



MEGAWATTS & MARBLES

Die Energiewende selber umsetzen



Spielleitermappe zum Lehrmittelset

Ein (2 x 45 Minuten) Workshop zur
Steigerung der Energiekompetenz



Inhaltsverzeichnis

Einleitung	3
Hintergrund	3
Das Lehrmittelset	4
Vorbereitung	5
Workshop-Ablauf	6
Regeln	7
Grundidee	7
Einführungsszenario	8
Eigenes Szenario	8
Spieler-Einteilung	10
Startbedingung Grundlastkraftwerke	10
Spielverlauf	10
Der Kraftwerkspark	11
Punktewertung	13
Wetter mit der M&M-Companion-App	15
Zusatzinformationen	17
Weitere Szenario-Varianten	17
Diskussionsthemen	17
Realitätsbezug von Megawatts & Marbles	18
Info-Material	19
Weiteres Spiel-Material	21
Bestandteile des Lehrmittelsets	23
Kontaktinformationen	23



Aus Gründen der Lesbarkeit wurde im folgenden Text meist die männliche Form gewählt, nichtsdestoweniger beziehen sich die Angaben auf Angehörige jeden Geschlechts.

Einleitung

Das Energieplanspiel *Megawatts & Marbles* (Megawatt & Murmeln) ist ein 90-minütiges Workshop-Angebot für Schülerinnen und Schüler der Jahrgangsstufen 9 bis 13 sowie für Erwachsene. Es macht die positiven und negativen Eigenschaften verschiedener Energiequellen erlebbar. Das Strategiespiel wurde an der University of Victoria in Kanada entwickelt.

Die Spieler schlüpfen in die Rolle von Ingenieuren, die einen optimalen Kraftwerksmix aufstellen müssen. Der Strom – Murmeln anstelle von Megawatt – wird den Verbrauchern einer Modellstadt zugeleitet.

Zu Beginn eines Workshops werden physikalische Eigenschaften verschiedener Kraftwerkstypen kurz zusammengefasst. Hieraus ergeben sich vereinfachte, aber physikalisch korrekte Spielregeln. Ohne ausreichende Speichertechnologien müssen Stromverbrauch und Stromerzeugung zu jedem Zeitpunkt übereinstimmen. Ein systemorientierter Ansatz ist notwendig, um die verschiedenen Kraftwerke zu einer funktionierenden Energieversorgung zu verbinden.

Der Workshop soll grundlegendes Wissen vermitteln. Mit dem erworbenen Sachverstand können die Spieler die System-Zusammenhänge und die sich daraus ergebenden Herausforderungen der Energiewende selbstständig beurteilen.

Hintergrund

Das Spiel *Megawatts & Marbles* ist dem elektrischen Energiesystem nachempfunden. Die Spielenden haben die Aufgabe, das Angebot und die Nachfrage nach Strom im Gleichgewicht zu halten. So können sie die Physik und die Technik erleben, die sich hinter der Stromversorgung verbergen.

Im Gegensatz zu anderen Verbrauchsgütern wird Strom nicht aufbewahrt (zumindest nicht in signifikanten Mengen). Denken Sie an Produkte, die Sie im täglichen Leben kaufen: Brot, zum Beispiel. Es wird früh am Morgen gebacken, liegt dann aber im Regal der Bäckerei, bis Sie es kaufen. Es wird also, bevor Sie es essen, aufbewahrt – vielleicht sogar bis zum nächsten Tag. Eine ganze Weile vergeht also zwischen der Produktion und dem Verzehr.

Beim Strom läuft das anders. In jedem Augenblick muss von den Kraftwerken genau so viel Strom erzeugt werden, wie von den Verbrauchern abgenommen wird – auch wenn die Kraftwerke tausende Kilometer von den Verbrauchern entfernt liegen.

Dies wird durch ein sehr komplexes und ständig überwacht Energiesystem ermöglicht, das sich hinter Ihrer Steckdose verbirgt. Dieses System besteht aus einem verzweigten Netzwerk von Stromgeneratoren und Verbrauchern, die mit Stromleitungen über weite Entfernungen miteinander verbunden sind.



Überwacht und gesteuert wird dieses ganze System über die Netzfrequenz – 50 Hertz Wechselstrom, welche im gesamten Verbundnetz konstant ist.

Liegt die abgenommene Leistung (bei steigender Nachfrage) über der den Generatoren zugeführten Leistung, dann wird das Leistungsdefizit zwischen zugeführter und abgenommener Leistung aus der Rotationsenergie der Generatoren gedeckt. Die Generatoren werden dadurch langsamer – die Netzfrequenz sinkt.

Weil für viele Maschinen nur sehr kleine Abweichungen von der Netzfrequenz tolerabel sind, muss steigender Verbrauch stets direkt durch steigende Produktion ausgeglichen werden. Wenn bestimmte Kraftwerke keinen Strom liefern (z.B. wegen Windflaute oder Sturm), müssen andere Kraftwerke aushelfen.

Wichtig ist: Stromerzeugung und -verbrauch müssen zu jedem Zeitpunkt übereinstimmen.

Das Lehrmittelset

Das Lehrmittelset ist eine kleinere, vereinfachte Version unseres großen *Megawatts & Marbles*-Spielsets. Das große Spielset (siehe Foto unten links) kommt bei den Workshops in unserem Institut, bei Veranstaltungen und auf Messen zum Einsatz. Dort entspricht eine Murmel 1 GW elektrischer Leistung, was dem Spiel auch seinen Namen *Megawatts & Marbles* verliehen hat. Das Lehrmittelset (Foto rechts) wurde für die Verwendung im Unterricht entwickelt und Murmeln wurden hier durch Perlen ersetzt.



Foto: MUOVE.DESIGN Jens Mueller,
www.muove.de

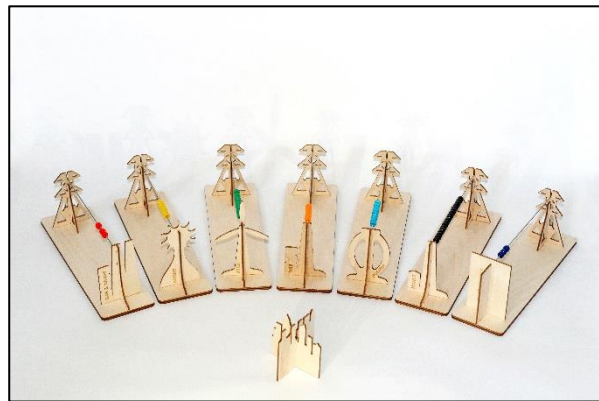


Foto: IPP, Elisabeth Jalezke

Das Lehrmittelset enthält Sperrholzmodelle von sieben Kraftwerken (**Gas&Dampf**, **Sonne**, **Wind**, **Gas**, **Fusion**, **Kohle** und **Wasserkraft**) und eine Modellstadt. Drähte stellen die Stromleitungen zwischen Kraftwerk und Verbraucher dar. Auf diese Drähte werden die Perlen, welche im Lehrmittelset den ursprünglichen Murmeln entsprechen, aufgefädelt. Jede Perle entspricht 1 GW elektrischer Leistung. Für jedes Kraftwerk müssen die Perlen der zugehörigen Farbe entsprechend der installierten Leistung auf die Drähte aufgefädelt werden.

Zusätzlich gehört zum Lehrmittelset:

- eine Kurzanleitung (pdf),

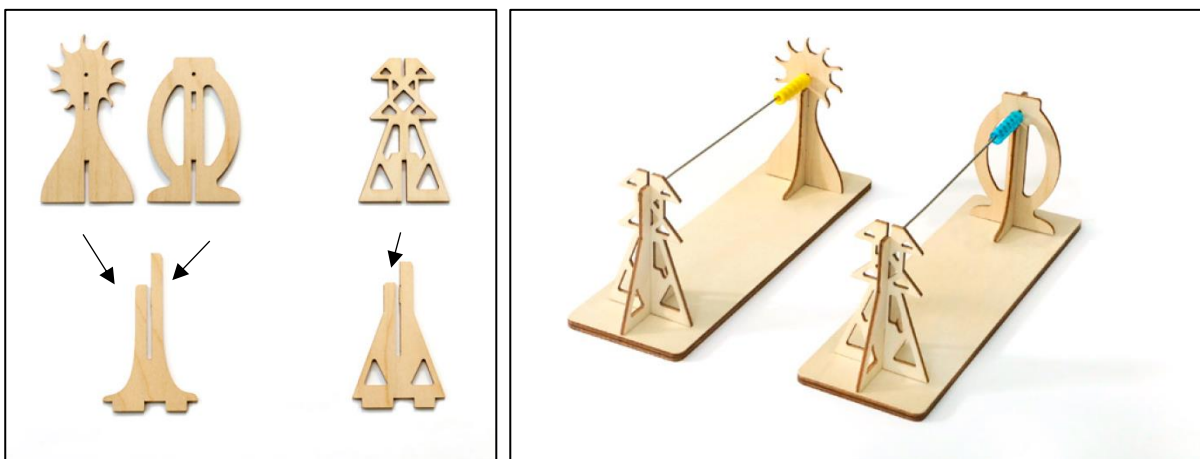


- die Spielleitermappe (pdf),
- ein Spielleitervortrag (ppt/pdf),
- ein Schema zur Punkteauswertung mit Hilfe einer Tabellenkalkulation (xlsx/ ods)
- oder eines Punkteblatts (pdf)
- und die M&M-Companion-App (Webanwendung).

In der M&M-Companion-App werden die Wetterdaten für die Wind- und Solarkraftwerke generiert. Diese zusätzlichen Materialien sind unter <https://www.ipp.mpg.de/energieplanspiel> zu finden.

Vorbereitung

Die Kraftwerksmodelle und Strommasten müssen zusammengebaut und in die Grundplatten gesteckt werden. Man beachte hier die unterschiedlichen Steckteile für die Kraftwerke und die Strommasten - siehe Bild unten links. Die Perlen der jeweiligen Farbe auffädeln und die Drähte zwischen die Kraftwerke und Strommasten eingesetzt (Farben: rot-**Gas&Dampf**, gelb-**Sonne**, grün-**Wind**, orange-**Gas**, türkis-**Fusion**, schwarz-**Kohle** und blau-**Wasserkraft**).



Fotos: IPP, Elisabeth Jaletzke

Zur besseren Spielbarkeit können die Strommasten und Kraftwerke mit Holzleim, einem Gummiband oder ähnlichem an den Grundplatten fixiert werden. So kann verhindert werden, dass während des Spiels die Drähte rausrutschen und sich die Perlen auf dem Boden verteilen.

Konfiguration des Kraftwerksparks:

Eine Perle entspricht 1 Gigawatt (GW) elektrischer Leistung. Zur Installation stehen insgesamt 36 GW zur Verfügung. Diese müssen in Vielfachen von 3 GW auf die ausgewählten Kraftwerke verteilt werden.

Um den Stand des Wasserspeichers zu notieren, muss für jedes Lehrmittset ein Punkteblatt ausgedruckt werden. Dort soll auch die bereitgestellte Leistung jedes Kraftwerks für jeden Zeitschritt notiert werden. Wird ein „Eigenes Szenario“ gespielt, können so auch später die CO₂-Strafpunkte mit eingerechnet werden.



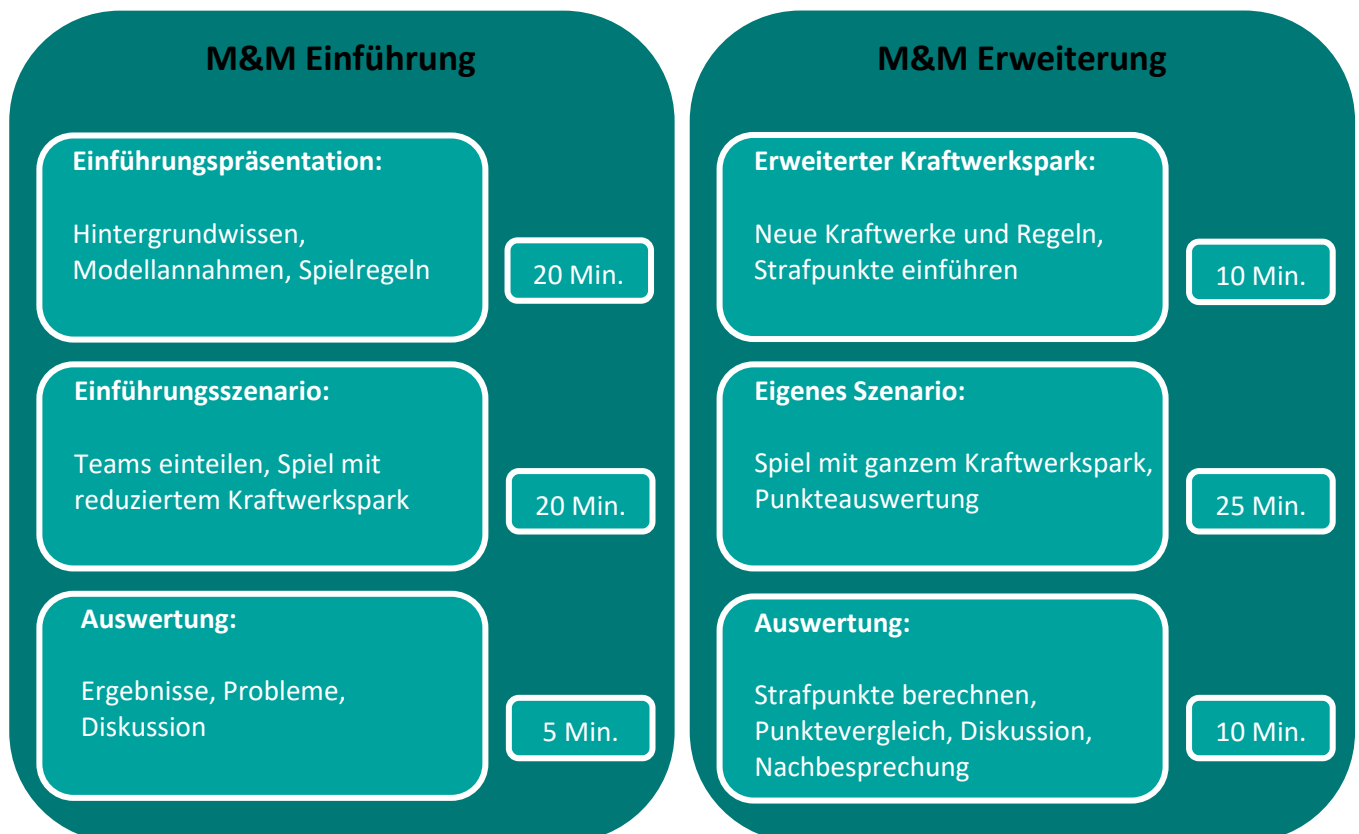
Workshop-Ablauf

Die wichtigsten Inhalte des Workshops und der Spielablauf sind im Spielleitervortrag festgehalten, der Stück für Stück durch den Workshop führt. Der Spielleitervortrag ist unter <https://www.ipp.mpg.de/energieplanspiel> zu finden.

Der Workshop beginnt mit einer Einführungspräsentation (= Spielleitervortrag). In dieser erläutert der Spielleiter oder die Spielleiterin wichtige Grundlagen des Energiesystems und erklärt die Modellannahmen. Nach der Einführung der ersten Spielregeln wird das „Einführungsszenario“ mit einem reduzierten Kraftwerksmix gespielt. Im Anschluss an dieses „Einführungsszenario“ ist eine kurze Diskussionszeit eingeplant.

Im zweiten Teil des Workshops stellt der Spielleiter den erweiterten Kraftwerkspark und die dazugehörigen Regeln vor. Jetzt wird ein „Eigenes Szenario“ gespielt. Dafür kann jetzt aus den sieben Kraftwerken ein eigener Kraftwerksmix zusammengestellt werden. Im „Eigenen Szenario“ werden auch Strafpunkte für CO₂-Emission mitberücksichtigt. Am Ende dieser Runde werden die Punkte ausgewertet; es ist wieder eine Diskussionszeit und Nachbesprechung eingeplant. In der Nachbesprechung soll vor allem darauf eingegangen werden, was im Spiel aufgrund der notwendigen Vereinfachung nicht berücksichtigt werden konnte, zum Beispiel der Einfluss von Speichermöglichkeiten auf das System (siehe Diskussionsthemen).

Empfohlener Ablauf:





In der klassischen Darbietungsform läuft der Workshop über 90 Minuten ohne Pause. Man kann aber auch nach der Einführungsrunde unterbrechen und dadurch die Inhalte z.B. auf zwei oder mehr Schulstunden aufteilen.

Mit einem Lehrmittelset spielen alle Spieler zusammen in einem Team. Sind mehrere Sets vorhanden, ist eine Aufteilung von ca. zehn Spielern pro Set optimal.

Regeln

Grundidee

Megawatts & Marbles simuliert spielerisch ein Energiesystem mit Kraftwerken, Leitungen und Verbrauchern. Als Vorbereitung auf das Spiel spielen die Spieler ein vom Spielleiter ausgewähltes Szenario mit festen Vorgaben. In der zweiten Runde einigen sich die Spieler auf eine Zusammenstellung des Kraftwerksparks nach den erlaubten Regeln. Eine Perle entspricht 1 Gigawatt (GW) elektrischer Leistung. Zur Installation stehen insgesamt 36 GW zur Verfügung.

Während des Spiels werden die Verbrauchswerte einer Modellstadt (siehe Anhang) vom Spielleiter vorgegeben. Sie müssen vom Kraftwerksmix der Spieler in jeder der zwölf Runden exakt gedeckt werden. Dabei wird angenommen, dass alle Stromleitungen perfekt funktionieren: keine Leitungsverluste; alles was erzeugt wird, kommt beim Verbraucher an. Regenerative Energielieferanten (Sonne, Wind) haben jedoch Vorrang (Energieeinspeisegesetz) und müssen verwendet werden, alle anderen Kraftwerke folgen eigenen Regeln.

Von Runde zu Runde muss also abgestimmt werden, welches Kraftwerk wie viel Strom bzw. Perlen (innerhalb dessen, was die Spielregeln erlauben) produzieren soll, damit die Summe stimmt. Kraftwerke, die fossile Energieträger verwenden (Kohle, Gas) werden mit Strafpunkten für den CO₂-Ausstoß belegt, um der Idee einer nachhaltigen Stromversorgung Rechnung zu tragen.

Ziel:

Die ausgewählten Kraftwerke arbeiten zusammen, um den Strombedarf der Modellstadt zu decken. Dafür muss in jeder Runde (= Zeitintervall) die korrekte Anzahl an Perlen bereitgestellt werden. Jede Perle entspricht 1 Gigawatt (GW) elektrischer Leistung. Zur Installation stehen insgesamt 36 GW zur Verfügung.



Einführungsszenario

Im Einführungsszenario werden nur vier Kraftwerke (Wasserkraft, Windkraft, Gas und Kohle) verwendet. Diese Einführung macht mit den Regeln und dem Ablauf des Spiels vertraut. Der ausgewählte Kraftwerksmix ist angelehnt an den Kraftwerksmix im Jahr 2020 (siehe Kapitel: Weitere Szenario-varianten). Um eine Vereinfachung des Spielablaufes zu erreichen, wurde er jedoch leicht abgewandelt.

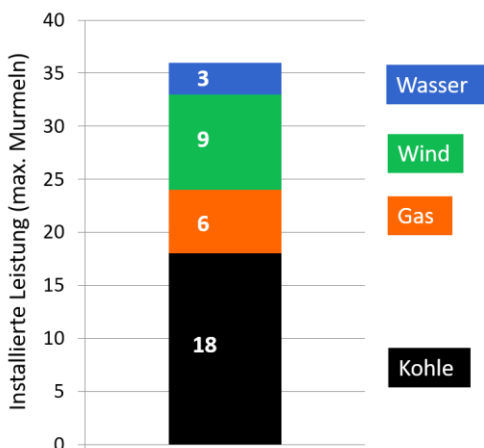
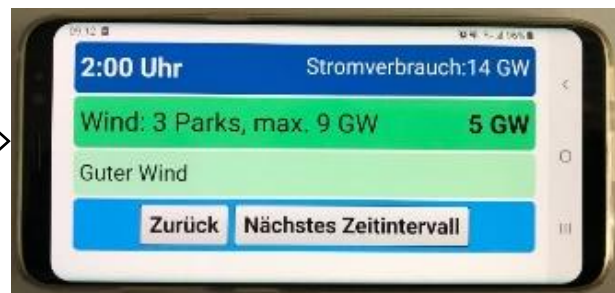
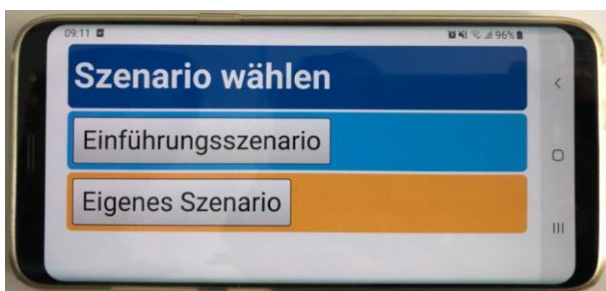


Foto: IPP, Elisabeth Jaletzke

Für Wasserkraft gibt es einen Wasservorrat, der bei 3 GW Leistung 20 Perlen umfasst. Diese werden auf dem Punkteblatt vermerkt.

Das Wetter für die drei Windparks mit jeweils max. 3 GW Leistung für jedes Zeitintervall wird in der M&M- Companion-App erzeugt: https://wwwaux.ipp.mpg.de/mm_companion/



Eigenes Szenario

Die Spieler legen sich auf einen Kraftwerksmix fest. Insgesamt 36 GW Leistung – entspricht 36 Perlen – können installiert und auf die Kraftwerke aufgeteilt werden. Dies geschieht in Einheiten von 3 GW, d.h. es können 12mal 3 GW-Einheiten auf die Kraftwerkstypen aufgeteilt werden.

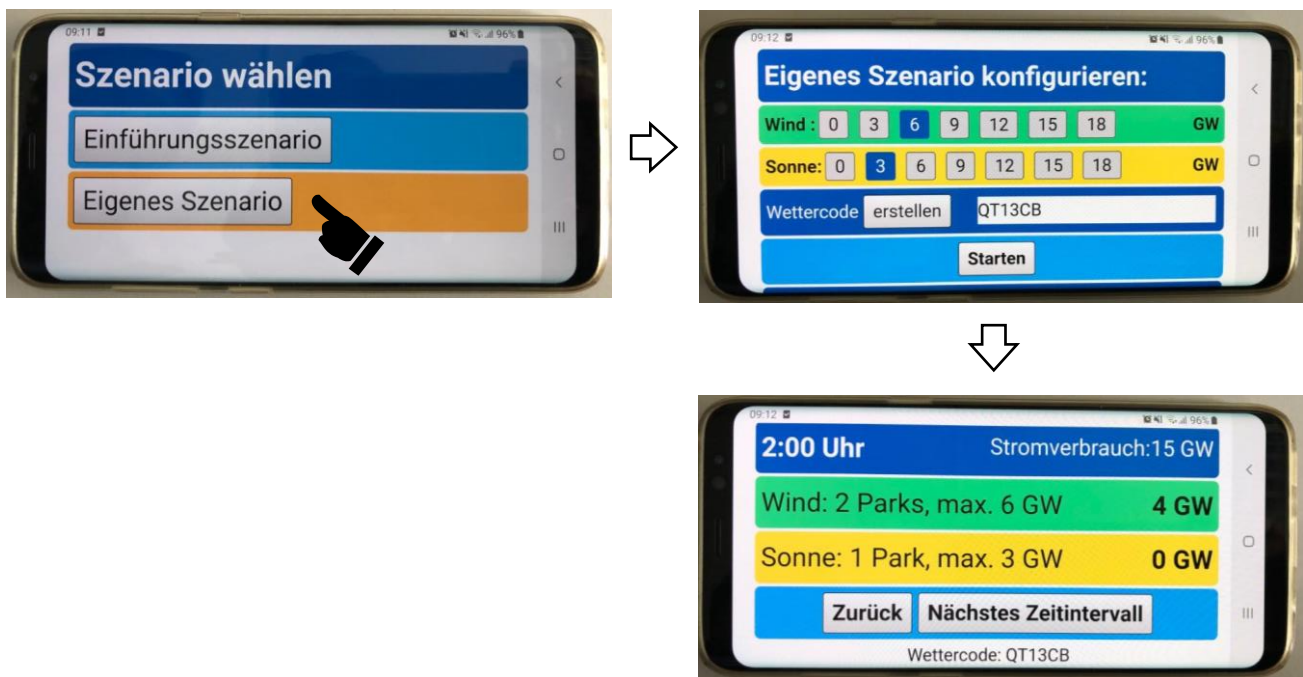


Nachdem festgelegt wurde, wie die 36 GW auf die Kraftwerke verteilt werden sollen, müssen die verwendeten Kraftwerke aufgebaut und die entsprechende Anzahl von Perlen aufgefädelt werden.

Dabei ist bei Wasserkraft eine Obergrenze von 6 GW einzuhalten, da in Deutschland aufgrund geographischer Gegebenheiten nicht mehr Wasserkraft realisierbar ist. Gaskraftwerke sind auf maximal 9 GW begrenzt, um den deutlich höheren Investitions- und Betriebskosten gegenüber einem Kohle- oder Windkraftwerk Rechnung zu tragen.

Für Wasserkraft gibt es einen Wasservorrat, der bei 3 GW Leistung 20 Perlen, bei 6 GW Leistung 30 Perlen umfasst. Diese werden auf dem Punkteblatt vermerkt. Ist der Wasservorrat leer, werden alle weiteren Runden mit 0 Punkten bewertet.

Sobald der Kraftwerksmix feststeht, können für jeden 3 GW-Windpark und jedes 3 GW-Solkraftwerk die zugehörigen Erzeugungsdaten für jede Spielrunde in der M&M- Companion-App erzeugt werden (https://www.waux.ipp.mpg.de/mm_companion/). Dazu muss nur noch unter „Eigenes Szenario“ die installierte Leistung von Wind und Sonne eingegeben werden.





Spieler-Einteilung

Mit einem Lehrmittelset spielen alle Spieler zusammen in einem Team. Sind mehrere Sets vorhanden, ist eine Aufteilung von ca. zehn Spielern pro Set optimal. So können mehrere Teams gegeneinander spielen und am Ende ihre Punkte und Ergebnisse vergleichen.

Im Idealfall betreiben ein bis zwei Spieler jeweils ein Kraftwerk. Sie kollaborieren mit anderen Kraftwerksbetreibern, um die richtige Menge an Perlen zu „erzeugen“.

Am Ende jeder Runde muss mindestens ein Mitspieler die erzeugte Strommenge der Kraftwerke (= Anzahl der Perlen) auf dem Punkteblatt notieren.

Ein/e zusätzliche/r Systemingenieur/in kann während des gesamten Spielverlaufs die Produktion überwachen. Sollte in einer Runde der Verbrauch nicht genau gedeckt werden können (d. h. es gibt entweder zu viele oder zu wenige Perlen), hat das einen kompletten Stromausfall zur Folge (=Black-Out). Dies wird dann von dem/der Systemingenieur/in laut allen anderen Teams mitgeteilt.

Startbedingung Grundlastkraftwerke

Zu Beginn des Spiels, wenn mitten in der Nacht (2 Uhr) der Stromverbrauch relativ gering ist, sind natürlich nicht alle Kraftwerke abgeschaltet. Grundlastkraftwerke wie z.B. Kohle, Gas & Dampf und Fusion liefern eine bestimmte Leistung. Somit dürfen die Spieler die Leistung dieser Kraftwerke auf einen beliebigen Wert festlegen (unter Beachtung der Spielregel: maximale (= installierte) Leistung) – und zwar nachdem bereits bekannt gegeben wurde, wie hoch der aktuelle Gesamtverbrauch um 2 Uhr in der Nacht ist, aber noch bevor die Wind- und Sonnenleistung bekannt ist.

Spielverlauf

Das Spiel bildet einen ganzen Tag in zwölf 2-stündigen Schritten (Spielrunden) ab. Stromproduktion und Verbrauch müssen in jeder Runde auf die Perle genau übereinstimmen. Jede Runde besteht aus vier Phasen:

1. Der Intervall-Verbrauch (also die elektrische Last in GW = benötigte Anzahl der Perlen) für die aktuelle Runde bzw. den Tagesabschnitt wird von der/dem Spielleiter/in bekannt gegeben. (Die Last ändert sich während des Tages).
2. Die Teams müssen gemeinsam entscheiden, wie viele Perlen jedes Kraftwerk einsetzen möchte oder muss. (Jedes Kraftwerk unterliegt hierbei bestimmten Regeln).
3. Am Ende der Runde werden die Perlen freigesetzt und auf die Verbraucherseite geschoben und so in das Leitungssystem eingespeist.
4. Der aktuelle Füllstand des Wasserspeichers und die Leistung jedes Kraftwerks (= Anzahl der Perlen) wird auf dem Punkteblatt notiert.

Im „Eigenen Szenario“ werden am Ende des Tages (nach 12 Runden) die erzielten Gesamt-Punkte ermittelt. Dies geschieht entweder in einer Tabellenkalkulation oder manuell mit Hilfe des ausgefüllten Punkteblatts.



Der Kraftwerkspark

Die Stromproduktion jedes Kraftwerks ist durch die installierte Leistung begrenzt. Die Änderung der Stromproduktion (1 GW = 1 Perle) pro Zeitintervall hängt von den jeweiligen Regeln des Kraftwerks ab.

Kohlekraftwerke verbrennen Kohle, um große Mengen Wasser in Hochdruckdampf zu verwandeln, der eine Turbine antreibt. So wird thermische Energie erst in mechanische und schließlich in elektrische Energie umgewandelt. Durch die Trägheit dieses Systems sind schnelle Veränderungen der Leistung nicht möglich.

Lagerfeuer-Analogie: Anheizen und Abkühlen dauern relativ lange.

Regel: Träge – Begrenzung der Leistungsänderungsgeschwindigkeit, d. h. es darf nicht mehr als eine Perle (± 1) pro Runde hinzugefügt oder entnommen werden.

(Spitzenlast) Gaskraftwerke nutzen die chemische Energie aus der Verbrennung eines Gases und setzen diese mittels einer Turbine direkt in mechanische Energie um. Diese wird durch einen Generator in elektrische Energie umgewandelt. Somit sind Gaskraftwerke sehr flexibel und können ihre Leistung schnell anpassen.

Gasgrill-Analogie: Ein Gas-Grill kann schnell angefacht und auch schnell wieder abgekühlt werden.

Regeln: flexible Leistungsanpassung – frei regelbar, aber: Da die Investitions- und Betriebskosten eines Gaskraftwerks sehr hoch sind, ist hier die maximal installierbare Leistung auf 9 GW beschränkt.

Windkraftwerke generieren Strom je nach Windstärke, aber man kann den Wind nicht steuern.

Hintergrund: Den meisten Windkraftanlagen wird vorrangiger Zugang zum Strommarkt garantiert (sog. Einspeisegarantie). Immer wenn der Wind weht, muss der Systembetreiber den Strom abnehmen. Dies dient der Förderung der erneuerbaren Energien. Im Durchschnitt beträgt die eingespeiste Leistung von Windkraftanlagen ungefähr 30 % der installierten Leistung.

Regeln: wetterabhängig – Jeder Windpark hat eine installierte Leistung von 3 GW. Somit kann es sein, dass Sie abhängig von der installierten Leistung mehrere Windparks betreiben. Zum Beispiel entsprechen 9 GW gesamte installierte Windleistung drei Windparks. An den unterschiedlichen Standorten dieser Parks können unterschiedliche Wetterbedingungen herrschen. Abhängig von den Windbedingungen produziert ein Park 0 - 3 GW.

Das Wetter wird automatisch in der M&M-Companion-App (https://wwwaux.ipp.mpg.de/mm_companion/) generiert. Zu Beginn jeder Runde wird die gesamte produzierte Leistung aller Parks zusammen von der M&M Companion-App vorgegeben. Sie MÜSSEN so viel Strom einspeisen wie die App vorgibt.



Solkraftwerke (Fotovoltaik) erzeugt Strom je nach Sonnenschein. Auch hier gehen wir davon aus, dass Fotovoltaik die Einspeisegarantie zur Förderung „grüner“ erneuerbarer Energien gegenüber konventionellen Kraftwerken genießt.

Regeln: wetterabhängig – Abhängig von der installierten Leistung können Sie mehrere Solarparks betreiben. Jeder Solarpark hat eine installierte Leistung von 3 GW. Auch hier können unterschiedliche Standorte der Parks unterschiedliche Wetterbedingungen zur Folge haben. Abhängig von der Sonneneinstrahlung produziert ein Park 0 - 3 GW.

Das Wetter wird automatisch in der M&M-Companion-App (https://www.waux.ipp.mpg.de/mm_companion/) generiert. Zu Beginn jeder Runde wird die gesamte produzierte Leistung aller Parks zusammen von der M&M-Companion-App vorgegeben. Sie MÜSSEN so viel Strom einspeisen wie die App vorgibt.

Wasserkraft setzt potenzielle oder kinetische Energie des Wassers in mechanische Arbeit um. Wasserkraftwerke sind sehr flexibel; die Anpassung der Leistung geht sehr schnell. Allerdings werden die Wasserreservoirs nur bei Regen und Schneeschmelze mit Wasser gefüllt. Oft werden Staudämme sogar nur im Winter und im Frühling gefüllt. Das gesammelte Wasser muss für das ganze Jahr reichen. Des Weiteren verlangen Umweltvorlagen oft einen Mindestdurchfluss, um die Flüsse hinter den Staudämmen vor Austrocknung zu schützen. Aus geographischen Gründen ist zudem ein unbegrenzter Ausbau von Wasserkraft in Deutschland nicht möglich.

Regeln: flexible Leistungsanpassung, aber begrenzter Wasserspeicher und Mindestdurchfluss – Der Wasservorrat ist in jedem Spiel begrenzt und wird während des Spiels nicht nachgefüllt. Je nach Szenario sind zu Beginn des Spiels 20 oder 30 Perlen „virtuell“ im Wasserspeicher vorhanden. Diese Anzahl muss auf dem Punkteblatt vermerkt werden. Während des Spiels müssen die verbrauchten Perlen auf dem Punkteblatt abgestrichen werden. Es muss jede Runde mindestens eine Wasserperle eingespeist werden. (Option: diese Perle muss nicht zwingend zur Stromproduktion hinzugezählt werden). Im Lehrmittelset ist die maximale installierte Leistung auf 6 GW begrenzt.

Gas- und Dampfkraftwerke sind effizienter als Gaskraftwerke, aber weniger flexibel. Hier wird die Abwärme eines Gaskraftwerkes in einem Dampfkraftwerk genutzt – sie kombinieren eine Gasturbine mit einer Dampfturbine. Der dampfgetriebene Prozess verursacht eine langsamere Leistungsänderungsgeschwindigkeit – ähnlich den Kohlekraftwerken, aber nicht ganz so träge. Wegen des Zusatznutzens dieses Kraftwerktyps (über Kraft-Wärme-Kopplung) gelten Gas- und Dampfkraftwerke als umweltfreundlicher.

Regeln: Begrenzte Flexibilität – Die Leistungsänderungsgeschwindigkeit ist begrenzt. Es dürfen nur maximal (± 2) Perlen pro Runde hinzugefügt oder entnommen werden.

Fusionskraftwerke sind thermische Grundlastkraftwerke. Sie erzeugen Wärme durch die Fusion zweier Wasserstoff-Isotope, Deuterium und Tritium. Nachdem sie hochgefahren sind, wird ihre Leistung nur selten verändert werden (bis sie wieder heruntergefahren werden).



Regeln: Konstante Leistung – Die Stromproduktion wird am Anfang des Tages festgelegt und ist dann den ganzen Tag konstant.

Punktewertung

Das Ziel für das Einführungsszenario ist die korrekte Deckung des Bedarfs durch das Stromangebot zu jeder Zeit. Der Einfachheit halber verzichtet man in dieser Variante normalerweise auf eine Auswertung der erzielten Punkte. Auf Wunsch könnten die Teams jedoch anhand der Genauigkeit der Deckung von Last und Angebot aneinander gemessen werden.

Lösen beim Einsatz von mehreren Lehrmittelsets gleichzeitig mehrere Gruppen die gleiche Aufgabe, nämlich den Strombedarf des ausgewählten Lastprofils zu jeder Zeit zu decken, dann kann dies als Wettbewerb um den „grünsten“ Strommix gestaltet werden. Hier müssen dann Nachfrage und Angebot gedeckt werden, während ein Minimum an Kohlenstoffdioxid-Emissionen erzeugt wird. Dafür steht ebenfalls ein Punkteblatt für die Berechnung der Punkte zur Verfügung.

Punkte werden wie folgt vergeben:

- Wenn der Verbrauch gedeckt wurde: Punkte = Nachfrage [in GW]
- Für jede verbrauchte Kohleperle wird 1 Punkt abgezogen.
- Für jede verbrauchte Gaskraftwerks-Perle werden 0,75 Punkte abgezogen.
- Für jede verbrauchte Gas-und-Dampfkraftwerks-Perle werden 0,5 Punkte abgezogen.

Die theoretisch erzielbaren Maximalpunkte liegen, je nach Lastszenario, zwischen 210 und 220 Punkten. Von der Maximalpunktzahl gehen aber immer noch die CO₂-Strafen ab. Somit ist ein Ergebnis von 180 oder mehr bereits sehr gut, eins von über 200 Punkten ist absolute Spitze.



Diese Tabelle kann nochmals separat ausgedruckt und den Spielern als Tischmaterial zur Verfügung gestellt werden.

Typ	Kraftwerk	Eigenschaften	Regeln	CO ₂ -Strafe
fluktuierende Erneuerbare	Wind	wetterabhängig	Stromproduktion wird in M&M Companion App generiert	
fluktuierende Erneuerbare	Sonne	wetterabhängig, nachts aus	Stromproduktion wird in M&M Companion App generiert	
Spitzenlast	Gas	flexibel	0 – MAX nach Belieben	- 0,75
Spitzenlast/ Intervalllast	Wasser	begrenzter Speicher	begrenzte # Perlen pro Tag, mind. 1 Perle pro Runde	
Intervalllast	Gas-Dampf-Kombi	begrenzte Flexibilität	Leistungsänderung: +/- 2 GW	- 0,5
Grundlast	Kohle	Begrenzte Flexibilität	Leistungsänderung: +/- 1 GW	- 1,0
Grundlast	Fusion	geringe Flexibilität	konstante Leistung	



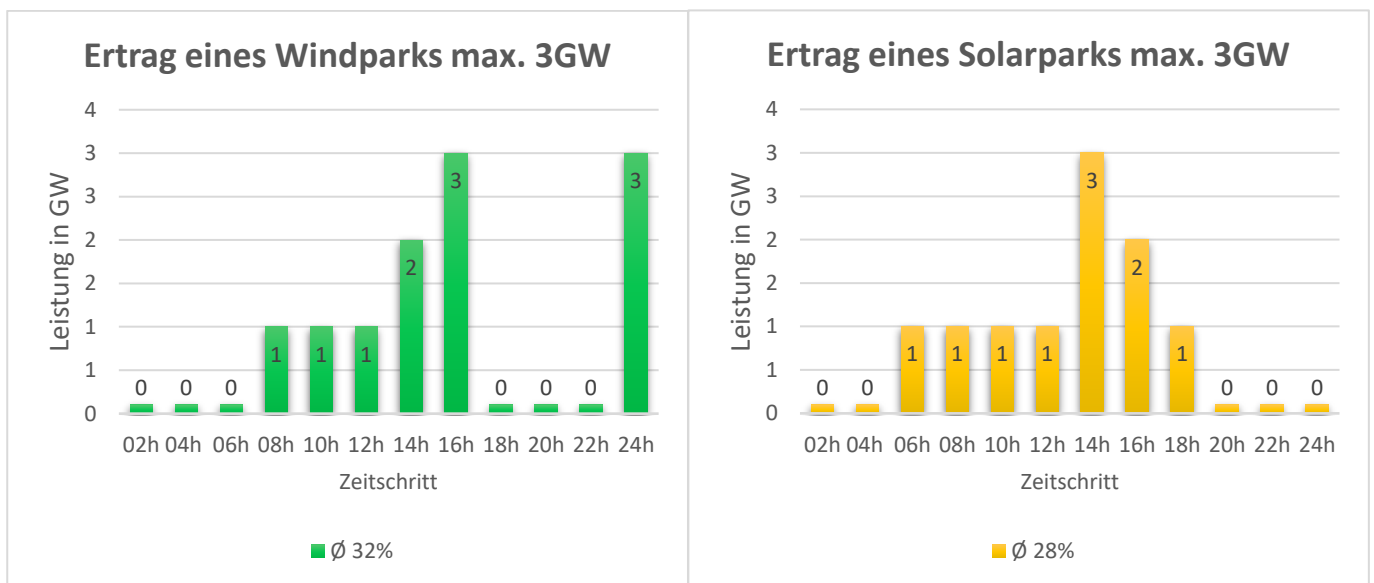
Wetter mit der M&M-Companion-App

Für Wind- und Solarkraftwerke werden Wetterdaten benötigt. Diese werden extern von der M&M-Companion App erzeugt. Sie ist unter folgendem Link zu finden:

https://www.waux.ipp.mpg.de/mm_companion/



In der App werden die Wetterdaten aus vorbestimmten, hinterlegten „Wetterverhältnissen“ zusammengesetzt. Für die Windparks stehen 6 für die Solarparks 4 verschiedene Tagesverläufe mit unterschiedlichen Durchschnittsleistungen zur Verfügung. Ein Beispiel der zur Verfügung stehenden Tagesverläufe für Wind und Sonne ist unten dargestellt. Aus diesen 6 bzw. 4 Sets wird zufällig entsprechend der Anzahl der Wind- bzw. Solarparks die Tagesproduktion zusammengesetzt. Für eine installierte Windleistung von 9 GW (= 3 Windparks) werden so 3 Wettersets kombiniert, für jeden Windpark eines.



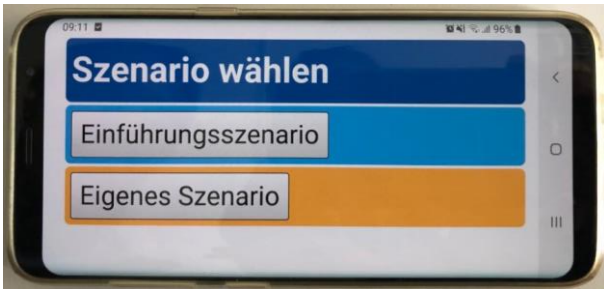
Um Wetterdaten erzeugen zu können, benötigt ein Spieler pro Lehrmittelset (Team) ein Mobiltelefon, Tablet oder Laptop mit Zugang zum Internet.

Im Kapitel „Weiteres Spielmaterial“ finden Sie einen Vordruck mit Webadresse und QR Code der für jedes Team ausgedruckt werden kann.

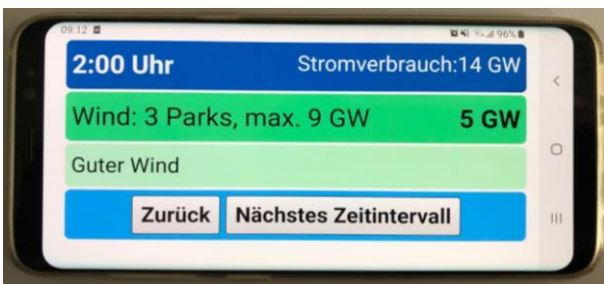
In jedem Team muss ein Spieler die App (Webanwendung) aufrufen und bedienen, denn jedes Team benötigt seine eigenen Daten, die die regenerativen Stromerzeuger abbilden.



In der App kann entweder das „Einführungsszenario“ oder ein „Eigenes Szenario“ ausgewählt werden.



Im „Einführungsszenario“ sind festgelegte Wetterdaten verknüpft. Für jedes Zeitintervall gibt hier die App zusätzliche Informationen zu den Windverhältnissen der drei Windparks.



Beim „Eigenen Szenario“ muss noch die installierte Wind- und Solarleistung angegeben werden und schon können Wetterdaten für jede der 12 Spielrunden erzeugt werden.



Wird M&M parallel von verschiedenen Teams gespielt, kann das erste Team einen Wettercode erzeugen. Diesen Code können dann auch die anderen Gruppen in ihre M&M-Companion-App eingeben. So haben alle Gruppen nominal die gleichen Wettervoraussetzungen, was bei gleicher installierter Leistung gleiche Produktion bedeutet. Haben die Gruppen eine unterschiedliche Gesamtleistung in Wind- bzw. Solarkraft installiert, ist natürlich auch die Produktion unterschiedlich – trotz des gleichen Wettercodes. Natürlich können die Teams auch mit unterschiedlich generierten Wetterdaten spielen (verschiedene Wettercodes).



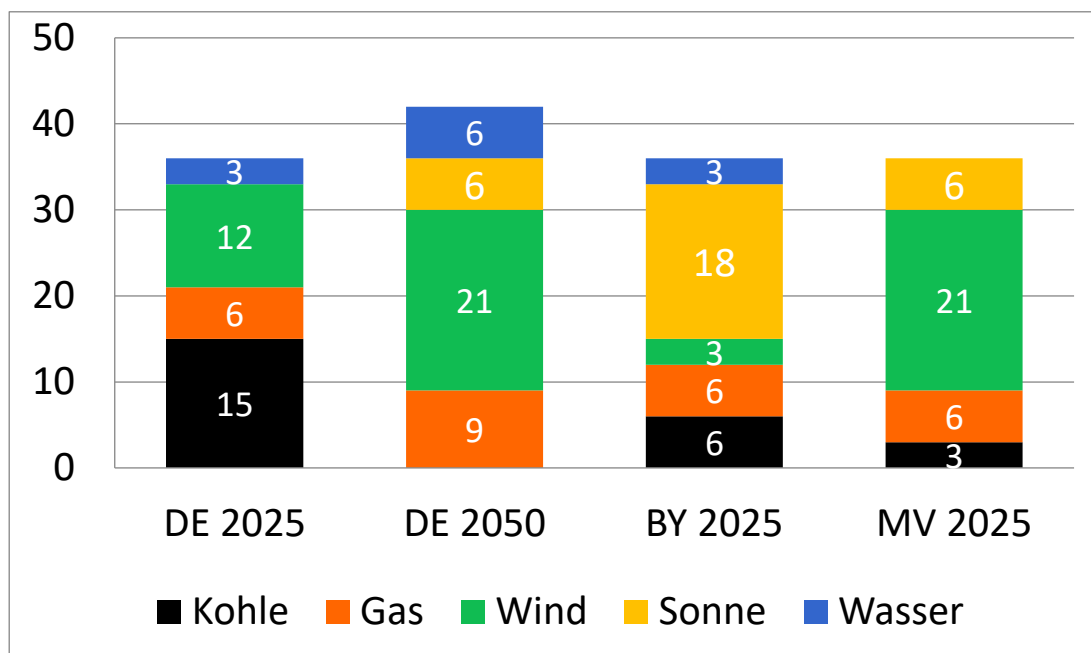
Zusatzinformationen

Weitere Szenario-Varianten

- Szenario Norwegen: kein wesentliches Limit für Wasserkraft, bis zu 18 GW (mit 70 Perlen Vorrat) sind möglich.

Installierte GW	3	6	9	12	15	18+
Wasservorrat	20	30	40	50	60	70

- Szenario Deutschland 2025: nach Atomausstieg mit viel Kohle
- Szenario Deutschland 2050: nach aktueller Politikvorgabe mit 80 % Strom aus Erneuerbaren
- Szenario Bayern 2025: nach Atomausstieg mit sehr viel Solarkraft
- Szenario Mecklenburg-Vorpommern 2025: nach Atomausstieg mit sehr viel Windkraft



Diskussionsthemen

Diskussionsgrundlage ist die Frage nach der Realisierbarkeit der Energiewende in Deutschland basierend auf den Erfahrungen aus dem Spiel.

Mögliche Fragen an die Spieler:



- Kann man gleichzeitig die Ziele: Versorgungssicherheit (Bedarfsdeckung zu jeder Zeit), Ökologie (Klima) und Ökonomie (Preisstabilität) bei Einsatz von 80 % erneuerbaren Energien erreichen?
- Welche Erkenntnisse entnehmen die Teilnehmenden dem Spiel?
- Welche Bedeutung haben diese Erkenntnisse in Hinsicht auf unsere Energiezukunft?
- Wir wollen mehr erneuerbare Energien nutzen. Was bedeutet das für das System?
- Wie können wir damit umgehen? Was sind mögliche Lösungen? Neue Technologien? (Laststeuerung, Intelligente Netze, Lastverschiebung)
- Was bedeutet „80 % Erneuerbare“ für das Ziel Ökonomie, insbesondere mit Blick auf die (noch wichtigere?) Versorgungssicherheit?
- Was ist nötig, um ein funktionierendes Gesamtsystem zu schaffen?
- Helfen Stromspeicher bei der Integration von Erneuerbaren? Wie groß müssten diese sein?
- Brauchen wir Grundlastkraftwerke?
- Welche Optionen haben wir für die Grundlast?
- Wurden für das eigene Szenario alle sieben Kraftwerkstypen verwendet?
- Wie viel Erneuerbare kann man stabil integrieren?
- Was würde es einfacher machen, den Bedarf jede Runde zu decken?
- Wie würden Handel oder großtechnische Speicherlösungen das System beeinflussen?

Realitätsbezug von Megawatts & Marbles

Die Stromleistungsproduktion der im Spiel verwendeten Kraftwerke ist mit der realer Systeme vergleichbar (Größenordnung Gigawatt), jedoch wurden der Spielbarkeit halber bestimmte Vereinfachungen vorgenommen. So wurden z.B. die Kraftwerke nicht beliebig groß dimensioniert, sondern jeder Kraftwerkstyp wird in Einheiten von 3 GW aufgestellt. Eine Murmel/Perle im Spiel stellt etwa 1 GW Leistung oder 2 GWh Energie dar. Die gesamte installierte Leistung des im Spiel verwendeten Energiesystems beträgt 36 GW, was als Modell verglichen mit der Realität etwa die Region Bayern (knapp 30 GW) abbildet. In ganz Deutschland sind 2018 bereits mehr als 200 GW an installierter Leistung vorhanden, was sich aber nicht sinnvoll durch 1 GW-Murmeln/Perlen darstellen lässt. Stattdessen wurden die Zahlen relativ zur Systemgröße skaliert.

Die im Spiel verwendeten Lastprofile stammen aus realen Verbrauchsdaten und wurden – genau wie die Kraftwerksleistungen – auf die Systemgröße skaliert. Ebenso wurde mit Wind- und Sonnendaten verfahren. Die je nach Wetter 0, 1, 2 oder 3 GW produzierenden Wind- und Solarparks verhalten sich (nach Skalierung) genauso, wie sich reale Solarparks entsprechender Größe gemittelt über die im Spiel verwendete Rundenzeit verhalten würden. Die Rohdaten dazu wurden aus den



aggregierten Daten der Organisation Agora-Energiewende (<https://www.agora-energiewende.de/>) entnommen.

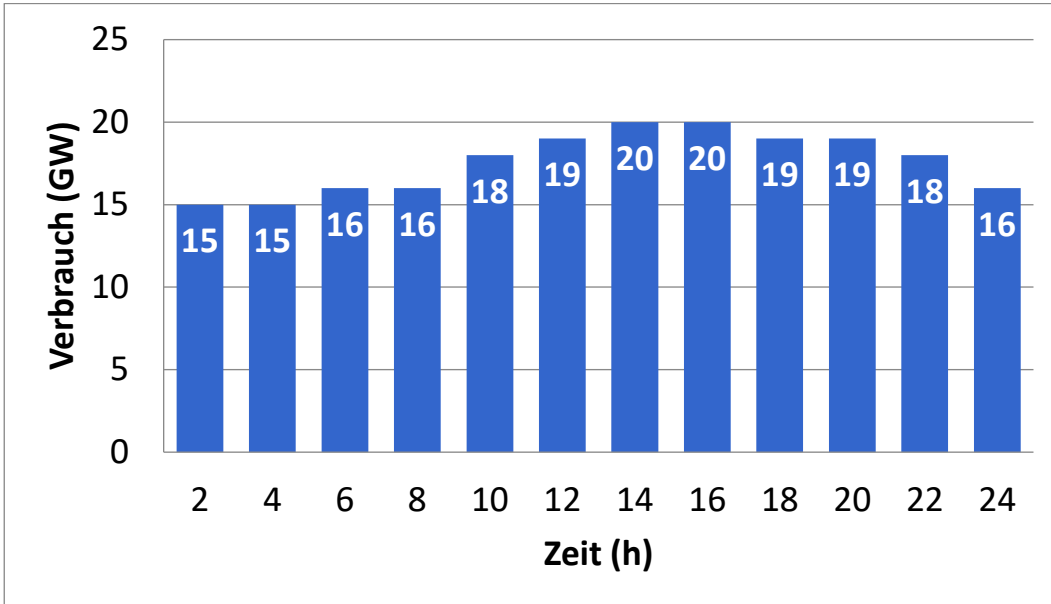
So stellt sich, skaliert auf die Systemgröße, ein typischer deutscher Sommer- bzw. Wintertag dar wie in den Abbildungen im Anhang gezeigt. Die Größe des gesamten Energiesystems wurde mit 140 GW (statt der tatsächlich installierten 200 GW) angenommen, um die nicht kontinuierliche Verfügbarkeit aller vorhandenen Kraftwerke, die im Spiel vernachlässigten Leitungsverluste und die Eingriffe der Netzbetreiber (Abregelung von Kraftwerken bei Überproduktion) näherungsweise abzubilden.

Info-Material

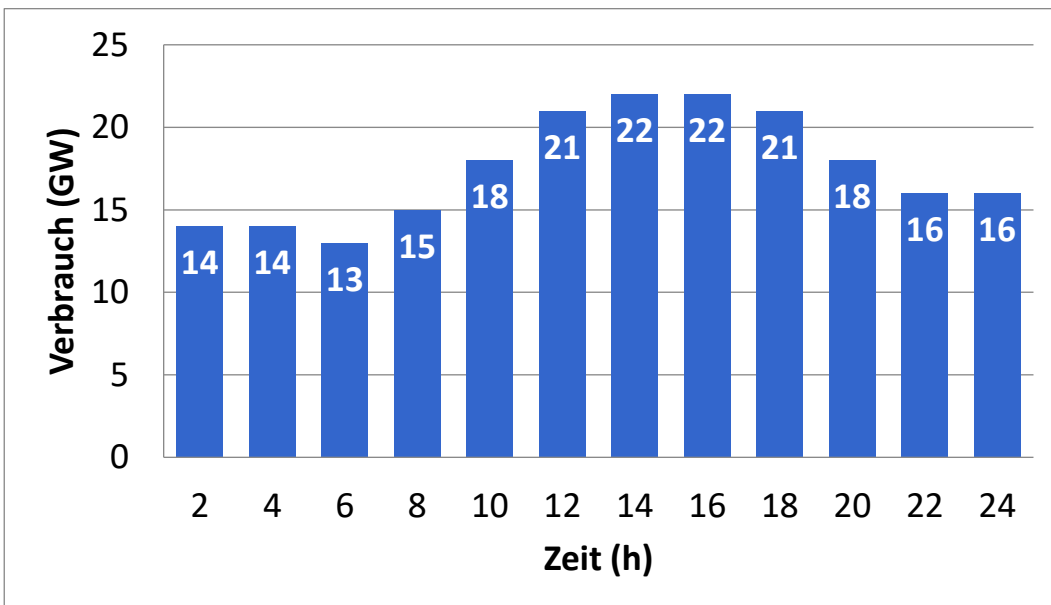
Die Originaldaten, auf denen die skalierten Lastprofile beruhen (https://www.energy-charts.de/power_inst_de.htm), sind am Ende des Spielleitervortrages zu finden. Die skalierten, im Workshop verwendeten Lastprofile/ Verbrauchskurven der Modellstadt sind auf der nächsten Seite dargestellt.



Der Wintertag skaliert auf Systemgröße von 36 GW installierter Leistung



Der Sommertag skaliert auf Systemgröße von 36 GW installierter Leistung





Weiteres Spiel-Material

Folgende Spiel-Materialien sind über den Internet-Link (<https://www.ipp.mpg.de/energieplanspiel>) verfügbar:

Spielleitermappe.pdf

Dieses Dokument beschreibt den Workshop (im Unterricht: Doppelstunde), der wichtige Aspekte des Themas Energiekompetenz vermitteln soll. Es gliedert sich in verschiedene Themenbereiche wie Hintergrundinformation, Ablauf, Spielregeln und Zusatzinformationen.

Spielleitervortrag.pptx & Spielleitervortrag.pdf

Ein Foliensatz mit Material für die Durchführung des Workshops, respektive einer Doppelstunde, mit vorgeschlagenem Lastprofil. Wind- und Sonnendaten müssen via M&M-Companion-App generiert werden. Die Folien enthalten evtl. mehr Material, als zeitlich in der Einführung untergebracht werden kann. Es sollte vom Vortragenden den persönlichen Vorlieben bzw. dem Publikum angepasst und u.U. gekürzt werden.

Punkteauswertung.xlsx /Punkteauswertung.ods

Erlaubt die programmgestützte Auswertung (MS Excel, Libre Office) von bis zu drei parallel spielenden Gruppen und den Punktevergleich mit Statistik über die von den Gruppen verwendete Energie. Dabei können verschiedene Kraftwerkszusammenstellungen in den verschiedenen Gruppen gespielt werden.

Punkteblatt.pdf

Dieses Dokument kann beim zweiten Spiel für die Punkteberechnung ganz ohne Tabellenkalkulation oder Onlineverbindung genutzt werden. Einfach ausdrucken und von den Spielern ausfüllen lassen.

M&M-Companion-App (Webanwendung)

Die benötigten Wetterdaten werden extern von der M&M-Companion App erzeugt. Sie kann unter folgendem Link aufgerufen werden: https://wwwaux.ipp.mpg.de/mm_companion/

Zum Ausdrucken als Tischmaterial siehe Folgeseite.



Wetter mit M&M Companion-App (zum Ausdrucken)

https://wwwaux.ipp.mpg.de/mm_companion/





Bestandteile des Lehrmittelsets

Inhalt eines Lehrmittelsets:

- 1 Satz Sperrholzmodelle mit 7 Kraftwerken
- 7 Drähte
- 1 Säckchen Perlen (je 18 Stück in 7 verschiedenen Farben)
- 1 Kurzanleitung

Weitere (digitale, z.T. ausdrückbare) Spiel-Materialien sind über den folgenden Internet-Link verfügbar: <https://www.ipp.mpg.de/energieplanspiel>

- Kurzanleitung (pdf)
- Spielleitermappe (pdf)
- Spielleitervortrag (ppt / pdf)
- Punkteblatt (pdf)
- Punkteauswertung (xlsx / ods)
- M&M-Companion-App (Webanwendung) - https://wwwaux.ipp.mpg.de/mm_companion/

Kontaktinformationen

Max-Planck-Institut für Plasmaphysik
Öffentlichkeitsarbeit
Boltzmannstr. 2
85748 Garching

E-Mail: energieplanspiel@ipp.mpg.de

Web: <https://www.ipp.mpg.de/energieplanspiel>

Weitere Spiel-Materialien sind über den Internet-Link verfügbar.



Institute for Integrated
Energy Systems

In Zusammenarbeit mit:

Institute for Integrated Energy Systems
University of Victoria, Kanada

<http://megawattsandmarbles.com/>