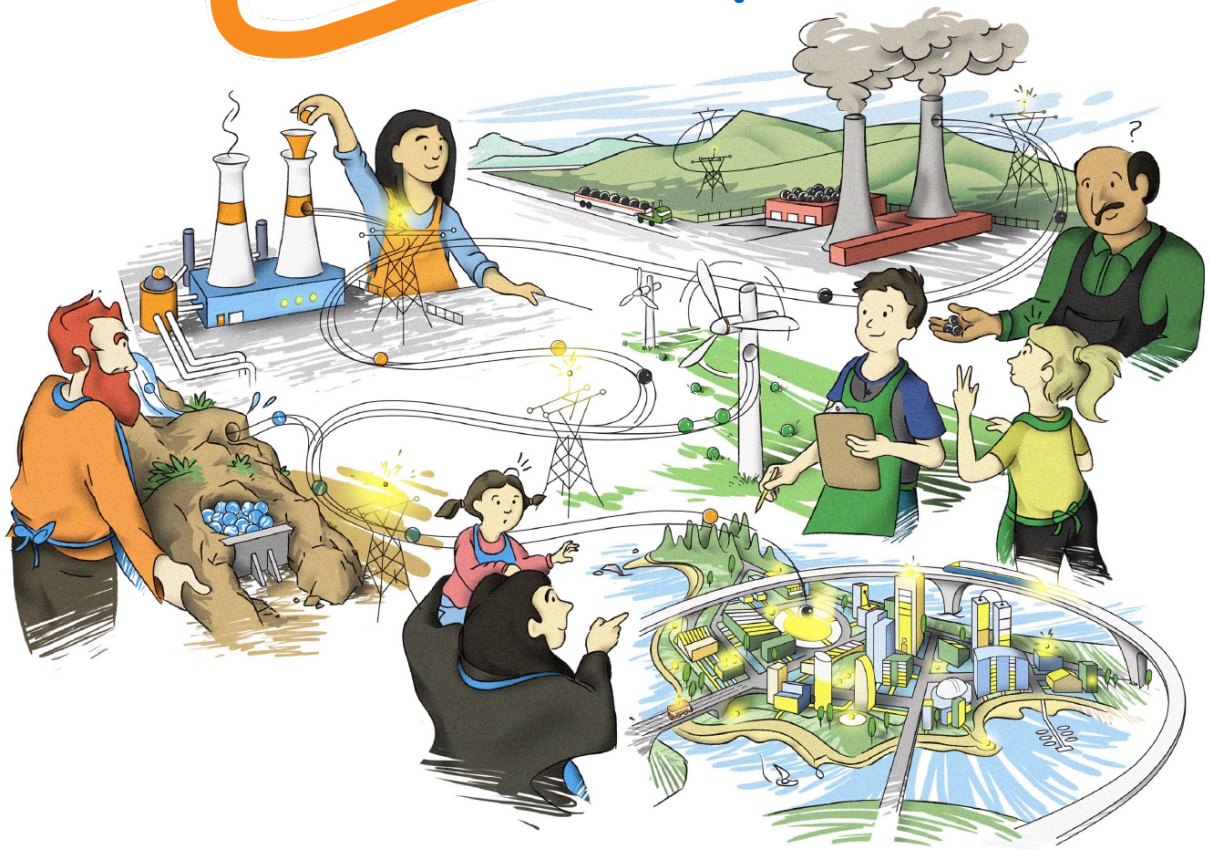
MEGAWATTS & MARBLES

Die Energiewende selber umsetzen

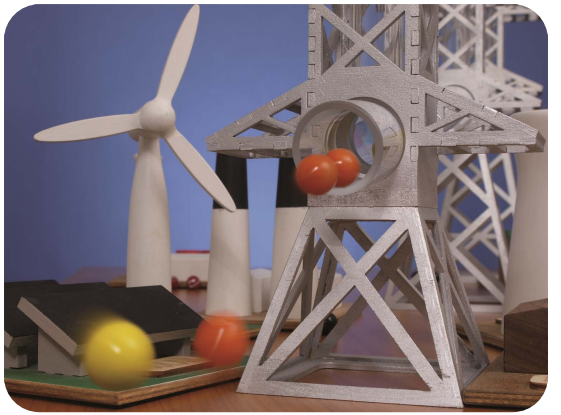


IPP Max-Planck-Institut für Plasmaphysik

University of Victoria | Institute for Integrated Energy Systems

M&M Einführung

- Motivation, Modellannahmen, Spielregeln (20 min)
- **Spiel** (15 min)
- Spielauswertung (10 min)



M&M Erweiterung

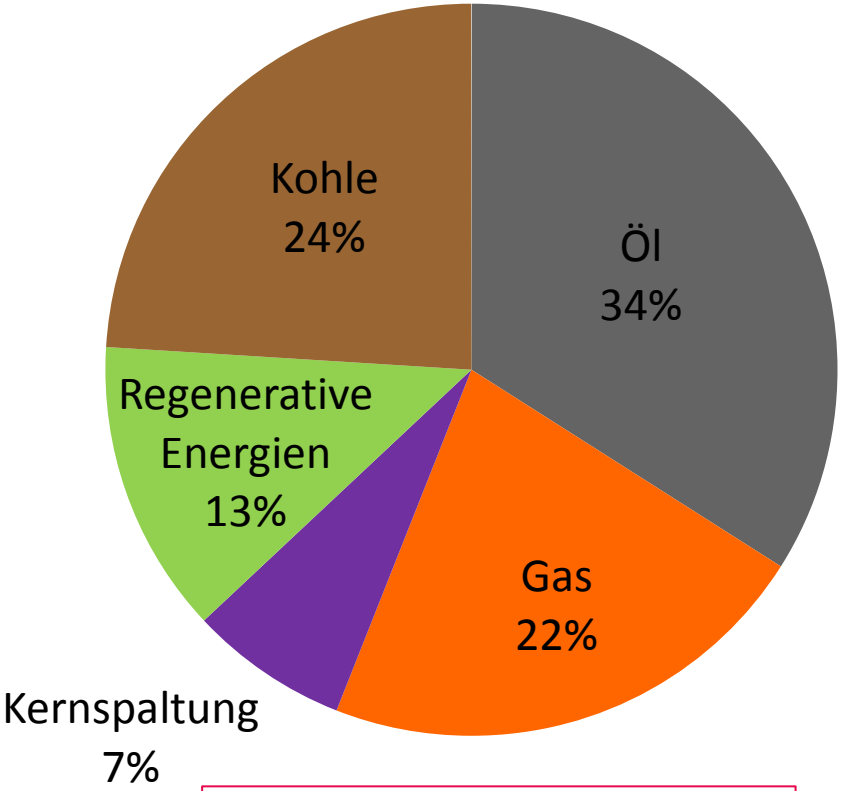
- Neue Kraftwerke, Emissionsstrafen (10 min)
- System Design & **Spiel** (20 min)
- Spielauswertung (10 min)

Offene Diskussion

- Fragen (5 min)
- …

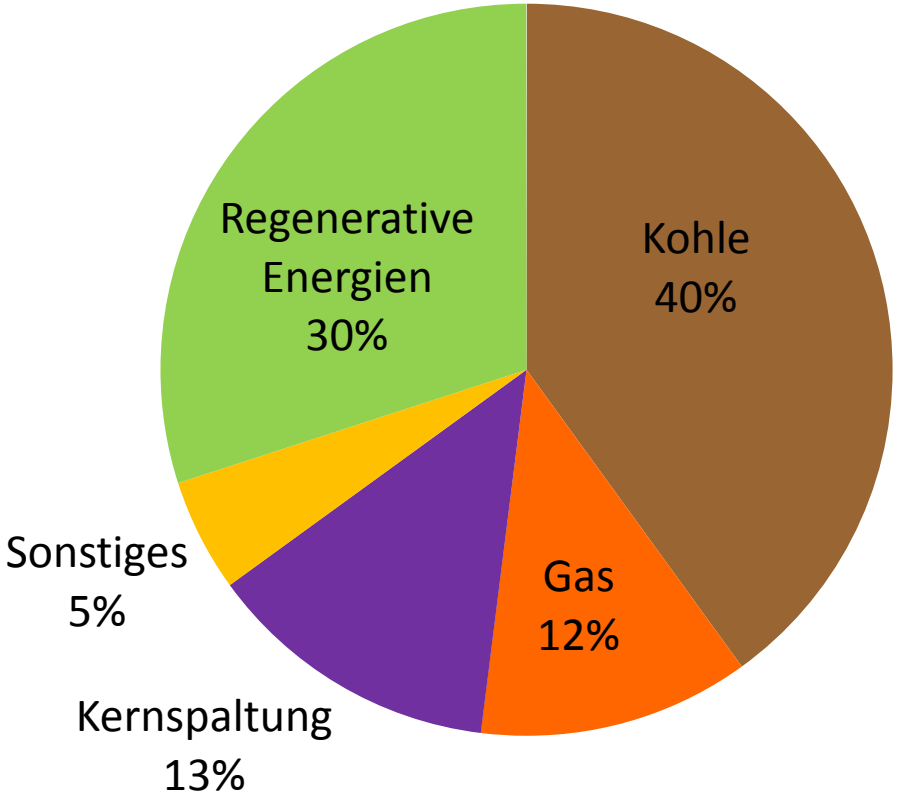
Energiewende oder Stromwende?

Primärenergie DE 2016 (13400PJ)



80% fossile Energieträger

Stromerzeugung DE 2016 (1890PJ)



Ziel bis 2050: 80% Strom aus erneuerbaren Energieträgern

Strom als Ware

Produktion und Verbrauch ...

… müssen jede Sekunde gleich groß sein.

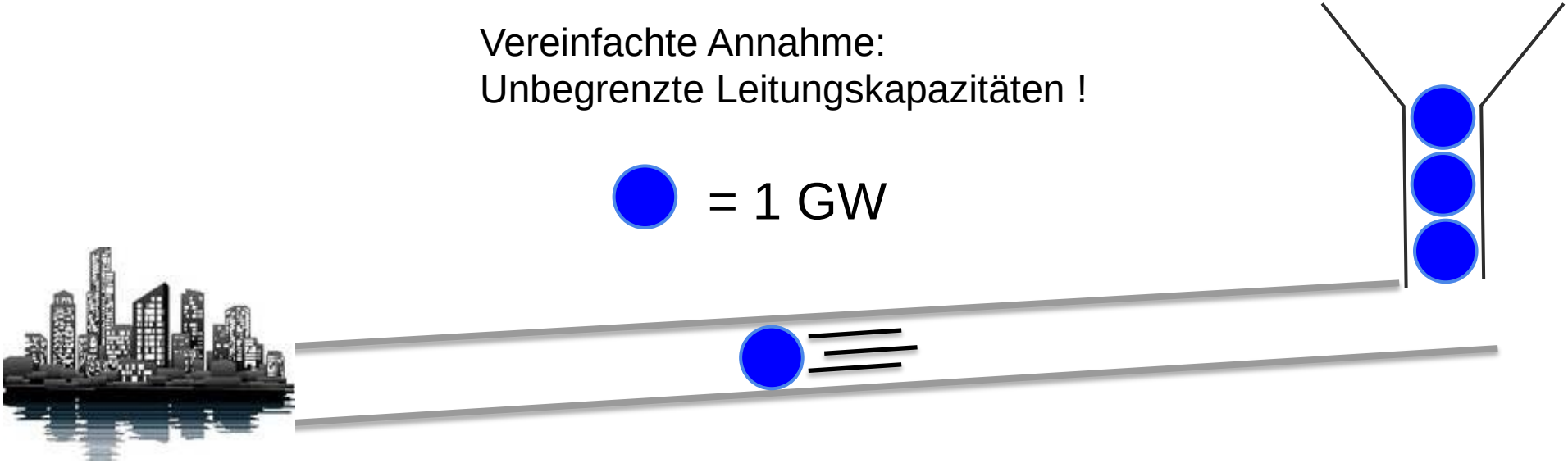
1,5 Mio.
Haushalte

1 kW **x 1`000`000 !!!** **1 GW**

Das Energieplanspiel

Vereinfachte Annahme:
Unbegrenzte Leitungskapazitäten !

= 1 GW



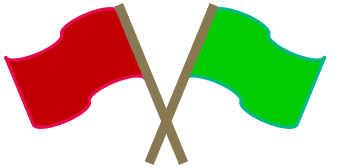
2 Spieler, um Murmeln zu sammeln und zu zählen

2 Spieler pro Kraftwerk (8 insgesamt)

Der Spielablauf

Ziel:

- Alle Kraftwerke arbeiten zusammen, um den Strombedarf zu decken. Dafür muss die korrekte Anzahl an Murmeln bereitgestellt werden.



Spielverlauf:

- 12 Zeitintervalle (~2 h) pro Tag, in denen Stromproduktion und -verbrauch auf die Murmel genau übereinstimmen müssen.

- Drei Schritte für jedes Zeitintervall:

  1. Intervall-Verbrauch wird bekanntgegeben (in GW).
  2. Die Teams entscheiden, wie viele Murmeln jedes Kraftwerk bereitstellt.
  3. Die Murmeln werden in das Leitungssystem eingespeist.

Die Kraftwerke

Gas

Kohle

Wind

Wasserkraft

Kohlekraftwerk

Regeln: begrenzte Flexibilität

- Träge – kann seine Leistung nur langsam ändern.
- nur ±1 Murmel mehr oder weniger in jedem Zeitintervall.

Gaskraftwerk

Regeln: flexibel

- Die Stromproduktion ist flexibel.
- Nur das Maximum ist durch die installierte Leistung bestimmt.

Windkraftwerk

Regeln: wetterabhängig

- Jeder 3 GW-Windpark produziert 0, 1, 2 oder 3 GW.
- Für jedes Zeitintervall wird eine Karte gezogen.
  Wie viel Wind weht?
- Die Karten bestimmen die Stromproduktion.

Wasserkraft

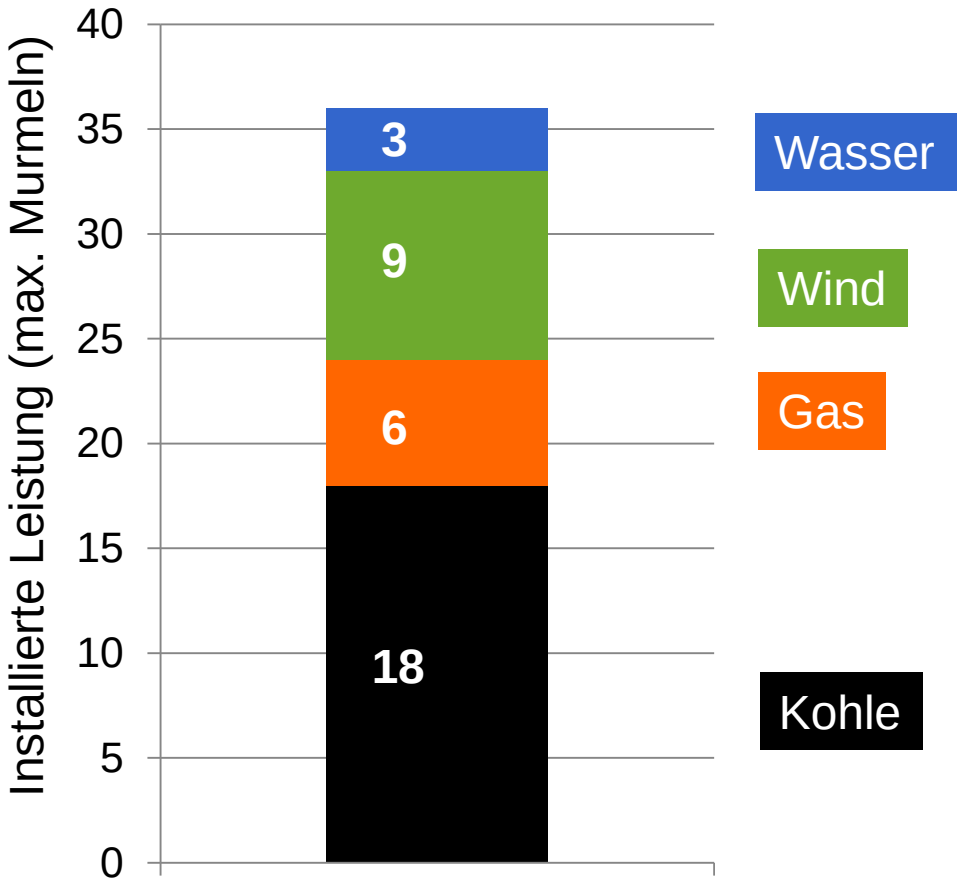
Regeln: begrenzter Speicher & Mindestpegel

- Der Wasserspeicher ist begrenzt. Er wird während des Tages nicht nachgefüllt.
- Umweltschutzvorgaben verlangen mindestens eine Murmel Durchfluss in jedem Zeitintervall.
- Flexible Leistungsanpassung.

Regeln im Überblick

	Eigenschaften	Regeln
Kohle	begrenzte Flexibilität	Leistungsänderung: +/- 1 GW
Gas	voll flexibel	keine
Wind	wetterabhängig	Windkarte(n) umdrehen und spielen was drauf steht
Wasser	begrenzter Speicher	begrenzte Anzahl an Murmeln für einen Tag Minimum: 1 Murmel pro Zeitintervall

Start Szenario: Deutschland 2025

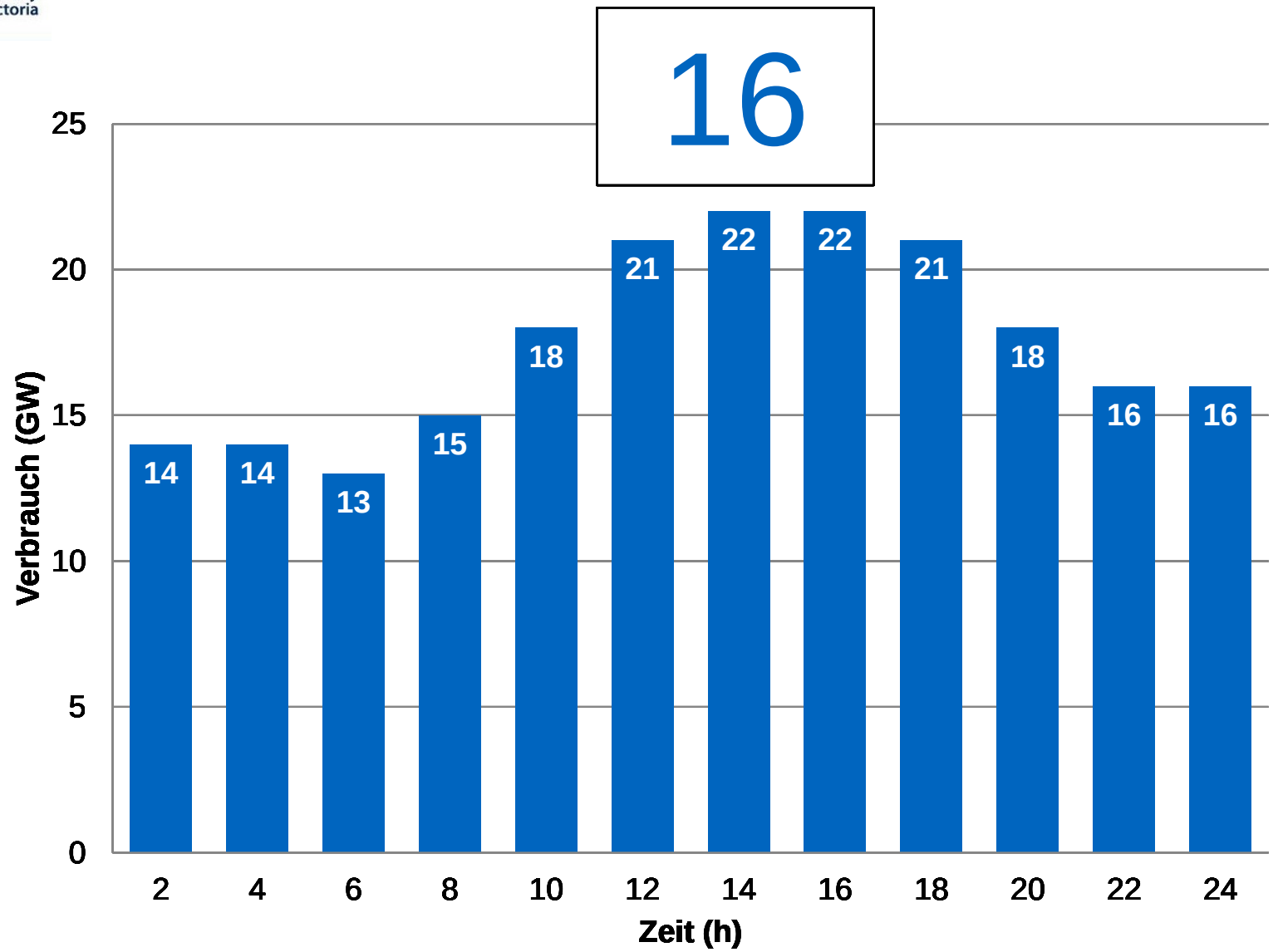


Viel Kohle nach dem Atomausstieg

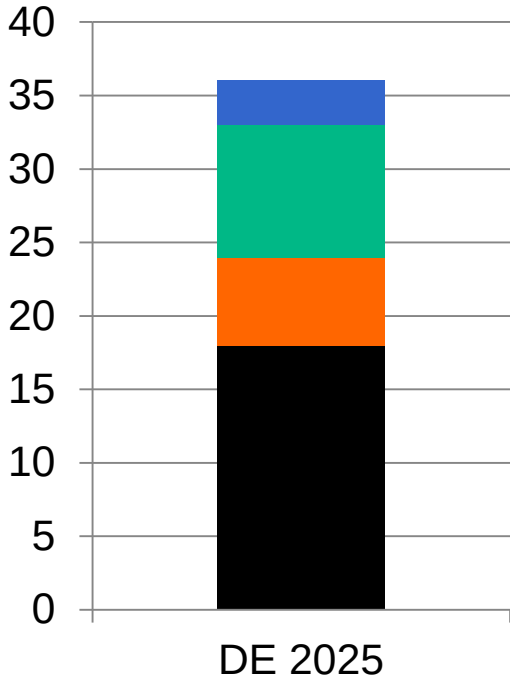
Fragen?

Los geht's mit dem Spiel!

Stromverbrauch 1 (ein Sommertag)



Diskussion



- Allgemein Anmerkungen?
- Welche Reihenfolge an Kraftwerken wurde benutzt?
- Was fällt auf?
- Energiewende schon eingeläutet?

Trotz 30% Erneuerbaren!

- Grundlast-Kraftwerke produzieren verlässlichen Strom. Kohle
- Fluktuierender Wind braucht einen flexiblen Partner. Gas & Wasser
- Ressourcen müssen bedacht eingesetzt werden. Wasser

Der erweiterte Kraftwerkspark

Gas und Dampf

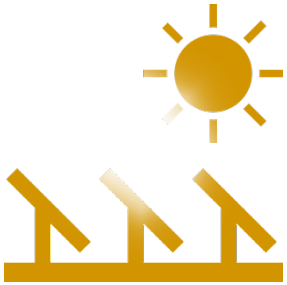
Gas

Kohle

Wind

Wasserkraft

Sonne



Fusion

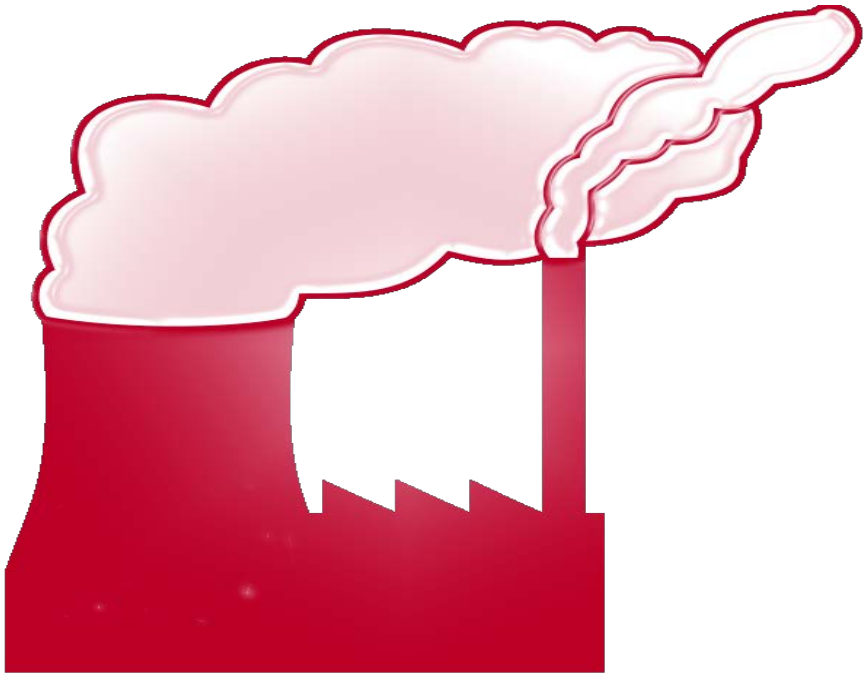
Regeln: konstante Leistung

- Die Stromproduktion wird am Anfang des Tages festgelegt.
- Die Leistung ist dann den ganzen Tag konstant.

Gas-und-Dampf-Kombikraftwerk

Regeln: begrenzte Flexibilität

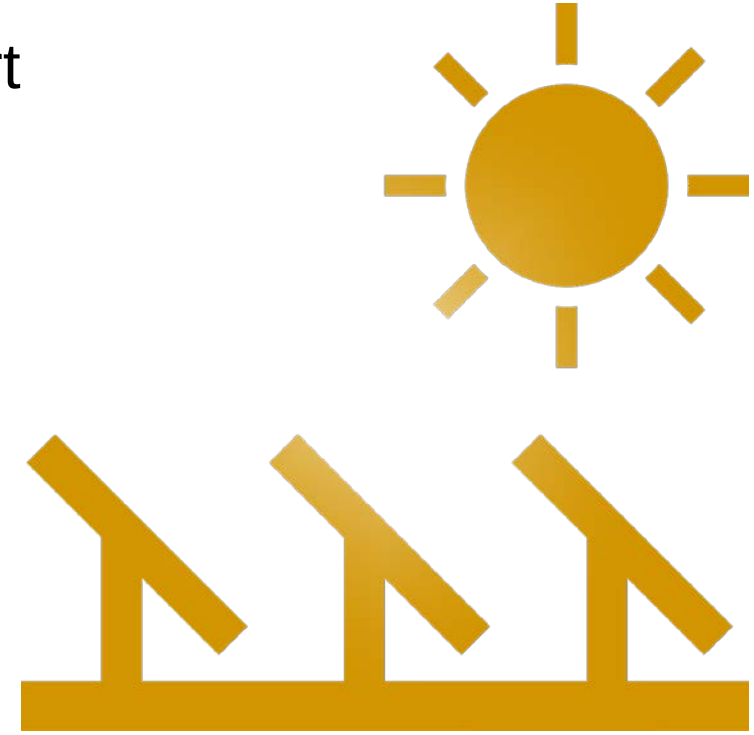
- Träge - die Leistungsänderung ist begrenzt.
- nur ±2 Murmel mehr oder weniger in jedem Zeitintervall.



Solarkraftwerk

Regeln: wetterabhängig

- Jeder 3 GW-Solarpark produziert 0, 1, 2 oder 3 GW.
- Für jedes Zeitintervall wird eine Karte gezogen.
  Was passiert nachts?
- Die Karten bestimmen die Stromproduktion.



Eigener Systementwurf

Bedingung: Maximale installierte Leistung beträgt **36 GW.**

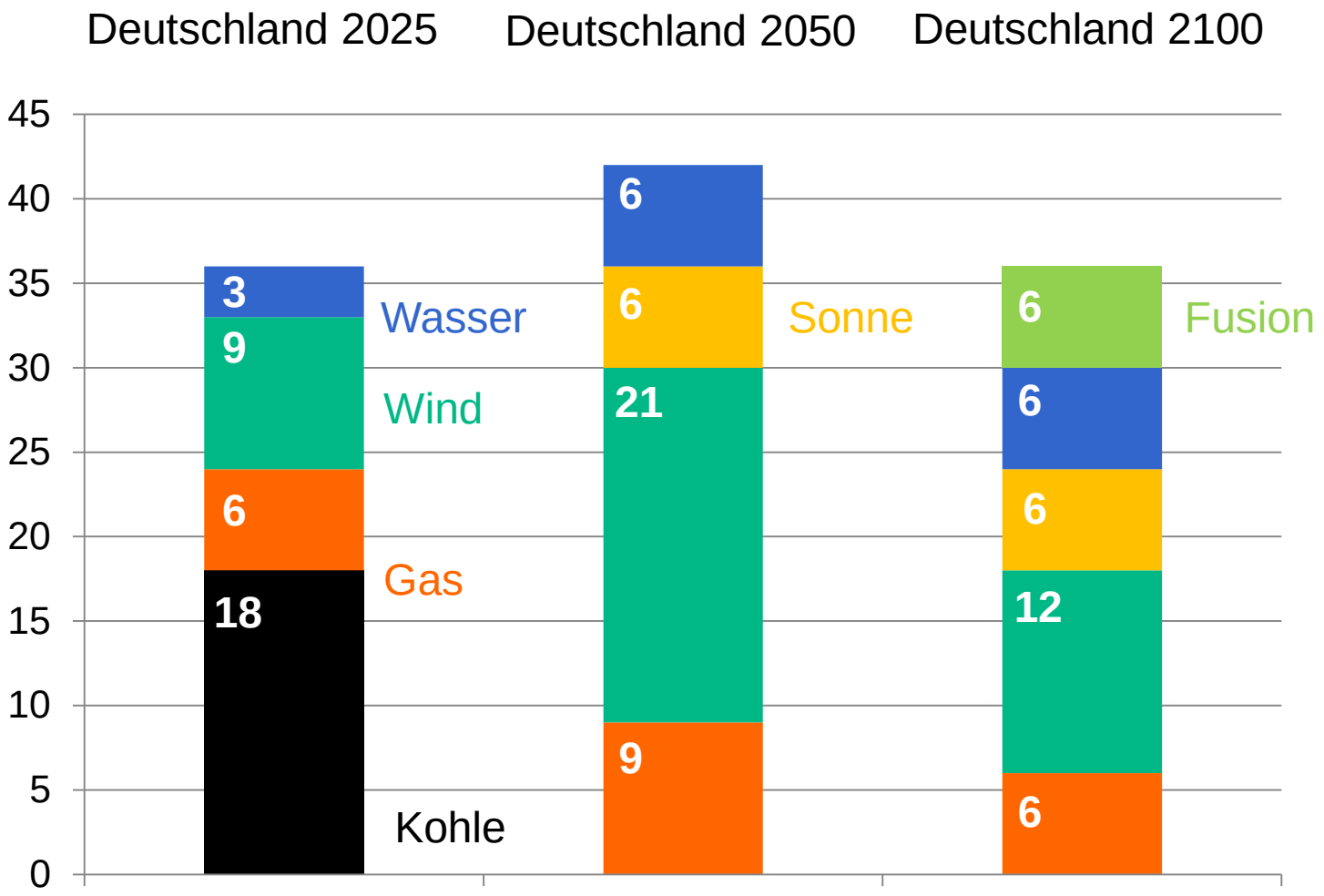
Wasserkraftwerk:

GW	3	6	9	12	15	18	21
Speicher	20	30	40	50	60	70	70

Punkte:

- Wenn der Verbrauch gedeckt ist: Punkte = Verbrauch in GW
- Jede **Kohle**-Murmel: - 1 Punkt
- Jede Gas-Murmel: - 0,75 Punkte
- Jede Gas&Dampf-Murmel: - 0,5 Punkte

Szenarientipps: Mögliche Zukunft



Viel Kohle
Atomausstieg

Weniger Fossile
80% Erneuerbare

Fusion als Grundlast
70% Erneuerbare

Regeln im Überblick

Konfiguration des Kraftwerksparks:

Zur Installation stehen insgesamt **36 GW** in Schritten von 3 GW zur Verfügung

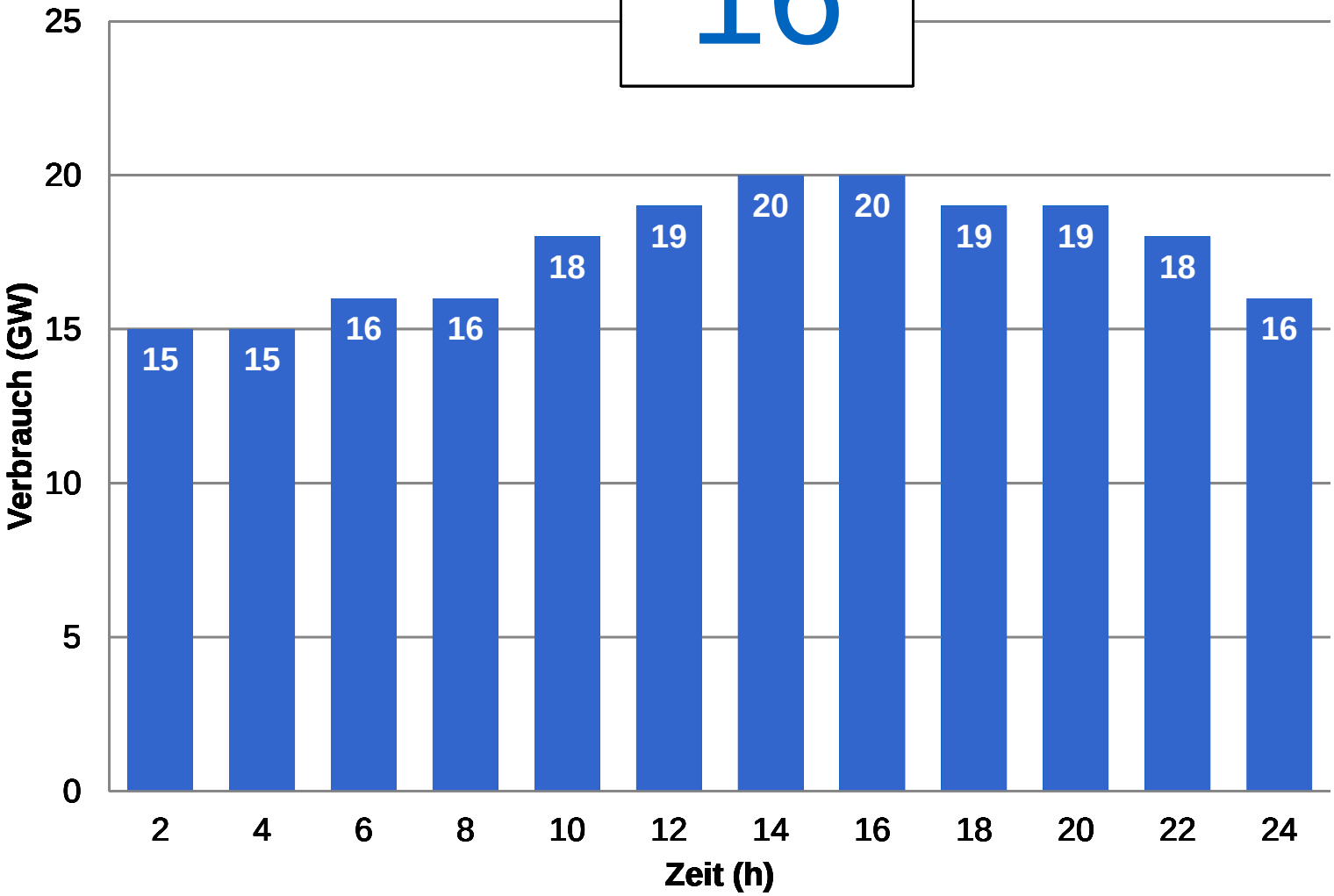
Gas und Wasser ist auf **max. 6 GW** begrenzt. Wasservorrat: 3 GW → **20**, 6 GW → **30**

Typ	Kraftwerk	Eigenschaften	Regeln	CO_2-Strafe
fluktuierende Erneuerbare	Wind	wetterabhängig	Karte(n) ziehen → Stromproduktion	
fluktuierende Erneuerbare	Solar	wetterabhängig, nachts aus	Karte(n) ziehen → Stromproduktion	
Spitzenlast	Gas	flexibel	0 – MAX nach Belieben	- 0,75
Spitzenlast/ Intervalllast	Wasser	begrenzter Speicher	begrenzte # Murmeln pro Tag, mind. 1 Murmel pro Runde	
Intervalllast	Gas-Dampf-Kombi (KWK)	begrenzte Flexibilität	Leistungsänderung: +/- 2 GW	- 0,5
Grundlast	Kohle	begrenzte Flexibilität	Leistungsänderung: +/- 1 GW	- 1,0
Grundlast	Fusion	geringe Flexibilität	konstante Leistung	

Die Wasserkraft kann während des Spiels für 1 Murmel auch die Stromproduktion „abschalten“

Stromverbrauch 2

16



Diskussion

- Wurden alle acht Kraftwerke verwendet?
- Wieviel Wind und Sonne kann man stabil integrieren?
- Was würde es vereinfachen, das System am Laufen zu halten?
- Wie würde Handel das System beeinflussen?

Ist die Energiewende so einfach?