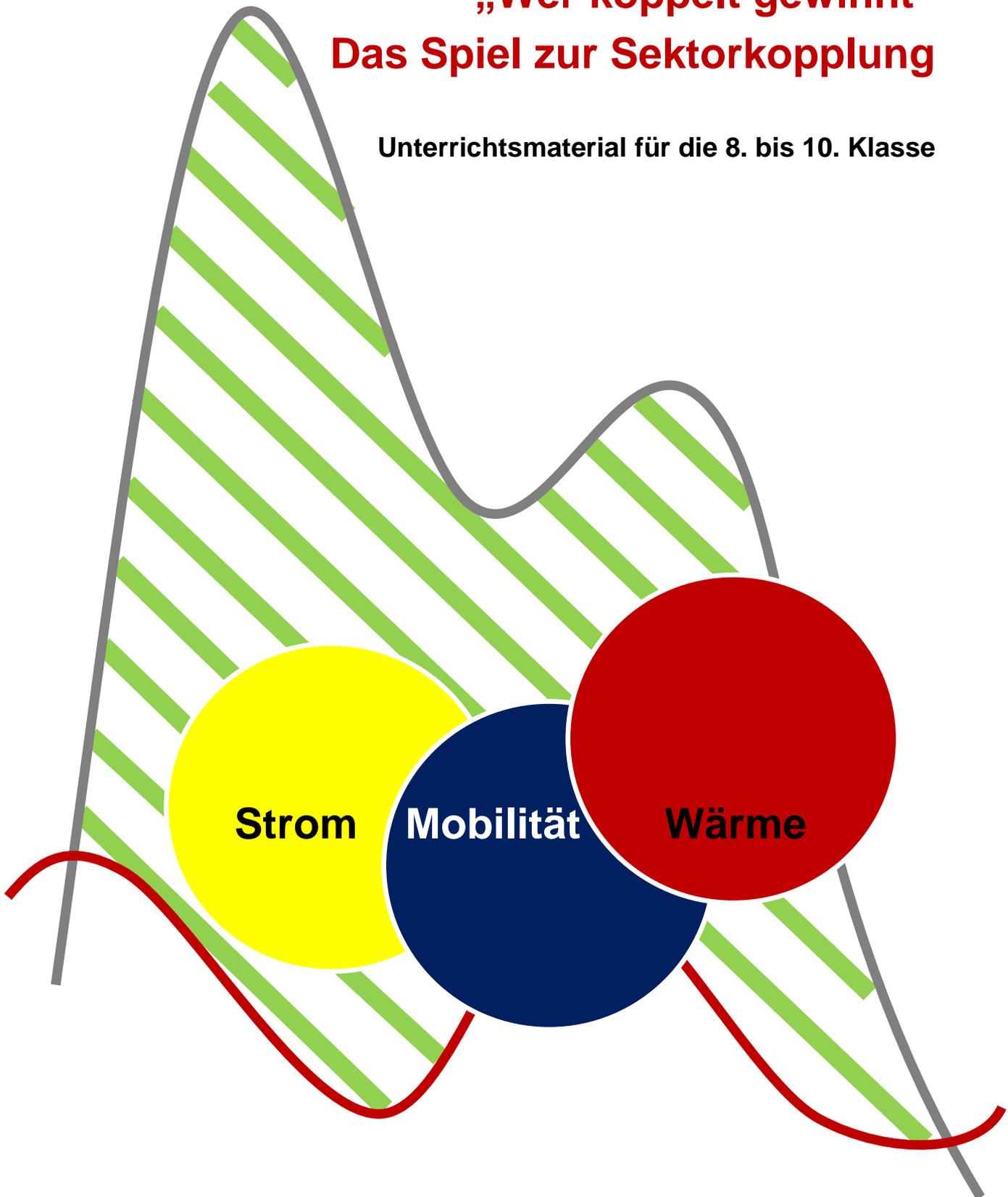


„Wer koppelt gewinnt“ Das Spiel zur Sektorkopplung

Unterrichtsmaterial für die 8. bis 10. Klasse





Einleitung

Kann man sich ein so komplexes Thema wie die Sektorkopplung mit einem Spiel erarbeiten?

Wir wollen es versuchen.

Die Spieler sollen auf spielerische Weise und im gegenseitigen Kontakt Einblick in die vielfältigen Perspektiven, Fragestellungen und Chancen der Sektorkopplung gewinnen. In der ersten Phase des Spiels lernen sie die Möglichkeiten kennen, die sich hierzu in den unterschiedlichen Bereichen bieten. Jedes Mal, wenn man die Spielfigur eines Mitspielers fangen kann, erwirbt man eine Option für die eigene Sektorkopplung.

In der zweiten Phase muss man dann aus den erspielten Optionen das Beste machen. Dabei hilft einem nicht das Würfelglück, sondern die Spieler*innen müssen selbst Entscheidungen treffen. In einer gemeinsamen Auswertung wird dann der Sieger des Spieles ermittelt. Wer sich hier ein weiteres Mal gut schlägt und den Mitspielern seine Lösungen verständlich erklären kann, bekommt Extrapunkte.

Im Spiel erfolgt eine eigenständige und intensive Auseinandersetzung mit dem sehr vielschichtigen Thema Sektorkopplung, ohne dass der Spass zu kurz kommt. Zugleich werden sowohl die Schlüsselqualifikationen fachliche, methodische und soziale Kompetenzen gefördert als auch die Fähigkeit zu vernetztem ganzheitlichen Denken und Handeln geschult.

Das ist einen Versuch wert.



Hintergrundwissen zur Sektorkopplung

In der Sektorkopplung sollen zukünftig Strom, Wärme, Mobilität und industrielle Prozesse energietechnisch und energiewirtschaftlich verknüpft werden. Ziel ist es, die Energienutzung in allen Verbrauchsbereichen zu dekarbonisieren, d.h. emissionsfrei zu gestalten. Dieses Ziel hat die Bundesregierung 2011 zum Schutz des Klimas festgeschrieben. Bis 2030 sollen Emissionen im Gesamtsystem um mindestens 55 Prozent und bis 2050 um 80 bis 95 Prozent gegenüber 1990 gesenkt werden.

Oberstes Ziel ist also die Dekarbonisierung aller Sektoren mit ihren sehr unterschiedlichen Anforderungen. Dabei geht es um ganz individuelle Lösungen und einer gleichzeitig ganzheitlichen Betrachtung. Die im Moment noch neben einander stehenden Komponenten sollen in ein Energiesystem integriert werden.

Wie soll das erreicht werden?

Der Zugang der Energiewirtschaft zu dieser Fragestellung ist die zukünftige Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien. Hier sind die Weichen gestellt und es ist schon viel passiert. Ca. 40 Prozent des heute benötigten Stroms werden schon aus Erneuerbaren Energien erzeugt, Werte weiter steigend.

Vor diesem Hintergrund stellen sich Experten die Frage, ob der CO₂-freie Strom aus Erneuerbaren vielleicht sogar helfen kann, die Sektoren Wärme, Mobilität und industrielle Prozesse emissionsfrei zu gestalten. Dabei ist nicht an eine einfache Elektrifizierung der drei Sektoren gedacht. Sie gehen vielmehr von den sehr spezifischen Fragestellungen in den einzelnen Sektoren aus, die nicht grundsätzlich, sondern in ihren jeweils spezifischen Zusammenhängen Strom nutzen können, um ihr CO₂-Ziel optimal zu erreichen. Um eine sinnvolle Dekarbonisierung der Bereiche zu erreichen, muss an vielen Stellen justiert, müssen technische Anlagen optimiert oder ausgetauscht werden, müssen für die unterschiedlichsten Fragestellungen CO₂-freie Lösungen gefunden werden und last but not least eine Flexibilisierung des Gesamtsystems vorgenommen werden.

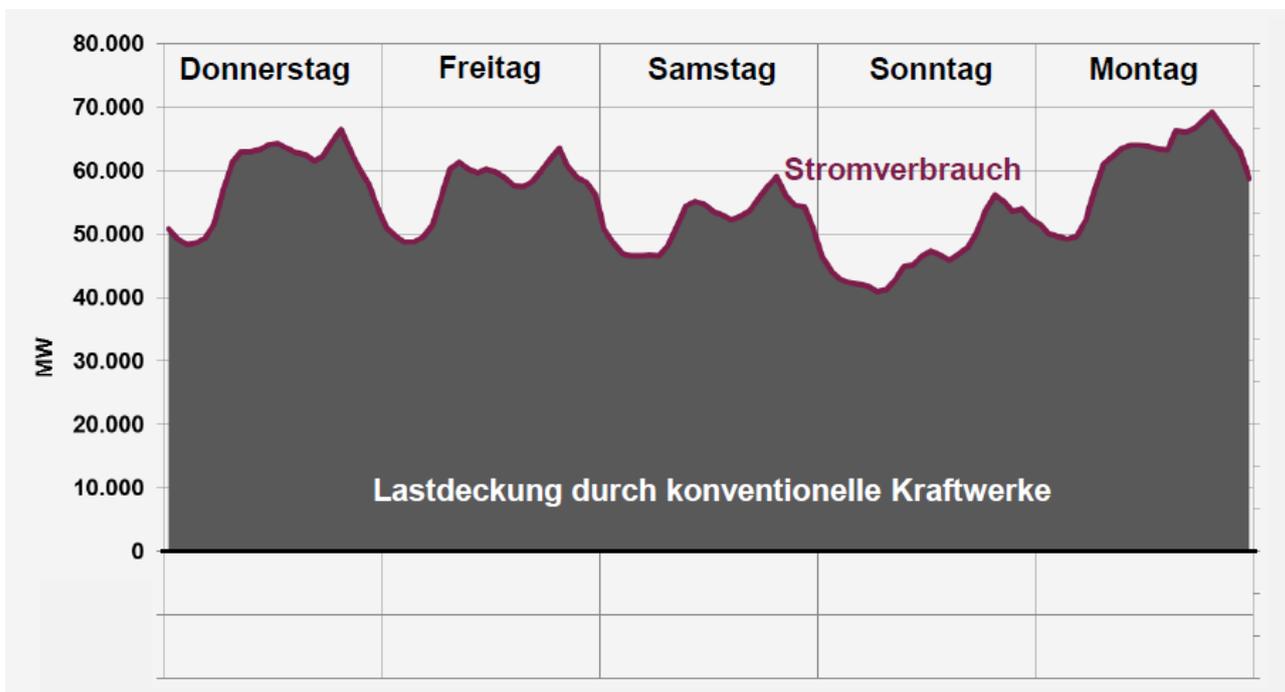


Die einzelnen Sektoren stehen also als solche und gleichzeitig gemeinsam auf dem Prüfstand.

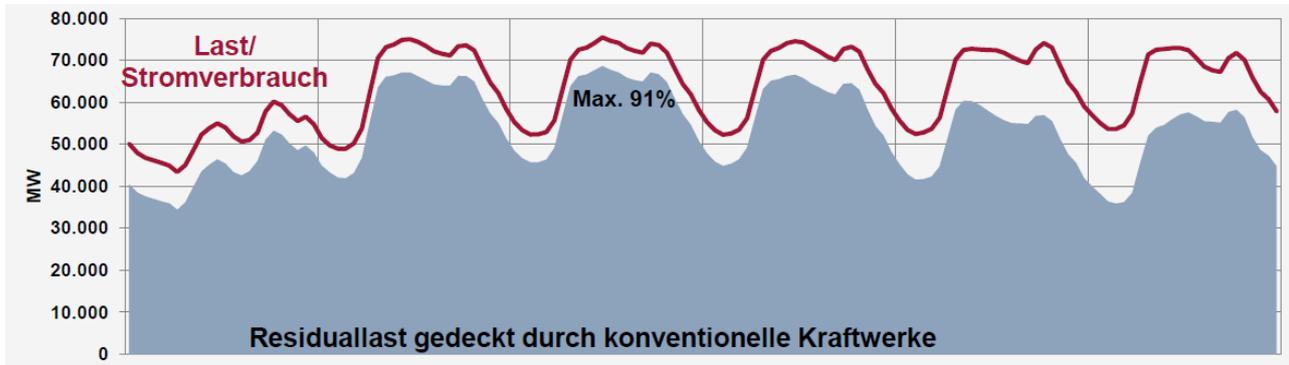
Um uns diesen komplexen Zusammenhängen anzunähern, werfen wir einen kurzen Blick auf das grundsätzliche Verhältnis zwischen Verbrauch und Erzeugung. Machen wir uns klar, wie das System aktuell funktioniert, wann wir heute Strom brauchen und wann im Vergleich dazu die Sonne scheint und der Wind weht.

Physikalisch betrachtet finden Erzeugung und Verbrauch von Strom im besten Fall zeitgleich statt. Strom kann auch heute nur mit hohen technischen und ökonomischen Aufwand gespeichert werden. Die historisch gewachsene Erzeugungsstruktur der Wärmekraftwerke konnte in der Vergangenheit direkt am Verbrauch ausgerichtet werden.

Die Verbrauchs- und Erzeugungskurven waren damals deckungsgleich.



Der Stromverbrauch ist die Menge an elektrischer Energie, die Elektrogeräte für ihren Betrieb benötigen. Ein Fön z.B. nimmt 2000 Watt (2 kW) elektrische Leistung auf. Wird der Haartrockner eine halbe Stunde lang betrieben, beträgt der Bedarf an elektrischer Energie $2 \text{ kW} \cdot 0,5 \text{ h} = 1 \text{ kWh}$ (eine Kilowattstunde).



Die zweite Tabelle zeigt wieder die Bedarfsdeckung an denselben Tagen durch konventionelle Kraftwerke. Die rote Linie bildet auch hier den Stromverbrauch ab. Die grauen Flächen die Bedarfsdeckung durch Wärmekraftwerke. Bei der geringen Erzeugung durch Erneuerbare musste die konventionellen Wärmekraftwerke in hohem Maße einspringen.

Wer koppelt gewinnt ● Wer koppelt gewinnt



Was meint in diesem Zusammenhang Flexibilisierung des Gesamtsystems?

Um die Vielfalt der CO₂-freien Erzeugungsmöglichkeiten auszuschöpfen, sinnvoll zu verknüpfen und zu stabilisieren, müssen möglichst alle Bereiche zusammenarbeiten. Ziel ist es, so viel wie möglich Wind und Sonne (mit all Ihrer Fluktuation, Tageszeit- und Wetterabhängigkeit) zu ernten. Mit der regulierbaren Wasserkraft, der planbaren Biomasse, aber auch der konventionellen Erzeugung wird die volatile Erzeugung dann so kombiniert, dass das System als Ganzes wieder stabil ist, wie wir es seit Jahrzehnten von der konventionellen Energieerzeugung gewohnt sind. Das erfordert eine sehr flexible Zusammenarbeit aller Arten der Stromerzeugung.

Auch die Stromnutzung muss in dem neuen System so flexibel wie möglich gestaltet werden. In der industriellen Produktion werden hier schon die ersten Schritte getan. Im Zuge des weiteren Ausbaus von Wind- und Photovoltaikanlagen kommt jetzt aber auch Privathaushalten eine immer größere Bedeutung zu. In Zukunft kann auch hier der Verbrauch um mehrere Gigawatt reduziert werden, wenn Privathaushalte mit Steuerungstechnik und intelligenten Messsystemen ausgestattet werden. Das sind aber nicht nur technische Fragestellungen, sondern auch Fragen an das Konsumverhalten der Verbraucher. Damit sich dieses ändert, sind finanzielle Anreize nötig. Attraktive Preisunterschiede zwischen verschiedenen Tarifzeiten könnten hier ein sinnvoller Ansporn sein.

Nur durch den Wechsel von einer relativ starren Struktur zwischen Verbraucher und konventionellen Erzeugern in ein auf beiden Seiten flexibles System können Angebot und Nachfrage in Zukunft jederzeit ausgeglichen werden.

Zusätzliche Möglichkeiten der Dekarbonisierung und der Flexibilisierung bietet die Elektromobilität. Fahrzeuge in allen Bereichen würden in Zukunft nicht nur mit erneuerbarem Strom fahren, sondern über ihre Batterien auch die Möglichkeit bieten Elektrizität zwischen zu speichern. Eine vergleichbare Bedeutung für



die Sektorkopplung wie die Elektromobilität im Verkehrssektor haben Wärmepumpen im Wärmesektor. Eine Wärmepumpe ist eine Maschine, die unter Aufwendung von technischer Arbeit niedrige Umgebungswärme aufnimmt und – durch elektrischer Antriebsenergie – als höhere Nutzwärme auf eine Raumheizung überträgt. So lassen sich nicht nur fossile Brennstoffe einsparen, sondern die Pufferspeicher der Wärmepumpen bilden im Wärmesektor, ähnlich wie die Batterien von Elektroautos im Verkehrssektor, auch einen großen „virtuelle“ Speicher, dessen Kapazität für das so wichtige Lastmanagement von großer Bedeutung ist.

Last but not least das weite Feld der Energiespeicher. Es gibt elektrische, chemische, elektrochemische, mechanische und thermische Energiespeicher. Ihr jeweiliger Einsatz muss genau abgewogen werden. Jede der Kategorien und Nutzungsmöglichkeiten sind für das Gelingen der Sektorkopplung von Bedeutung.

Besondere Herausforderung

Dieser komplexe Umstellungsprozess soll unter den Vorgaben der Wirtschaftlichkeit, Nachhaltigkeit und der Versorgungssicherheit gestaltet werden.

Die technischen Möglichkeiten der Umsetzung sind sehr vielfältig und bedürfen einer genauen Abwägung. Was ist technisch möglich? Was macht in welchem Zusammenhang Sinn? Was ist ökonomisch sinnvoll? Was findet die Zustimmung der Bevölkerung?

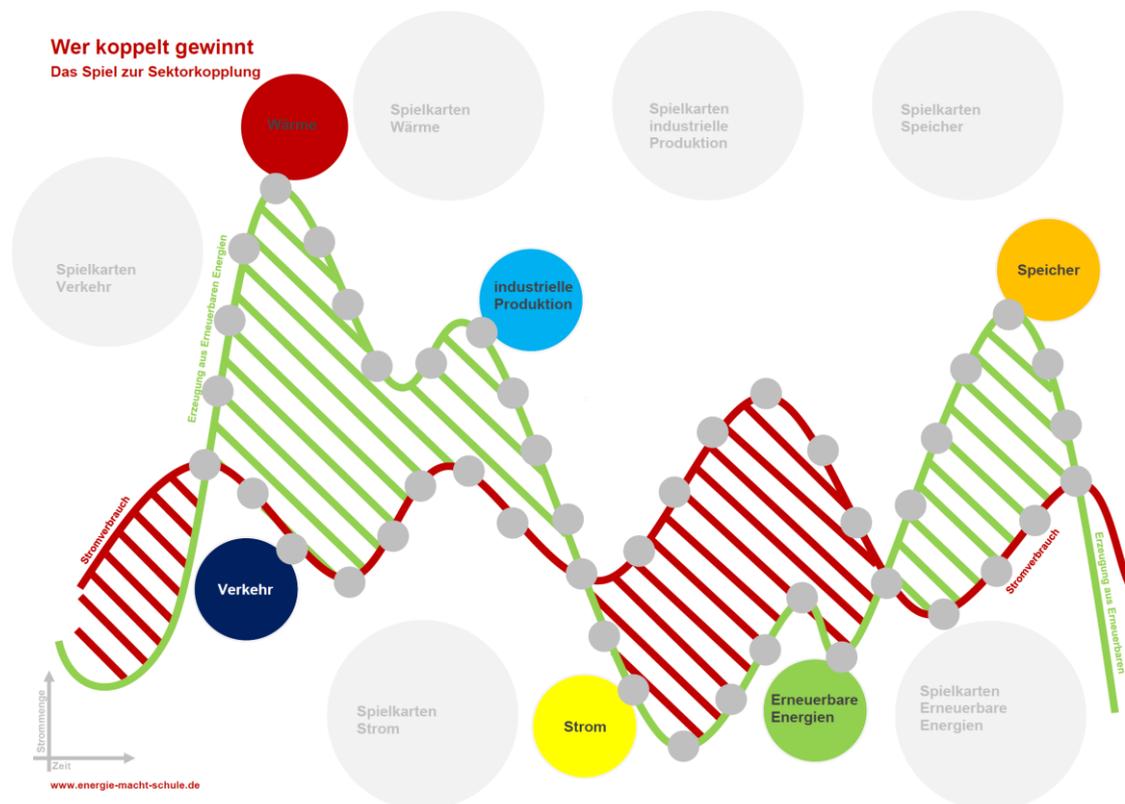
In den nächsten Jahren müssen Entscheidungen getroffen und Projekte technisch umgesetzt werden, die viele Jahrzehnte Bestand haben sollen. Welche Perspektiven es hier gibt, werden wir im vorliegenden Spiel thematisieren, anreißen, aber weder in all seinen Facetten darstellen noch abschließend klären können. Lassen Sie uns in die Diskussion einsteigen. Und erweitern Sie das Spiel gern um eigene Aspekte.



Spielverlauf

Das Spiel wird in zwei Phasen gespielt.

Phase 1:



Auf dem Spielplan sind zwei Kurven und sechs große Kreise abgebildet. Die Kurven stellen den Stromverbrauch in Deutschland und die heutige Stromerzeugung mit einem hohen Anteil Erneuerbarer Energien dar. In der Vertikalen ist die Strommenge in der Horizontalen die Zeit abgebildet.

Identifiziere die Verbrauchskurve und fahre sie mit dem Finger nach. Der Verbrauch ist im Laufe einer Woche recht gleichmäßig. Es gibt nach wie vor die Mittagsspitze und das Wochenendloch.

Identifiziere die Kurve der Stromerzeugung durch Erneuerbare Energien auf dem Spielplan und fahre sie mit dem Finger nach. Du merkst, die Stromerzeugung hat starke Ausschläge, die die Volatilität der Erneuerbaren darstellen.



Die sechs großen Punkte symbolisieren die Sektoren Strom, Wärme, Verkehr und industrielle Produktion, die in Zukunft gekoppelt werden sollen und die Bereiche Erneuerbare Energien und Speicher, mit deren Hilfe dies umgesetzt werden soll. Die schraffierten Felder sind der Überschuss und die Unterdeckung, die ausgeglichen werden müssen. Auf den grauen Flächen können die Spielkarten abgelegt werden.

In der ersten Phase werden die Optionen der Sektorkopplung erspielt. Mit jeder gewonnenen Spielfigur bekommt man eine Spielkarte, die eine Option der Sektorkopplung beinhaltet. Lest sie euren Mitspielern jeweils im Verlauf des Spieles vor. Ziel ist es in der ersten Phase so viel wie möglich Spielkarten zu erspielen. Es ist günstig für den weiteren Spielverlauf, wenn diese möglichst gemischt sind. Die erste Spielphase endet, wenn alle Spielfiguren gefangen oder alle Karten erspielt sind.

Phase 2:

Jeder legt seine Karten offen vor sich und versucht, möglichst sinnvolle Ketten zu bilden. Vielleicht ist es günstig, den Spielplan vom Tisch zu nehmen, damit alle ausreichend Platz haben. Nehmt euch Zeit, damit jeder seine Karten noch einmal lesen kann und sich in Ruhe überlegt, wie er jetzt die meisten Punkte bekommt. Bestimmt einen Mitspieler*in, der/die die Auswertungstabelle (Seite 24) ausfüllt. Die Punkteverteilung erfolgt in zwei Schritten. In einem ersten Schritt werden die grundsätzlichen Optionen, die sich allein aus den Farben ergeben, gezählt. Jede farbliche Übereinstimmung ist eine mögliche Kopplung, aber nicht zwangsläufig eine inhaltlich stimmige. Die Optionen liegen alle in der Zukunft. Es geht nicht darum, wie es heute ist, sondern wie es in Zukunft sein könnte. Beratet euch.

Wer seinen Mitspielern in einem zweiten Schritt verständlich erklären kann, wie seine Kopplungen funktionieren wird, bekommt je inhaltlich sinnvoller Sektorkopplung drei Zusatzpunkte. Markiert mit einer Spielfigur die inhaltlich stimmigen Kopplungen, damit ihr sie nicht wieder vergesst. Macht euch Notizen.



Spielregeln

Phase 1:

Mit den eigenen Spielfiguren werden möglichst viele Figuren der Mitspieler gefangen und ins eigene Spielfeld gebracht, ohne dabei eigene Spielfiguren an die Mitspieler zu verlieren (wie „Fang den Hut“).

Jeder Spieler erhält 3 Spielfiguren und die Spielkarten einer Farbe. Er setzt die Figuren auf sein Feld und legt die Karten auf das entsprechende Feld.

Der Spieler Wärme darf beginnen. Gespielt wird im Uhrzeigersinn. Wer an der Reihe ist, würfelt und zieht eine seiner Figuren entsprechend der gewürfelten Zahl in eine beliebige Richtung. Trifft dabei ein Spieler mit seiner Spielfigur mit genauer Würfelzahl auf eine andere Spielfigur, stülpt er die eigene Figur über die Andere und bildet einen Turm. Der Spieler, der so seine Spielfigur verliert, zieht eine seiner Spielkarten, liest diese laut vor und übergibt sie dem Spieler, der seine Figur gewonnen hat. Ein Spieler, der mit einer gewonnenen Figur unterwegs ist, darf sich auf weitere Figuren setzen, wenn er wieder mit genauem Wurf auf eine fremde Figur trifft. Nur der oberste gefangene Hut muss eine Spielkarte abgeben. Wer einmal eine Karte erhalten hat, hat diese sicher. Eigene und fremde Figuren dürfen übersprungen werden. Das übersprungene Feld wird mitgezählt. Würfelt ein Spieler eine 6, darf er noch einmal würfeln.

Die gewonnenen Figuren können sofort oder später ins eigene Feld gebracht werden. Dazu muss das eigene Feld nicht mit genauer Würfelzahl erreicht werden. Überzählige Würfelpunkte verfallen. Bringt man eine gewonnene Spielfigur ins eigene Feld, darf man eine eigene Spielkarte ziehen. Auch diese liest man den Mitspielern vor. Spielfiguren der eigenen Farbe dürfen wieder ins Spiel gebracht werden. Die Basisfelder dürfen nur von Spielfiguren der jeweiligen Farbe betreten werden.

Innerhalb eines Zuges darf weder die Richtung noch die Spielfigur gewechselt



optionale Zusatzspielregel:

Überlegt Euch selbst eine Regel nach der man Karten tauschen darf, um ein besseres Ergebnis zu erreichen. Zum Beispiel könnte jeder in einer Zusatzrunde einem Mitspieler ein Tauschangebot machen dürfen. Wer tauscht bekommt einen Punkt abgezogen, hat aber die Chance durch eine Kopplung oder eine Erklärung weitere Punkte zu gewinnen.

Wenn ihr im Unterricht oder bei der Recherche auf weitere Optionen der Sektorkopplung gestoßen seid, ergänzt die Spielkarten. Leere Karten findet ihr auf den Seiten 30/31.

Wer koppelt gewinnt



Wer koppelt gewinnt



Wer koppelt gewinnt



Wer koppelt gewinnt



Wer koppelt gewinnt

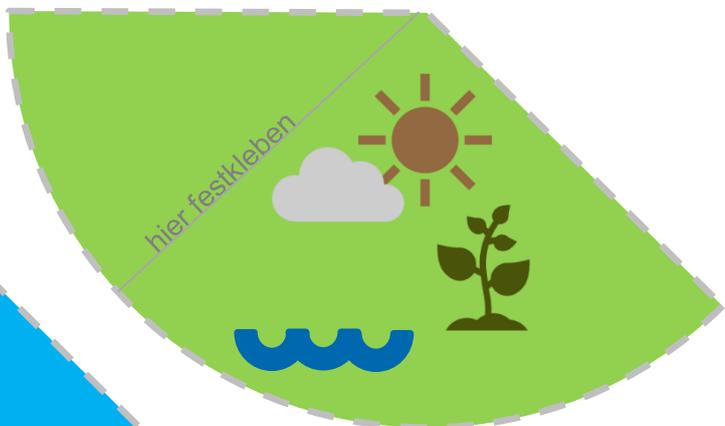
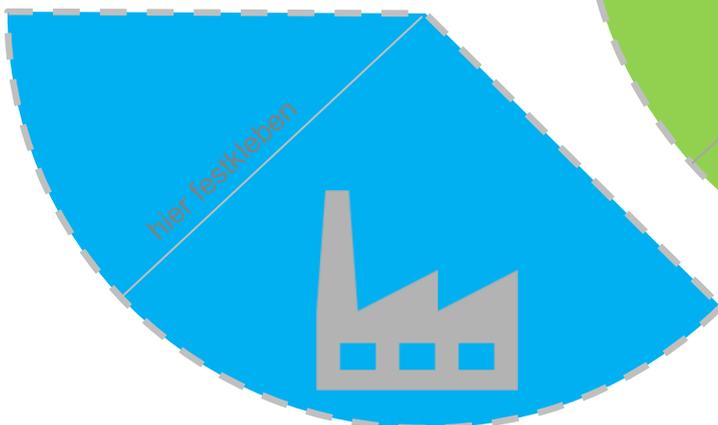
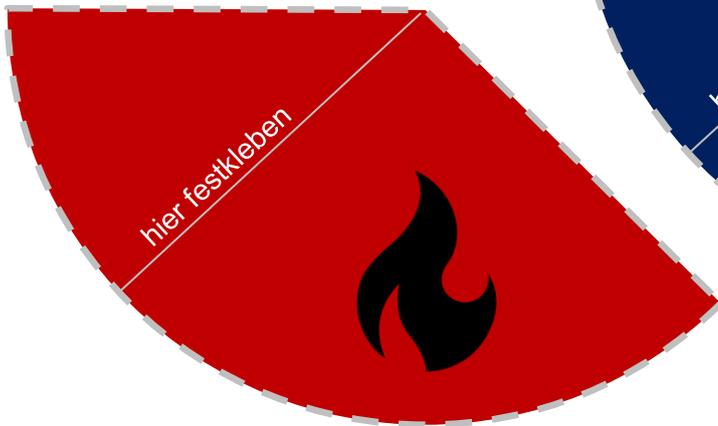
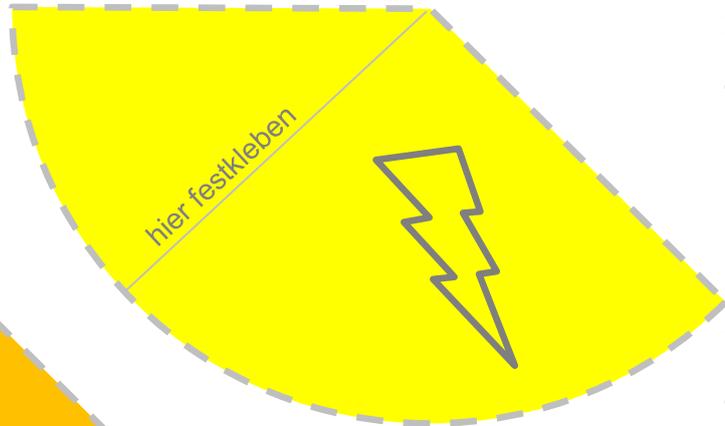
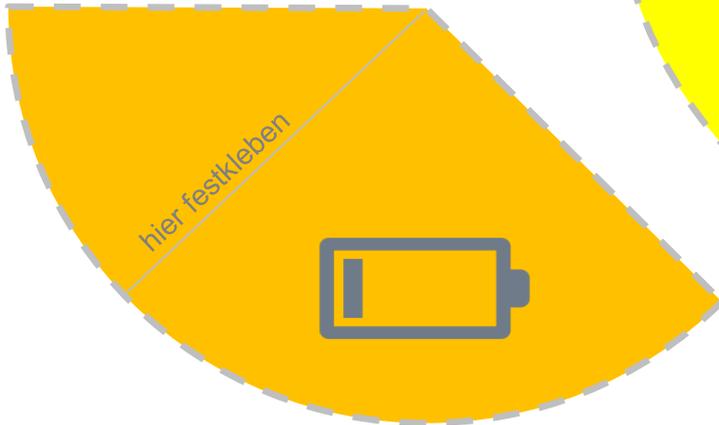


Wer koppelt gewinnt



Die Spielfiguren zum Ausschneiden

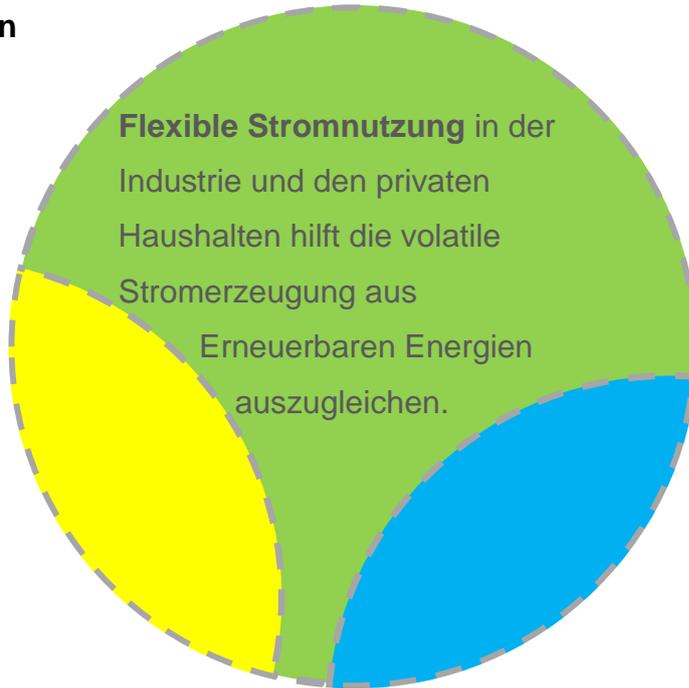
(3 x ausdrucken)



Wer koppelt gewinnt ● Wer koppelt gewinnt



Die Spielkarten



Wer koppelt gewinnt ● Wer koppelt gewinnt

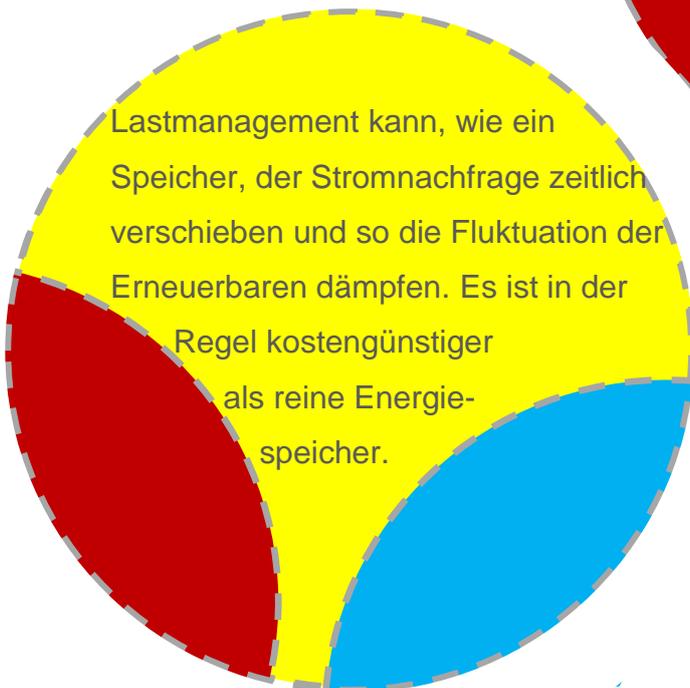
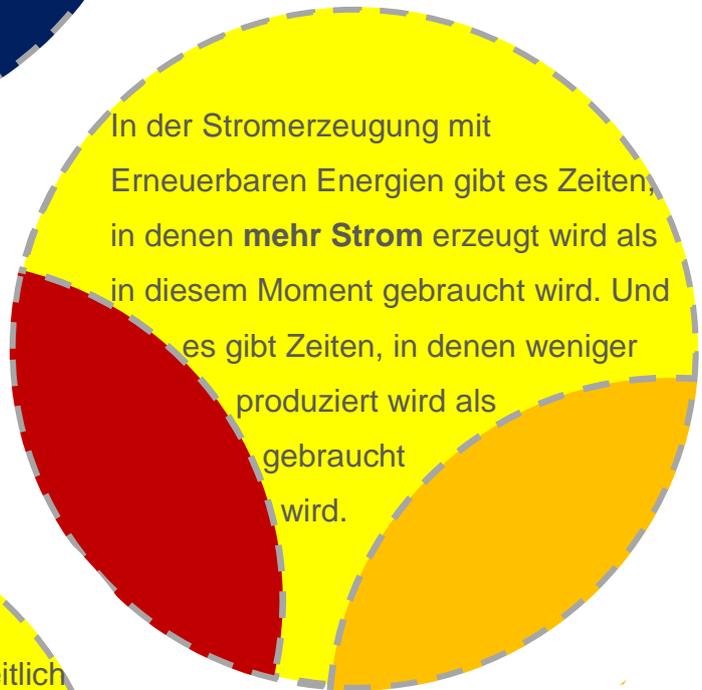


Gaskraftwerke können mit **Biogas** oder Methan betrieben werden.

Es ist kostengünstiger **Strom** aus Erneuerbaren Energien direkt zu nutzen, als ihn in Wasserstoff umzuwandeln.

Die Sonne scheint und die **Photovoltaikanlagen** produzieren mehr Strom als gleichzeitig verbraucht wird.

Wer koppelt gewinnt ● Wer koppelt gewinnt



Wer koppelt gewinnt ● Wer koppelt gewinnt



Veredeltes Biogas (Methan) kann in **Wärme­kraftwerken** verbrannt werden. So kann klimaneutraler Strom erzeugt werden.

Mit Strom kann man in Elektrolyseanlagen aus Wasser Wasserstoff herstellen. Mit dem ungenutzten CO₂ aus Biogasanlagen kann dieser zu **Methan** veredelt werden.

Ein **Hybridfahrzeug** ist ein Kraftfahrzeug, das von mindestens einem Elektromotor und einem weiteren Energiewandler angetrieben wird. Der Verbrauch fossiler Kraftstoffe soll so verringert werden.



Die **Abwärme** z.B. von Rechenzentren kann ins Wärmenetz eingespeist oder gespeichert werden.

Wärmenetze können ein Drittel aller Gebäude in Deutschland mit Wärme versorgen.

Solarkollektoren produzieren Wärme, die in Saisonspeichern zum Heizen aufbewahrt werden kann.

Wer koppelt gewinnt ● Wer koppelt gewinnt



Wärmepumpen

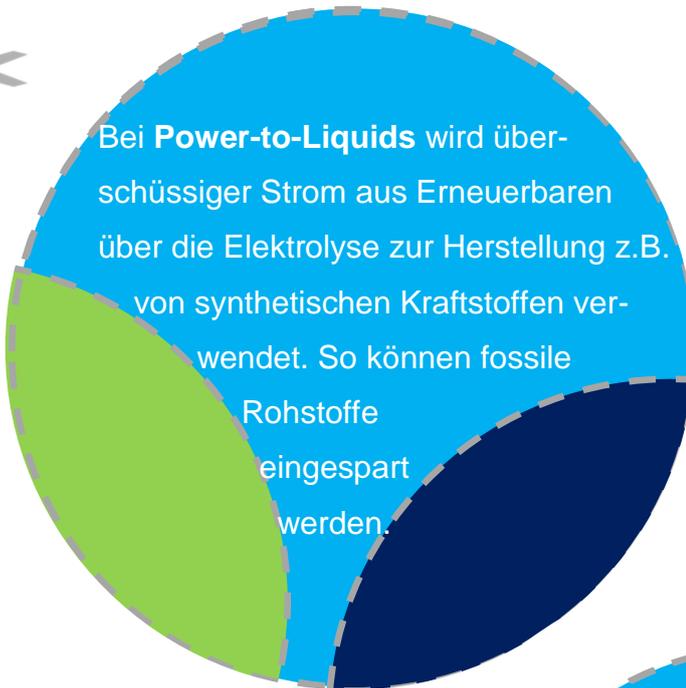
werden mit Strom betrieben. In ihnen wird die Temperatur der Umweltwärme durch Wärmetauscher und die Verdichtung eines Kältemittels erhöht.

So produzieren sie Wärme, die vielfältig genutzt und gespeichert werden kann.

Die Weiterverwendung von **Abwärme** ist ein wichtiger Hebel, um Energieträger in ihrer Gesamtbilanz effizient zu nutzen.

Ölheizungen können durch strombetriebene **Wärmepumpen** beim Heizen ersetzt werden.

Wer koppelt gewinnt ● Wer koppelt gewinnt



Wer koppelt gewinnt ● Wer koppelt gewinnt



Der Industriesektor unterscheidet sich stark von den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr. In der Produktion werden deutlich höhere Temperaturen für die Prozesswärme benötigt.

Die direkte Nutzung von erneuerbarem **Strom** durch den Einsatz von Elektrodenkesseln in Temperaturbereichen bis 500°C spart fossile Rohstoffe.

Power-to-heat für die hohen Temperaturen, die für die Prozesswärme in der industriellen Produktion gebraucht wird, wird in KWK-Kraftwerken ausgebaut.

Wer koppelt gewinnt ● Wer koppelt gewinnt



Als **Langzeitspeicher** für Methan, das mit überschüssigem Strom aus Erneuerbaren Energien hergestellt wird, kommt das Erdgasnetz mit den dazugehörigen Kavernenspeichern in Frage.

Da Elektroautos häufig länger an der Steckdose sind als sie zum Laden brauchen, können ihre Batterien als **Zwischenspeicher** genutzt werden, die auch wieder Strom ins Netz abgeben können.

Wärme lässt sich einfacher speichern als Strom. Es gibt aber immer Verluste bei der Umwandlung.

Wer koppelt gewinnt ● Wer koppelt gewinnt



Pumpspeicherkraftwerke werden schon seit langer Zeit als **Speicher** für große Energiemengen genutzt.

Es gibt elektrische, chemische, elektrochemische, mechanische und thermische **Energiespeicher**.
Ihr jeweiliger Einsatz muss genau abgewogen werden.

Pumpspeicherkraftwerke und Batterien können **Schwankungen** in der Stromerzeugung für einige Stunden abpuffern.

Wer koppelt gewinnt ● Wer koppelt gewinnt



Mit verbesserten Batterien können **Fahrzeuge mit Elektromotor** in vielen Bereichen Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren ersetzen.

Effiziente Antriebe von Fahrzeugen sind ein wichtiger Hebel, um **Emissionen** zu reduzieren.

Klimaneutrale Kraftstoffe wie synthetisches Methan ergänzen Strom aus Erneuerbaren Energien.



(Bio)Kraftstoffe eignen sich besonders gut für den Güterverkehr.

Mit zusätzlichen Segeln oder Flugdrachen könnten **Containerschiffe** in Zukunft bis zu 30 Prozent Schweröl sparen.

Besonders schwierig ist die Umstellung auf einen emissionsfreien Antrieb in der **Luftfahrt**. Hier werden Kraftstoffe mit einer hohen Energiedichte benötigt.

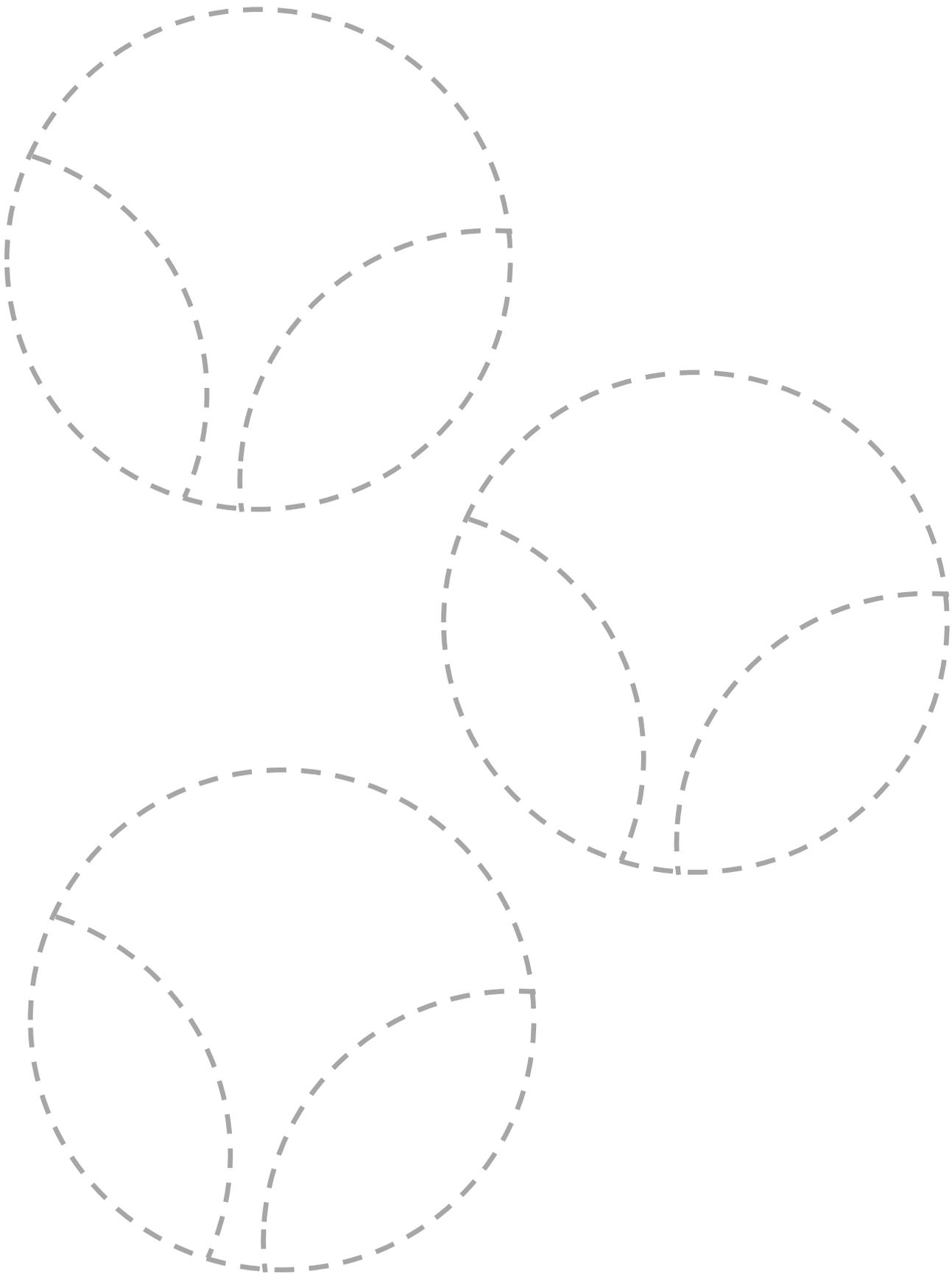
An einem Biokerosin wird an verschiedenen Universitäten geforscht.

Wer koppelt gewinnt ● Wer koppelt gewinnt



Karten für eigene Ideen

Wer koppelt gewinnt ● Wer koppelt gewinnt



Wer koppelt gewinnt ● Wer koppelt gewinnt



Auswertung

Jede Karte ist einen Punkt wert.

Die erste farbliche Kopplung ist einen Punkte wert, die zweite farbliche Kopplung zwei Punkte, etc.

Eine inhaltliche Erklärung gibt drei Punkte, zwei Erklärungen sechs, etc. Jede farbliche Kopplung ist nicht zwangsläufig eine inhaltlich stimmige.

	Spieler/in Strom	Spieler/in Wärme	Spieler/in Verkehr	Spieler/in EE	Spieler/in E-mobility	Spieler/in Speicher
Name						
 1 Punkt						
 3 Punkte						
 6 Punkte						
 10 Punkte						
weitere Ketten						
Punkte für gute Erklärungen						
Summe						

Wer koppelt gewinnt ● Wer koppelt gewinnt

