ist das realistisch? Betrachte den Maßstab der Karte und bestimme wie viele große Rasterfelder du schraffieren musst, um diese Fläche zu kennzeichnen.   ,  (Die Ziffer hinter dem Komma)

1 Feld:  $100 \text{ km} \times 100 \text{ km} = 10.000 \text{ km}^2$

Wie viele Windkraftanlagen kann man auf den  $25000 \text{ km}^2$  aufbauen?

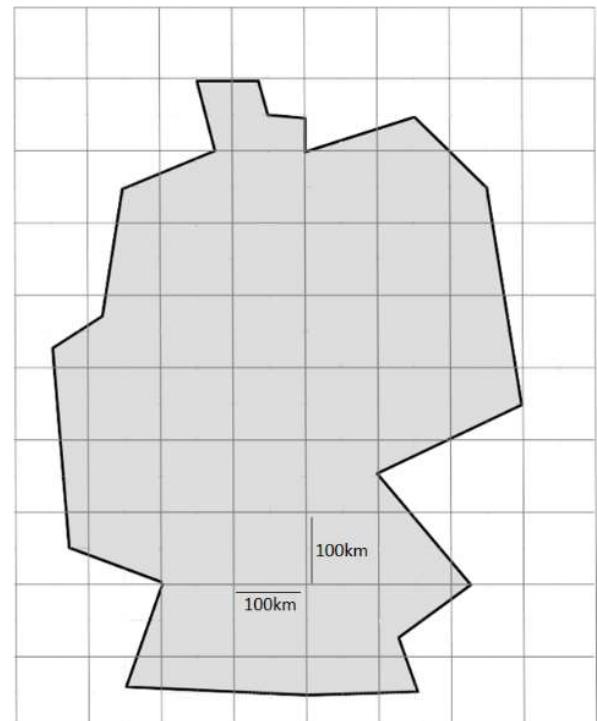
$$\text{Anzahl: } \textcircled{2} \ 100000 \quad \textcircled{4} \ 25000 \quad \textcircled{6} \ 10000$$

Insgesamt können auf dieser Fläche ( $25000 \text{ km}^2$ ) erwirtschaftet werden:

$$E_{ges} = 100000 \cdot 64000 \text{ kWh} = 1,6 \text{ Milliarden kWh pro Tag}$$

Auf Land (Onshore) könnte man mit diesem Konzept **20 kWh pro Tag pro Person** aus Windkraft gewinnen, denn  $E_{Onshore} = \frac{1600000000 \text{ kWh}}{80000000} = 20 \text{ kWh pro Tag pro Person}$  (in der BRD leben ca. 80 Millionen Menschen).

Man bräuchte allerdings 100 000 mittelgroße Windräder oder 40 000 hohe Windräder, die entsprechend mehr Energie erzeugen aber auch mehr Abstand benötigen. Die Fläche bliebe dabei gleich.



### Windkraft aus Offshore-Anlagen



Die Energie die pro  $km^2$  gewonnen werden kann, ist **Offshore** (also im Meer) **doppelt so groß wie auf Land**, weil der Wind stärker bläst.

Vor Deutschlands Küste könnte ca. eine Fläche von ca.  $12500 \text{ km}^2$  für Offshoreanlagen genutzt werden.

D.h. man hat nur die halbe Fläche aber pro  $km^2$  den doppelten Ertrag, also kann man offshore zusätzlich **20 kWh pro Tag pro Person** gewinnen.

Welchen Anteil unseres Energiebedarfs kann die Windkraft also abdecken, wenn man ausreichend Windräder bauen würde? Nutzt die allererste Aufgabe

$$\textcircled{2} \ 15\% \quad \textcircled{3} \ 25\% \quad \textcircled{4} \ 33\%$$

**Das ist doch ein ermutigendes Ergebnis!**

**CODE:**

