

City4Future

Entwickle deine klimafreundliche Stadt der Zukunft!



Modul B Stadtteil Windberg

Eine Entwicklung in Kooperation von:

Im Auftrag der:

Inhalt

1 Überblick	3
1.1 Steckbrief	3
1.2 Ablauf und Unterrichtsphasen	3
2 Basisinfos (nicht nur für Lehrkräfte)	6
2.1 Einführung und technische Aspekte von Windkraft.....	6
2.2 Relevanz von Windkraft.....	6
2.3 Standortfaktoren beim Bau von Windkraftanlagen	7
2.4 Vor- und Nachteile von Windenergie.....	7
2.5 Unterstützendes Material.....	7
3 Umsetzung des Moduls Windberg	8
3.1 Einstieg: Einführung in das Thema Windenergie	8
3.2 Erarbeitung mit Hilfe von Forschungsfragen.....	9
3.3 Präsentation / Sicherung und Transfer (Wahl)	9
4 Überblick Arbeitsmaterialien	11
5 Lösungshinweise	12
6 Arbeitsmaterial für Schüler*innen	13
6.1 Station 1: Bau eines Windrads	13
6.2 Station 2: Bau eines Anemometers	14
6.3 Optionales Arbeitsblatt 1: Statements	15
6.4 Informationsblatt 1	16
6.5 Arbeitsblatt 1: Bau einer Windkraftanlage	17
6.6 Kopiervorlage 1: Konstruktionsideen für einfache Windräder.....	18
6.7 Arbeitsblatt 2: Bau eines Anemometers	23
6.8 Informationsblatt 2: Kriterien zum Bau eines Windparks	24
6.9 Informationsblatt 3: Infomaterial für Fortgeschrittene – Strommix in Deutschland.....	25
6.10 Informationsblatt 4: Infomaterial für Fortgeschrittene	26
6.11 Arbeitsblatt 3: Beobachtung von Gruppenprozessen und der Präsentation	28

1 Überblick

1.1 Steckbrief

Lernfeld/Cluster:		Windenergie / erneuerbare Energie
Zielgruppe/Klassenstufe:	(X) 4. bis 5. Klasse X 6. bis 7. Klasse X 8. bis 10. Klasse (X) 11. bis 12. Klasse	
Geschätzter Zeitaufwand:	ca. 5 Unterrichtsstunden	
Lernziele:	Die Schüler*innen ... <ul style="list-style-type: none"> • können die Relevanz von Windkraft und deren Rolle für die Energieversorgung einschätzen. • entwickeln ein Verständnis der technologischen Dimensionen und der Herausforderungen, die mit Windkraft verbunden sind. • können Vor- und Nachteile von Windenergie erörtern. • können Standortfaktoren für Windkraftanlagen diskutieren und abwägen. 	
Vorkenntnisse der Schüler*innen:	<ul style="list-style-type: none"> • Keine grundlegenden Vorkenntnisse erforderlich 	
Vorkenntnisse der Lehrkraft:	<ul style="list-style-type: none"> • Grundkenntnisse zum Thema Windenergie sind nötig 	
Rolle des Unternehmensvertreters / Möglichkeiten zur Exkursion:	<ul style="list-style-type: none"> • Diskussion mit einem/r Fachexperten*in eines Unternehmens zum Thema Windkraft / erneuerbare Energien • Besuch einer Windkraftanlage, ggf. gemeinsam mit einer regionalen Energiegenossenschaft 	

1.2 Ablauf und Unterrichtsphasen

In Modul B sollen 6 Teams gebildet werden, die sich jeweils einer von 3 verschiedenen Perspektiven zuordnen, d.h. es gibt 2x das Team „Wissenschaftler*innen“, 2x das Team „Kritiker*innen“ und 2x das Team „Umweltschützer*innen“.

Die Experimente laufen in Stationenarbeit ab, wobei jedes Team jede Station durchläuft und somit insgesamt zwei Experimente macht.

Bei der Erarbeitung der Pecha-Kucha-Präsentation konzentriert sich jedes Team schwerpunktmäßig auf eines der Experimente. Dies ist weiter unten im Handbuch festgelegt. Nach der Präsentationsrunde am Ende des Moduls findet abschließend die Wahl statt.

Unterrichtsphasen	Inhalt und Methode	Haptisches Material
Einstieg		
Zeitaufwand ca. 1 Unterrichtsstunde	Plenum	
Klassenverbund	Fragend-entwickelnder Einstieg zum Thema Windkraft, Story der City4Future, Aufteilung in die Teams	

Unterrichtsphasen	Inhalt und Methode	Haptisches Material
Erarbeitung		
<i>Zeitaufwand ca. 2 Unterrichtsstunden</i>	<i>Gruppenarbeit mit Experimenten</i>	<i>Jedes Team durchläuft beide Stationen und macht somit jedes Experiment einmal.</i>
Station 1	Funktionsweise von Windrädern, selbst einfache Windräder bauen	Dokumente: <ul style="list-style-type: none"> Arbeitsblatt 1 Informationsblatt 1 Ausdrucken: Kopiervorlage 1: Konstruktionsideen für einfache Windräder Modulmaterial: <ul style="list-style-type: none"> Papiertrinkhalme Holzspieße Gummiringe Klebeband Glasvase Bausatz Windkraftanlage Luftpumpe Zusätzlich benötigt: <ul style="list-style-type: none"> Schere Papier
Station 2	Standorte von Windkraftanlagen, selbst Windmessgerät (Anemometer) bauen	Dokumente: <ul style="list-style-type: none"> Arbeitsblatt 2 Informationsblatt 2 Modulmaterial: <ul style="list-style-type: none"> Glasvase Holzleisten Pappbecher Reißzwecke Nägeln Hammer Luftpumpe Digitales Anemometer
Für Fortgeschrittene / Interessierte		Dokumente: <ul style="list-style-type: none"> Informationsblatt 3 Informationsblatt 4
Sicherung und Transfer		
<i>Zeitaufwand ca. 1 Unterrichtsstunde</i>		
Alle Teams	Präsentation der Ergebnisse in einem festgelegten Zeitraum (z.B. 3-minütiges Pecha-Kucha) Jedes Team stellt schwerpunktmäßig 1 Experiment vor, d.h. jedes Experiment wird bei 6 Teams 2x vorgestellt	Zusätzlich benötigt (je nach Wahl der Präsentationsform): <ul style="list-style-type: none"> Rechner oder Tablet (mit Internetzugang) Whiteboard Flipcharts ggfs. Präsentationsmaterial passend zu den gewählten Präsentationsmedien (z.B. Pinnwandkarten und Nadeln, Flipchart-Papier, Filz-Stifte etc.)

Unterrichtsphasen	Inhalt und Methode	Haptisches Material
	Diskussion + Wahl der besten Präsentation	Dokumente: <ul style="list-style-type: none">• Beobachtungsbogen• Optionales Arbeitsblatt 1



2 Basisinfos (nicht nur für Lehrkräfte)

2.1 Einführung und technische Aspekte von Windkraft

Historie: Die Ursprünge der Windkraft reichen bis ins Altertum zurück. Die ersten Windräder, beispielsweise die „persische Windmühle“, hatten im Gegensatz zur heute üblichen horizontalen eine vertikale Achse. Bevor Windräder im 19. Jahrhundert europaweit ihre Blütezeit erlebten, gab es bereits im 12. Jahrhundert die ersten Vorläufermodelle mit Antriebsprinzip (Nutzung des aerodynamischen Auftriebes) anstelle des Widerstandsprinzips (Rotation der Rotoren durch Widerstandskraft). Die erste Windkraftanlage, die ein Haus mit elektrischer Energie versorgte, wurde 1887/1888 von Charles Francis Brush gebaut. Nachdem sie während der industriellen Revolution von der Kohlekraft verdrängt wird, erleben Windkraftanlagen seit den 1990er Jahren eine Renaissance.

Technik: Die Rotoren einer Windkraftanlage formen die Bewegungsenergie in Rotationsenergie, die mittels eines Generators in elektrische Energie umgewandelt werden kann. Sowohl die Höhe als auch die Größe der Rotorblätter wirken sich auf den Ertrag der Windkraftanlage aus: Je höher die Windenergieanlage und je länger die Rotorblätter, desto größer der Ertrag. Neben diesen mittlerweile klassischen horizontalen Windkraftanlagen sind auch kleinere vertikale Windräder für die Nutzung bspw. auf Hausdächern im Umlauf.

Bedeutung für den Klima- und Umweltschutz: Zwar entstehen für die Herstellung und den Transport von Windkraftanlagen Treibhausgasemissionen, jedoch ist die Erzeugung von Strom durch Windkraftanlagen selbst klimaneutral. Durch das „Repowering“ werden zunehmend leistungsschwächere Anlagen durch leistungsstärkere ersetzt, ohne zusätzliche Flächen zu verbrauchen.

Physik: Die maximal mögliche Windleistung lässt sich mit der Formel $P = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3$ (ρ = Luftdichte, A = durchströmte Fläche, v = Windgeschwindigkeit) beschreiben. Entscheidend ist, dass die Windgeschwindigkeit mit der dritten Potenz in die Formel eingeht. Eine Verdopplung der Windgeschwindigkeit führt somit zu einer achtfachen Leistung.

2.2 Relevanz von Windkraft

Anteil am Strommix: Mit einem Anteil von deutlich über 20% am gesamten deutschen Strommix ist die Windenergie der wichtigste erneuerbare Energieträger Deutschlands. Insgesamt haben alle erneuerbaren Energien einen Anteil von ca. 45% am deutschen Strommix (Stand 2020).

Repowering: Seit den 1990er Jahren wurden mehrere zehntausend Windenergieanlagen installiert. Das höchste Windrad der Welt steht in Gaildorf (bei Stuttgart). Es ist insgesamt 246,5 m hoch (etwa 100 m höher als der Kölner Dom). Durch Repowering werden zunehmend alte Windkraftanlagen mit einer Lebensdauer von 20–30 Jahren durch neue und deutlich größere Windkraftanlagen ersetzt. Dadurch können die besseren Windverhältnisse in der Höhe optimaler ausgenutzt werden ohne weitere Fläche zu nutzen. Eine Faustregel sagt: Durch Halbierung der Zahl der Anlagen kann eine Verdopplung der Leistung und sogar eine Verdreifachung des Stromertrags ermöglicht werden. Zudem kann auch die Drehzahl durch größere Anlagen reduziert werden. Der Rückbau alter Windkraftanlagen ist ein komplexes Verfahren mit eigenen Rückbau- und Recyclingkonzepten. Insbesondere die Zerkleinerung der Rotorblätter, die meist aus glasfaser-

verstärkten Kunststoffen bestehen, stellt eine Herausforderung dar. Jedoch existieren für fast alle anderen Materialien einer Windkraftanlage Recyclingkonzepte.

2.3 Standortfaktoren beim Bau von Windkraftanlagen

Recht und Gesellschaft: Bei der Auswahl von Standorten für Windkraftanlagen sind verschiedene Faktoren zu beachten. Im Vordergrund steht hier zunächst die Nutzungsform des ausgewählten Standortes (Naturschutzgebiet, Wohngebiet, Gewerbegebiet, Naherholungsgebiet oder ggf. agrarwirtschaftliche Nutzung). Seit dem Jahr 2020 können die Bundesländer selbst entscheiden, ob ein Mindestabstand von 1.000 m zwischen Siedlungen und Windkraftanlagen in ihren Bundesländern eingehalten werden muss. Zudem müssen Anlagen ab einer Höhe von 50 m gemäß Bundes-Immissionsschutzgesetz und den jeweiligen Bestimmungen des Bundeslandes genehmigt werden. Darüber hinaus müssen regionale und kommunale Bestimmungen beachtet werden.

Geografie und Technik: Um einen möglichst hohen Ertrag zu erzielen, spielen auch topographische Gegebenheiten bei der Auswahl von Standorten für Windkraftanlagen eine große

Rolle: Je stärker der Wind am Standort weht, desto größer der Ertrag (Höhe/Windschutz durch Besiedlung). Deshalb sind Standorte in Küstennähe bzw. in höheren Lagen besser geeignet als solche in Tälern und im Binnenland.

2.4 Vor- und Nachteile von Windenergie

Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> (1) Wind = erneuerbarer Energieträger, (2) klimaneutrale Stromerzeugung, (3) geringer Flächenverbrauch (verstärkt durch Repowering-Maßnahmen), (4) schnelle Amortisation, (5) Beitrag zur lokalen (und autarken) Stromgewinnung, (6) Schaffung von Arbeitsplätzen 	<ul style="list-style-type: none"> (1) Wind weht nicht immer, (2) Speicherung von Überschüssen noch nicht optimal, (3) Beeinträchtigung des Landschaftsbildes (Naherholungsgebiet), (4) Lärmbelastung, (5) Gefahr für den Naturschutz (Vögel/ Fledermäuse) (6) Notwendigkeit des Netzausbaus (Transport in Bedarfsregionen)

2.5 Unterstützendes Material

Unterstützendes Material, wie z. B. Videos, Homepages oder Literatur, welches Sie als Hintergrundwissen oder im Unterricht verwenden können, finden Sie auf der Wissensfabrik-Homepage unter: <https://www.wissensfabrik.de/downloadmaterial-city4future/#weiteresmaterial>

Video-Anleitungen zu den einzelnen Versuchen finden Sie auf unserem Youtube-Kanal: <https://www.youtube.com/playlist?list=PLaQltc4GMyy6TOyhb-qE6buLW0XQh4ezh>

3 Umsetzung des Moduls Windberg

3.1 Einstieg: Einführung in das Thema Windenergie

Geschätzter Zeitaufwand: 1 Unterrichtsstunde

Ziel: Die Schüler*innen werden für das Thema motiviert.

Vorgehen:

1) Fragend-entwickelnder Einstieg zum Thema Windkraft (ca. 25 Min.)

Zunächst wird ein einfacher, an die Lebenswirklichkeit der Schüler*innen anknüpfender Einstieg geschaffen.

Die Lehrkraft fragt die Schüler*innen nach ihren Erlebnissen mit Wind und Windkraftanlagen. Je nach Alter der Schüler*innen bieten sich die folgenden Fragen oder weiterführenden Informationen im Film an.

- Wann und wo nehmen die Schüler*innen Wind wahr?
- Haben die Schüler*innen schon einmal einen Drachen steigen lassen und so die Kraft des Windes gespürt?
- Haben die Schüler*innen schon einmal eine Windkraftanlage gesehen? Wenn ja, wo?

Einstieg mit Film (optionaler Einstieg für höhere Klassenstufen, Dauer ca. 15min)

- In diesem Film sieht man die enorme Kraft, die Wind entwickeln kann. Es wird erklärt, wie Wind und Sturm entstehen. Die eindrucksvolle Kraft, die im Wind steckt, kann nutzbar gemacht werden
- Link: <https://www.planet-schule.de/schwerpunkt/total-phaenomenal-erde-und-klima/ganz-schoen-windig-film-100.html>

2) Story und Bedeutung des Klimawandels für die City4Future (ca. 10 Min.)

Die Lehrkraft stellt ggf. die Gesamtstory der City4Future vor. Dazu können sich die Schüler*innen den Stadtplan der City4Future anschauen und erste Überlegungen anstellen, wo welche und wie viele Windkraftanlagen in der City4Future stehen könnten.

3) Vorstellung der Aufgaben in den Teams und Aufteilung in Gruppen für die anschließende Erarbeitungsphase (ca. 10 Min.)

Die Schüler*innen werden in insgesamt 6 Teams aufgeteilt. Drei der Teams bearbeiten Station 1; die anderen drei Teams bearbeiten Station 2.

Die Anzahl der Schüler*innen pro Team sollte ungefähr gleich sein. Bei 30 Schüler*innen pro Klasse wäre es gut, je 4-5 Schüler*innen in einem Team zu haben. Eine Aufteilung in die Teams am Ende der ersten Unterrichtsstunde ist sinnvoll. So können die Materialien und Unterlagen für die Gruppenarbeit im Anschluss an die erste Unterrichtsstunde vorbereitet werden.

3.2 Erarbeitung mit Hilfe von Forschungsfragen

Geschätzter Zeitaufwand: 2 Unterrichtsstunden

Ziel: Die Schüler*innen erkunden, wie sie die City4Future in Bezug auf Windkraft zukunftsfähig (weiter-) entwickeln können.

Vorgehen:

1. Falls noch nicht in der Einstiegsphase geschehen, werden die Schüler*innen in Gruppen aufgeteilt, bzw. teilen sich in Gruppen ein und suchen sich jeweils eine der drei Perspektiven (Wissenschaftler*innen, Kritiker*innen, Umweltschützer*innen) aus, die es bei der Erarbeitung sowie bei der Präsentation zu beachten gilt.
2. Die Teams führen die Experimente in Stationenarbeit durch. Bei durchschnittlicher Klassengröße gibt es 6 Teams, die jeweils beide Experimente durchführen.
3. Auf den jeweiligen Arbeitsblättern sind alle wichtigen Informationen gebündelt.

Station 1:

- Bau einer Windkraftanlage

Station 2:

- Bau eines Anemometers

Die Gruppen tauschen sich untereinander aus. Mit Hilfe eines digitalen Anemometers und eines POFET 360° Micro Wind Generators ergänzen sie ihre experimentellen Ergebnisse.

Die Informationsblätter 3 und 4 stellen die Diskussionsgrundlage für interessierte, fortgeschrittene Schüler*innen dar und bieten die Möglichkeit, weitere Argumente für die Präsentation oder Diskussion zu finden.

3.3 Präsentation / Sicherung und Transfer (Wahl)

Geschätzter Zeitaufwand: 1 Unterrichtsstunde

Ziel: Präsentation, Diskussion der Ergebnisse aus der Erarbeitungsphase und Wahl

Vorgehen:

Alle Teams präsentieren ihre gewonnenen Ergebnisse und Erkenntnisse in max. 3 Minuten pro Gruppe mit 6 unterstützenden Bildern („Pecha-Kucha Vortrag“). Auf diese Weise wird jedes Experiment drei Mal aus unterschiedlichen Perspektiven vorgestellt. Dies beinhaltet u.a. die Vorstellung und ggf. Demonstration der gebastelten Windräder / der gebastelten Anemometer sowie die Recherche zu unterschiedlichen Möglichkeiten des Einsatzes von Windkraft. Jedes Team präsentiert hierbei im Sinne seiner gewählten/zugeordneten Gruppe und versucht bei seiner Argumentation die jeweilige Perspektive einzunehmen (Wissenschaftler*innen, Kritiker*innen, Umweltschützer*innen). Die anderen Teams sollen/dürfen dazu jeweils kritische Fragen stellen. Jedes Team präsentiert hierbei im Sinne seiner gewählten/zugeordneten Gruppe und versucht

bei seiner Argumentation die jeweilige Perspektive einzunehmen und Ideen für die City4Future einzubringen.

Jeweils eines der beiden Teams (also 1 x Team Wissenschaftler*innen, 1 x Team Umweltschützer*innen, 1 x Team Kritiker*innen) konzentriert sich bei der Erarbeitung ihrer Präsentationen auf Station 1 (Funktionsweise von Windrädern), während sich die anderen (also 1 x Team Wissenschaftler*innen, 1 x Team Umweltschützer*innen, 1 x Team Kritiker*innen) schwerpunktmäßig auf Station 2 (Bau eines Anemometers) für ihre Präsentationen konzentriert. In der anschließenden Diskussion sollen die Ergebnisse auf die City4Future übertragen werden. Die Lehrkraft übernimmt hierbei die Moderation und erklärt kurz das Vorgehen der Wahl.

Die Wahl wird von der Lehrkraft eröffnet und startet dann mit der Wahl eines Teams von Wissenschaftler*innen, im Anschluss wird ein Team der Kritiker*innen gewählt und danach ein Team der Umweltschützer*innen. Dabei wählen die Schüler*innen anhand des Beobachtungsbogens jeweils das Team aus, das sie am meisten mit ihrer Präsentation und Argumentation überzeugt hat.

Das Team, welches die Wahl gewonnen hat, sitzt im abschließenden Modul S – der Stadtrats-sitzung – und präsentiert dort konkrete Umsetzungsvorschläge für den Aufbau der City4Future. Das Modul S wird dabei nur berücksichtigt, wenn alle Module (A-D) mit den Schülern*innen durchgeführt werden. Ansonsten endet das Modul A mit der Wahl der besten bzw. überzeugendsten Präsentation.

Methodisch-didaktische Tipps und Ideen:

- Präsentationsform und Präsentationsmittel sind frei wählbar (z.B. PowerPoint-Vortrag, Plakate, Videos, Podcasts, Padlets etc.). Die Maximalzeit für die Präsentationen kann an die Anzahl der Gruppen angepasst werden.
- Um eine hohe Beteiligung aller Schüler*innen zu erreichen, ist es auch erlaubt, Fragen und Statements an den/die Moderator*in schriftlich (auch digital, bspw. über Mentimeter) einzureichen. Dies ermöglicht auch den Schüler*innen die Beteiligung, die sich verbal aus unterschiedlichen Gründen eher zurückhalten.

4 Überblick Arbeitsmaterialien

😊 Material für Lehrkräfte sowie Unternehmensvertreter*innen

😊 Material für Schüler*innen

Phase	Arbeitsmaterialien
Einstieg	Hinweisblatt 1: Statements 😊 😊 Wind und Windstärken 😊 😊 Tornados und Hurrikane 😊 😊
Erarbeitung	Station 1: Bau eines Windrad 😊 😊 Arbeitsblatt 1: Bau einer Windkraftanlage 😊 Kopiervorlage 1: Konstruktionsideen für einfache Windräder 😊 Informationsblatt 1 😊 😊 Station 2: Bau eines Anemometers 😊 😊 Arbeitsblatt 2: 😊 Informationsblatt 2: Kriterien zum Bau eines Windparks 😊 😊 Betriebsanleitung POFET 360° Micro Windgenerator 😊
Sicherung	Informationsblatt 3: Infomaterial für Fortgeschrittene – Strommix in Deutschland 😊 😊 Informationsblatt 4: Infomaterial für Fortgeschrittene – Windenergie in Deutschland 😊 😊
Transfer	Beobachtungsbogen/Bewertungsbogen für Präsentation 😊 Optionales Arbeitsblatt 1 😊

5 Lösungshinweise

Erwartungshorizont für die beide Experimente / Stationen

Beobachtung:

Unterschiedliche Drehmomente der unterschiedlichen Rotormodelle, Auswahl der besten Variante.

Messungen der Umdrehungszahl des selbstgebastelten Anemometers (individuelle Lösungen).

Windstärkemessungen mit dem digitalen Anemometer, Beobachtung der Umsetzung Windkraft-Elektrische Energie am POFET 360° Micro Wind Generators.

Erklärung:

Erhöhte Standorte liefern eine höhere Windausbeute. Um eine Windkraftanlage mittlerer Größe wirtschaftlich zu betreiben, muss die Windgeschwindigkeit in Höhe der Nabe bei etwa 5m/s liegen.

Bei Messungen mit dem digitalen Anemometer erkennt man, dass die Windräder in ausreichendem Abstand voneinander aufgestellt werden müssen. Bei Messungen direkt hinter dem Windrad nimmt die Windgeschwindigkeit rapide ab.

Windgeschwindigkeiten und Windstärkebegriffe findet ihr auf dem optionalen Arbeitsblatt Wind und Windstärken (pdf)

Vorschläge für die City4Future:

- Geeignete Standorte im Stadtplan sind stets erhöht. Geeignete Abstände zwischen den Windrädern sind einzuhalten (Verlust der Windgeschwindigkeit im Windschatten), dies ist abhängig von Durchmesser des Rotors.
- Da nicht immer Wind weht, kann eine Stadt wie City4Future nur allein über Windkraft mit Strom versorgt werden, wenn die überschüssige Windkraft gespeichert und bei Bedarf abgerufen werden kann.

Lösung Informationsblatt 1:

- ca. 105 GWh pro Jahr
- Theoretisch bräuchte man (wenn stets Wind weht) mindestens 14 Windräder vom Typ „Superpuster“ um 105GWh im Jahr aufzubringen .

6 Arbeitsmaterial für Schüler*innen

6.1 Station 1: Bau eines Windrads

Ihr untersucht näher, wie man aus Windkraft am besten Energie gewinnt. In der Station 2 wird analysiert, wo sinnvollerweise Windräder aufgestellt werden könnten.

Eure Aufgabe:

Baut mehrere Modelle von Windrädern mit den euch vorliegenden Materialien (Arbeitsblatt 1).
Vergleicht die produzierte Energie der unterschiedlichen Windräder (Informationsblatt 1).

Beantwortet anschließend folgende Fragen:

- Findet heraus, ob es unterschiedliche Arten von Windkraftanlagen es gibt. Gibt es noch andere Technologien, mit denen man mit Wind Strom erzeugen kann? Recherchiert den CO₂-Fußabdruck einer Windkraftanlage.
- Berechnet die Anzahl der Windkraftanlagen, die nötig wären, um die gesamte Stadt mit Strom zu versorgen.
- Tauscht euch mit einem Team der Station 2 über den optimalen Standort von Windrädern aus.
- Nutzt das POFET-Windrad und das digitale Anemometer um eure Modelle und Ideen zu überprüfen. Beobachtet, wie sich die Windverhältnisse in der unmittelbaren Umgebung eines Windrads verändern, haltet dazu beispielsweise das Anemometer hinter oder neben das gebastelte Windrad.

Bereitet zum Abschluss gemeinsam in der Gruppe eine 3-minütige Präsentation (= Pecha-Kucha Vortrag) eurer erarbeiteten Ergebnisse vor und nutzt dafür auch die Informationsblätter.

6.2 Station 2: Bau eines Anemometers

Bei Station 1 wird untersucht, wie man aus Windkraft am besten Energie gewinnt. Ihr analysiert nun, wo sinnvollerweise Windräder aufgestellt werden können.

Eure Aufgabe

Baut mit Hilfe der vorliegenden Materialien ein Gerät zur Messung der Windstärke (= ein Anemometer) und macht euch Gedanken darüber, wo Windräder am besten aufgebaut werden (Arbeitsblatt 2).

- Überlegt **Möglichkeiten**, den gesamten Strom- bzw. Energiebedarf aus Windkraft zu decken.
- Findet Faktoren, die den Standort von Windkraftanlagen unterstützen bzw. begrenzen und beachtet den rechtlichen Rahmen. Informiert euch über die durchschnittliche Windstärke, mit der eine Windkraftanlage effektiv betrieben werden kann und recherchiert die optimale Höhe für den besten Windertrag.
- Tauscht euch mit einem Team der Station 1 über das optimale Modell eines Windrads aus.
- Nutzt das POFET-Windrad und das digitale Anemometer, um eure Modelle und Ideen zu überprüfen. Beobachtet, die Veränderung der Windverhältnisse in der unmittelbaren Umgebung eines Windrads, haltet dazu beispielsweise das Anemometer hinter oder neben das gebastelte Windrad.

Bereitet zum Abschluss gemeinsam in der Gruppe eine 3-minütige Präsentation (= Pecha-Kucha Vortrag) eurer erarbeiteten Ergebnisse vor und nutzt dafür auch die Informationsblätter.

6.3 Optionales Arbeitsblatt 1: Statements

Folgende Aussagen können euch für die Diskussion und die daran anschließende Wahl nutzen. Entweder für eure eigene Präsentation zur Untermauerung eurer Meinung oder um den anderen Gruppen Fragen zu stellen.

Dazu gibt es unterschiedliche Standpunkte:

Klimaforscher*in	Für die Begrenzung der Erderwärmung ist es notwendig, die komplette Energieversorgung auf erneuerbare Energien umzustellen. Windkraft hat in der City4Future ein hohes Potenzial!
Biologe*in	Ich finde es gut, dass die Stadt erneuerbare Energien ausbaut und damit einen Beitrag zum Klimaschutz leistet. Allerdings sollte der Naturschutz nicht außer Acht gelassen werden. Tiere dürfen durch die Anlage keine Nachteile erhalten. Es besteht die Gefahr, dass Fledermäuse in die Windräder fliegen und dabei sterben!
Gemeinderat/ Gemeinderätin	Mit einem neuen Windpark können wir Steuergelder (Gewerbsteuer) einnehmen, die dann der Stadt zugutekommen. Wir können das Geld gut gebrauchen, um die Schule zu sanieren – die braucht dringend ein neues Dach!
Anwohner*in	Ich habe mir erst vor einem Jahr ein kleines Haus gekauft – und nun soll in der Nähe eine Windkraftanlage gebaut werden. Ich möchte nicht immer auf einen grauen Turm schauen und zu laut ist es bestimmt auch.
Moderator*in	Ich möchte eine ausgewogene Diskussion zu den Folgen des Klimawandels für die City4Future führen. Dabei sollen alle Argumente Gehör finden. Ich bin gespannt, wie die Diskussion
Mitarbeiter*in beim Stadtmarketing	Ein Windpark schädigt unsere Stadt, da sich das Landschaftsbild negativ verändert. Wir möchten bei Touristen*innen durch Naherholungsgebiete und schöne Landschaften punkten – die Aussicht soll nicht durch Windkraftanlagen gestört werden!

6.4 Informationsblatt 1

Die folgenden Informationen zeigen euch relevante Daten der City4Future. Wenn die Energieversorgung in der City4Future allein durch Windkraft gedeckt werden soll – was bedeutet das für den Bau von Windkraftanlagen? Wäre es realistisch, den gesamten Strom- und Energiebedarf aus Windkraft zu decken? Welche Windräder kommen hierfür in Frage?

Fakten und Zahlen	
Einwohner	50.000
Haushalte	30.000
Stromverbrauch pro Haushalt (in kWh)	3.500



Technische Daten zur Windkraftanlage („Modell Superpuster“)		
	Naben-/Gesamthöhe	100/150 Meter
	Rotordurchmesser	100 Meter
	Jahresertrag	Abhängig vom Standort, max. 8 GWh
	Kosten	3 Millionen Euro

Technische Daten zur Windkraftanlage („Modell Superpuster“)		
	Naben-/Gesamthöhe	1 Meter
	Rotordurchmesser	0,5 Meter
	Jahresertrag	Abhängig von den Windverhältnissen, max. 4.700 kWh
	Kosten	1.0

6.5 Arbeitsblatt 1: Bau einer Windkraftanlage

Eure Aufgabe

Konstruiert mit den bereitgestellten Materialien in 45 Minuten ein oder mehrere Modelle von Windkraftanlagen. Notiert euch vorher die Kriterien, die euch für den Bau der Anlage wichtig sind.

Viel Erfolg bei der Ideenfindung und Konstruktion eures Modells!

Materialien

Das bekommt ihr	✓	Das braucht ihr	✓
Bausatz einer Windkraftanlage		Stifte	
Vorlagen für Windräder zum Ausschneiden		Schere	
Holzspieße			
Papiertrinkhalme			
Gummiringe			
Luftpumpe			
Glasvase			

Arbeitsauftrag:

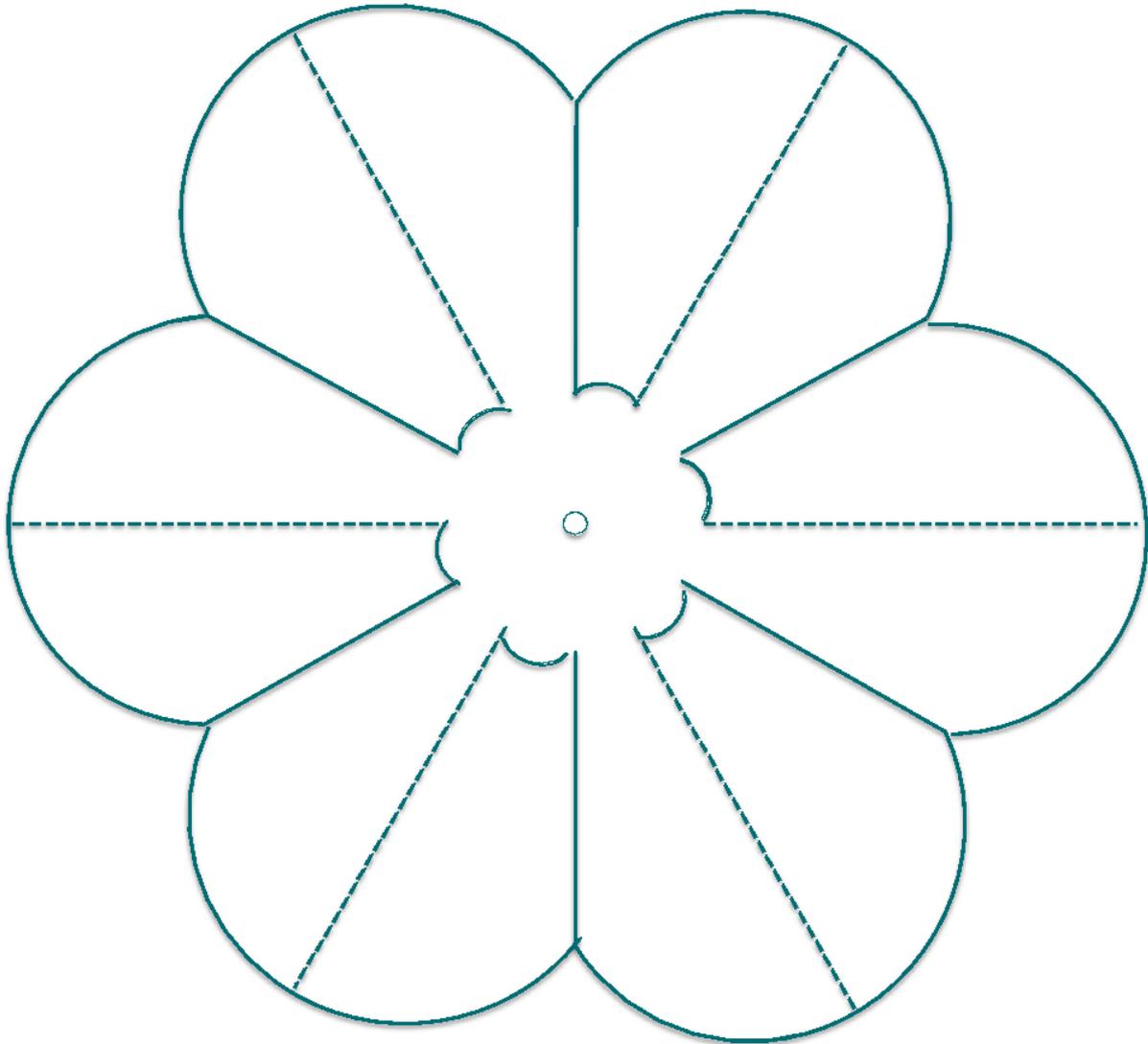
Jedes Teammitglied baut ein anderes Windrad, nach den Konstruktionsideen für einfache Windräder (Kopiervorlage 1). Als Vorgabe muss sich der Rotor frei drehen können, um mit einer Luftpumpe später zu testen, wie gut sich der Rotor drehen lässt. Daher achtet bitte auch auf die Standfestigkeit eures Modells, damit es nicht gleich beim ersten Windstoß wegfiegt.

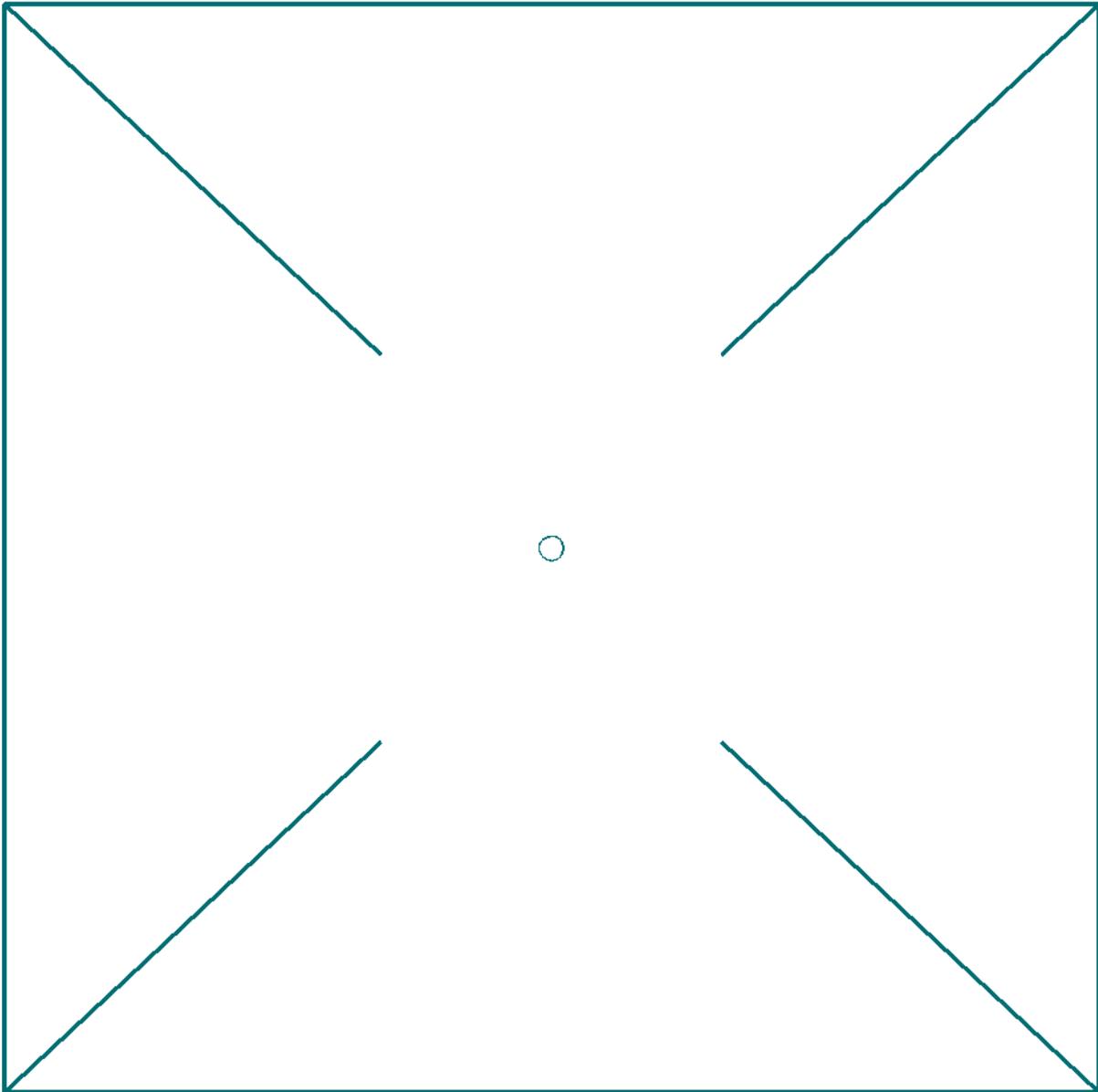
Schneidet das Papier so zurecht, wie es auf der Anleitung angegeben ist, bzw. so, dass ein einfaches Windrad entsteht. Mit einem Holzspieß wird eine Achse nachgebaut (siehe Foto). Schneidet den Strohalm zurecht und steckt ihn auf den Holzspieß. Hältst man nun den Strohalm fest und pustet gegen das Windrad, sollte sich sowohl das Windrad als auch der Holzspieß drehen. Ggf. kann die Konstruktion mit Klebeband z.B. auf einer Flasche befestigt werden, um mehr Halt zu bekommen.

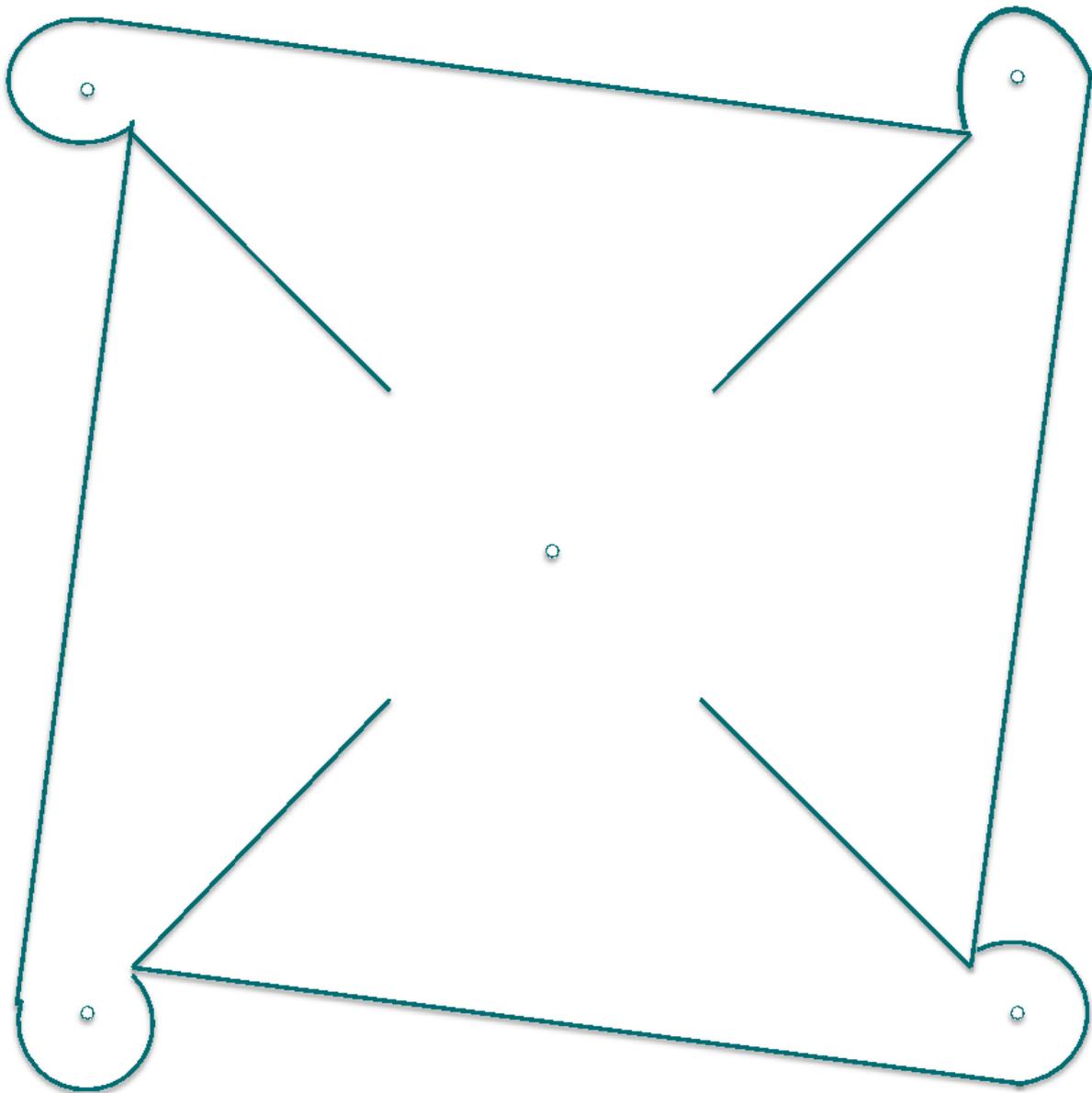
Überprüft, welches der Windradmodelle am besten geeignet ist und wählt das beste Modell aus.

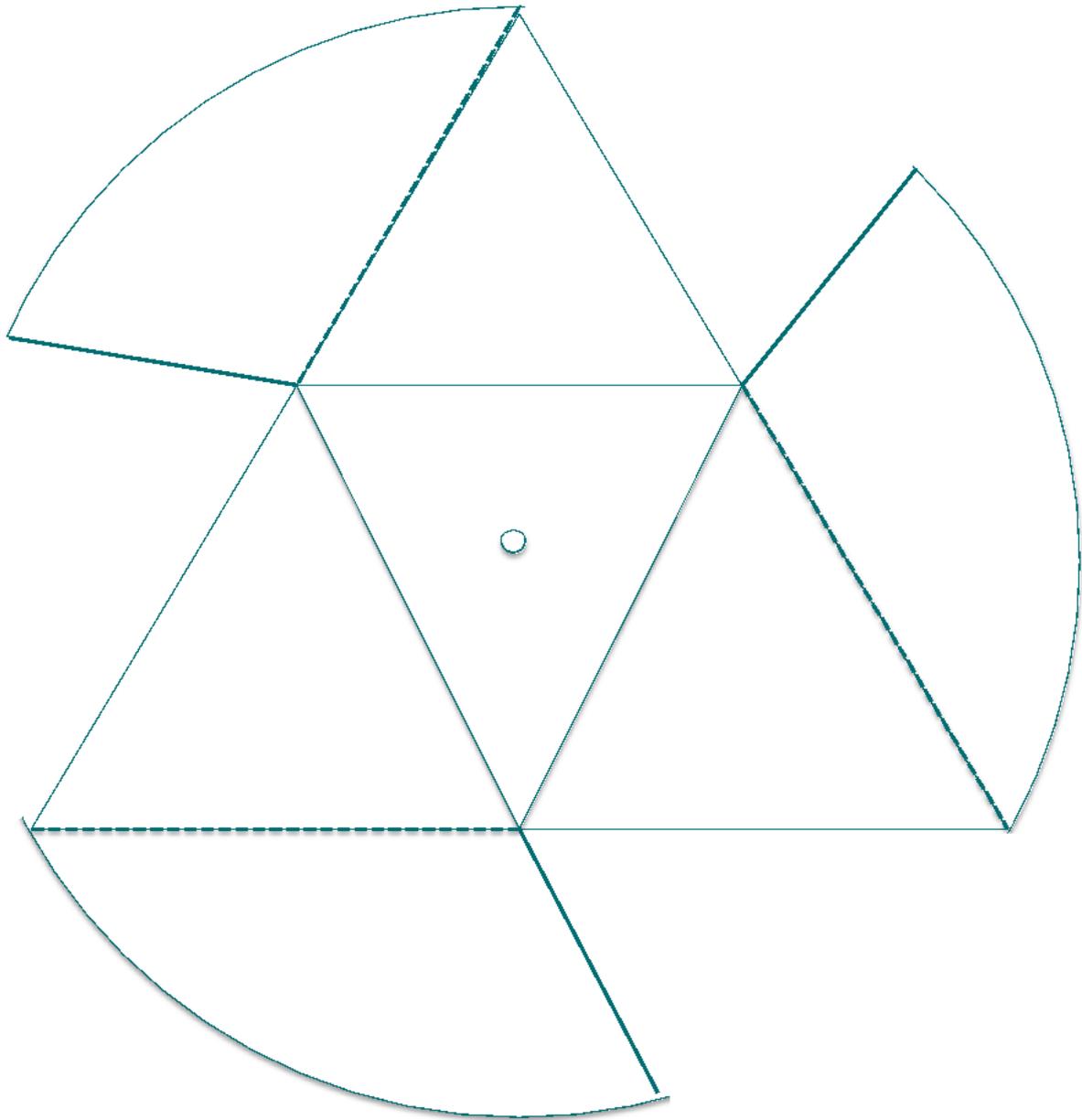


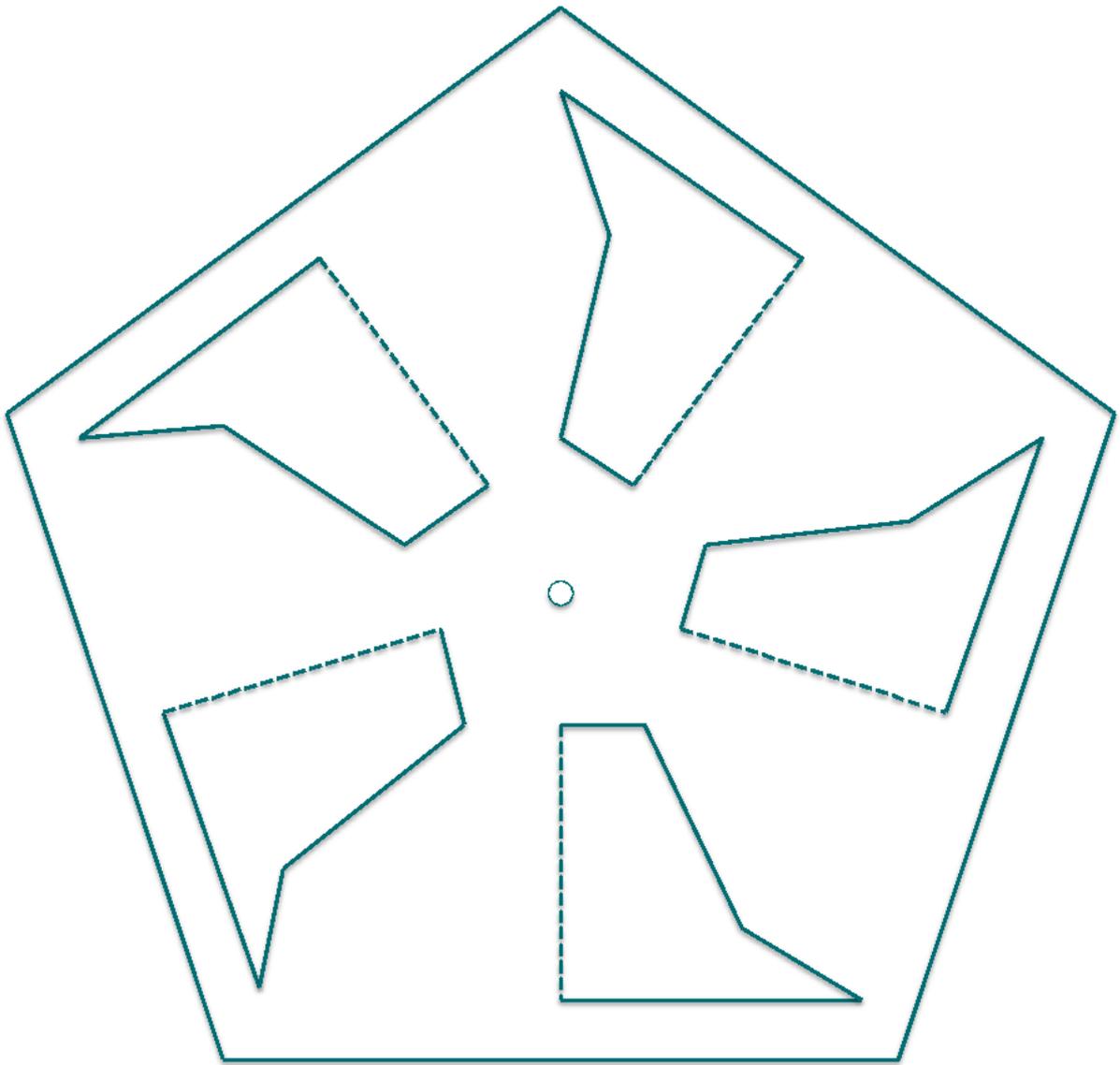
6.6 Kopiervorlage 1: Konstruktionsideen für einfache Windräder











6.7 Arbeitsblatt 2: Bau eines Anemometers

Eure Aufgabe

Baut mit dem bereitgestellten Material ein Anemometer und testet es an verschiedenen Standorten in der Nähe der Schule.

Eure Materialien

Das bekommt ihr	✓	Das braucht ihr	✓
Becher		Schere	
Holzstäbe (eckig und rund)		Stifte	
Nagel			
Hammer			
Reißzwecke			
Glasvase			
Digitales Anemometer			

Auf dem Bild seht ihr ein fertiges Anemometer. Schaut euch die Abbildung an und baut das Anemometer nach.

Mit dem Anemometer könnt ihr nun an verschiedenen Orten die Geschwindigkeit des Windes messen. Notiert euch nun Antworten auf die folgenden Fragen:

Wie viele Umrundungen machen die Becher in einer Minute? An welchen Orten ergibt es also Sinn, ein Windrad aufzustellen?



Ort	Umrundungen

6.8 Informationsblatt 2: Kriterien zum Bau eines Windparks

Eure Aufgabe

Überlegt euch wichtige Kriterien beim Bau eines Windparks. Beurteilt geeignete und weniger geeignete Standorte für den Bau eines Windparks.

Erste Ideen seht ihr in der Tabelle unten. In den leeren Feldern ist Platz für eure eigenen Ideen.

Der Abstand eines Windrads zu einer Hochspannungsleitung sollte _____ Meter sein.
Der Windpark soll nicht zu nah an einem Wohngebiet liegen. Der Abstand sollte _____ Meter sein.
In Naturschutzgebieten sollten keine Windräder stehen.

6.9 Informationsblatt 3: Infomaterial für Fortgeschrittene – Strommix in Deutschland

Die folgende Tabelle zeigt, wie der Strom in Deutschland von 2016 bis 2020 erzeugt wird – der sogenannte „Strommix“.

Stellt euch vor, ihr müsstest die Bewohner*innen der City4Future von erneuerbaren Energien überzeugen. Stellt die die Zahlen anschaulich dar.

Übrigens: TWh steht für „Terawattstunden“. Eine TWh entspricht 1 Milliarde Kilowattstunden (kWh). Leichter verständlich wird es, wenn man überlegt, was man mit einer Kilowattstunde alles machen kann: z.B. reicht eine Kilowattstunde aus, um etwa 50 Stunden lang den Laptop zu benutzen.

Energieträger	Anteil am Strommix in Deutschland	
	2020	2016
Erdgas	59 TWh	46,4 TWh
Kernenergie	61 TWh	80,0 TWh
Steinkohle	36 TWh	99,4 TWh
Braunkohle	82 TWh	134,9 TWh
Wasserkraft	18 TWh	19,9 TWh
Windkraft	132 TWh	47,0 TWh
Photovoltaik	51 TWh	37,5 TWh
Biomasse	45 TWh	47,0 TWh

6.10 Informationsblatt 4: Infomaterial für Fortgeschrittene

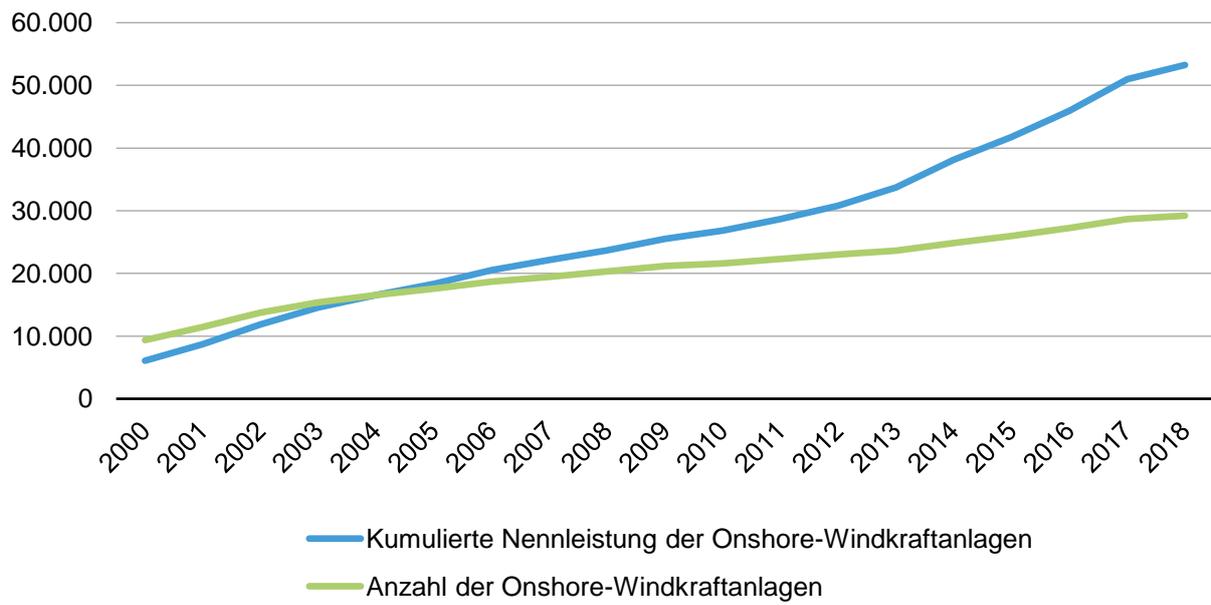
Der Anteil an Windenergie in Deutschland steigt immer weiter an, obwohl sich die Anzahl der Windkraftanlagen in den letzten Jahren kaum verändert hat.

Neue Windkraftanlagen leisten in der Regel deutlich mehr als alte Anlagen, die nicht mehr dem Stand der Technik entsprechen. Mit dem Austausch einer Anlage – auch Repowering genannt – kann man also deutlich mehr Strom erzeugen.

Sammelt Gründe für und gegen Repowering

Jahr	Leistung der Windkraftanlagen an Land (in Megawatt)	Anzahl der Windkraftanlagen an Land
1995	1.090	
1996	1.523	
1997	2.060	
1998	2.849	
1999	4.354	
2000	6.076	9.359
2001	8.711	11.438
2002	11.875	13.759
2003	14.553	15.387
2004	16.536	16.543
2005	18.347	17.574
2006	20.526	18.685
2007	22.144	19.460
2008	23.699	20.301
2009	25.503	21.164
2010	26.861	21.607
2011	28.679	22.297
2012	30.821	23.030
2013	33.713	23.645
2014	38.162	24.867
2015	41.776	25.980
2016	45.934	27.270
2017	50.975	28.675
2018	53.258	29.213

Quelle: Statistisches Bundesamt (2021)



Quelle: Statistisches Bundesamt (2021)

6.11 Arbeitsblatt 3: Beobachtung von Gruppenprozessen und der Präsentation

Beobachtungsbogen

Präsentation	Stimme überhaupt nicht zu	Stimme nicht zu	Stimme weder zu noch lehne ab	Stimme zu	Stimme voll und ganz zu	Kommentare
Interessanter Einstieg	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Fachlich überzeugender Inhalt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Schluss, der Präsentation abrundet	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Souverän vorgetragen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Laute, deutliche, verständliche Stimme	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Körperhaltung offen zum Publikum	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Beantwortung der Publikumsfragen korrekt beantwortet	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Was ist mir sonst aufgefallen?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

Gruppenprozesse	Stimme überhaupt nicht zu	Stimme nicht zu	Stimme weder zu noch lehne ab	Stimme zu	Stimme voll und ganz zu	Kommentare
Es beteiligen sich alle.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Jeder kennt seine Aufgabe und arbeitet zielgerichtet.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Jeder kann aussprechen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Streitigkeiten werden sachlich geklärt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Es gibt einen Moderator/ Vermittler bei der Gesprächsführung.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Das Zeitmanagement läuft gut.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Der Umgang mit den Materialien ist achtsam.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Das Team hat sich die Arbeit gleichmäßig aufgeteilt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Alle fühlen sich im Team wohl.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
Was ist mir sonst aufgefallen?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	