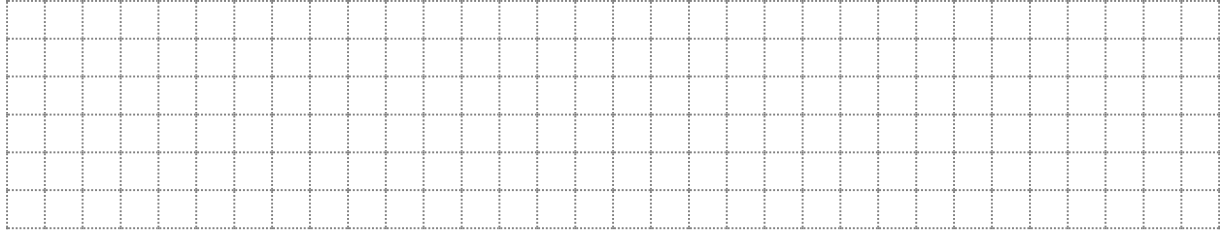


- c) Außerdem nehmen wir an, das Windrad würde 50% in elektrische Energie umwandeln. Bestimme, welche elektrische Energie in **kWh** erzeugt werden würde.

$E_{\text{elektrisch}} =$ _____ $=$ _____ kWh pro Tag

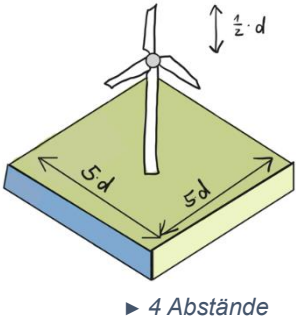
- d) Bestimme nun, die Geschwindigkeit der Luft, nachdem diese durchs Windrad geströmt ist und begründe, warum man große Abstände zwischen den Windrädern einhalten muss.



Aufgabe 3:

Wie viel Windräder passen auf einen km^2 ?

- Windräder müssen Abstände einhalten (vgl. 2d)
- Als Faustregel gilt: Jedes Windrad mit Rotordurchmesser d beansprucht ein Quadrat mit der Kantenlänge $5 \cdot d$, da die Windgeschwindigkeit sonst zu gering ist.



Wie viele Windräder ($d=100\text{m}$) passen auf $1 \text{ km}^2 =$ _____ m^2 .

Anzahl = _____

Aufgabe 4:

Wie viel kWh el. Energie kann in Deutschland **an Land** pro Tag pro Person gewonnen werden?

- a) Berechne mit Hilfe des Ergebnisses aus 2c die elektrische Energie in kWh, die auf 1km^2 innerhalb eines Tages erzeugt werden kann.

$E_{\text{ges}} =$ _____ $=$ _____ kWh pro km^2 pro Tag

- b) Wie viel Landfläche für Windkraft genutzt wird, ist eine politische Entscheidung. Zum Beispiel könnten 25000 km^2 auf der Landfläche von Deutschland genutzt werden. Färbe eine entsprechend große Fläche an beliebiger Stelle in der nebenstehenden Karte ein. (Landesfläche Deutschland = 357.588 km^2)
Erscheint dir der Wert realistisch?

Ein großes Kästchen entspricht bei einer Kantenlänge von 100 km einer Fläche von $100 \text{ km} \cdot 100 \text{ km} = 10000 \text{ km}^2$.

- c) Berechne mit dem Ergebnis aus 4a) die Windenergie auf dieser Fläche!

$E_{\text{ges}} =$ _____ $=$ _____ kWh pro Tag

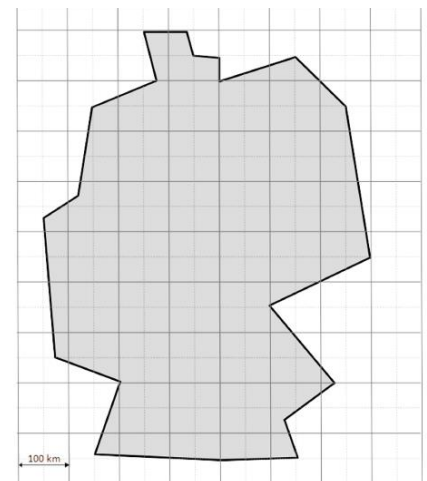
Berechne nun die Anzahl der dafür benötigten Windkraftanlagen!

Anzahl = _____

- d) Berechne die Energie pro Person und Tag, die die Windenergie am Land (Onshore) in Deutschland bereitstellen kann.

$E_{\text{Onshore}} =$ _____ kWh pro Tag pro Person

Dieser Wert vergrößert sich deutlich durch die Windkraftanlagen im Meer (Offshore).



► 5 Deutschlandkarte

Aufgabe 5:

Wie viel kWh el. Energie kann in Deutschland **insgesamt** pro Tag pro Person gewonnen werden?

- a) Offshore (also im Meer) ist die Windgeschwindigkeit größer, deshalb kann pro km² doppelt so viel Energie gewonnen werden. Es stehen ca. 12 500 km² zur Verfügung Schätze die durch Offshore Windkraft bereitgestellt Energie mithilfe von Aufgabe 4 ab. (Geht auch ohne Taschenrechner 😊)

$E_{\text{Offshore}} =$ _____ kWh pro Tag pro Person

Anmerkung: Windräder mit $d = 100$ sind relativ klein. Mit größeren Windkraftanlagen braucht man weniger Windräder für die gleiche Leistung, aber auch immer größere Abstände! Berechnungen von Wissenschaftlern zeigen, dass man mit ca. 40 000 hohen Windkraftanlagen und der gleichen Landfläche auf etwa die gleiche Energie pro Person und pro Tag kommt, wie wir in Aufgabe 4d berechnet haben. Dazu brauchen wir noch 20 000 Windräder im Meer.

- b) Bestimme aus deinen Ergebnissen von 4d und 5a die Gesamtenergie E_{gesamt} .

$E_{\text{gesamt}} =$ _____ kWh pro Tag pro Person

- c) Vergleiche den Wert mit dem Energiebedarf von Deutschland (Primärenergiebedarf: ca. 120 kWh pro Tag pro Person bzw. Endenergiebedarf: 85 kWh pro Tag pro Pers.)

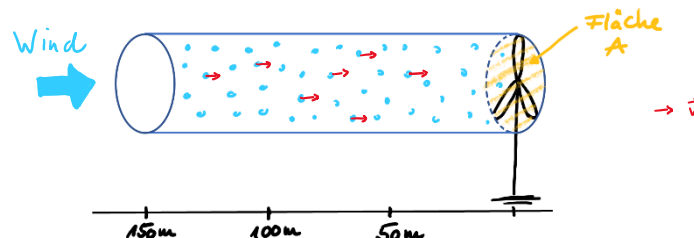
Aufgabe 6:

Was bringt die Zukunft?

Vor einigen Jahrzehnten waren Windkraftanlagen nur in Küstenregionen sinnvoll. Deshalb gibt es die Unterscheidung Onshore und Offshore! Heute werden die Windräder jedoch höher, sodass sie zum einen in Regionen mit höherer Windgeschwindigkeit reichen und andererseits größere Rotorblätter möglich sind. Beides ändert die Masse der durchströmenden Luft entscheidend.

Die Masse, die in einem Tag durch das Windrad strömt, wurde in Aufgabe 2a vorgegeben (siehe Extrablatt), denn sie hängt von mehreren Faktoren ab. Wir müssen dazu abschätzen, wie viele Luftteilchen pro Stunde das Windrad treffen.

Der blaue Schlauch in der untenstehenden Grafik zeigt den Luftstrom, der durch die Rotorblätter strömt.



- a) Markiere in der Grafik, die Luftteilchen, die in 10s den Rotor erreichen werden ($v = 6,5$ m/s). Welche Luftteilchen erreichen den Rotor, wenn $v = 13$ m/s gilt.
- b) Erkläre nun, warum die Teilchenanzahl und somit die Masse von der Windgeschwindigkeit abhängt. Die Grafik hilft dir zu erkennen, wovon die Masse zusätzlich abhängt.
- c) Erkläre warum größere Windräder eine höhere Leistung bringen.

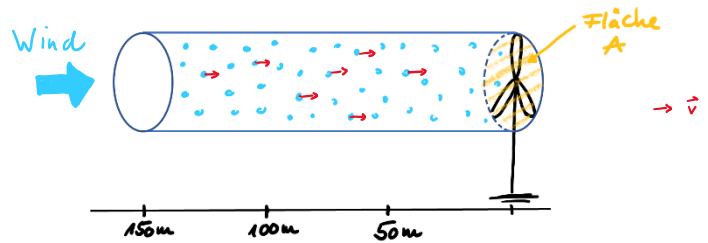
In Zukunft werden große Windräder in großen Abständen in allen Bundesländern aufgebaut und wesentlich zu unserer Energieversorgung beitragen!

Extrablatt für Extraschnelle!

Aufgabe 1: Herleitung der Formel für die Masse der Luft

- a) Gib zunächst die Formel für E_{kin} an, so wie du sie aus dem Unterricht kennst:

$$E_{kin} =$$



Um die Masse des Luftstroms berechnen zu können, verwendet man die folgende Formel:

$$m = A \cdot v \cdot t \cdot \rho$$

A ist die Fläche, die die Rotoren	ρ ist die Dichte der Luft ($1,25 \frac{kg}{m^3}$)
v ist die Windgeschwindigkeit.	t ist die Zeitdauer, wie lange der Wind die Windkraftanlage antreibt.

(Für Neugierige: Die Herleitung dieser Formel findest du in den Lösungen.)

- b) Versuche nun die Formeln miteinander so zu kombinieren, dass für die kinetische Energie des Windes mit der oben genannten Massenformel gilt:

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot A \cdot v^3 \cdot t \cdot \rho$$

- c) Für Interessierte: Leite die Formel für die Masse her.

Herleitung der Formel für die Masse:	
Für eine sinnvolle Abschätzung der Masse stellen wir uns den Luftstrom als Zylinder vor, der mit der Geschwindigkeit v das Windrad durchdringt.	
Für die Dichte der kalten Luft nehmen wir als Mittelwert $\rho = 1,25 \frac{kg}{m^3}$.	
Dichte:	$\rho = \text{---}$ $\rho = \text{---} \cdot \text{---}$ $m = \text{---} \quad (*)$
Nun brauchen wir das Volumen des Luftzylinders. Was entspricht der Grundfläche und der „Höhe“ des Luftzylinders?	
Volumen	$V = \text{Grundfläche} \cdot \text{Höhe} =$ $V = \text{---} \rightarrow \text{in } (*)$ $m = \text{---} \quad (**)$

