



Energy-Contest: Motor- vs. E-Roller



Ziele der Unterrichtseinheit

- Die Schüler/innen recherchieren den Treibstoffverbrauch von gängigen Motorrollern und visualisieren den Jahresverbrauch.
- Die Schüler/innen vertiefen die Kompetenz, den Energiegehalt von fossilen Energieträgern mit jenem von Akkus zu vergleichen – anhand anschaulicher „Schokoladeeinheiten“.
- Die Schüler/innen gewinnen Verständnis für den tatsächlichen Energieverbrauch verschiedener Antriebssysteme und erarbeiten den Begriff „Wirkungsgrad“.
- Die Schüler/innen hinterfragen die in der Kfz-Werbung üblichen verharmlosenden Angaben zu den CO₂-Emissionen.
- Die Schüler/innen erarbeiten und diskutieren den – auf den ersten Blick paradoxen – Massezuwachs bei der Verbrennung von Benzin zu CO₂.

Fächer und Altersstufe

- Physik, Chemie, Biologie, Geografie
- Ab der 9. Schulstufe

Dauer der Einheit

2 Unterrichtsstunden

Benötigte Materialien

Internetzugang zum Recherchieren (Computer oder Smartphones)

Möglicher Unterrichtsverlauf

- 1 Unterstützen Sie die Schüler/innen bei einer Klassenumfrage zu den beliebtesten Motorroller-Modellen sowie der Recherche von deren Treibstoffverbrauch.
- 2 Erläutern Sie die Abschätzung des Jahres-Treibstoffverbrauchs für den jeweils eigenen Schulweg und diskutieren Sie die Ergebnisse dieser Schätzungen in der Klasse.
- 3 Leiten Sie die Umrechnung der im Benzin verfügbaren Energiemenge in „Schokoladeeinheiten“ an. Eine vergleichende Betrachtung des menschlichen Energiebedarfs bei sportlicher Betätigung bietet sich an dieser Stelle an. Sicherlich gibt es ernährungsbewusste Schüler/innen in der Klasse, die mit Kalorientabellen vertraut sind und ihre eigenen Erfahrungen einbringen können.
- 4 Erläutern Sie die technischen Daten eines Akkus und leiten Sie die Umrechnung der gespeicherten Energiemenge von kWh in MJ und damit wieder in „Schokoladeeinheiten“ an.
- 5 Erarbeiten Sie gemeinsam mit den Schüler/innen den enormen Unterschied im Energieverbrauch pro 100 Kilometer zwischen Benzin- und Elektro-Roller.
- 6 Regen Sie eine Diskussion über mögliche Erklärungen für diesen Unterschied an und leiten Sie die Diskussion in Richtung „Wirkungsgrad“, möglichst ohne diesen Begriff vorwegzunehmen.
- 7 Weisen Sie die Schüler/innen darauf hin, dass der Wirkungsgrad eines Benzinmotors von ca. 30 % den vorhin errechneten Unterschied noch nicht zur Gänze erklären kann, und regen Sie in der Klasse eine Diskussion für mögliche Ursachen an.
- 8 Thematisieren Sie die verharmlosenden CO₂-Angaben in der Autowerbung.
- 9 Unterstützen Sie die Schüler/innen im Berechnen der CO₂-Emissionen eines Mopedmotors und leiten Sie eine Diskussion von möglichen Erklärungsansätzen zur zugrunde liegenden chemischen Reaktion.
- 10 Zeit für Feedback

Hintergrundinformationen

Treibstoffverbrauch und gespeicherte Energiemenge

Tanken ist ein „unsichtbarer“ Vorgang. Volumen, Gewicht und Beschaffenheit des eingefüllten Treibstoffes sind dabei weder sichtbar noch spürbar (abgesehen von Zapfsäulen für 2-Takt-Gemisch mit Handpumpe und Glasbehälter, die aber in Österreich kaum mehr verbreitet sind). Im Rahmen dieser Unterrichtseinheit wird daher zunächst der hochgerechnete Jahresverbrauch eines Motorrollers in einer anschaulichen und bei der Zielgruppe durchaus geläufigen Volumeneinheit – der 0,33-l-Getränkedose – veranschaulicht.

Um die von einem Roller mit Verbrennungsmotor tatsächlich benötigte Energiemenge zu veranschaulichen, wird sie in „Schokoladeeinheiten“ umgerechnet.

Ein sehr beliebter Motorroller mit einem 4-Taktmotor (50 cm³) verbraucht ca. 3,9l Benzin auf 100 km. Benzin hat einen Energiegehalt von ca. 32 Megajoule (MJ) pro Liter. Daraus resultiert eine verbrauchte Energiemenge von ca. 125 MJ pro 100 km.

Eine Tafel Schokolade (100 g) hat einen Brennwert von ca. 2200 kJ = 2,2 MJ. Somit verbrennt der Motorroller auf 100 Kilometern eine Energiemenge von mehr als **55 Schokoladetafeln!**

Um diese Zahl nun mit der von einem E-Roller auf derselben Strecke verbrauchten Energiemenge zu vergleichen, benötigt man die technischen Daten des verwendeten Akkus. Ein moderner E-Roller mit Li-Ionen-Akku (48V, 60Ah) hat bei voller Ladung eine Reichweite von knapp 100 km. Der Energiegehalt wird in Wattstunden (Wh) oder Kilowattstunden (kWh) angegeben. Dazu benötigt man den Zusammenhang zwischen Leistung, Spannung und Stromstärke mit den Einheiten Watt (W), Volt (V) und Ampere (A):

$$1 \text{ W} = 1 \text{ VA}$$

Für den Energiegehalt des Akkus im E-Roller gilt:
48V · 60Ah = 2880 Wh = 2,88 kWh

Zur Umrechnung in Joule benötigt man die Beziehungen:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}, 1 \text{ h} = 60 \cdot 60 \text{ s} = 3600 \text{ s}$$

$$2880 \text{ Wh} = 2880 \cdot 60 \cdot 60 \text{ Ws} = 10368000 \text{ J} \approx$$

$$10400 \text{ kJ} = 10,4 \text{ MJ}$$

Der E-Roller verbraucht damit nur den Gegenwert von **5 Schokoladetafeln!**

Dieser enorme Unterschied im Energieverbrauch kommt natürlich nur bei der Wahl spezieller Modelle zustande. Einer der sparsamsten Motorroller am Markt verbraucht ca. 2,2l auf 100 km, das sind nur 56% des populären Modells. Damit kommt man zu einem Schokoladetafel-Verhältnis von:

Motorroller (sparsam): 55 · 0,56 ≈
31 Schokoladetafeln

E-Roller: 5 Schokoladetafeln

Anders ausgedrückt: Mit derselben Energiemenge kann ein Motorroller nur ca. 16% der Strecke zurücklegen, die ein E-Roller schafft.

Wir betrachten hier ausschließlich die im Fahrzeug gespeicherte Energiemenge. Klarerweise entstehen beim Ladevorgang eines Akkus Umwandlungsverluste. Wenn man die Systemgrenzen erweitert, muss man diese Verluste miteinbeziehen. In einem weiteren Schritt könnte man auch noch den Energieaufwand für die Bereitstellung eines Energieträgers (Förderung, Transport, Erzeugung ...) mitberücksichtigen.

Wirkungsgrad

Wie lässt sich dieser enorme Unterschied der für dieselbe Strecke verbrauchten Energie erklären? Beim Elektromotor wird nahezu 100% der im Akku gespeicherten Energie in Bewegungsenergie umgewandelt. Ein Benzinmotor hat hingegen einen Wirkungsgrad von lediglich ca. 30%, die restliche Energie wird in Abwärme, Lärm und andere Vibrationen umgewandelt. Damit lässt sich aber der oben errechnete enorme Unterschied noch nicht vollständig erklären.

Zusätzliche Effekte sind:

- Beim Ampelstopp und im Stau verbraucht der Benzinmotor im Leerlauf immer Treibstoff, während der Elektromotor im Stillstand ausgeschaltet wird und nichts verbraucht. Auch beim Bergabfahren und Bremsen verbraucht ein Benzinmotor Sprit (außer er ist mit einer sogenannten „Schubabschaltung“ ausgestattet, die aber im Mopedbereich nicht üblich ist). Ein E-Roller kann hingegen – bei entsprechender technischer Ausstattung – beim Bremsen sogar einen Teil der elektrischen Energie wieder rückgewinnen. Die tatsächlichen energietechnischen Auswirkungen dieser Effekte sind allerdings relativ gering.

- Viel stärker wirkt sich hingegen die Abhängigkeit des Wirkungsgrads von der Drehzahl aus: Der Elektromotor wird in jeder Situation mit nahezu 100% betrieben. Der Benzinmotor hingegen erreicht den optimalen Wirkungsgrad von ca. 30% nur in einem ganz bestimmten Drehzahlbereich. Während größere Kfz (und vor allem Schiffe) überwiegend in einem akzeptablen Drehzahlbereich betrieben werden können, läuft der Mopedmotor die meiste Zeit in einem sehr ungünstigen Drehzahlbereich und erreicht daher in der Praxis nur einen Bruchteil des theoretisch möglichen Wirkungsgrads. Damit kann nur ein knapp zweistelliger Prozentanteil der fossilen Energie tatsächlich in Bewegungsenergie umgewandelt werden.

In der Unterrichtseinheit I1, **Schokolade oder Handyakku?** wird berechnet, dass auch der beste Akku eine viel geringere Energiedichte als Benzin aufweist. Daher kann im Akku eine weitaus geringere Energiemenge mitgeführt werden als im Benzintank. Durch den soeben berechneten Unterschied im effektiven Wirkungsgrad wird dieser Nachteil zumindest teilweise kompensiert. Dennoch erreichen E-Roller aufgrund der begrenzten Ladelast bei Weitem noch nicht dieselben Gesamtreichweiten wie Motorroller. Deren Aktionsradius kann darüber hinaus durch das Mitführen eines einfachen Reservekanisters noch drastisch erweitert werden, während ein Reserveakku wegen des großen Gewichts und aus finanziellen Gründen normalerweise keine Option darstellt.

Damit Elektromobilität auch für längere Strecken konkurrenzfähig wird, sind noch große Fortschritte in der Akkutechnologie inklusive drastischer Verkürzung der Ladezeiten bzw. der Aufbau einer lückenlosen Infrastruktur für universal einsetzbare Tauschakkus nötig. Für typische Alltagsanforderungen stellen aber Elektrofahrzeuge – nicht zuletzt aufgrund der oben diskutierten Energieeffizienz – durchaus eine konkurrenzfähige Alternative dar. Ein Detailspekt betrifft die hier betrachteten E-Roller nicht, kommt aber bei Elektroautos zum Tragen: Im Winter muss ein Teil der gespeicherten elektrischen Energie für die Heizung des Innenraums verwendet werden und reduziert dadurch – neben der temperaturbedingten Verringerung der Akkukapazität – die Reichweite spürbar.

CO₂-Ausstoß

Seit einigen Jahren müssen bei der Bewerbung von Kfz neben dem Treibstoffverbrauch auch die CO₂-Emissionen angegeben werden. Die Werte eines typischen Kompakt-PKW lauten:

Verbrauch (kombiniert):

4,9 l / 100 km, CO₂-Emissionen: 113 g / km

Üblicherweise geben Hersteller den CO₂-Ausstoß taktisch durchaus klug nur pro Kilometer an und erreichen so harmlos wirkende Werte im Grammbe- reich. Auf 100 Kilometer gerechnet verbrennen die 4,9 l Benzin aber zu beachtlichen 11,3 kg CO₂. Und im Lauf eines Jahres bläst der durchschnittliche private PKW in Österreich ca. 1,5 t des wichtigsten Treibhausgases in die Atmosphäre – also mehr als sein Eigengewicht!

4,9 l Benzin verbrennen zu 11,3 kg CO₂ – wie kann das funktionieren? Benzin hat ja sogar eine deutlich geringere Dichte als Wasser: 1 l Benzin besitzt eine Masse von nur 0,75 kg. Wie können daraus ganze 2,3 kg CO₂ entstehen?

Zur Beantwortung dieser scheinbar paradoxen Masse-Vermehrung muss man sich den Verbrennungsprozess genauer ansehen. Dabei genügt eine stark vereinfachte Betrachtung der dabei ablaufenden chemischen Reaktionen. Einer der Hauptbestandteile von Motorbenzin ist der Kohlenwasserstoff Isooktan. Bei der Verbrennung verbinden sich zwei seiner Moleküle mit 25 (!) Sauerstoffmolekülen:



Einige der Sauerstoffmoleküle verflüchtigen sich zwar wieder in Form von Wasserdampf, der Großteil wird aber im CO₂ gebunden und erklärt so den deutlichen Massezuwachs.

Weiterführende Links und Ideen

Aufbauend kann in der Unterrichtseinheit Z4, **Zahlt sich für mich ein E-Moped aus?** eine realistische Kosten-Nutzen-Analyse für einen Motor- bzw. E-Roller erarbeitet werden.

Infos zu modernen E-Rollern

<https://unumotors.com/>

<http://www.elmoto.com/>



Energy-Contest: Motor- vs. E-Roller



Fährst du mit dem Motorroller zur Schule? Wie viel Benzin verbrauchst du im Jahr? Mit wie vielen Tafeln Schokolade müsstest du deinen Roller „füttern“, um dieselbe Energiemenge zu bekommen? Wie viel Schokolade würde im Vergleich ein E-Roller schlucken?

CHECKLIST

- Findet in einer Klassenumfrage die drei beliebtesten Motorroller-Modelle.
Recherchiert jeweils Spritverbrauch und Reichweite!
- Berechne für deinen eigenen Schulweg den Benzinverbrauch pro Jahr (185 Schultage).
Wenn du diese Benzinmenge für 1 Jahr im Zimmer lagern müsstest – wie viele Getränkedosen (0,33l) wären das?
- Wie viel Energie wird pro 100 Kilometer verbrannt?
Um sich die dabei verbrannte Energiemenge besser vorstellen zu können, drück sie in Schokoladetafeln aus! Infos dazu findest du unter ► **Tipps**.
- Wie „hungrig“ ist im Vergleich dazu ein E-Roller?
Berechne die Energiemenge, die ein E-Roller für 100 Kilometer verbraucht, in Schokoladetafeln. Daten findest du unter ► **Tipps**. Vergleiche diese Menge mit dem „Energiehunger“ eines Benzin-Rollers!
- Was kann der Grund für diesen enormen Energieunterschied sein?
Wofür wird die im Benzin gespeicherte Energie beim Motorroller neben der reinen Bewegung verbraucht?
- 100% Wirkungsgrad?
Beim E-Motor wird die gesamte Energie in Bewegung umgewandelt, beim Benzinmotor nur knapp 30%. Der oben errechnete Unterschied der verbrauchten Energiemenge ist aber sogar noch extremer. Woran kann das liegen?
- CO₂-Ausstoß?
1l Benzin wiegt ca. 0,75kg, verbrennt aber am Ende zu ca. 2,3kg CO₂. Das klingt paradox. Wie kann man diesen Gewichtszuwachs erklären? Wie viel kg CO₂ würde „dein“ Motorroller im Jahr produzieren?

WEITERFÜHRENDE IDEEN

Diese Unterrichtseinheit kann mit Z4, Zahlt sich für mich ein E-Moped aus? kombiniert werden.



TIPPS

- + **Energiegehalt von Benzin und Schokolade**
 - Die Einheit der Energie ist Joule (J).
 - 1 l Benzin enthält ca. 32.000.000 J = 32 MJ.
 - 1 Tafel Schokolade (100g): ca. 2,2 MJ

- + **Energiegehalt Akku- / E-Roller**

- Ein E-Roller mit Li-Ionen-Akku (48V, 60Ah) hat bei voller Ladung eine Reichweite von ca. 100 km.
- Der Energiegehalt wird in Kilowattstunden (kWh) angegeben. Die Umrechnung von kWh in MJ basiert auf:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ Ws}$$

Zusammenhang zwischen Watt (W), Volt (V) und Ampere (A):

$$1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot \text{A} = 1 \text{ VA}$$

Und natürlich:

$$1 \text{ h} = 60 \cdot 60 \text{ s} = 3600 \text{ s!}$$

- Achtung: „Mega“ und „Kilo“ nicht verwechseln!

- + **CO₂-Ausstoß**

Benzin ist eine Mischung aus unterschiedlichsten Bestandteilen. Um den CO₂-Ausstoß grob abzuschätzen, ist es hilfreich, wenn du die chemische Reaktion bei der Verbrennung von Isooktan (C₈H₁₈) genauer analysierst.