

Können wir unseren Energiebedarf aus regenerativen Energien decken?

Ein Unterrichtsvorschlag für die Sek I

Michael Kahnt
Universität Osnabrück
Graf-Stauffenberg Gymnasium

Gliederung

- Idee, Motivation und Hintergründe
- Vorstellung von Elementen der Unterrichtseinheit „Ertrag regenerativen Energien“
- Erfahrungen, offene Fragen, Ausblick

Idee zum Unterricht: ein Buch

- Erläuterung von physikalischen und technischen Grundlagen der regenerativen Energien:
 - Photovoltaik
 - Windenergie
 - Wasserenergie
 - Biomasse
 - Geothermie
- Können wir unseren Energiebedarf in Deutschland durch die maximal mögliche Ausnutzung von regenerativen Energien decken?
- Treffen plausibler Annahmen und Abschätzungen, „einfache“ Rechnungen im Stil von Fermi-Aufgaben.



(Primär-) Energiebedarf in Deutschland im Jahr 2023

10 630 000 000 000 000 000 000 Joule

$$= 10,63 \cdot 10^{18} \text{ J}$$

$$= 10,63 \text{ EJ}$$

(Primär-) Energiebedarf in Deutschland im Jahr 2023

10 630 000 000 000 000 000 000 Joule

1. Wir beziehen die Energiemenge auf einen Tag.
2. Wir beziehen die Energiemenge auf eine Person (Deutschland: ca. 80 Mio Einwohner)
3. Wir stellen die Energiemenge in der Einheit kWh dar ($1 \text{ kWh} = 3\,600\,000 \text{ J}$)

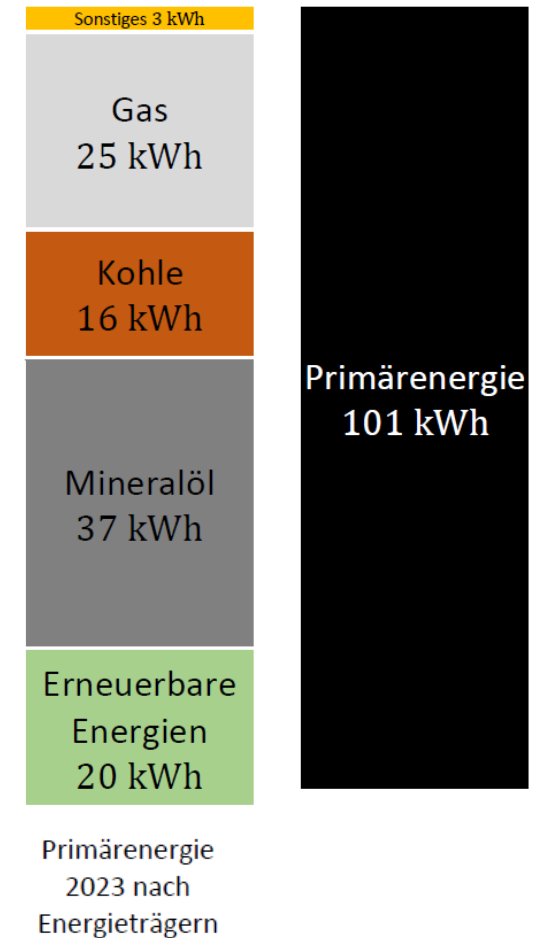
101 kWh pro Tag und pro Person

Hintergrund

- Darstellung der Energiebeträge grundsätzlich in „kWh pro Tag und pro Person“

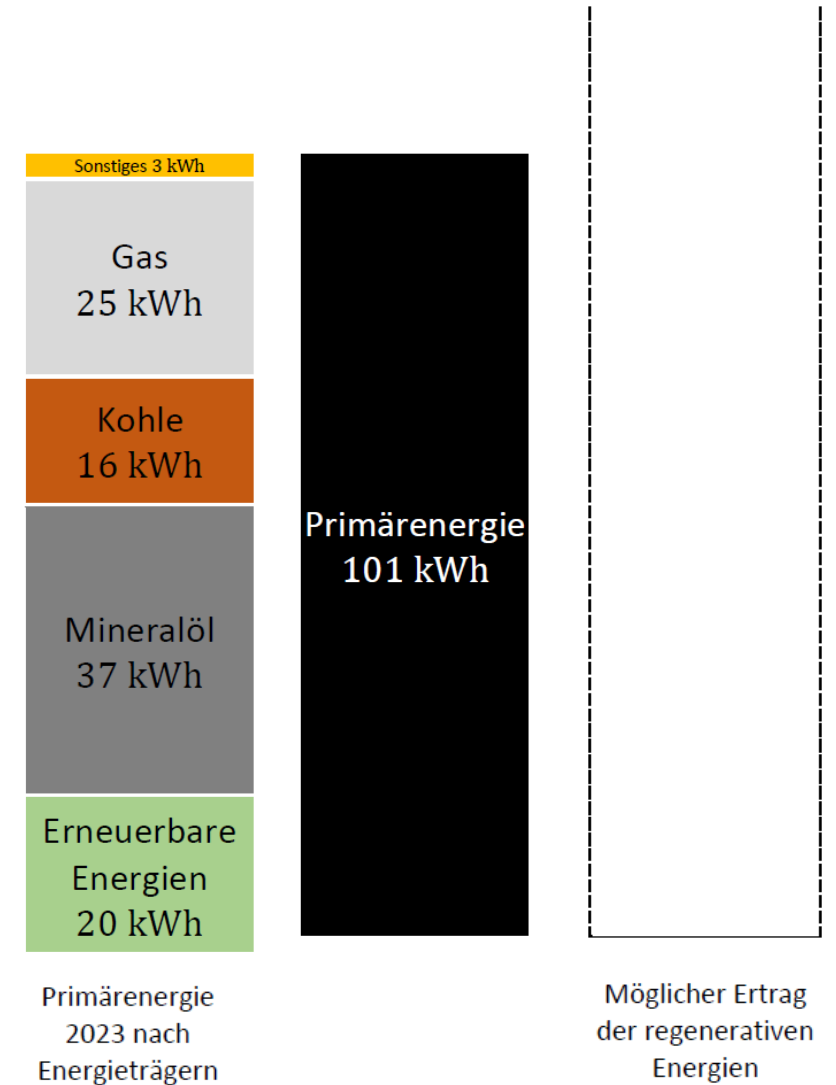
Hintergrund

- Darstellung der Energiebeträge grundsätzlich in „kWh pro Tag und pro Person“



Hintergrund

- Darstellung der Energiebeträge grundsätzlich in „kWh pro Tag und pro Person“
- Können wir unseren Energiebedarf in Deutschland durch die maximal mögliche Ausnutzung von regenerativen Energien decken?

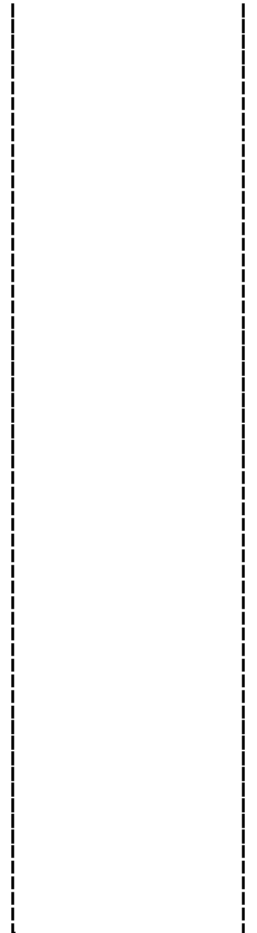


Hintergrund

- Darstellung des Energiebedarfs in Deutschland als „kWh pro Tag und pro Person“
- Können wir unseren Energiebedarf in Deutschland durch die maximal mögliche Ausnutzung von regenerativen Energien decken?
 - Photovoltaik
 - Windenergie
 - Wasserenergie
 - Biomasse
 - Geothermie



Primärenergie
2023 nach
Energieträgern



Möglicher Ertrag
der regenerativen
Energien

Hintergrund

- Darstellung des Energiebedarfs in Deutschland als „Energieverbrauch pro Person“

Generator

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Wie können wir unseren Energiebedarf in Deutschland durch die maximal mögliche Anzahl regenerativer Energien decken?

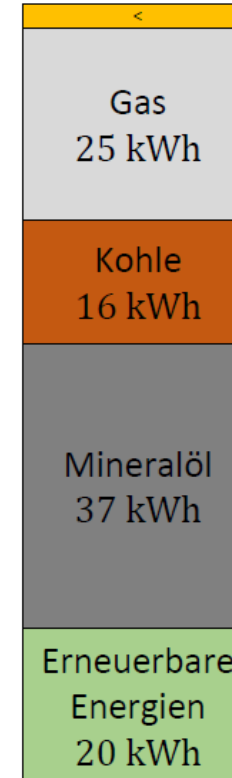
- Photovoltaik
- Windenergie
- Wasserenergie
- Biomasse
- Geothermie

Wirkungsgrad,
Halbleiter

$$E_{pot} = m \cdot g \cdot h$$

Innere Energie

Umgang
mit kWh



Primärenergie
2023 nach
Energieträgern

Möglicher Ertrag
der regenerativen
Energien

Idee: Inhalt des Buches als roter Faden für einen Unterricht in Klasse 9/10

KC Gy

Fachwissen	Erkenntnisgewinnung	Kommunikation	Bewertung
Die Schülerinnen und Schüler ...			
• benutzen die Energiestromstärke/Leistung P als Maß dafür wie schnell Energie übertragen wird • bestimmen die in elektrischen Systemen umgesetzte Energie • unterscheiden mechanische Energieübertragung (Arbeit) von thermischer (Wärme) an ausgewählten Beispielen.	• verwenden in diesem Zusammenhang Größen und Einheiten korrekt. • verwenden in diesem Zusammenhang die Einheiten 1 J und 1 kWh. • untersuchen auf diese Weise bewirkte Energieänderungen experimentell.	• entnehmen dazu Informationen aus Fachbuch und Formelsammlung. • unterscheiden dabei zwischen Alltagssprachlicher und fachsprachlicher Beschreibung.	• <i>vergleichen und bewerten alltagsrelevante Leistungen.</i> • <i>zeigen die besondere Bedeutung der spezifischen Wärmekapazität des Wassers an geeigneten Beispielen aus Natur und Technik auf.</i>
• bestimmen die auf diese Weise übertragene Energie quantitativ.	• berechnen die Änderung von Höhenenergie und innerer Energie in Anwendungsaufgaben.		
• nutzen die Gleichung für die kinetische Energie zur Lösung einfacher Aufgaben • formulieren den Energieerhaltungssatz in der Mechanik und nutzen ihn zur Lösung einfacher Aufgaben und Probleme.	• planen einfache Experimente zur Überprüfung des Energieerhaltungssatzes, führen sie durch und dokumentieren die Ergebnisse.		• <i>nutzen ihr Wissen zum Bewerten von Risiken und Sicherheitsmaßnahmen im Straßenverkehr.</i>

Idee: Inhalt des Buches als roter Faden für einen Unterricht in Klasse 9/10

KC Oberschule

Fachwissen	Erkenntnisgewinnung	Kommunikation	Bewerten
Die Schülerinnen und Schüler...			
beschreiben und berechnen die Umwandlung von potentieller Energie in kinetische Energie und umgekehrt.	- berechnen potentielle und kinetische Energie in Anwendungsaufgaben. - nutzen den Energieerhaltungssatz zur Berechnung von Geschwindigkeiten und Höhen.		nutzen ihr Wissen zum Bewerten von Risiken und Sicherheitsmaßnahmen im Straßenverkehr.
- erklären an Beispielen den Wirkungsgrad. - beschreiben Energieumwandlungsketten unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades.	ermitteln den Wirkungsgrad an einfachen Beispielen.	- recherchieren den Wirkungsgrad verschiedener Energiewandler. - wechseln zwischen grafischer und sprachlicher Darstellungsform.	vergleichen Energieumwandlungen hinsichtlich ihres Wirkungsgrades.
- identifizieren die Energiestromstärke / Leistung P als Maß für die pro Sekunde übertragene Energie. - ermitteln die Energiestromstärke / Leistung in alltagsnahen Zusammenhängen.	- bestimmen die Energiestromstärke / Leistung an ausgewählten Beispielen. - führen Messungen mit einfachen Energiemessgeräten durch.	präsentieren ihre Ergebnisse sachgerecht und adressatenbezogen mit geeigneten Medien.	vergleichen die Leistung von Maschinen, Fahrzeugen und Geräten.

Idee: Inhalt des Buches als roter Faden für einen Unterricht in Klasse 9/10

KC Oberschule

• betrachten das Energieversorgungsnetz hinsichtlich Energiestrom und Wirkungsgrad. • beschreiben Aufbau und Funktionsweise unterschiedlicher Kraftwerkstypen. • vergleichen Möglichkeiten der Energieversorgung hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit.	• verwenden Energieflussdiagramme zur Erläuterung der Funktionsweise von Kraftwerken.	• recherchieren selbständig in verschiedenen Medien und referieren über das Energieversorgungsnetz. • erklären Kraftwerkstypen mithilfe von Aufbauschemata und Energieübertragungsdiagrammen.	• vergleichen Kraftwerkstypen hinsichtlich Wirkungsgrad, Umweltverträglichkeit und Nachhaltigkeit. • bewerten die Möglichkeiten nachhaltiger Energieversorgung.
---	---	--	--

Erstes Fazit

Mit dem übergreifenden Kontext „Können wir unseren Energiebedarf durch regenerative Energien decken“ können viele Inhalte der aktuellen Kerncurricula in der Sek I abgearbeitet werden.

Weitere Argumente?

- Agenda 2030, beschlossen 2015 von den Vereinten Nationen
- Umsetzung in Schulen durch BNE-Erlässe (Niedersachsen 01.06.2021)



Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) in Niedersachsen

Ziel von BNE ist es, Schülerinnen und Schüler zu einem selbstbestimmten, mitgestaltenden, verantwortungsbewussten und solidarischen Leben in der globalisierten Gesellschaft zu befähigen. Im Vordergrund steht die Förderung von zukunftsfähigem und transformativem Denken und Handeln. (...) Dabei werden ökologische, ökonomische, soziale, politische, kulturelle sowie ethische und religiöse Dimensionen berücksichtigt.

BNE ist eng verknüpft mit Konzepten wie Umweltbildung, Globalem Lernen, Demokratiebildung, interkultureller Bildung, Bildung zu nachhaltiger Mobilität, Verbraucherbildung, Friedenspädagogik etc. (...) Damit betrifft BNE die ganze Schule. (...)

Die strukturelle Verankerung von BNE im Unterricht (...) kann besonders gewinnbringend umgesetzt werden, wenn (...) die Auseinandersetzung im Unterricht ökologische, ökonomische, soziale, kulturelle, politische sowie ethische und religiöse Dimensionen miteinander verbindet.

(BNE-Erlass Niedersachsen)

Ausblick: Bildungsstandards (KMK, 2024)

Energie

- physikalische Größen: Energie, Leistung, Wirkungsgrad
- Energieformen: Bewegungsenergie, Lageenergie, elektrische Energie, thermische Energie, Strahlungsenergie
- Energieumwandlung und Energieübertragung
- Energieerhaltung und Energieentwertung, auch quantitative Bilanzierung
- Zusammenhang zwischen Energie und Leistung, auch quantitative Betrachtungen
- nachhaltige Energieversorgung, insbesondere Energiespeicherung

Elektromagnetische Strahlung

- physikalische Größe: Temperatur, Wellenlänge
- Licht und Wärmestrahlung
- elektromagnetisches Spektrum
- Wechselwirkung von Strahlung und Materie
- Klimaphysik, insbesondere Strahlungshaushalt der Erde (Rückstrahlvermögen, mögliche Kippelemente, natürlicher und anthropogener Treibhauseffekt)

Ausblick: Bildungsstandards (KMK, 2024)

„Beschäftigung mit der Lösung des Klimaproblems“



Energie

- physikalische Größen: Energie, Leistung, Wirkungsgrad
- Energieformen: Bewegungsenergie, Lageenergie, elektrische Energie, thermische Energie, Strahlungsenergie
- Energieumwandlung und Energieübertragung
- Energieerhaltung und Energieentwertung, auch quantitative Bilanzierung
- Zusammenhang zwischen Energie und Leistung, auch quantitative Betrachtungen
- nachhaltige Energieversorgung, insbesondere Energiespeicherung

Elektromagnetische Strahlung

- physikalische Größe: Temperatur, Wellenlänge
- Licht und Wärmestrahlung
- elektromagnetisches Spektrum
- Wechselwirkung von Strahlung und Materie
- Klimaphysik, insbesondere Strahlungshaushalt der Erde (Rückstrahlvermögen, mögliche Kippelemente, natürlicher und anthropogener Treibhauseffekt)

Erörterung der Ursachen und Folgen des Klimawandels,
„Beschäftigung mit dem Problem“



Nationale Klimaschutzziele Deutschland (§3 Klimaschutzgesetz)

„Bis zum Jahr 2045 werden die Treibhausgasemissionen so weit gemindert, dass Netto-Treibhausgasneutralität erreicht wird. Nach dem Jahr 2050 sollen negative Treibhausgasemissionen erreicht werden.“

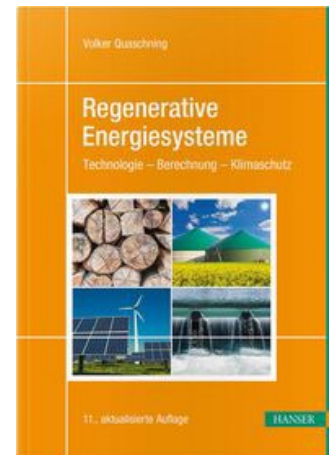
Zusammenfassung didaktische Hintergründe

- Mit dem übergreifenden Kontext „Können wir unseren Energiebedarf durch regenerative Energien decken“ können viele Inhalte der aktuellen Kerncurricula in der Sek I abgearbeitet werden.
- Der Kontext steuert in die Richtung von BNE.
- Der Kontext unterstützt konkret eine Bildung im Sinn der nationalen Klimaschutzziele.

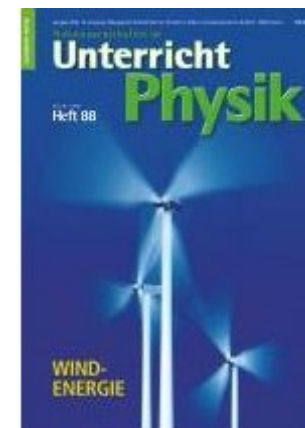
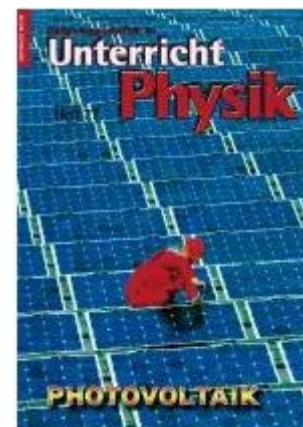
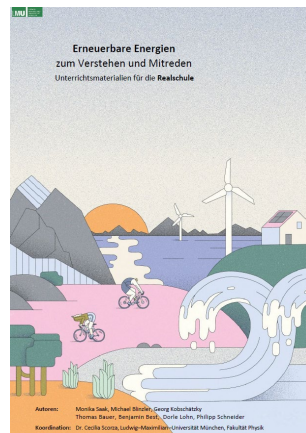
Zur Unterrichtsentwicklung

- Seminar „Elemente modernen Physikunterrichts“ im WS 2022-23
- Vortragsreihe von Studierenden an SuS im 2. Halbjahr 2023-23
- erster Unterrichtsgang im 2. Halbjahr 2023-24 in vier 10. Klassen
- überarbeiteter Unterricht im 2. Halbjahr 2024-25 in weiteren vier 10. Klassen;
neu: Strahlungsgleichgewicht und Treibhauseffekt

Quellen zur Unterrichtsentwicklung



Material der LMU München unter www.klimawandel-schule.de



Vorstellung einiger Unterrichtselemente

Dabei gilt:

- Viele Experimente später live in der Materialbörse!
- Ausgearbeitetes Unterrichtsmaterial vorhanden (noch Umstrukturierungsarbeiten bis zu den Herbstferien)
- Informationen zur möglichen Anschaffung von Materialien



Was ist eine „Kilowattstunde“?

Hintergrund:
Ohne Energie ist unser derzeitiger Lebensstandard nicht denkbar. Energie nutzen wir im Haushalt, damit es warm und hell ist und für eine Vielzahl elektrischer Geräte. Doch nicht nur das: Das Auto benötigt Kraftstoff, genauso wie Busse, Schiffe oder Flugzeuge. Schulen, Krankenhäuser oder andere Einrichtungen müssen beleuchtet und beheizt werden und auch Industrie und Unternehmen benötigen Energie, um Produkte herzustellen, die zu unserem Leben gehören. Doch wie viel Energie ist das eigentlich?

Alles zusammen – also die gesamte Energie, die in Deutschland im Jahr 2023 umgesetzt wurde – beziffert das Bundesamt für Energiewirtschaft auf eine Menge von 10 630 000 000 000 000 Joule oder 10.63 Exajoule. Diese große Zahl wird etwas kleiner, wenn man sie statt in „Joule“ in der größeren Einheit „Kilowattstunde“ (kWh) angibt. Richtig anschaulich wird sie aber erst, wenn man sie in die Energiemenge umrechnet, die jeder von uns pro Tag benötigt. Das sind 101 kWh.

Aufgaben:
1. Bestätige die Angabe E (pro Person und Tag) = 101 kWh durch eine Umrechnung. Dabei gilt:
 $1 \text{ kWh} = 3\,600\,000 \text{ J}$. Gehe von einer Einwohnerzahl in Deutschland von 80 000 000 aus.

Erinnerung:
Der Energiestrom P gibt an, welche Energie pro Zeiteinheit übertragen wird. Die Einheit ist „Watt“ (W).

$\text{Energiestrom} = \frac{\text{Energie}}{\text{Zeit}} \qquad P = \frac{E}{t} \qquad 1 \text{ Watt} = \frac{1 \text{ Joule}}{1 \text{ Sekunde}} \qquad 1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}}$

Neu: Formt man die Formel zu $E = P \cdot t$ um, kann die insgesamt nach einer Zeit t umgewandelte Energiemenge E berechnet werden. Neben der Einheit Joule ist hier die Einheit 1 kWh („Kilowattstunde“) üblich.

Bei einem dauerhaften Energiestrom von $1000 \text{ W} = 1 \text{ kW}$ wird innerhalb einer Stunde eine Energie von 1 kWh umgesetzt. $E = P \cdot t = 1 \text{ kW} \cdot 1 \text{ h} = 1 \text{ kWh}$

Beispiel:
Als durchschnittlicher Radfahrer liefert man einen Energiestrom von $P = 100 \text{ W}$. Berechne die umgesetzte Energiemenge, wenn man $t = 10 \text{ h}$ radelt.

Veranschaulichung der Energiemenge 1kWh



beim Radeln



nach 10 Stunden

Energiestrom

0,1kW

0,1kW

1 kWh Energiemenge

1 kWh ist diejenige Energiemenge, die ein Radler an einem 10stündigen Radeltag produzieren kann.

Überblick

1. Was ist eine kWh?
2. Energiebereitstellung und –nutzung in Deutschland
3. Umstellung der Energieversorgung in Deutschland, Umgang mit großen Zahlen
4. Wiederholung von Größen und Messprinzipien der Elektrizitätslehre
5. Untersuchung von Solarzellen I, Einführung des Wirkungsgrads
6. Untersuchung von Solarzellen II, Abhängigkeit vom Winkel (optional)
7. Energieertrag durch Photovoltaik
8. Energie durch Wasser ($E = mgh$)
9. Energieertrag durch Wasser
10. Energie durch Wind ($E = 1/2 \cdot mv^2$)
11. Energieertrag durch Wind
12. Energie durch Biomasse
13. Energie durch Geothermie, Wärmepumpe
14. (Energiespeicherung)



Überblick

1. Was ist eine kWh?
2. Energiebereitstellung und –nutzung in Deutschland
3. Umstellung der Energieversorgung in Deutschland, Umgang mit großen Zahlen
4. Wiederholung von Größen und Messprinzipien der Elektrizitätslehre
5. Untersuchung von Solarzellen I, Einführung des Wirkungsgrads
6. Untersuchung von Solarzellen II, Abhängigkeit vom Winkel (optional)
7. Energieertrag durch Photovoltaik
8. Energie durch Wasser ($E = mgh$)
9. Energieertrag durch Wasser
10. Energie durch Wind ($E = 1/2 \cdot mv^2$)
11. Energieertrag durch Wind
12. Energie durch Biomasse
13. Energie durch Geothermie, Wärmepumpe
14. (Energiespeicherung)

Überblick

1. Was ist eine kWh?
2. Energiebereitstellung und –nutzung in Deutschland
3. Umstellung der Energieversorgung in Deutschland, Umgang mit großen Zahlen
4. Wiederholung von Größen und Messprinzipien der Elektrizitätslehre
5. Untersuchung von Solarzellen I, Einführung des Wirkungsgrads
6. Untersuchung von Solarzellen II, Abhängigkeit vom Winkel (optional)
7. Energieertrag durch Photovoltaik
8. Energie durch Wasser ($E = mgh$)
9. Energieertrag durch Wasser
10. Energie durch Wind ($E = 1/2 \cdot mv^2$)
11. Energieertrag durch Wind
12. Energie durch Biomasse
13. Energie durch Geothermie, Wärmepumpe
14. (Energiespeicherung)

Überblick

1. Was ist eine kWh?
2. Energiebereitstellung und –nutzung in Deutschland
3. Umstellung der Energieversorgung in Deutschland, Umgang mit großen Zahlen
4. Wiederholung von Größen und Messprinzipien der Elektrizitätslehre
5. Untersuchung von Solarzellen I, Einführung des Wirkungsgrads
6. Untersuchung von Solarzellen II, Abhängigkeit vom Winkel (optional)
7. Energieertrag durch Photovoltaik
8. Energie durch Wasser ($E = mgh$)
9. Energieertrag durch Wasser
10. Energie durch Wind ($E = 1/2 \cdot mv^2$)
11. Energieertrag durch Wind
12. Energie durch Biomasse
13. Energie durch Geothermie, Wärmepumpe
14. (Energiespeicherung)

1. Stunde: Was ist eine kWh?

Primärenergie
101 kWh

How much energy does it take to toast a slice of bread?



Robert schafft $P = 700 \text{ W}$

$$E = P \cdot t = 1 \text{ kW} \cdot 1 \text{ h} = 1 \text{ kWh}$$

Was schaffen wir?

1. Stunde: Was ist eine kWh?



Fazit:

- $E = P \cdot t = 0,1 \text{ kW} \cdot 10 \text{ h} = 1 \text{ kWh}$
- 1 kWh ist diejenige Energiemenge, die ein Radler an einem 10stündigen Radeltag bereitstellen könnte.

Primärenergiebedarf:

101 kWh pro Tag und pro Person

- 101 Radfahrer
- 10 Liter Öl
- 13 kg Holzkohle
- 40 kg CO₂ (20 m³ - 2000 Ballons)

1. Stunde: Was ist eine kWh?



Lernziele:

- Veranschaulichung der Energiemenge 1 kWh
- Umgang und Berechnungen mit der Formel $E = P \cdot t$
- Unterscheidung Energiestrom/ Energiemenge
- Verknüpfung von Zahlenangaben mit anschaulichen Bedeutungen



Energiefahrrad – kostengünstig selbst bauen (Masterarbeit K. Krause)

Professioneller Ökotrainer

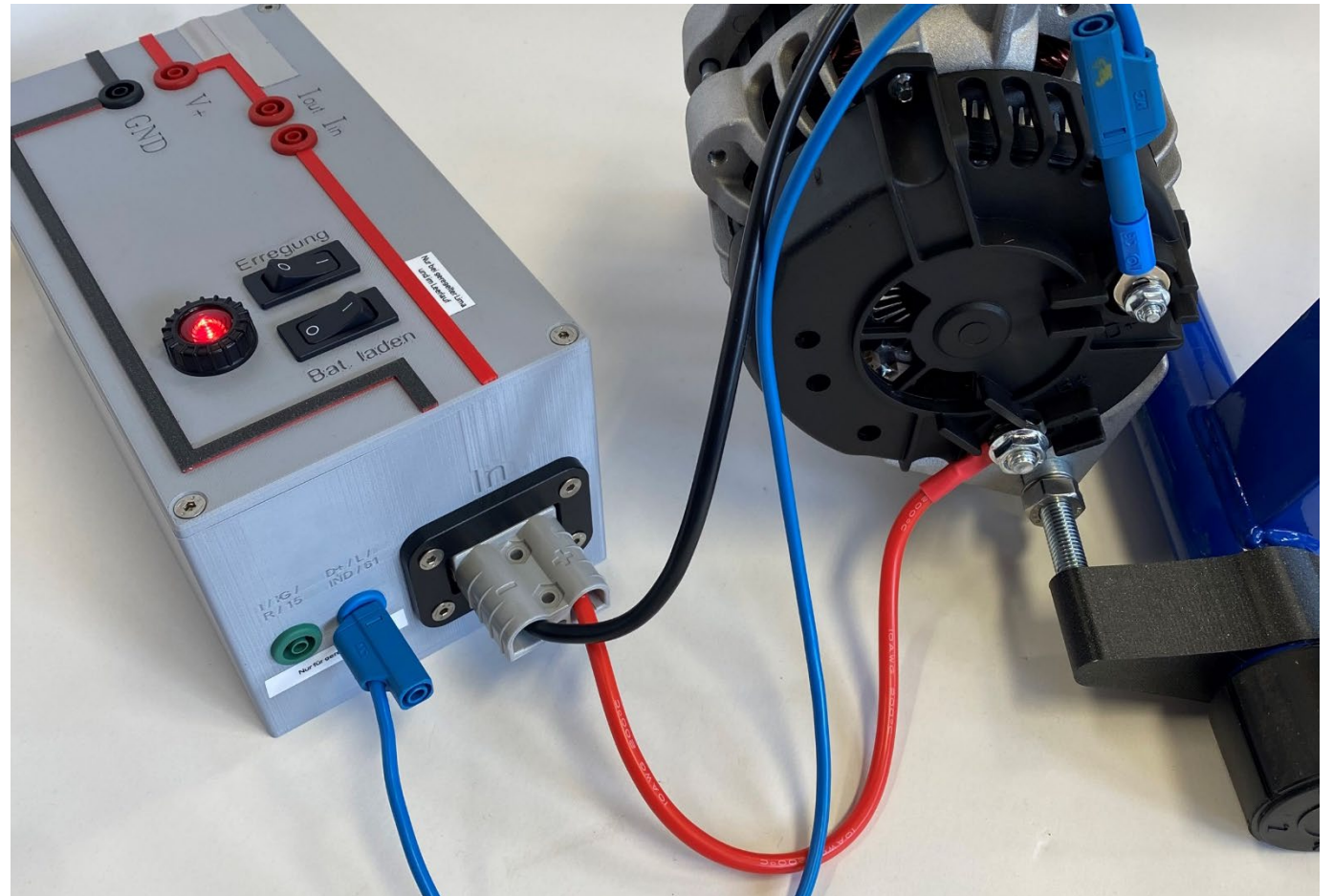
Teile	Kosten
Trainer	450
Power Analyzer	275
Spannungsstabilisierung	154
Wechselrichter (110)	50
Gesamt:	929

Selbstbau

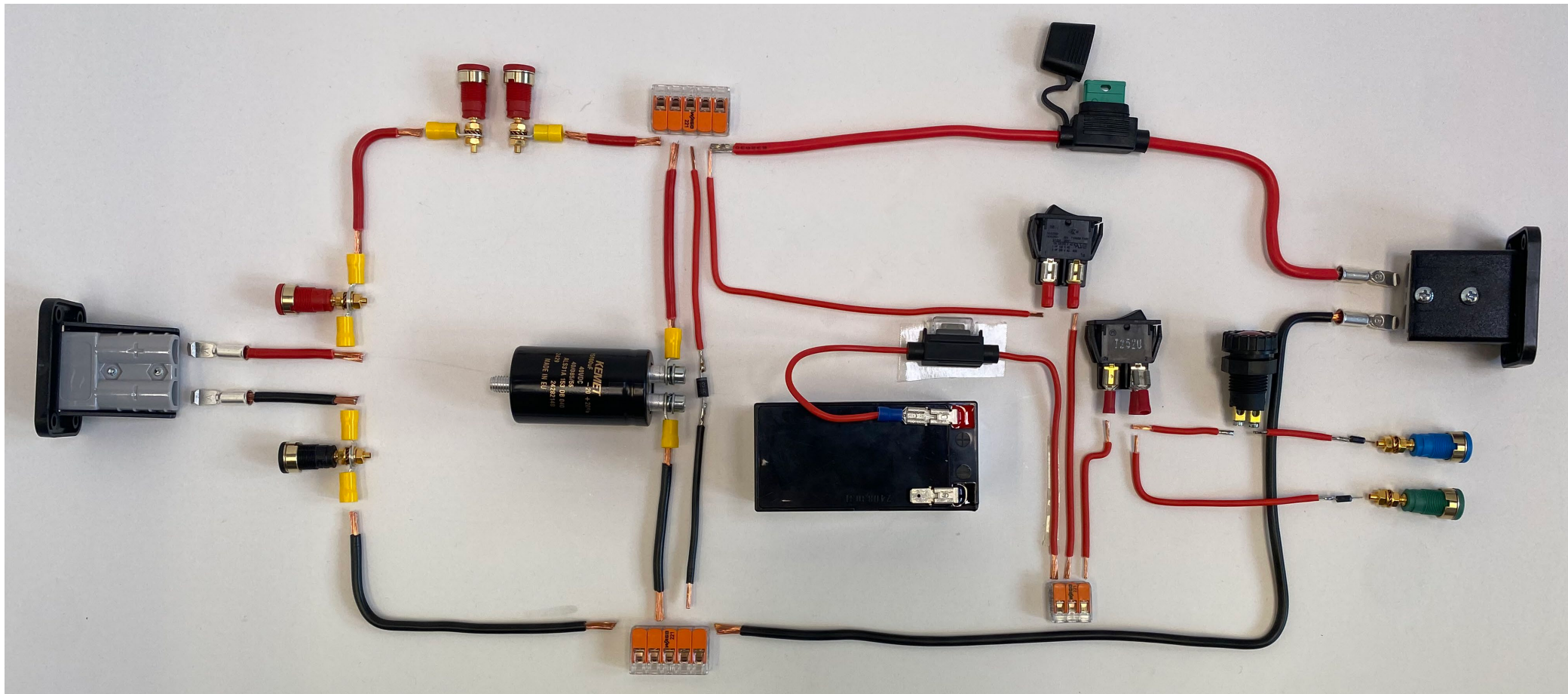
Teile	Kosten
Trainer und Mechanik	70
Lichtmaschine	100
Elektrische Teile, Filament	160
Wechselrichter	50
Gesamt:	380

- kein Schweißen
- möglichst einfacher Zusammenbau (evaluiert)
- Spezialteile aus 3D-Drucker
- auch gut geeignet für Elektrizitätslehre, $U = P/I$

Energiefahrrad – kostengünstig selbst bauen (Masterarbeit K. Krause)



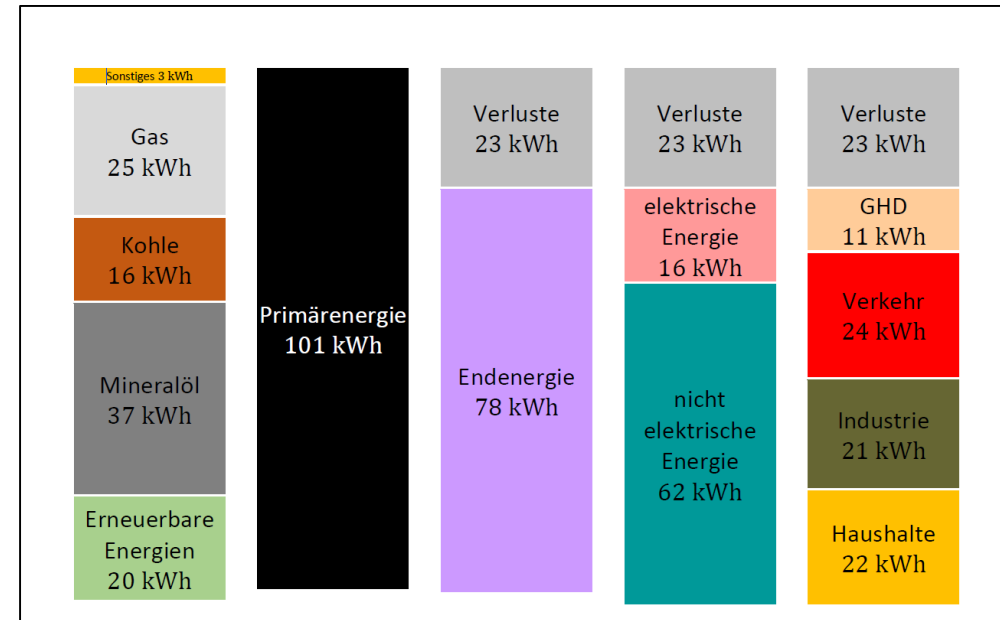
Energiefahrrad – kostengünstig selbst bauen (Masterarbeit K. Krause)



2. Stunde: Energiebereitstellung und –nutzung in Deutschland

Lernziele:

- Kennenlernen von Fachbegriffen: Primärenergie, Endenergie, Sektoren, ...
- Kenntnisse von verschiedenen regenerativen Energien
- Beurteilung von Aussagen zum Fortschritt der Transformation



2. Stunde: Energiebereitstellung und –nutzung in Deutschland

2. Steffi und Tobi unterhalten sich über den Artikel.
- Beschreibe, was in dem Artikel mit „Stromverbrauch“ gemeint ist. Beziehe die Energiesäulen ein.
 - Ermittle mithilfe der Daten in den Säulendiagrammen und der Information im Artikel, ob regenerative Energien grundsätzlich nur elektrische Energie liefern.
 - Beurteile die Aussagen der beiden.

Stromverbrauch zum Jahresbeginn

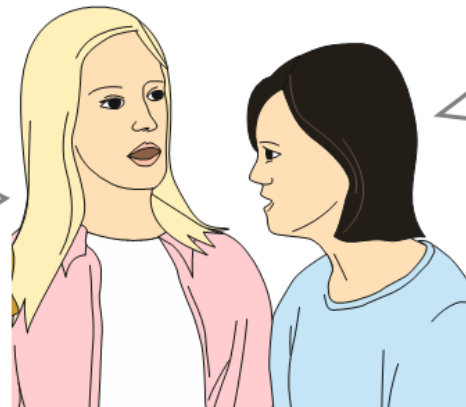
Jede zweite Kilowattstunde "grün"

Stand: 28.04.2023 08:53 Uhr

Rund 50 Prozent des Stromverbrauchs in Deutschland konnten in den ersten drei Monaten des Jahres durch Erneuerbare Energien gedeckt werden. Windenergieanlagen an Land steuerten am meisten bei.

tagesschau.de, 28.04.2024

Ich weiß gar nicht, warum viele beim Erreichen der Klimaziele so pessimistisch sind.



Das verstehe ich auch nicht. Wenn wir jetzt schon die Hälfte unseres gesamten Energiebedarfs aus regenerativen Energien decken, dann wird es doch wohl leicht sein, bis 2045 auch den Rest zu schaffen.

3. Stunde: Die Umstellung der Energieversorgung in Deutschland

Ausschnitt aus der Bewertungstabelle

Kriterium	Beurteilung			Photo-voltaik	Wind onshore	Wind offshore	Wasser-energie
	hoch/zentral	mittel	gering				
Potenzial Welchen Beitrag kann die Energie liefern?	wesentlicher Beitrag > 15 kWh pro Tag und Person	mittlerer Beitrag 5 – 15 kWh pro Tag und Person	geringer Beitrag < 5 kWh pro Tag und Person				
Elektrische Energie Kann elektrische Energie bereitgestellt werden?	ja	grundsätzlich ja, aber hoher Aufwand oder niedriger Wirkungsgrad	nein				
Wärme Kann Wärme zum Heizen bereitgestellt werden?	ja	ja, durch Nutzung elektrischer Energie	nein				
Verkehr (Schiff/Flugzeug) Kann hochwertiger Treibstoff bereitgestellt werden?	ja, flüssige Kraftstoffe	ja, über elektrische Energie	nein				
Wirkungsgrad	> 50 %	10 % bis 50 %	< 10 %				
Verfügbarkeit Ist die Energie immer verfügbar oder nur manchmal?	immer, unabhängig vom Wetter oder der Tageszeit	abhängig von äußeren Faktoren, aber planbar	nicht planbar				
Speicherfähigkeit Kann die Energie gespeichert werden?	ja	mit Aufwand	nein				

3. Stunde: Umgang mit großen Zahlen (wissenschaftliche Schreibweise)

Selbstlernumgebung „Learningsnack“

12*10⁶ J

Lückentext prüfen ▶

Gut

2 GW (Gigawatt)

2*10⁹ W

Lückentext prüfen ▶

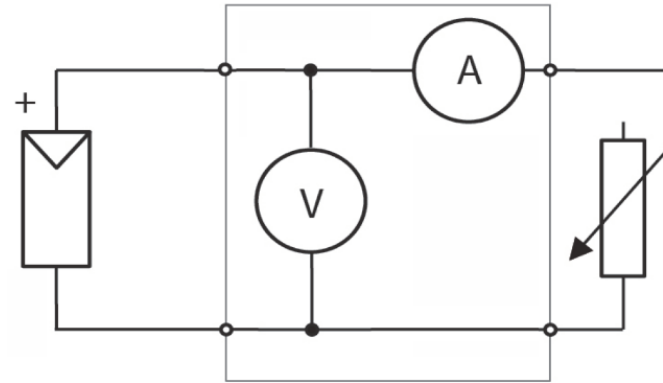
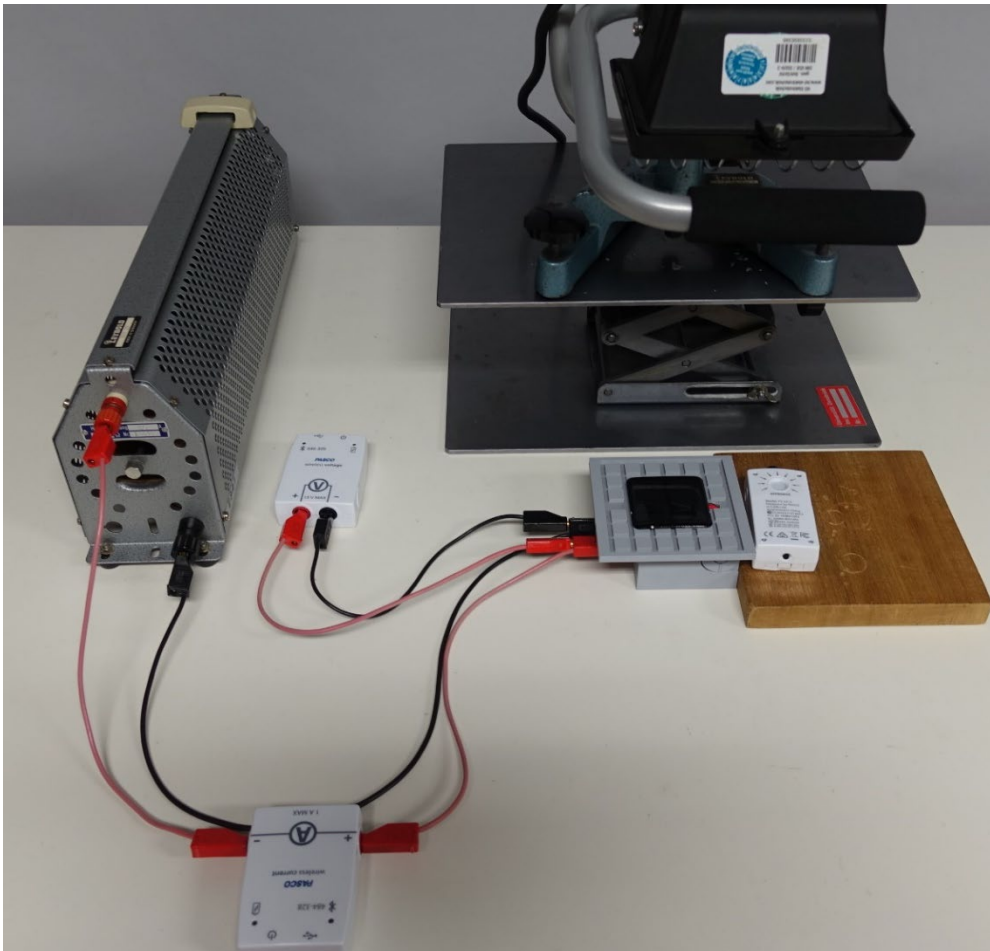


Energiestrom-Bingo

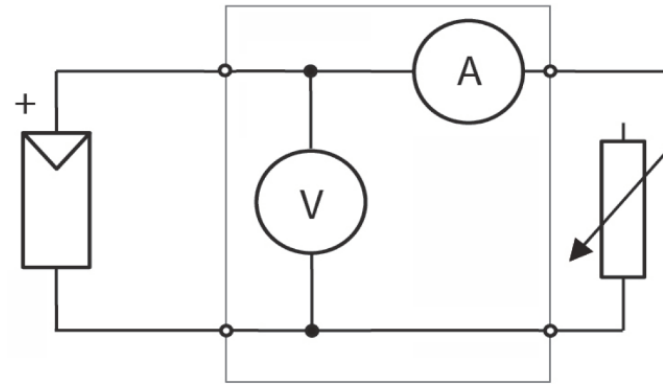
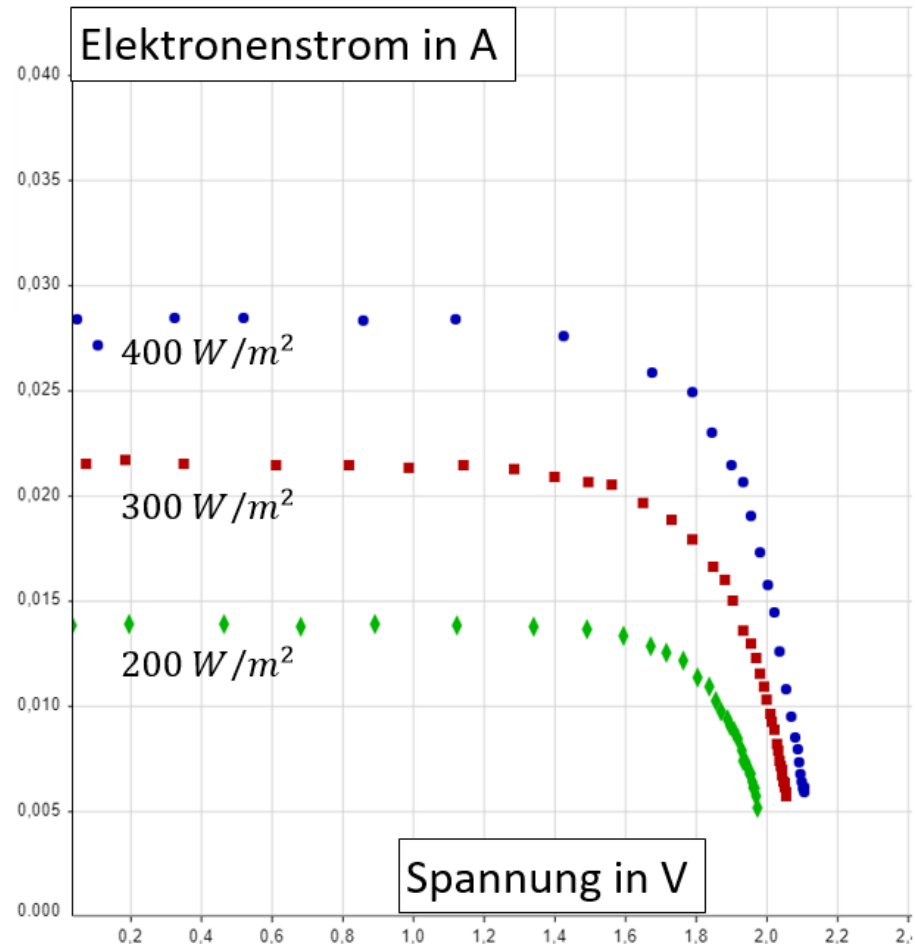
Energiestrom-Bingo

1 Mrd Watt	0,001 MW	$300 \cdot 10^6$ W	0,001 TW
300 W	50 MW	1 Billion Watt	300 Mrd Watt
300 000 GW	$1 \cdot 10^{12}$ W	50 Billionen Watt	0,3 TW
50 W	0,3 GW	0,001 GW	1 GW

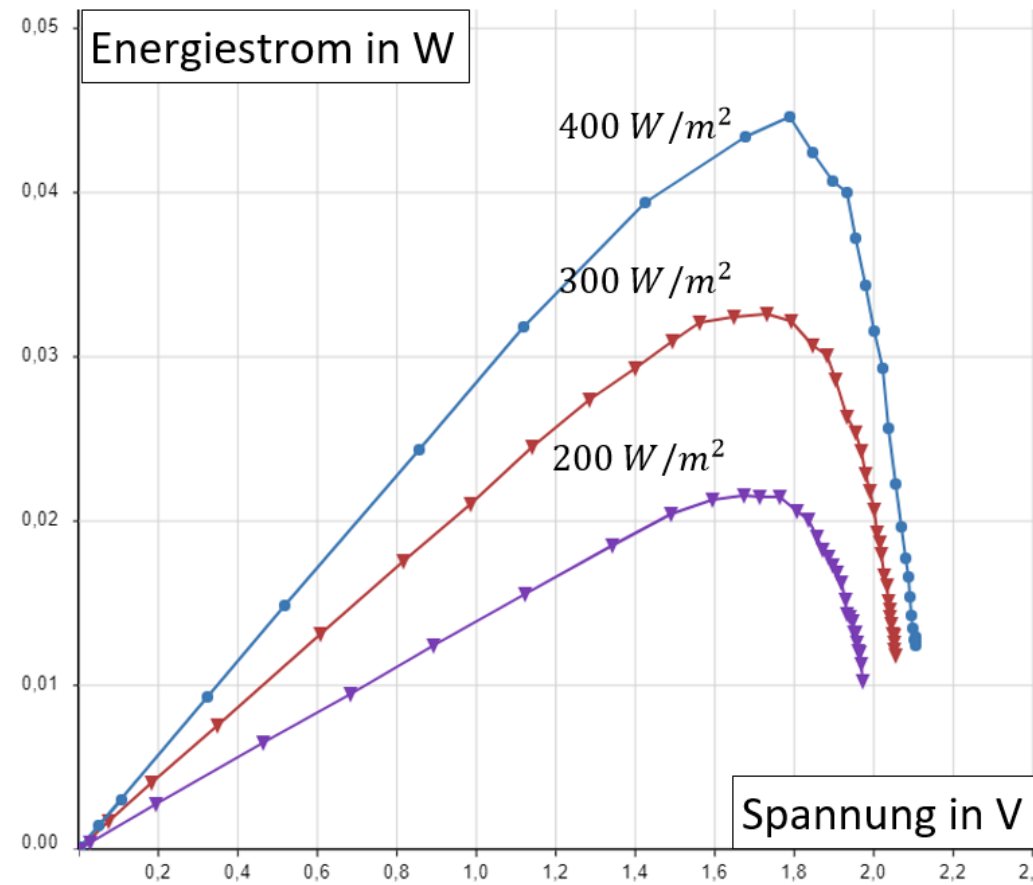
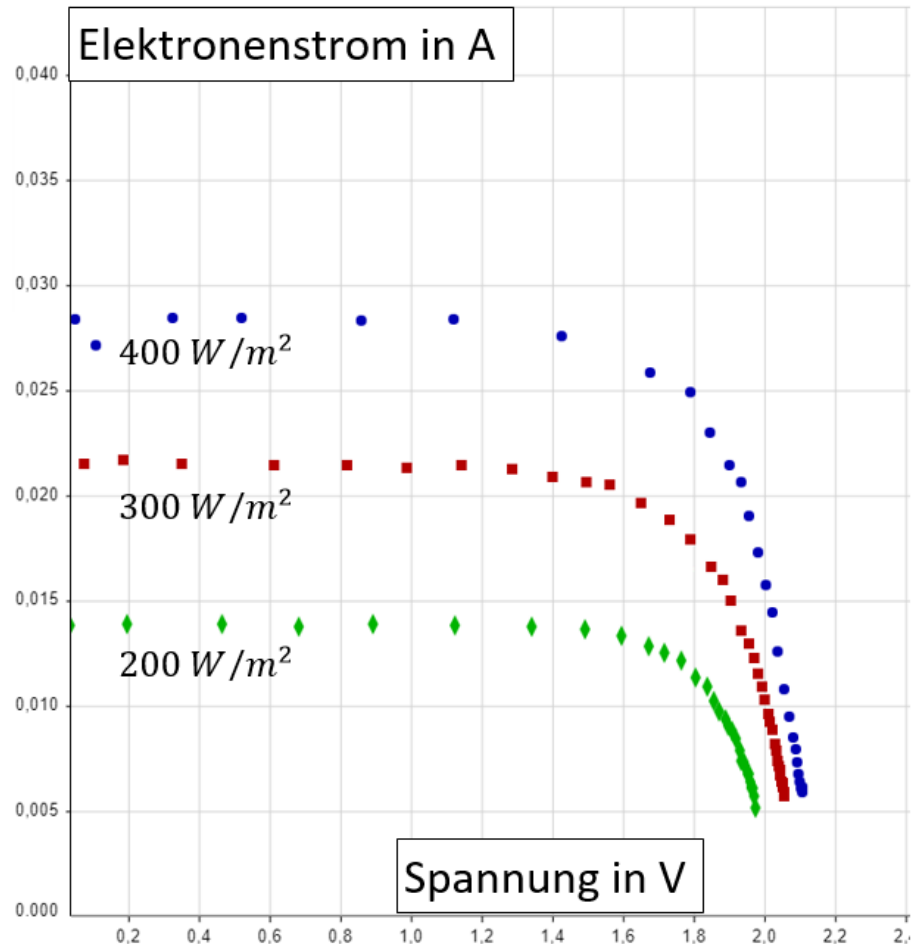
5. Stunde: Untersuchung von Solarzellen, Einführung und Messung des Wirkungsgrads



5. Stunde: Untersuchung von Solarzellen, Einführung und Messung des Wirkungsgrads



5. Stunde: Untersuchung von Solarzellen, Einführung und Messung des Wirkungsgrads



5. Stunde: Untersuchung von Solarzellen, Einführung und Messung des Wirkungsgrads

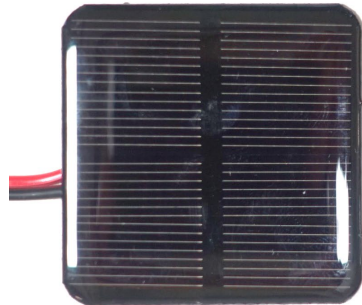
$$\eta = \frac{\text{auftreffender Strahlungsenergiestrom}}{\text{abgegebener elektrischer Energiestrom}}$$

Ergebnis:

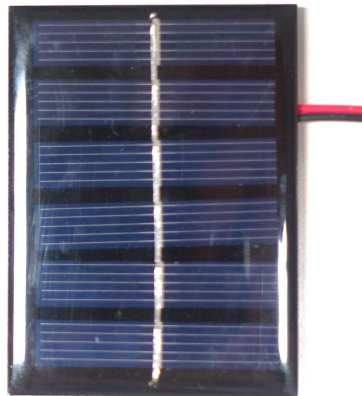
monokristallin

polykristallin

10 Stück 15,98 €



6-7%



4-5%

6 Stück 9,98 €



5. Stunde: Untersuchung von Solarzellen, Tipps

Bekannt: Luxmeter
misst Beleuchtungsstärke in Lux



Weniger bekannt: Pyranometer
misst Intensität in W/m^2
(z. B. 50 €)



5. Stunde: Untersuchung von Solarzellen, Tipps

Halogen



LED



5. Stunde: Untersuchung von Solarzellen, Tipps

Halogen



LED



5. Stunde: Untersuchung von Solarzellen, Tipps

Halogen



LED



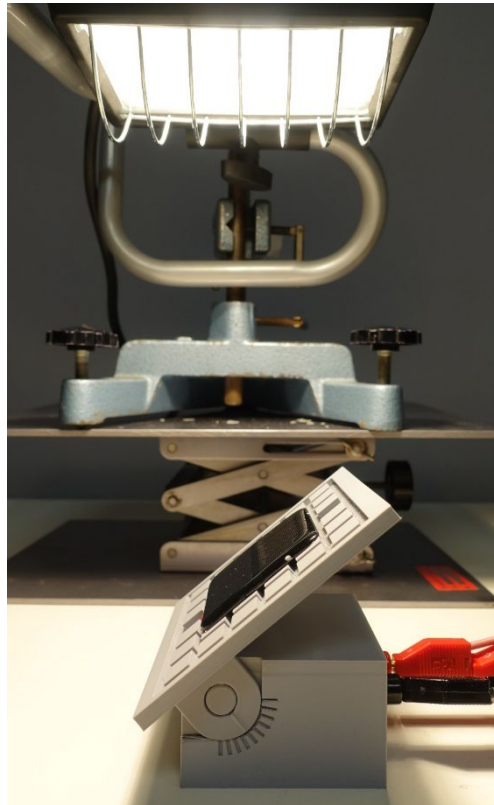
Fazit:

LED-Lampen sind für die Versuche mit der Solarzelle ungeeignet.



5. Stunde: Untersuchung von Solarzellen, Tipps

Halterung aus dem 3D-Drucker:



7. Stunde: Ertrag durch Photovoltaik

Internetrecherche:

- mittlere Strahlung in Deutschland: $1064 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$
- verfügbare Dachfläche $A = 2344 \text{ km}^2$
- Wirkungsgrad: $\eta = 20 \%$

Rechnung:

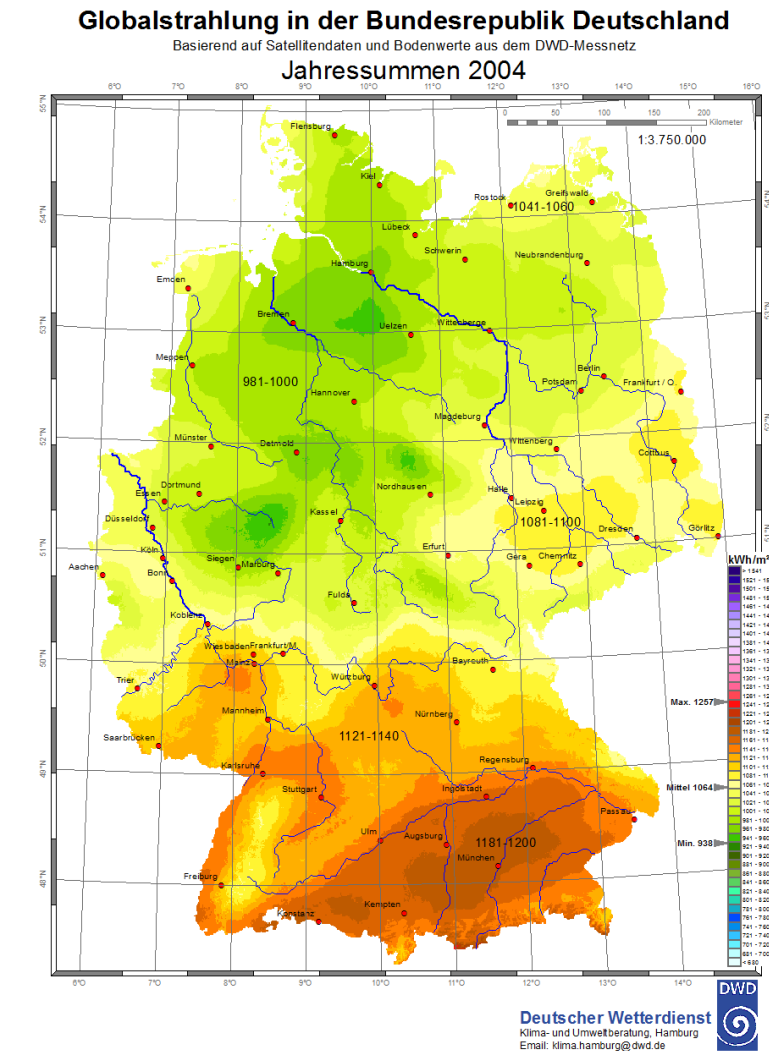
Energieertrag pro Jahr in Deutschland:

$$E = 2344 \cdot 10^6 \text{ m}^2 \cdot 1064 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} \cdot 0,2 = 0,50 \cdot 10^{12} \text{ kWh}$$

Energieertrag pro Tag und Person:

$$E = \frac{0,50 \cdot 10^{12} \text{ kWh}}{80 \cdot 10^6 \cdot 365} = 17 \text{ kWh}$$

Freiflächen: $E = 26 \text{ kWh}$



7. Stunde: Ertrag durch Photovoltaik - Beurteilung



Kriterium	Beurteilung			Photo-voltaik	Wind onshore
	hoch/zentral	mittel	gering		
Potenzial Welchen Beitrag kann die Energie liefern?	wesentlicher Beitrag > 15 kWh pro Tag und Person	mittlerer Beitrag 5 – 15 kWh pro Tag und Person	geringer Beitrag < 5 kWh pro Tag und Person		
Elektrische Energie Kann elektrische Energie bereitgestellt werden?	ja	grundsätzlich ja, aber hoher Aufwand oder niedriger Wirkungsgrad	nein		
Wärme Kann Wärme zum Heizen bereitgestellt werden?	ja	ja, durch Nutzung elektrischer Energie	nein		
Verkehr (Schiff/Flugzeug) Kann hochwertiger Treibstoff bereitgestellt werden?	ja, flüssige Kraftstoffe	ja, über elektrische Energie	nein		
Wirkungsgrad	> 50 %	10 % bis 50 %	< 10 %		
Verfügbarkeit Ist die Energie immer verfügbar oder nur manchmal?	immer, unabhängig vom Wetter oder der Tageszeit	abhängig von äußeren Faktoren, aber planbar	nicht planbar		
Speicherfähigkeit Kann die Energie gespeichert werden?	ja	mit Aufwand	nein		
Kosten Was kostet die Energie, verglichen mit heutigen Preisen?	Kosten vergleichbar mit heutigen Erwartungen: Wärme: <6 Ct/kWh Elektrizität: <12 Ct/kWh	Kosten etwas höher, aber tragbar: Wärme: 6-12 Ct/kWh Elektrizität: 12-25 Ct/kWh	Kosten deutlich höher und kaum tragbar: Wärme: >12 Ct/kWh Elektrizität: >25Ct/kWh		

8./9. Stunde: Energie aus Wasser

- Bestätigung von $E = mgh$ mit einem Wassergenerator
- Abschätzung des Energieertrags durch die Betrachtung der Regenmenge in Deutschland und das Höhenprofil



Erfahrungen, offene Fragen, Ausblick

- Interesse bei den Lernenden beobachtbar, zahlreiche Gesprächsanlässe über das Fach hinaus
- Rechnen ist schwierig, wird aber mit jeder Energieform besser
 - Ideen zur Entlastung
- stärkere experimentelle Ausrichtung wäre wünschenswert (Windenergie), aber: Zeitproblem

Ansprechpartner auch heute anwesend!

- Möglichkeit der Anbindung von Exkursionen (z. B. Klimakommune Saerbeck)
- fächerübergreifender Unterricht bietet sich an (Erdkunde, Politik)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

.... und an:

Dorothea von Boehn-Neitzel

Thomas Kellermann

Corinna Helms

Paul Nagel

Lukas Köhl

Theresa Menke Zumbrägel

Chris Bachmann

Franziska Rocholz