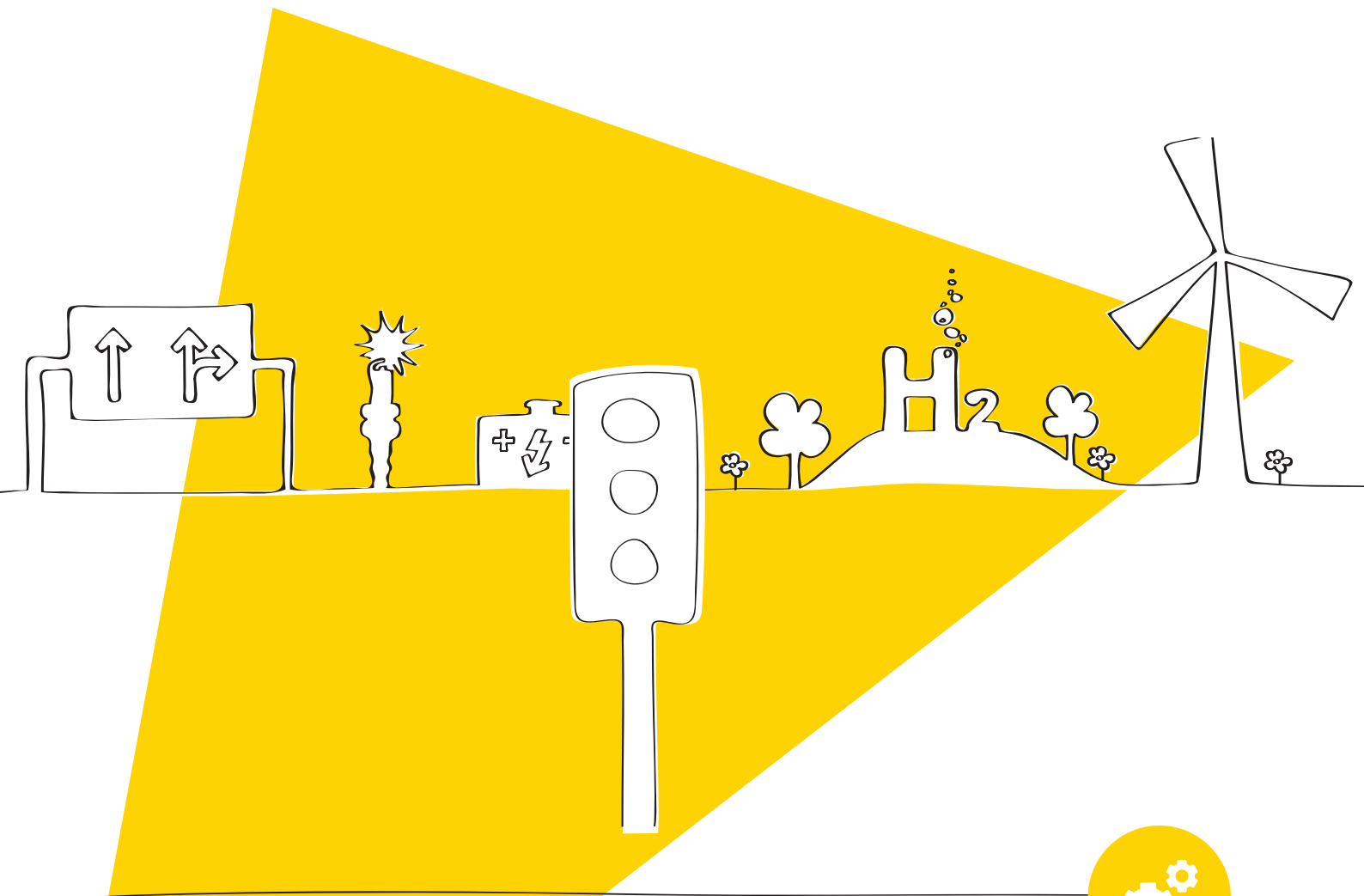




Mobilität der Zukunft

ANTRIEBSTECHNIK

Verbrennungsmotor, Elektroantrieb, Brennstoffzelle
Sekundarstufe I – mit Differenzierungsangeboten

Bildquellennachweis

16–18, 20, 38, 43 Mitte Nr. 4, 44 Mitte Nr. 3, 49, 52–54, 58 oben, 76 Mitte, 79f., 86–88, 94, 97–101 Mercedes-Benz Group AG; 15, 43 Mitte Nr. 1, Nr. 2, Nr. 3, Nr. 5, 44 Mitte, Nr. 1, Nr. 2, Nr. 4, Nr. 5, 55, 58 unten thinkstock-photos; 26, 28, 76 unten, 81f. Dr. Stefan Kruse; 61, 69 Markus Röscheisen, Dieter Schaich; 62, 65 Harald Hölz; 19 Wikipedia; 33 Dr. Tillmann Berger; 51 Picture Alliance

1. Auflage

1 5 4 3 2 1 | 2018 17 16 15 14 13

Alle Drucke dieser Auflage sind unverändert. Die letzte Zahl bezeichnet das Jahr des Druckes.

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Nutzung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Einwilligung des Verlages. Hinweis § 52 a UrhG: Weder das Werk noch seine Teile dürfen ohne eine solche Einwilligung eingescannt und in ein Netzwerk eingestellt werden. Dies gilt auch für Intranets von Schulen und sonstigen Bildungseinrichtungen. Fotomechanische oder andere Wiedergabeverfahren nur mit Genehmigung des Verlages.

Auf verschiedenen Seiten dieses Heftes befinden sich Verweise (Links) auf Internetadressen. Haftungsnotiz: Trotz sorgfältiger inhaltlicher Kontrolle wird die Haftung für die Inhalte der externen Seiten ausgeschlossen. Für den Inhalt dieser externen Seiten sind ausschließlich die Betreiber verantwortlich. Sollten Sie daher auf kostenpflichtige, illegale oder anstößige Seiten treffen, so bedauern wir dies ausdrücklich und bitten Sie, uns umgehend per E-Mail (p.woehner@klett.de) davon in Kenntnis zu setzen, damit beim Nachdruck der Nachweis gelöscht wird.

Eine Zusammenarbeit der Genius-Initiative der Mercedes-Benz Group AG und der Klett MINT GmbH

© Mercedes-Benz Group AG, Stuttgart und Klett MINT GmbH, Stuttgart

Autoren: Dr. Tillmann Berger, Sindelfingen; Helmut Graf, Wörth; Harald Hölz, Schorndorf; Dr. Stefan Kruse, Weingarten, Hanne Lier, Stuttgart; Josef Maier, Stuttgart; Markus Röscheisen, Esslingen; Volker Rust, Karlsruhe; Dieter Schaich, Kirchheim unter Teck

Redaktion: Hanne Lier, Medienwerk Lier, Stuttgart

Projektkoordination und Herstellung: Petra Wöhner, Lisa Röthinger

Umschlag und CI: Schwarz Gruppe Grafikdesign, Stuttgart

Gestaltung Inhalt: Gabriele Kieseewetter, Jung Medienpartner, Limburg

Illustrationen: Alexander Schmitt, as-illustration, Rimpf

Bildbearbeitung: Till Traub, Bilderwerkstatt, Leonberg

Reproduktion und Druck: Medienhaus Plump, Rheinbreitbach

Stefan Kruse

Tillmann Berger
Helmut Graf
Harald Hölz
Hanne Lier
Josef Maier
Markus Röscheisen
Volker Rust
Dieter Schaich

ANTRIEBSTECHNIK

Verbrennungsmotor, Elektroantrieb, Brennstoffzelle
Lehrermaterial und Kopiervorlagen
Sekundarstufe I – mit Differenzierungsangeboten



Mercedes-Benz Group AG | Klett MINT GmbH
Stuttgart

Vorwort

Liebe Lehrerinnen und Lehrer,

wie sieht die Mobilität der Zukunft aus? Genius, die junge WissensCommunity von Mercedes-Benz, gibt Ihnen und Ihren Schülerinnen und Schülern Einblicke in Zukunftstechnologien und die Mobilität von morgen. Gemeinsam können Sie naturwissenschaftliche und technische Themen, Mobilitätskonzepte und Berufsbilder in der Automobilindustrie entdecken.

Unter dem Motto „Mehr Neugier - mehr Zukunft“ möchte Genius Kinder und Jugendliche für technische Themen begeistern. Denn die Begeisterung für Naturwissenschaft und Technik ist nicht nur der Schlüssel zur erfolgreichen Gestaltung unserer Umwelt und Wirtschaft, sie eröffnet der nächsten Generation auch hervorragende berufliche Perspektiven.

Sie als Lehrkraft erhalten durch Genius direkten Zugang zu aktuellen Fragestellungen der Fahrzeugtechnik, didaktisch aufbereiteten Unterrichtsmaterialien sowie passenden Fortbildungen.

Mit diesem Band liegen Ihnen Unterrichtsmaterialien zum Thema Antriebstechnik für alle Schulformen vor. Der modulare Aufbau und die Differenzierungsangebote ermöglichen es, Inhalte und Aufgaben auf unterschiedlichste Schülergruppen abzustimmen. Ein hoher Praxisanteil verspricht einen methodisch abwechslungsreichen und spannenden Unterricht.

Neben Verbrennungsmotoren und Kraftstoffen liegt der Schwerpunkt auf der „Mobilität der Zukunft“. Auf dem Weg zu umweltfreundlichem Fahren werden neue Antriebs- und Energiekonzepte untersucht, die Verbrauch und Emissionen heutiger Fahrzeuge deutlich reduzieren bzw. langfristig vermeiden und so nachhaltige Mobilität sicherstellen sollen.

Dieser Band wurde im fachlichen Austausch von Ingenieurinnen und Ingenieuren mit Lehrkräften in Zusammenarbeit mit Klett MINT alters- und lehrplangerecht erarbeitet.

Klett MINT ist Teil des größten deutschen Bildungsunternehmens und hat sich die Förderung der MINT-Bildung, also der Disziplinen Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik in Schule, Studium und Beruf, auf die Fahnen geschrieben. Die Genius-Unterrichtsmaterialien sind ein weiteres Ergebnis der nachhaltigen Zusammenarbeit zwischen Mercedes-Benz und Klett. Wir hoffen, dass sie Ihnen viele neue Ideen und Impulse bieten und wünschen Ihnen damit viel Freude im Unterricht.

Team Genius | Team Klett MINT

Inhaltsverzeichnis

Hinweise zur Differenzierung	8 - 9
-------------------------------------	-------

Modul A: Die Geschichte der Mobilität

	Lehrerinformationen	11 - 12
1	Mobilität früher	13 - 14
2	Pioniere der Automobilindustrie	15 - 16
3	Die Elektrifizierung des Autos	17 - 18
4	Zum Trainieren und Merken	19 - 20

Modul B: Die Funktion von Verbrennungsmotoren

	Lehrerinformationen	21 - 22
1	Die Ausdehnung von Gasen I	23 - 24
2	Aufbau eines Verbrennungsmotors	25 - 26
3	Arbeitsweise eines Verbrennungsmotors	27 - 28
4	Viertaktmotoren	29 - 30
5	Die Ausdehnung von Gasen II	31 - 32
6	Vergleich verschiedener Verbrennungsmotoren	33 - 34
7	Moderne Technologien in Verbrennungsmotoren	35 - 36
8	Zum Trainieren und Merken	37 - 38

Modul C: Energie und Kraftstoffe

	Lehrerinformationen	39 - 40
1	Wo kommt die Energie zum Fahren her?	41 - 42
2	Klassische Kraftstoffe	43 - 44
3	Alternative Kraftstoffe und Antriebe	45 - 46
4	Gasmotoren	47 - 48
5	CO ₂ -Bilanz	49 - 50
6	Schadstoffe und Filtersysteme	51 - 54
7	Zum Trainieren und Merken	55 - 56

Modul D: Elektromagnetismus und elektrische Motoren

	Lehrerinformationen	57 - 58
1	Elektromagnetismus	59 - 60
2	Funktion von Elektromotoren	61 - 64
3	Aufbau und Funktion eines Drehfeld-Elektromotors	65 - 68
4	Zum Trainieren und Merken	69 - 70

Modul E: Elektrische Energiewandlung und -speicherung

	Lehrerinformationen	71 - 72
1	Warum brauchen Autos elektrischen Strom?	73 - 74
2	Versuche zur Energiewandlung	75 - 76
3	Elektrische Energiespeicher	77 - 78
4	Solarzellen	79
5	Brennstoffzellen	80
6	Versuche zu Solarzellen	81 - 82
7	Brennstoffzellen als Energiewandler	83 - 86
8	Zum Trainieren und Merken	87 - 88

Modul F: Mobilität der Zukunft

	Lehrerinformationen	89 - 90
1	Alternativen – warum und welche?	91 - 94
2	Warum haben noch nicht alle Autos einen Elektroantrieb?	95 - 96
3	Brennstoffzellenfahrzeuge	97 - 98
4	Mobilitätsszenarien und Gesamtenergiebilanz	99 - 100
5	Intelligentes Energiemanagement mit Smart Grids	101 - 102
6	Zum Trainieren und Merken	103 - 104

Lösungen

Modul A: Die Geschichte der Mobilität 107 - 110

Modul B: Die Funktion von Verbrennungsmotoren 111 - 118

Modul C: Energie und Kraftstoffe 118 - 126

Modul D: Elektromagnetismus und elektrische Motoren 126 - 131

Modul E: Elektrische Energiewandlung und -speicherung 132 - 139

Modul F: Mobilität der Zukunft 139 - 146

Hinweise zur Differenzierung

Modul	Arbeitsblatt	
A Die Geschichte der Mobilität	1	Mobilität früher
	2	Pioniere der Automobilindustrie
	3	Die Elektrifizierung des Autos
	4	Zum Trainieren und Merken
B Die Funktion von Verbrennungsmotoren	1	Ausdehnung von Gasen I
	2	Aufbau eines Verbrennungsmotors
	3	Arbeitsweise eines Verbrennungsmotors
	4	Viertaktmotoren
	5	Ausdehnung von Gasen II
	6	Vergleich verschiedener Verbrennungsmotoren
	7	Moderne Technologien in Verbrennungsmotoren
	8	Zum Trainieren und Merken
C Energie und Kraftstoffe	1	Wo kommt die Energie zum Fahren her?
	2	Klassische Kraftstoffe
	3	Alternative Antriebe
	4	Gasmotoren
	5	CO ₂ -Bilanz
	6	Schadstoffe und Filtersysteme
	7	Zum Trainieren und Merken
D Elektromagnetismus und elektrische Motoren	1	Elektromagnetismus
	2	Funktion von Elektromotoren
	3	Aufbau und Funktion eines Drehfeld-Elektromotors
	4	Zum Trainieren und Merken
E Elektrische Energiewandlung und -speicherung	1	Warum brauchen Autos elektrischen Strom?
	2	Versuche mit Energiewandlung
	3	Elektrische Energiespeicher
	4	Solarzellen
	5	Brennstoffzellen
	6	Versuche zu Solarzellen
	7	Brennstoffzellen als Energiewandler
	8	Zum Trainieren und Merken
F Mobilität der Zukunft	1	Alternativen – warum und welche?
	2	Warum haben noch nicht alle Autos einen Elektroantrieb?
	3	Brennstoffzellenautos
	4	Mobilitätsszenarien und Gesamtenergiebilanz
	5	Intelligentes Energiemanagement mit Smart Grids
	6	Zum Trainieren und Merken

Aufgabenart

Theoretische und fachwissenschaftliche Inhalte



Fachpraktische Inhalte und Versuche



Weiterführende Rechercheaufgaben



Aufgaben zur Wiederholung und Festigung



Aufgaben							
1	2	3	4	5	6	7	8
 *	 **	 *					
 **	 **	 **	 **				
 **	 **	 ***	 **				
							
 *	 **						
 **	 **	 **					
 *	 **	 **	 ****	 ****			
 **	 **	 **	 ****	 ****			
 **	 ***	 ***	 ****				
 **	 **	 *					
 ****	 **	 **	 **				
							
 **	 **	 **	 **	 ****			
 **	 *	 **	 **	 **	 *		
 **	 **	 *					
 ****	 ****	 ****					
 **	 **	 *					
 **	 **	 ****	 **	 **	 *	 **	 **
							
 *	 **	 **	 **	 **	 ****		
 **	 ****	 **	 ****	 **	 **	 ****	
A  **	B  ****						
							
 *	 **	 *	 **	 **	 **	 ****	
 **	 **	 ****					
 **	 **	 **	 ****	 ****	 ****		
 **	 **						
 **	 **						
 **	 ****	 ****					
 **	 **	 **	 **	 **			
							
 **	 **	 ****	 **	 **	 **		
 **	 **	 ****	 **	 **			
 **	 **	 ****	 ****				
 **	 **						
 *	 **	 ****	 **				
							

Niveaustufe

niedrigeres Anforderungsniveau *

Grundniveau

erhöhtes Anforderungsniveau

**

Lehrerinformationen

Verkehr vor der Erfindung des Automobils

Schiff, Eisenbahn, Fahrrad, Pferdefuhrwerk und Kutsche sind die Fahrzeuge in der Zeit vor dem Automobil. Das Automobil verändert das Verhältnis der Menschen zu Raum und Zeit nachhaltig. Auf dem Wasser stellt der Raddampfer eine Verkehrsrevolution dar, weil er aus eigener Kraft die Flüsse in beide Richtungen befahren kann. Auf dem Festland ermöglicht die Eisenbahn erstmals für alle Klassen der Bevölkerung Reisen über große Distanzen. Sie verbindet Dörfer mit Metropolen und Regionen untereinander. Das Fahrrad trägt dazu bei, dass in den 1870er Jahren der Individualverkehr zunimmt. Mit dem Fahrrad kann auch der einfache Mann seinen Lebensraum dauerhaft ausweiten. Pferd und Wagen schließlich haben einen doppelten Nutzen: Als Pferdefuhrwerk und Postkutsche helfen sie beim Warentransport und bei der Personenbeförderung. Als prunkvolle Kutsche und repräsentatives Reittier sind sie Statussymbole der Oberschicht, bevor das Automobil sie ablöst.

Der Postverkehr hatte immer eine besondere Bedeutung. Vor mehr als 500 Jahren übertrug der deutsche Kaiser Maximilian I. dem Fürsten Johannes von Taxis die Aufgabe, den Postverkehr zu übernehmen. Der richtete ein Netz von Postkutschen ein, die sowohl Briefe und Pakete als auch Personen über weite Strecken beförderten. Seine Kutschen lackierte er in den Farben des kaiserlichen Wappens: Gelb und Schwarz. Gelb und schwarz lackierte Mercedes-Benz-Omnibusse gehörten zur österreichischen Kraftpost, die wie einst der Fürst von Taxis Briefe, Pakete und Personen beförderte. So fuhren vor gut 60 Jahren viele Wiener in schwarz-gelben Postomnibussen ins Burgenland und wieder zurück. Später hat man sie zu fahrenden Postämtern umgebaut. Bis Ende der 1970er Jahre konnten Kunden darin telefonieren, Briefe und Pakete aufgeben und sogar Telegramme verschicken.

Die Erfindung des Automobils

Im Industriezeitalter, das um 1830 beginnt, werden Maschinen erfunden, die mühelos weite Strecken überwinden: Eisenbahnen durchqueren Berge und Täler, Dampfschiffe fahren flussaufwärts. Aber noch fehlt das entscheidende Glied in der Kette der Mobilität. Karl Benz und Gottlieb Daimler forschen aufgrund der Ergebnisse von Jean Joseph Étienne Lenoir und Nikolaus Otto unabhängig voneinander an einem kleinen, schnelllaufenden Explosionsmotor, der ein Fahrzeug antreiben könnte. Nach vielen Rückschlägen ist es 1886 so

weit: Am 29. Januar meldet Benz seinen in Mannheim konstruierten Motorwagen zum Patent an. Und nur 100 Kilometer entfernt, in Cannstatt, vollendet Daimler seine Motorkutsche. Anders als Karl Benz, der vor allem Automobile bauen will, träumt Gottlieb Daimler von der Motorisierung „zu Wasser, zu Lande und in der Luft“. Daimlers Hauptziel ist zunächst die Herstellung von geeigneten Motoren. Gemeinsam mit seinem Mitarbeiter Wilhelm Maybach entwickelt er in jahrelanger Arbeit einen Motor, der so leicht und so stark ist, dass er ein Fahrzeug antreiben kann. Dieser Motor geht als die sogenannte „Standuhr“ in die Geschichte ein. Daimler und Maybach bauen ihn 1885 zuerst in ein Laufrad ein, den „Reitwagen“, und konstruieren damit das erste Motorrad der Welt. 1886 motorisieren sie ein Boot, das ihnen für Versuchsfahrten auf dem Neckar dient. Im gleichen Jahr bauen sie eine stärkere Version der „Standuhr“ in eine Kutsche ein. Das Ergebnis ist die sogenannte Motorkutsche: das weltweit erste Automobil mit vier Rädern und einem Benzinmotor. Daimler und Benz schaffen, was sich die Menschheit seit Erfindung des Rades erträumt: einen Wagen, der sich von selbst fortbewegt – das Automobil. Fast parallel entwickelt Rudolf Diesel einen selbstzündenden Motor, der eine höhere Leistung erzielt und störungsunanfälliger arbeitet.

Ottos Viertaktmotoren bauten auf dem Viertaktprinzip auf, welches bis heute die Grundlage für Verbrennungsmotoren in Automobilen ist. 1864 gründete er mit Eugen Langen die erste Motorenfabrik der Welt und 1872 die „Gasmotoren-Fabrik Deutz AG“. Sein Viertaktgasmotor mit verdichteter Ladung wurde dort von Wilhelm Maybach weiterentwickelt und seit 1876 in Serie produziert.

Daimlers Einzylindermotor ist der weltweit erste kleine, schnelllaufende Verbrennungsmotor, der mit Benzin betrieben wird. Er ist leicht und trotzdem stark genug, um ein Fahrzeug antreiben zu können. Seinen Beinamen erhält der Motor, weil er einer Standuhr ähnelt. 1885 wurde er zum Patent angemeldet.

Der Patent-Motorwagen von Benz ist das erste Benzin-Automobil der Welt. Anders als Daimlers Motorkutsche ist der Motorwagen eine eigenständige Einheit aus Fahrgestell und Motor. Karl Benz konzipiert ihn als Dreirad, weil ihn die 1886 üblichen Lenkungssysteme für vierrädrige Fahrzeuge nicht zufriedenstellen.

Die Motorkutsche von Gottlieb Daimler ist das erste vierrädrige Automobil der Welt. Wie der Name verrät, handelt es

sich dabei um eine herkömmliche Kutsche, der Daimler und Maybach ihren Motor eingebaut haben.

Die „**ideale Wärmekraftmaschine**“ von **Rudolf Diesel** löst die großen Zündprobleme von herkömmlichem Benzin, indem verdichtetes Treibstoff-Luft-Gemisch unter Druck in den Brennraum eingebracht wird. Die dabei entstehenden hohen Drücke verhelfen dem Motor 1893 zu einer guten Leistungsausbeute.

Die Geschichte des Elektroantriebs

Bereits die ersten Unternehmen, die eine Alternative zum Verbrennungsantrieb als Kraftquelle für das Automobil entwickeln wollten, setzten auf Elektromotoren. Die Motorfahrzeug- und Motorenfabrik Berlin-Marienfelde stellte 1898 ihr erstes Elektrofahrzeug vor. Partner des Projekts war die US-amerikanische Columbia Electric Company in Connecticut, die bis 1918 Elektroautos baute. 1899 bot die Motorfahrzeug- und Motorenfabrik Berlin-Marienfelde auf der Basis des amerikanischen Patents vier verschiedene Personenwagen an. Mit der schnellen Weiterentwicklung des Verbrennungsmotors konnte das Elektromobil jedoch nicht mithalten. So wurde die Produktion in Berlin-Marienfelde bereits 1902 wieder eingestellt.

Der erste Mercedes mit elektrischem Antrieb entstand 1907 in Wien. Insbesondere für Feuerwehren und Busse wurden die Fahrzeuge vom Typ Mercedes-Electrique eingesetzt. Für solche Elektroautos entschied sich 1908 auch die Berliner Feuerwehr, als sie einen neuen Löschzug mit vier Mercedes-Electriques in Dienst stellt. Das erste Konzept für einen modernen Elektrotransporter entstand bei Mercedes-Benz 1972. 1988 brachte die Firma erste Transporter mit Elektroantrieb auf den Markt. 1993 entstand ein Prototyp auf Basis der C-Klasse mit einer Reichweite von 120 Kilometern. In den folgenden Jahren entstanden Versuchsfahrzeuge auf Basis des Transporters Vito 108 E und der A-Klasse. Bei der Beurteilung von Batteriefahrzeugen ist zu berücksichtigen, dass die „Emissionsfreiheit“ bezüglich CO₂ nur gilt, wenn die Stromerzeugung rein regenerativ stattfindet. Im aktuellen deutschen Strommix (2010) fallen CO₂-Emissionen von ca. 494 g/kWh an. Die äquivalenten CO₂-Emissionen pro Kilometer bewegen sich damit bei Berücksichtigung von Ladeverlusten der Batterie auf einem ähnlichen Niveau wie bei einem optimierten Dieselmotor.

Die Bedeutung der Erfindung des Automobils für die Entwicklung des Verkehrs

Die Erfindung des Automobils ist für Gottlieb Daimler und Karl Benz nur der Anfang. Anders als Karl Benz, der vor al-

lem Automobile bauen will, setzt Gottlieb Daimler seine Vision von der Motorisierung zu Wasser, zu Lande und in der Luft in die Tat um: Er motorisiert zum ersten Mal ein Boot und ein Luftschiff und er baut den ersten Motorlastwagen. Karl Benz hingegen konstruiert den ersten Motoromnibus, den ersten Lieferwagen sowie das erste Automobil, das in Großserie hergestellt wird. In wenigen Jahren erschaffen Daimler und Benz die Urtypen des motorisierten Verkehrs, deren Nachkommen bis heute weltweit den Alltag der Menschen begleiten. 1895 baut Benz & Cie. die ersten beiden Omnibusse der Welt. Mit ihnen beginnt der motorisierte öffentliche Personenverkehr. Sie verkehren auf der Strecke Siegen-Netphen-Deuz. Weil Regen oftmals die Straßen aufweicht, sind die Busse nur wenige Wochen im Jahr im Einsatz.

Der Kotflügel

Als die Straßen noch keine Asphaltdecke hatten, war Autofahren eine schmutzige Angelegenheit. Nicht nur der Matsch spritzte bei nasser Fahrbahn, auch Pferdeäpfel wurden von den Rädern aufgewirbelt. Um den Fahrer vor Schlamm und Pferdekot zu schützen, verwendeten die Automobilbauer Schutzschilde aus Holz, die sie über den Rädern montierten. Mit diesem Bauteil hatten die Karosseriebauer früher bereits ihre Kutschen ausgerüstet. Seiner Funktion verdankt es seinen Namen: „Kotflügel“.

Die Zündkerze

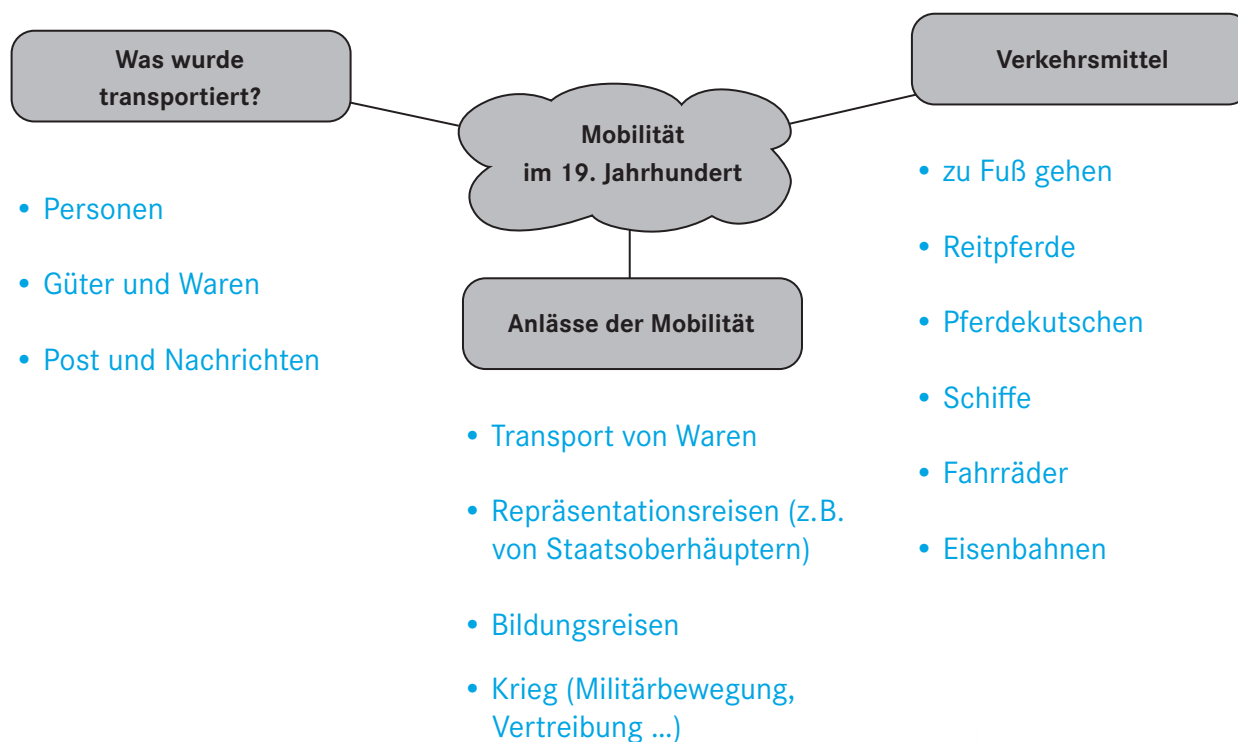
Alle frühen Motoren hatten ein gemeinsames Problem: Die Entzündung des Treibstoff-Luft-Gemisches. Dazu wurde ein elektrischer Funke in einem Magnetzündler erzeugt. Unregelmäßige und zu schwache Funken führten zu Aussetzern der Motoren und begrenzten die theoretische Drehzahl. Erst mit der Entwicklung der Hochspannungszündkerze durch die Werkstatt für Feinmechanik und Elektrotechnik von Robert Bosch in Stuttgart wurde dieses Problem gelöst.

Die Autokarte

Mit dem Siegeszug des Automobils wurde Hilfe bei der Orientierung in unbekannter Umgebung notwendig, denn das Automobil führte seinen Fahrer weiter aus der vertrauten Lebenswelt hinaus, als es Kutsche oder Fahrrad je vermochten. Anders als bei der Eisenbahn bestimmte der Autoreisende seine Route selbst. Er musste seinen Orientierungssinn schulen und sich auf das Lesen von Straßenkarten verstehen.

A1 Mobilität früher

1. Überlege dir, was früher alles transportiert wurde, aus welchen Anlässen etwas transportiert wurde und welche Verkehrsmittel es gab. Ergänze dazu die Mindmap.



2. Denk dir eine mögliche Antwort für die folgenden Fragen aus:



„Mit welchem Verkehrsmittel konnten die Menschen früher größere Entfernungen zurücklegen?“

- mit einem Pferd
- mit der Postkutsche
- mit der Eisenbahn



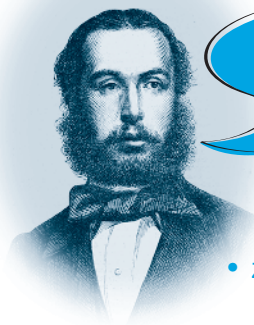
„Mit welchen Fahrzeugen ließen sich Güter transportieren?“

- mit einer Pferdekutsche
- mit einem Schiff
- mit der Eisenbahn



„Welche Bedeutung hatten die Postwege für die Menschen?“

- Austausch von Nachrichten und Personentransport



„Wie funktionierte der Verkehr in den großen Städten?“

- zu Fuß
- mit dem Fahrrad
- mit einer Pferdekutsche

3. Ergänze die Lücken im folgenden Text. Verwende dazu die blau gesetzten Worte.

Schiffen, Kutschen, Eisenbahn, Arbeit, Massenmobilität, Pferdewagen, Fahrrad, Individualverkehr, Pferdefuhrwerk, in Richtung Mannheim, ausweiten, Bahnhof, Personenbeförderung, Hochrades, große Distanzen, Pferde, Bahnstrecke, Gütertransport, Markt, Kettendampfschiffe, erste deutsche Zugverbindung, Postkutsche



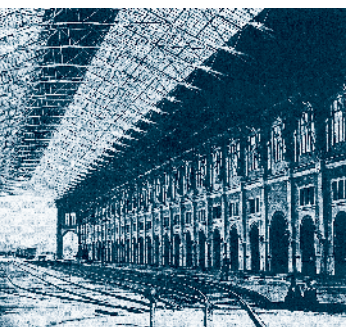
a) Um 1890 erscheinen auf dem Stuttgarter Marktplatz immer mehr Bürger mit einem neuartigen Gefährt: dem Fahrrad. Als Nachfolger des Hochrades ist es zunächst Sport- und Freizeitgerät der Reichen, bevor es auch den einfachen Menschen den Weg zur Arbeit und zum Markt erleichtert. So können auch weniger Begüterte ihren Lebensraum dauerhaft ausweiten. Man kann sagen: das Fahrrad trägt dazu bei, dass der Individualverkehr zunimmt.



b) Pferdewagen bestimmen im 19. Jahrhundert den Verkehr rund um das Schloss Solitude. Pferde und Wagen haben einen doppelten Nutzen: Als Pferdefuhrwerk und Postkutsche helfen sie beim Warentransport und der Personenbeförderung. Die Versorgung der Schlossbewohner mit Nahrungsmitteln und Gütern (z.B. Kohle, Holz) stellen Pferdefuhrwerke sicher. Der Adel sitzt zu Pferde oder lässt sich in Kutschen chauffieren – den Repräsentationsfahrzeugen vor der Erfindung des Automobils.



c) Schon sehr lange erfolgt der Gütertransport auf Schiffen. Auf dem Neckar bei Heidelberg verkehren seit 1878 Kettendampfschiffe; diese ziehen sich an einer 113 km langen Kette, die auf dem Grund des Flusses verankert ist, flussaufwärts. Sie transportieren Kohle, Getreide, Eisen- und Kolonialwaren nach Stuttgart. Flussabwärts, in Richtung Mannheim, sind die Schiffe mit Salz, Zement, Steinen und Häuten beladen.



d) Die erste Bahnstrecke der Welt wird 1825 in Großbritannien in Betrieb genommen. Zehn Jahre später entsteht zwischen Nürnberg und Fürth die erste deutsche Zugverbindung. Ende des 19. Jahrhunderts gehört der Bahnhof, wie hier in Stuttgart, fest zum Bild aller größeren Städte. Mit der Eisenbahn beginnt die Massenmobilität. Sie ermöglicht erstmals allen gesellschaftlichen Kreisen Reisen über große Distanzen.

A2 Pioniere der Automobilindustrie

1. Gottlieb Daimler, Nikolaus Otto, Wilhelm Maybach, Karl Benz und Rudolf Diesel gelten als die Erfinder des motorgetriebenen Automobils. Ordne jeder Kurzbiografie die richtige Person zu.

Mein Name ist Karl Benz. Ich wurde am 25. November 1844 bei Karlsruhe geboren. Nach meinem Studium gründete ich in Mannheim



mehrere Firmen. Mein Ziel war es dabei, einen Wagen mit eigenem Antrieb zu bauen! Im Januar 1886 gelang es mir, ein Patent für das erste Benzinautomobil anzumelden: ein 18 km/h schnell fahrendes dreirädriges Fahrzeug mit Verbrennungsmotor und elektrischer Zündung.

Anfangs wurde mein Automobil als „Wagen ohne Pferde“ verspottet. Mit meinem Patent-Motorwagen fuhr meine Frau Bertha und zwei unserer Söhne 1888 von Mannheim nach Pforzheim. Die Weltausstellung in Paris brachte unserem Wagen den Durchbruch.

Mein Name ist Rudolf Diesel. Ich wurde am 18. März 1858 in Paris als Sohn eines deutschen Händlers geboren. Bereits mit 12 Jahren wurde ich für meine Noten ausgezeichnet. Wegen des Krieges musste ich kurz darauf Frankreich verlassen. In München beendete ich 1880 mein Studium an der Technischen Hochschule mit dem besten Abschlussexamen. Immer schon interessierten mich Wärmekraftmaschinen. 1893 entwickelte ich einen Motor, der eine deutlich höhere Leistung erzielte als die bisherigen Maschinen. Mit einem Freund gelang es mir zwischen 1893 und 1897, meinen selbstzündenden Motor weiterzuentwickeln (heute heißt meine Fabrik übrigens MAN AG). Nach mir wurde ein Treibstoff benannt.

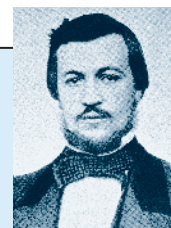


Mein Name ist _____

Wilhelm Maybach. Ich wurde am 9. Februar 1846 in Heilbronn geboren. Meine Familie zog einige Jahre später nach Stuttgart. Als Kind musste ich ins Bruderhaus nach Reutlingen, wo Waisenkinder eine Ausbildung erhielten. Ich wurde technischer Zeichner, Konstrukteur und Assistent des Leiters der Maschinenfabrik im Bruderhaus, Herrn Daimler, und folgte ihm in verschiedene andere Unternehmen, bis wir schließlich in Cannstatt die Daimler-Motoren-Gesellschaft gründeten. Als deren Direktor hatte ich maßgeblichen Anteil an der Entwicklung des modernen Automobils.

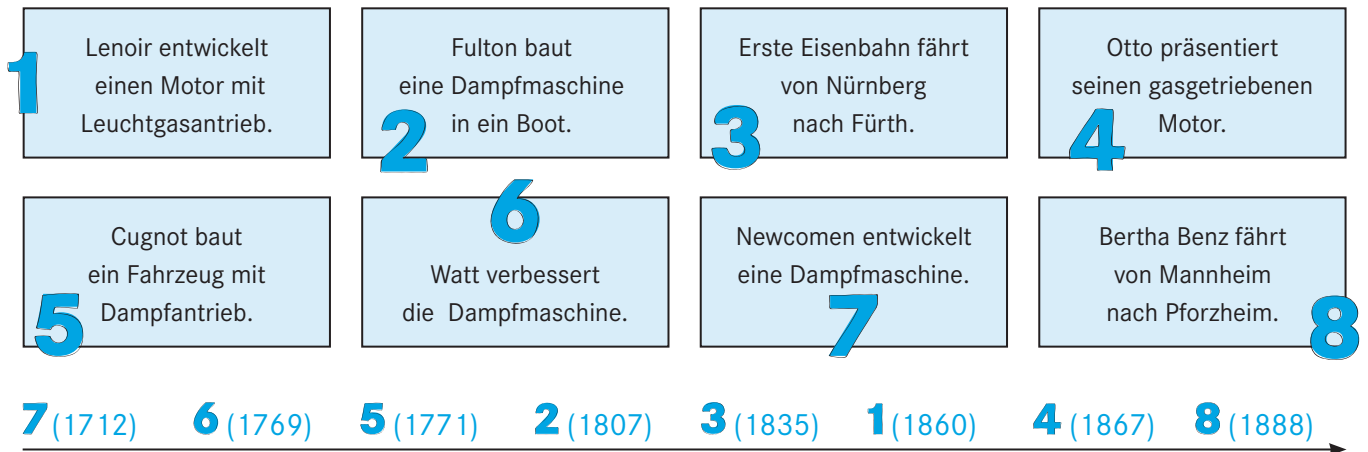


Mein Name ist Nikolaus Otto. Ich wurde als Sohn eines Bauern, Gastwirts und lokalen Posthalters am 10. Juni 1832 in Holzhausen an der Heide (Taunus) geboren. Nach dem Besuch der Realschule machte ich eine Lehre als Kaufmann. Mit 30 Jahren begann ich mit Motoren zu experimentieren, die nach dem Viertaktprinzip funktionierten. 1864 gründete ich mit einem Kollegen die erste Motorenfabrik der Welt, acht Jahre später die „Gasmotoren-Fabrik Deutz AG“. Im Jahre 1876 gelang es mir, einen Viertaktgasmotor mit verdichteter Ladung zu entwickeln. Dieser wurde von meinem damaligen Mitarbeiter Wilhelm Maybach zur Serienreife gebracht. Ab 1876 wurde er in Serie produziert. Der Motorentyp blieb bis in die heutige Zeit Grundlage für viele Verbrennungsmotoren, auch wird mein Name immer noch für alle Benzinmotoren verwendet.

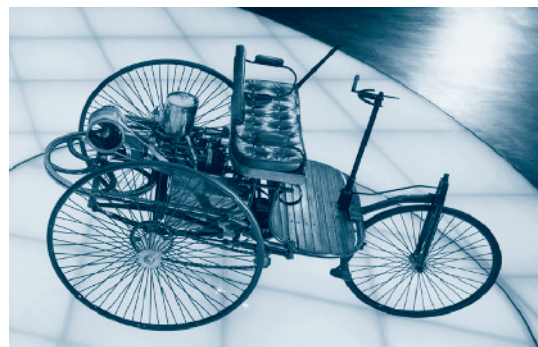
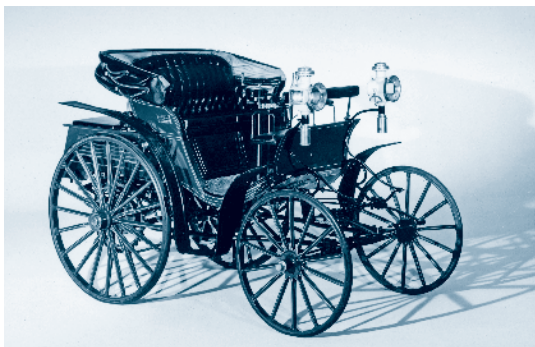


Mein Name ist Gottlieb Daimler. Ich wurde am 17. März 1834 in Schorndorf geboren. Nach einer Lehre als Büchsenmacher begann ich ein Maschinenbaustudium und arbeitete als Konstrukteur und Manager. Zusammen mit Wilhelm Maybach habe ich in Nikolaus Ottos Gasmotorenfabrik Deutz seinen Motor zur Serienreife entwickelt. Später habe ich in Cannstatt eine eigene Versuchswerkstatt mit aufgebaut. Ich wollte einen kleinen, mobilen, leichten – also überall einsetzbaren – und schnell laufenden Verbrennungsmotor bauen. Im Jahr 1885 erhielt ich ein Patent auf einen verbesserten Einzylinder-Viertaktmotor, der Benzin verbrannte. Dieser Motor ist als „Standuhr“ in die Geschichte eingegangen.

2. Die Entwicklung von Fahrzeugen war ein langer Prozess. Informiere dich über die Meilensteine der Technik und schreibe die Jahreszahlen fortlaufend in den Zahlenstrahl.



3. Gottlieb Daimler und Karl Benz entwickelten unabhängig voneinander ein Fahrzeug, das sich „von selbst fortbewegt“ – das „Automobil“. Beide Pioniere hatten jedoch einen unterschiedlichen Ansatz. Vergleiche Daimlers Fahrzeug (li) mit Benz' Motorwagen (re) und beantworte die folgenden Fragen.



a) Woran erinnert das vierräderige Gefährt?

Es erinnert an eine Kutsche mit Motor.

b) Welche Gründe könnten Benz bewogen haben, ein dreiräderiges Auto zu bauen?

Das Lenkungssystem von Kutschen erschien Benz zu kompliziert.

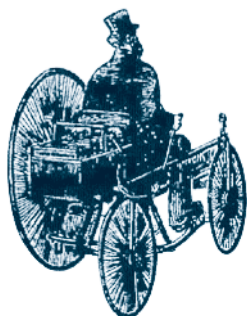
4. Karl Benz arbeitete fortwährend an seiner Idee der Motorisierung des Straßenverkehrs. Bereits 1895 gab es den ersten Omnibus. Was bedeutete dies? Welche Vorteile ergaben sich im Vergleich zur Eisenbahn?



Es war der Beginn des öffentlichen Personenverkehrs, der Siedlungen abseits der Bahnlinien erschließen kann. Vorteile: Gegenüber der Eisenbahn waren Omnibusse flexibel und individuell einsetzbare Fahrzeuge.

A3 Die Elektrifizierung des Autos

Die Idee, Autos mit Elektromotor zu bauen, ist bereits sehr alt. In der Zeit, als Karl Benz und Gottlieb Daimler noch dabei waren, ihre Motorfahrzeuge zu entwickeln, fuhren bereits Elektrofahrzeuge auf den Straßen von London, Paris und Berlin.



Das Tricycle gilt als erstes Elektrofahrzeug. Das dreirädrige Fahrzeug wurde 1881 von Gustave Trouvé gebaut und besaß einen wiederaufladbaren Blei-Akkumulator mit sechs Zellen. Der Motor hatte 0,07 kW und das Gewicht des Fahrzeugs

betrug inklusive Motor, Batterien und Fahrer etwa 160 kg. Die Höchstgeschwindigkeit lag bei etwa 12 km/h.



Der Baker-Runabout gilt als erstes vierrädriges Elektroauto. Um 1890 in Amerika entwickelt, wurde es 1893 von Adolph Müller, Gründer des Batterieunternehmens Varta, nach Deutschland importiert und weiterentwickelt. Das Fahrzeug bot Platz für zwei Personen und verfügte über einen Antrieb von 0,6 kW. Die Höchstgeschwindigkeit lag bei etwa 20 km/h.

Das Fahrzeug bot Platz für zwei Personen und verfügte über einen Antrieb von 0,6 kW. Die Höchstgeschwindigkeit lag bei etwa 20 km/h.

1. Beschreibe die Vor- und Nachteile der ersten Elektroautos und berücksichtige dabei folgende Aspekte: keine Schadstoffe, Kraftstoff, ungefährlich, leiser Motor, einfach zu bedienen, Zeit zum Aufladen, Steckdosen, Reichweite

Vorteile	Nachteile
Das Fahrzeug war sehr leise. Da kein Kraftstoff verbrannt wurde, war das Fahren ungefährlich und es wurden keine Schadstoffe in die Luft geblasen. Außerdem war das Fahrzeug einfach zu bedienen.	Da es noch keine Steckdosen gab, konnte man das Auto nicht überall aufladen. Man benötigte viel Zeit, um die Batterien wieder aufzuladen. Die Reichweite war gering.

2. 1882 fuhr in Berlin der erste Bus mit Elektroantrieb. Warum konnten sich nur wohlhabende Menschen eine Fahrt leisten?

Die Fahrt mit diesem modernen Fahrzeug war sehr teuer. Es galt als vornehm, nicht mit Dreck verursachenden Pferdekutschen oder stinkenden, lauten Fahrzeugen mit Benzinmotor zu fahren.



3. Trotz anfänglicher Erfolge verschwanden die Elektrofahrzeuge wieder aus dem Straßenverkehr. Kannst du dir vorstellen, warum?

Die Reichweite der Elektrofahrzeuge war gering, die Aufladung der Batterie dauerte sehr lange und Benzinfahrzeuge wurden immer günstiger.

4. Hier sind mehr als 100 Jahre Entwicklungsgeschichte elektrischer Antriebstechnik zu sehen. Ordne die Bilderjahreszahlen den passenden Texten zu.

2014

Erstes völlig abgasfreies reines Elektrofahrzeug aus Großserienfertigung mit Brennstoffzellen

1908

Der erste elektrisch betriebene Automobil-Feuerlöschzug Deutschlands bei der Berliner Feuerwehr.

1972

Hier ist der erste Elektrotransporter mit Batteriewechseltechnik (Versuchsfahrzeug).

1982

Daimler präsentiert seinen ersten Elektro-Pkw mit einer 600 (!) Kilogramm schweren Nickel-Eisen-Batterie.

1902

Zieleinlauf eines Rennwagens mit Hybridantrieb und elektrischen Radnabenmotoren in den Vorderrädern.

1979

Start eines Modellversuchs mit Elektro-Hybridbussen im regulären Linienverkehr.

2009

Der smart electric drive geht in Serienproduktion.

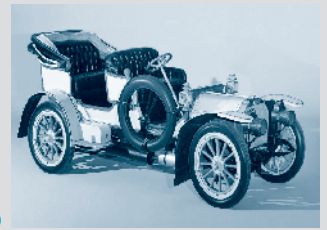
1906

Einer der ersten Elektrowagen: Hybridfahrzeuge werden als „Mercedes Mixte“, batterieelektrische Fahrzeuge als „Mercedes Electrique“ angeboten.

1902



1906



1908



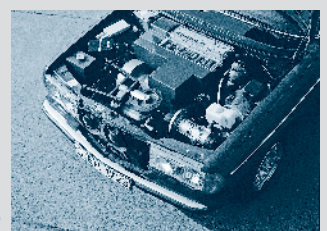
1972



1979



1982



2009



2014



1	F	A	H	R	R	A	2	D		3	A	U	F	L	A	4	D	E	N					
							I									A								
	5	O					6	E	L	E	K	T	R	O	M	O	T	O	R					
		T					S								P									
	7	T	R	O	U	V	E								F									
		O					L				8	A	K	K	U	M	U	L	A	T	O	R		
					9	K										A								
			10	V	E	R	B	R	E	N	N	U	N	G	S	M	O	T	O	R				
					A										C								11	B
					F					12	L					H								E
			13	M	O	T	O	R	W	A	G	E	N		I			14	R	A	S	E	N	
		A		S				S							N					C			Z	
		Y		T				T			16	E	I	S	E	N	B	A	H	N				
		B		O				W												I				
		A		F				17	D	A	I	M	L	E	R					F				
		C		F					G								18	B			F			
							19	M	U	E	L	L	E	R			20	U	M	W	E	L	T	
										N							S							

2. Autoerfinder, nach dem ein Kraftstoff benannt ist (Nachname)
4. Damit wurden Eisenbahnen früher angetrieben.
5. Motorenerfinder aus Holzhausen (Nachname)
9. wird in Automotoren verbrannt
11. Autoerfinder aus Karlsruhe (Nachname)
12. Fahrzeug für Warentransport
13. erster Direktor der Daimler-Motoren-Gesellschaft
15. Fahrzeuge für Wasserwege
18. fuhr 1882 in Berlin mit elektrischem Antrieb

R	E	I	C	H	W	E	I	T	E
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

2. Ordne alle historisch bedeutsamen Ereignisse im Zusammenhang mit der Erfindung von Kraftfahrzeugen und der Entwicklung der Mobilität auf einem Zahlenstrahl.

Die Daten findest du in den Arbeitsblättern A2 bis A4. Vielleicht recherchierst du in diesem Zusammenhang weitere wichtige Erfinder oder Erfindungen?

1771	Cugnots „Fardier“ ist das erste Automobil mit Dampfantrieb.
1825	In Großbritannien fährt die erste Eisenbahn.
1876	Nikolaus Otto entwickelt einen Viertaktmotor.
1881	Gustave Trouvé baut das dreirädrige Elektroauto „Tricycle“.
1882	In Berlin transportiert der erste Elektrobus wohlhabende Bürger.
1885	Daimler lässt die „Standuhr“ patentieren, einen Viertaktmotor.
1886	Karl Benz erhält ein Patent auf seinen dreirädrigen Motorwagen.
1888	Bertha Benz unternimmt die erste Überlandfahrt mit einem Auto.
1890	In Amerika wird der Baker-Runabout entwickelt.
1893	Rudolf Diesel erfindet einen selbstzündenden Motor.
1900	Daimler und Maybach entwickeln den Rennwagen „Mercedes“.
1900	Lohner und Porsche bauen das erste Hybridfahrzeug.
1902	Der erste Rennwagen mit Hybridantrieb geht an den Start.
1914	Das Fließband ermöglicht die Massenproduktion von Autos.
2009	Die Serienproduktion des Smart electric drive beginnt.

Hinweis: Die Schülerlösungen können von dieser Musterlösung abweichen.

Lehrerinformationen **B**

Grundsätzliche Überlegungen zur Unterrichtseinheit

Grundlegend für die Arbeitsweise eines Verbrennungsmotors sind die in den zwei einfachen Versuchen vorgestellten physikalischen Prozesse zur Gasausdehnung bei Erwärmung und eine einfache, jedoch nicht ganz ungefährliche Bauaufgabe. Diese zeigt die Temperaturerhöhung durch Verbrennen eines Gasgemisches und die Umsetzung einer durch Erhitzen und Abkühlen eines Gasvolumens erreichten Auf- und Abbewegung des Kolbens in eine Drehbewegung über Pleuel. Eine weitere einfache Bauaufgabe verdeutlicht den Zusammenhang der Bewegung von Kolben, Pleuel und Kurbelwelle. Anhand der Optimierung dieser Prozesse (Fragen zu den Versuchen) erschließen sich die Schülerinnen und Schüler durch handelnde Arbeitsweisen ein Gefühl für Sinn und Zweck der verschiedenen Takte des Arbeitsspiels.

Die darüber hinaus führenden Bauteile und Funktionen eines Motors sind zur Optimierung dieser drei Grundprozesse nötig, deshalb sollte im Unterricht zuerst Wert auf das Verständnis der Versuche und der zugrunde liegenden Prozesse gelegt werden, damit sich die Schülerinnen und Schüler im Anschluss bei den komplizierteren Zusammenhängen der Motorentechnik an diesen grundlegenden Punkten orientieren können. Weiterhin sollte auf Fachsprache und den richtigen Gebrauch aller Begrifflichkeiten Wert gelegt werden. Sinnvoll bei der Bearbeitung der Unterrichtseinheit sind möglichst häufige Verbindungen zur beruflichen Orientierung und zu potenziellen Ausbildungsberufen.

Info

Beim Thema „Ausdehnung von Gasen I“ muss besonders vorsichtig gearbeitet werden. Das Feuerzeuggas bildet mit Luft ein brennbares Gemisch; in Anwesenheit offener Flammen besteht dann Explosionsgefahr. Daher den Versuch nur unter Beobachtung durchführen lassen.

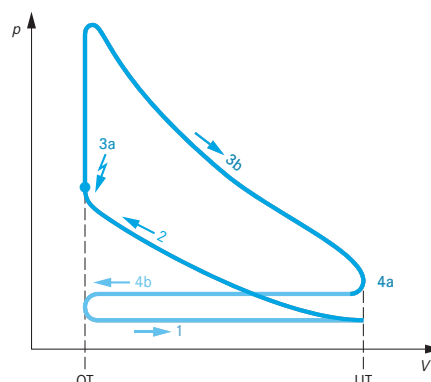


Piezoelektrische Bauteile

Ein Piezozünder ist ein Bauteil, das durch Einwirkung einer mechanischen Kraft (z.B. Druck) eine elektrische Spannung erzeugt. Dabei wird der sogenannte Piezoeffekt ausgenutzt, der auch in umgekehrter Reihenfolge Anwendung findet (Piezoaktor).

Druck-Volumen-Diagramm

Ein Druck-Volumen-Diagramm, auch Arbeitsdiagramm oder PV-Diagramm genannt, ist die grafische Darstellung der Beziehung zwischen Druck und Volumen, die zeitabhängig während der Motortakte im Zylinder eines Verbrennungsmotors abläuft. Diese Darstellung der Vorgänge in einem Verbrennungsmotor wird häufig dazu verwendet, die Auswirkung eines variablen Zündzeitpunkts auf die Druckverhältnisse im Zylinder darzustellen.



1) Ansaugtakt

Das Einlassventil ist geöffnet, im Zylinder herrscht der Umgebungsluftdruck von ca. 1 bar. Da sich der Zylinder nach unten bewegt, wird das Volumen größer; ein leichter Unterdruck entsteht.

2) Verdichtungsakt

Alle Ventile sind geschlossen. Der Zylinder bewegt sich nach oben, das Volumen wird kleiner. Der Druck des Kraftstoff-Luft-Gemisches im Zylinder vergrößert sich.

3a) Arbeitstakt

Das Kraftstoff-Luft-Gemisch wird entzündet. Der Druck steigt stark an. Da sich der Kolben im oberen Totpunkt befindet, ist das Volumen noch sehr klein.

3b) Arbeitstakt

Das verbrennende Kraftstoff-Luft-Gemisch drückt den Kolben nach unten. Das Volumen vergrößert sich, der Druck sinkt.

4) Auspufftakt

Das Auslassventil wird geöffnet (a), das verbrannte Gasgemisch wird ausgestoßen. Das Volumen wird geringer (b) und der Druck in Zylinder fällt bis zum Umgebungsluftdruck ab.

Die Ventilsteuerung von Motoren

Um Verbrennungsmotoren mit Gasen zu versorgen und die verbrannten Gase nach dem Arbeitstakt wieder ins Freie zu befördern, müssen die Verbrennungsräume (Zylinder) über

Ein- und Auslassventile zum richtigen Zeitpunkt geöffnet und wieder geschlossen werden können.

Die Nockenwelle bewirkt, dass die Ventile zum richtigen Zeitpunkt für die richtige Zeitdauer mit dem richtigen Hub geöffnet werden. Die Form des Nockens kann je nach Anforderung variieren.

Vergleich der Motorarten

Benzin- und Dieselmotoren sind nach wie vor die wichtigsten Antriebsaggregate in Fahrzeugen. Beide Systeme sind grundsätzlich ähnlich aufgebaut, bei einem direkten Vergleich der Konzepte lassen sich aus technischer Sicht jedoch verschiedene Aspekte differenzieren.

Nach dem Ansaugen wird das Gemisch beim Ottomotor auf ein Verhältnis von 8:1 bis 12:1 verdichtet. Ein Dieselmotor hingegen verdichtet in einem Verhältnis von 14:1 bis 20:1.

Aufgeladene Ottomotoren erreichen Drücke von 110 bar, bei modernsten Pkw-Dieselmotoren werden inzwischen 200 bar überschritten.

Die zur Verbrennung benötigte Zündung wird bei einem Ottomotor als **Fremdzündung** bezeichnet, da der Zündfunke von der Zündkerze kommt. Die Verbrennung im Ottomotor wird üblicherweise stöchiometrisch geführt, d.h. Kraftstoff- und Luftmassenanteile verbrennen zumindest theoretisch vollständig zu H_2O und CO_2 bei einem Massenverhältnis von 1:14,7 (gängige Kraftstoffe). Bei der Verbrennung steigt die Temperatur auf über 2500 °C.

Beim Dieselmotor spricht man von einer **Selbstzündung**, da sich beim herrschenden hohen Druck der Dieseldieselkraftstoff selbst entzündet. Da der Dieselmotor immer mit Luftüberschuss (d.h. mager, nicht stöchiometrisch) betrieben wird, liegen die Spitzentemperaturen bei der Verbrennung etwas niedriger als beim Ottomotor, aber immer noch bei weit über 2000 °C. Wegen des hohen Systemdrucks muss ein Dieselmotor baulich stärker ausgelegt sein.

In der Zusammensetzung der bei der Verbrennung entstehenden Schadstoffe gibt es weitere Unterschiede der Systeme. Die Abgastemperatur ist beim Ottomotor höher, es entstehen deutlich mehr Kohlenstoffmonoxid-, Stickstoffoxid- und Kohlenwasserstoffemissionen. Aufgrund des stöchiometrischen Betriebs sind diese Emissionen mit einem 3-Wege-Katalysator allerdings sehr gut nachbehandelbar.

Beim Dieselmotor entsteht dagegen mehr Ruß, der krebserregend ist, weil die kleinsten Teilchen „lungengängig“ sind. Dieser kann jedoch mit einem Partikelfilter aus dem Abgasstrom entfernt werden. Eine größere Herausforderung stellen die Stickstoffoxidemissionen auch im Hinblick auf künftige Grenzwerte dar. Daher ist die Absenkung der NO_x -Emissionen insbesondere mittels Abgasrückführung die erste Wahl.

Direkteinspritzung

Bei der **Benzindirekteinspritzung** wird der Kraftstoff mit Hochdruck von bis zu 200 bar direkt in den Brennraum gespritzt (innere Gemischbildung). Gegenüber der äußeren Gemischbildung (Einspritzung vor das Einlassventil im Ansaugrohr) ist dieses Verfahren wesentlich genauer und nicht so abhängig von den Öffnungszeiten der Ventile. Die besondere Brennraumform sorgt für eine optimale Verwirbelung des Kraftstoff-Luft-Gemischs. Benzindirekteinspritz-Motoren ermöglichen ein höheres Drehmoment, insbesondere bei Aufladung. Außerdem zeichnen sie sich durch einen um ca. 3% höheren Wirkungsgrad aus. Arbeitet der Motor im Magerbetrieb (sogenannte Schichtladung), kann der Wirkungsgradvorteil sogar 12% betragen.

Die modernen Direkteinspritzsysteme sind sogenannte Common-Rail-Systeme. Als **Common-Rail** bezeichnet man eine gemeinsame Kraftstoffleitung für alle Zylinder. Hier sind Druckerzeugung und Einspritzvorgang getrennt. Eine Hochdruckpumpe baut den Kraftstoffdruck dauerhaft auf und speist den Rail, der die Funktion eines Druckspeichers übernimmt. Durch Hochdruck-Einspritzventile (Injektoren) in der Kraftstoffleitung erfolgen die vom Steuergerät ausgelösten Einspritzvorgänge. Das Common-Rail-System arbeitet beim Dieselmotor mit Drücken bis 2200 bar (nach neuen Entwicklungen bis 2500 bar) und mit bis zu fünf Einspritzvorgängen pro Verbrennungsvorgang (intermittierende Einspritzung). Während beim Dieselmotor der Einspritzvorgang mit dem Ende des zweiten Arbeitstaktes erfolgt, wird bei der Benzindirekteinspritzung die größte Einspritzmenge während des zweiten Taktes zugeführt. Dies geschieht, weil im Ottomotor die Gemischbildung zum Zeitpunkt der Zündung abgeschlossen sein muss, damit es zu einer optimalen Verbrennung kommt. Außerdem ist beim Dieselmotor der Einspritzdruck wesentlich größer.

Downsizing steht in der Technik allgemein für Effizienzsteigerung durch Verkleinerung. Die Fortschritte beim Downsizing sind neben der Aufladung durch Turbolader oder Kompressoren vor allem der Direkteinspritzung zu verdanken. Beide Effekte haben die hohen Leistungsdichten moderner Ottomotoren mit ermöglicht.

B1 Ausdehnung von Gasen I

1. Jeder Verbrennungsmotor funktioniert nach dem gleichen physikalischen Grundprinzip – der Ausdehnung von Gasen. Um dieses Prinzip zu verstehen, lassen sich zwei Versuche durchführen.

a) Versuch 1:

Du benötigst: 1 Münze, 1 leere, kalte Trinkflasche

Anleitung: Lege eine Münze auf eine leere, kalte Flasche. Umfasse die Flasche vorsichtig mit den Händen und achte darauf, dass die Münze nicht verrutscht. Wärme die Flasche eine Zeit lang mit den Händen auf und beobachte die Münze.

Zeichne den Versuchsaufbau:



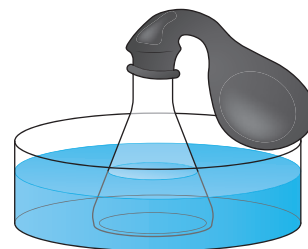
Beschreibe, was passiert:

Durch die Wärme der Hände wird die Luft in der Flasche erwärmt. Sie dehnt sich aus und die Münze hüpf vom Flaschendeckel.

b) Versuch 2:

Du benötigst: 1 Luftballon, 1 leere Trinkflasche, 3 Gefäße, warmes und kaltes Wasser und Eiswasser

Anleitung: Ziehe einen Luftballon über die Öffnung einer leeren Flasche. Stelle nun die Flasche abwechselnd in jeweils ein Gefäß mit kaltem Wasser, warmem Wasser und Eiswasser. Beschreibe deine Beobachtungen.



kaltes Wasser	Die Luft in der Flasche wird abgekühlt. Dadurch zieht sich der Ballon etwas zusammen.
warmes Wasser	Die Luft in der Flasche wird erwärmt. Dadurch bläst sich der Ballon auf.
Eiswasser	Die Luft in der Flasche wird stark abgekühlt. Der Ballon wird teilweise in die Flasche gezogen.

c) Wie könnte man die beobachteten Ergebnisse der beiden Versuche verbessern?

Man könnte das Luftvolumen, d.h. die Luftmenge vergrößern.

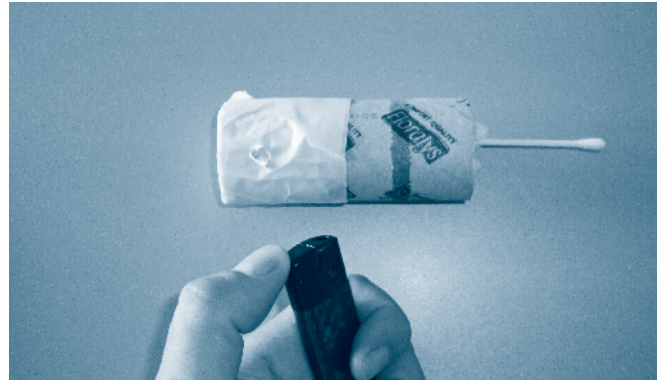
d) Wie könnte man die erzeugten Bewegungen beschleunigen?

Indem man durch eine technische Konstruktion die Luft in der Flasche austauscht.

2. Um eine größere und schnellere Ausdehnung der Gase zu erreichen, verwendet man in der Motorentechnik ein leicht entzündliches Benzin-Luft-Gemisch. Die Funktionsweise der Verbrennung lässt sich mit einem Experiment sehr eindrucksvoll demonstrieren.

Du benötigst: 1 Papprohr (Toilettenrolle), 1 Wattekugel, 1 Wattestäbchen, Klebeband, Schere, Feuerzeug

Anleitung: Klebe ein Ende der Pappröhre mit dem Klebeband zu. Bohre am Rand der zugeklebten Seite ein kleines Loch in die Pappröhre. Wickle die Wattekugel um das Wattestäbchen, lass etwas Feuerzeuggas von oben in die Pappröhre strömen und stecke die Wattekugel mit dem Wattestäbchen in die Rolle. „Pumpe“ ein paarmal mit dem Wattestäbchen hin und her. Halte nun die Flamme des Feuerzeugs an das Loch und entzünde das Gasgemisch!



a) Nicht jeder Zündversuch klappt auf Anhieb. Was musstest du optimieren, bis sich das Gemisch entzündet hat?

Das Luft-Gas-Gemisch musste durch „pumpen“ optimiert werden. Die Zündflamme musste direkt an das Zündloch gehalten werden.

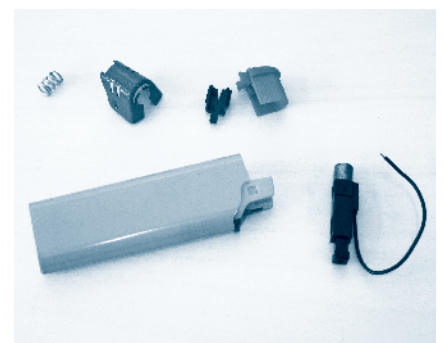
b) Wie wird bei einem Ottomotor die Zündung ausgelöst?

Die Zündung wird durch einen Zündfunken im Zylinder ausgelöst.



c) Optimierte die Zündung in deinem Versuchsaufbau:

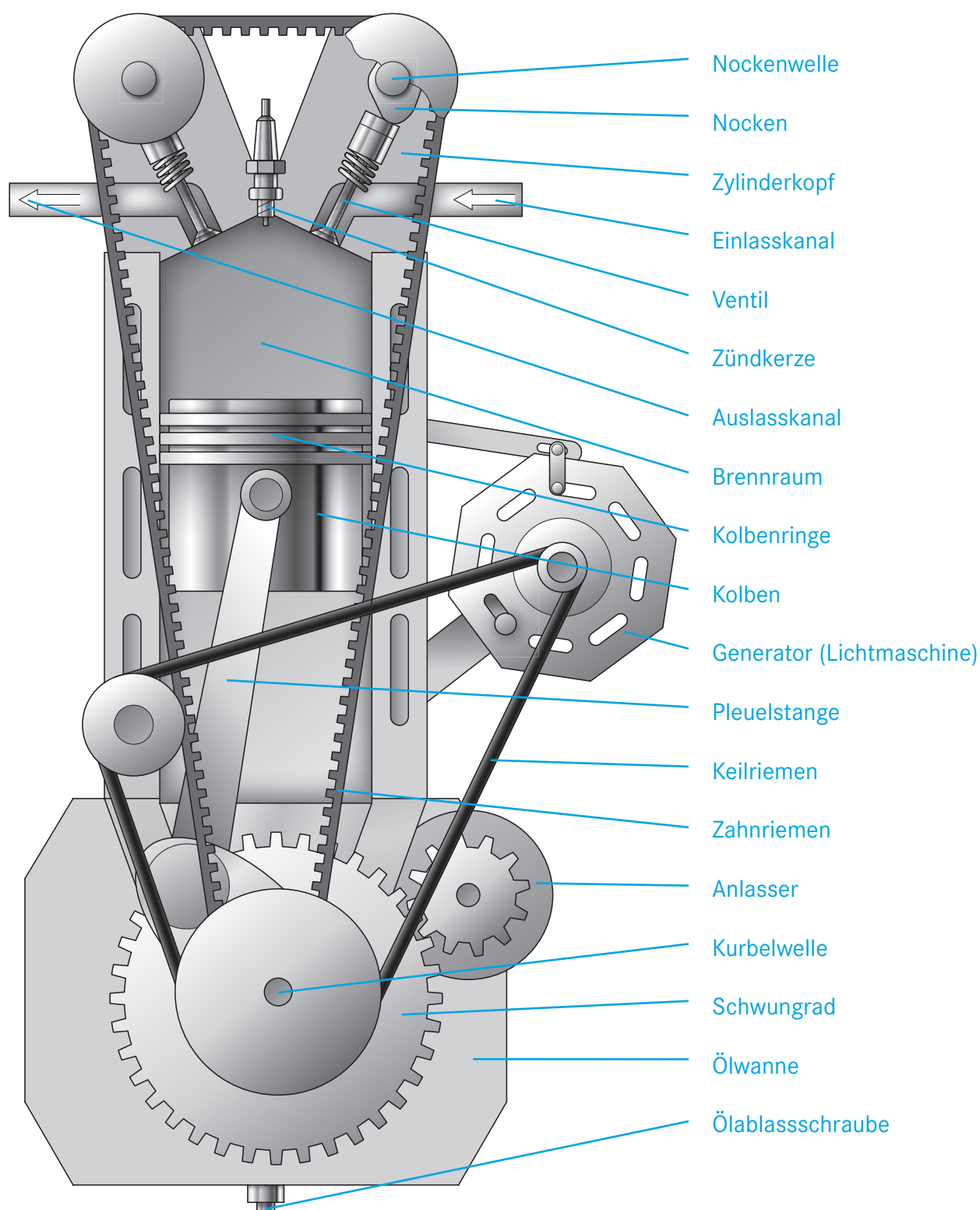
Zerlege vorsichtig das Feuerzeug, indem du den Flammenschutz entfernst. Ziehe danach den elektrischen Zünder (Piezozünder) aus dem Feuerzeug und stecke den Zünddraht in das Loch der Pappröhre. Nun kann man beim Betätigen des Piezozünders das Gemisch fernzünden. Teste deinen Versuchsaufbau.



d) Welche Verbesserungen könnte man noch realisieren?

Das Wattestäbchen und der Wattebausch könnten durch eine feste Konstruktion ersetzt und das Volumen des Brennraums vergrößert werden.

B2 Aufbau eines Verbrennungsmotors

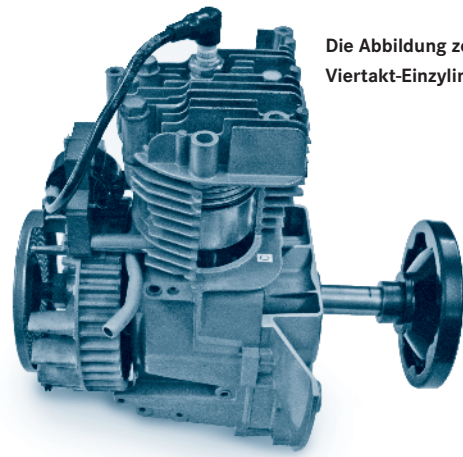


1. Beschrifte die Abbildung. Nutze dafür diese Wortschnipsel:

ab – An – Aus – ben – Brenn – Ein – Gene – kanal – kanal – Keil – kerze – Kol – Kolben – **kopf** – Kurbel – lasser – lass – lass – lass – Nocken – Nocken – Öl – Öl – Pleuel – rad – rator – raum – riemen – riemen – ringe – schraube – Schwung – stange – til – Ven – wanne – welle – welle – Zahn – Zünd – **Zylinder**

2. Bestimme die Funktion der wichtigsten Teile eines Verbrennungsmotors. In den linken Kästchen stehen die einzelnen Bauteile, in den rechten deren Funktionen.

Ordne den Bauteilen ihre Funktion zu. Trage dazu die entsprechenden Nummern in die leere Spalte ein.



Die Abbildung zeigt einen Viertakt-Einzylindermotor.

1.	Zylinder	4.	entzündet beim Benzin- und Gasmotor das Gasgemisch
2.	Kolben	7.	wandelt die Kolbenkraft über das Pleuel in eine Drehbewegung um und überträgt diese auf den Antriebsstrang
3.	Ventile	9.	dient zum Befüllen des Zylinders mit frischem Gasgemisch
4.	Zündkerze	11.	steuert die Bewegung der Nocken
5.	Nocken	3.	dienen dem Öffnen bzw. Abdichten der Einlass- und Auslassöffnungen im Zylinderkopf
6.	Pleuelstange	10.	überträgt die Drehbewegung der Kurbelwelle auf die Nockenwelle
7.	Kurbelwelle	6.	überträgt die Kraft des Kolbens auf die Kurbelwelle
8.	Auslasskanal	5.	bewirken das Öffnen und Schließen der Einlass- und Auslassventile
9.	Einlasskanal	8.	dient zum Abführen der Abgase aus dem Brennraum
10.	Zahnriemen	2.	gibt die Energie durch eine Auf- und Abbewegung an das Pleuel weiter
11.	Nockenwelle	1.	bildet den Raum, in dem die Verbrennungsvorgänge ablaufen

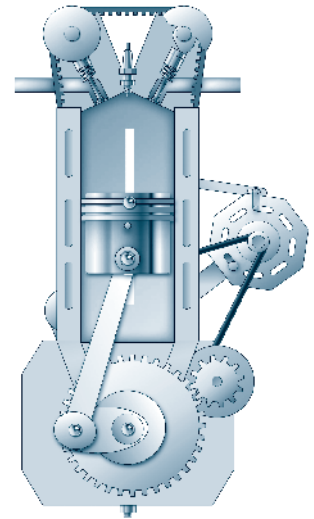
3. Was muss in den Ölflecken auf der folgenden Beschreibung der Arbeitsweise eines Verbrennungsmotors stehen?

Um einen Motor mit frischem **Gas** zu versorgen und die **Abgase** aus dem Zylinder zu befördern, müssen die **Ventile** zum richtigen Zeitpunkt geöffnet und geschlossen werden. Die **Öffnung** der Ventile erfolgt meistens über die **Nockenwelle**, auf der für jedes Ventil ein **Nocken** sitzt. Die Nockenwelle wird in der Regel über eine **Steuerkette** oder einen **Zahnriemen** angetrieben.

© Als Kopiervorlage freigegeben. Genius – Die junge WissensCommunity von Mercedes-Benz, Stuttgart 2013

2. Bewege den Kolben deines Modells auf und ab und beschreibe, wie sich das Pleuel und die Kurbelwelle verhalten.

Das Pleuel wird durch den Kolben angetrieben und bewegt seinerseits die Kurbelwelle mit dem Schwungrad. Das Pleuel wandelt also die Auf- und Abbewegung des Kolbens in eine Drehbewegung um. Dies wird durch eine bewegliche Lagerung aller Komponenten ermöglicht.



3. Beschreibe, wo die sogenannten „Totpunkte“ liegen und warum sie so genannt werden.

Die Totpunkte sind die Stellungen, an denen sich der Kolben am weitesten oben bzw. unten befindet. Man nennt sie so, weil in diesen Punkten eine Umkehrung der Richtung stattfindet, die durch das Schwungrad ermöglicht wird.

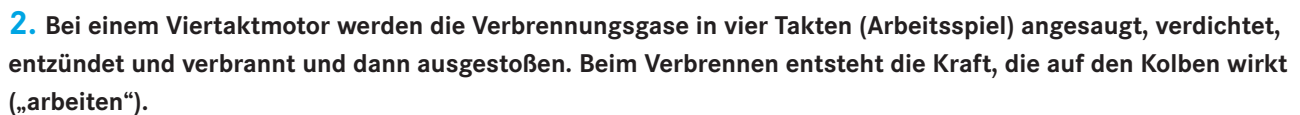
4. Wie verhindert man in der Praxis, dass der Motor in einem Totpunkt „hängenbleibt“?

Bei Einzylinder-Motoren verwendet man ein großes Schwungrad. Häufig baut man aber Motoren mit mehreren Zylindern und versetzt die Arbeitszyklen der Zylinder gegeneinander. Dadurch läuft der Motor viel runder und das Schwungrad muss nicht so schwer sein.

5. Beschreibe mithilfe des Modells, wie bei einem echten Verbrennungsmotor die Steuerung der Ventile realisiert wird.

Von der Kurbelwelle muss die Drehbewegung über eine Steuerkette oder einen Zahnriemen auf die Nockenwelle übertragen werden. Diese öffnet und schließt die Ventile zum richtigen Zeitpunkt.

Durch die Entzündung eines Gasgemisches wird eine Kraft auf einen Kolben übertragen. Dieser wird im Zylinder nach unten gedrückt. Dabei überträgt er die Kraft über ein **Pleuel** auf die **Kurbelwelle**. Diese ist mit dem Pleuel über ein bewegliches **Pleuellager** verbunden. Es wandelt die geradlinige Abwärtsbewegung des **Kolbens** in eine Drehbewegung um und leitet sie über das **Schwungrad** ans Getriebe und die Räder weiter. Benenne die Teile des Kurbeltriebs.



- ausstoßen



d) Wie oft steht der Kolben während eines kompletten Arbeitsspieles ganz oben (oberer Totpunkt OT) bzw. ganz unten (unterer Totpunkt UT)?

2-mal

e) In diese Richtung (OT bzw. UT) bewegt sich der Kolben:

Takt	ansaugen	verdichten	arbeiten	ausstoßen
Kolben-bewegung	von OT nach UT	von UT nach OT	von OT nach UT	von UT nach OT

f) Wie oft dreht sich die Kurbelwelle während eines Arbeitsspieles?

2-mal

g) Wie viele Winkelgrade an der Kurbelwelle (Grad KW) umfasst ein komplettes Arbeitsspiel?

720 Grad KW

3. Bei vielen Motoren wird die Zündfolge 1 – 3 – 4 – 2 verwendet. Vervollständige die Übersicht für alle vier Zylinder eines Motors.

1. Zylinder	2. Zylinder	3. Zylinder	4. Zylinder
zünden und arbeiten	ausstoßen	verdichten	ansaugen
ausstoßen	ansaugen	zünden und arbeiten	verdichten
ansaugen	verdichten	ausstoßen	zünden und arbeiten
verdichten	zünden und arbeiten	ansaugen	ausstoßen

4. Angenommen, ein Motor dreht mit 5 100 1/min. Wie oft öffnen und schließen sich die Einlass- bzw. Auslassventile in einer Stunde?

$$5100 \text{ 1/min} \cdot 60 = 306\,000 \text{ Kurbelwellenumdrehungen/h}$$

$$306\,000 / 2 = 153\,000 \text{ Öffnungen/Schließungen von Einlass- bzw. Auslassventil}$$

5. Wie viele Umdrehungen macht eine Kurbelwelle unter folgenden Bedingungen?

Laufleistung 10 000 km; durchschnittliche Geschwindigkeit 72 km/h; durchschnittliche Drehzahl 2400 1/min

$$\frac{10\,000 \text{ km}}{72 \text{ km/h}} = 138,88 \text{ h Betriebsdauer}$$

$$138,88 \text{ h} \cdot 60 = 8\,333 \text{ min}$$

$$8\,333 \text{ min} \cdot 2\,400 \text{ 1/min} = 19\,999\,200 \text{ (rund 20 Mill.) Kurbelwellenumdrehungen}$$

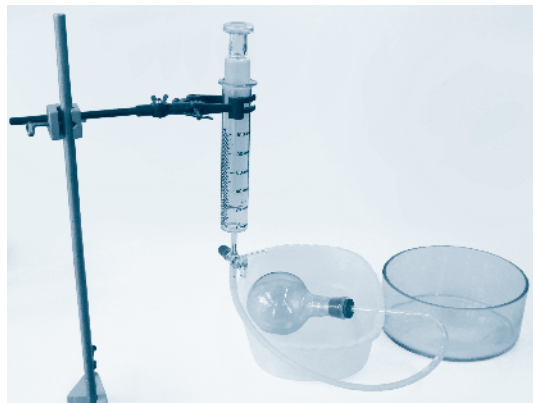
B5 Ausdehnung von Gasen II

1. Kolbenversuch zum Verdeutlichen der Wärmeausdehnung von Gasen im Zylinder:

Beobachte den Ablauf des Versuches und beantworte dann die Fragen a) bis g).

Info

Der Versuch muss vom Lehrer aufgebaut werden.
Vorsicht: der Kolbenprober ist zerbrechlich! Das heiße Wasser kann zu Verbrühungen führen!



Materialliste:

1 Glasbehälter	Stativständer zum Befestigen
1 Schlauchverbindung	2 Schalen mit heißem und kaltem Wasser
1 Kolbenprober	

a) Wie und warum bewegt sich der Kolben, wenn man den Glasbehälter in heißes Wasser taucht?

Der Kolben hebt sich, da sich das Gas durch Erwärmung ausdehnt.

b) Wie verhält sich der Kolben, wenn man den Glasbehälter abwechselnd in heißes und kaltes Wasser taucht?

Der Kolben hebt und senkt sich.

c) Warum hebt sich der Kolben nach einem Durchgang nicht mehr bis zum Anfangspunkt? Was muss man deshalb beim Motorbau beachten?

Der Kolben ist nicht ganz dicht und es entweicht ständig etwas Luft. Bei Motoren muss man deshalb Dichtungen einbauen.

d) Wie könnte man die Kolbenbewegung beschleunigen?

Man könnte heißeres Wasser verwenden (mit größeren Temperaturunterschieden arbeiten) oder für einen besseren Wärmekontakt sorgen.

e) Wie könnte man den Kolben höher heben?

Durch Temperaturerhöhung dehnt sich das Gas mehr aus und hebt den Kolben höher. Man könnte auch das Volumen des Gases oder des Glasbehälters vergrößern.

f) Wie könnte man das Erhitzen des Gases im Kolbenprober verbessern?

Durch Verbrennung im Gasvolumen.

g) Wie könnte man die „Verbrennungsrückstände“ abkühlen und austauschen?

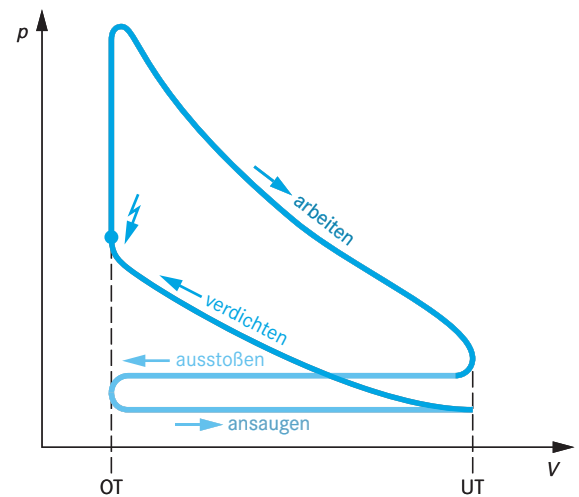
Abkühlen: durch Ablassen der heißen Luft.

Austauschen: durch Be- und Entlüften des Verbrennungsraumes über Ventile.

2. Das Verhalten eines Verbrennungsmotors wird in einem Druck-Volumen-Diagramm (Arbeitsdiagramm) dargestellt. Das Volumen V wird nach rechts aufgetragen und der Druck p nach oben.

a) Zeichne anhand des Verhaltens von Druck und Volumen im Diagramm ein, von wo bis wo jeweils die vier Arbeitstakte verlaufen (nimm für jeden Takt eine andere Farbe).

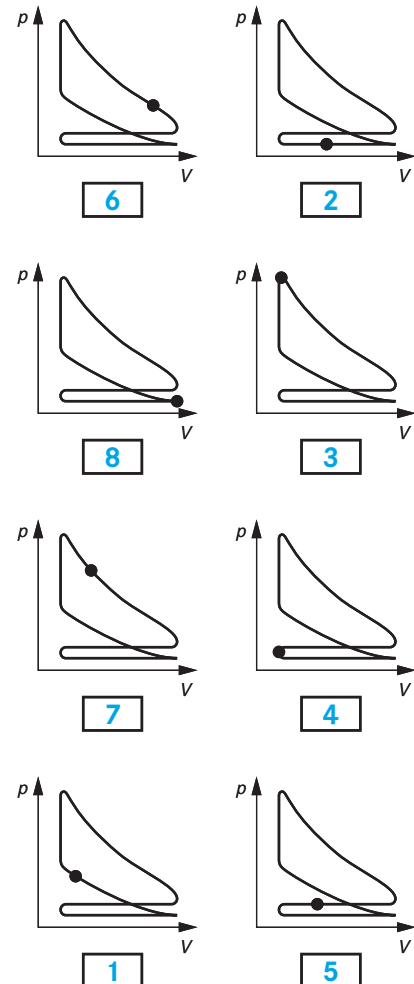
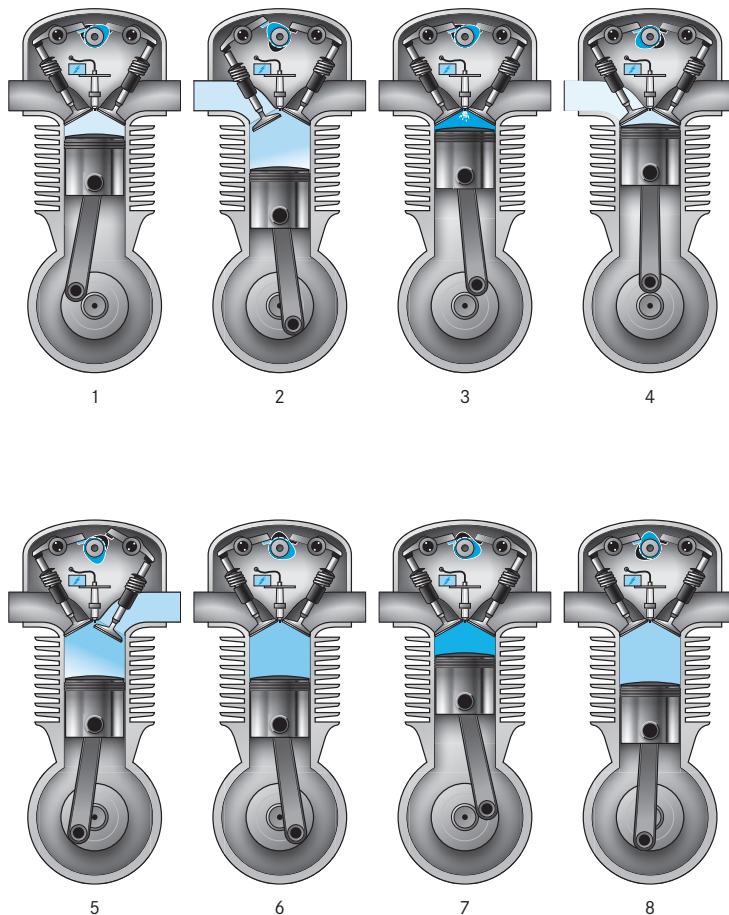
b) Kennzeichne den Zündzeitpunkt.



3. Quiz: Druck-Volumen-Diagramme (Arbeitsdiagramme) zuordnen. Ordne jedem Bild eines Ottomotors das zutreffende Druck-Volumen-Diagramm zu und schreibe die jeweilige Bildnummer unter die Diagramme.

Tipp:

Vergleiche, welche Volumenangaben zu welchem Diagramm passen könnten, achte auf die Ventile (Einlassventil links, Auslassventil rechts) und darauf, ob die Zündung schon stattgefunden hat. Die Kurbelwelle dreht sich im Uhrzeigersinn.



4. Überlege, warum Automobilmotoren mehr als einen Zylinder haben.

Die Motoren sind viel leistungstärker und laufen sehr viel ruhiger und runder, weil die in den Zylindern erzeugte Kraft mehrere Male während einer Kurbelwellenumdrehung weitergegeben wird.

B6 Vergleich verschiedener Verbrennungsmotoren

1. Die Zeichnung zeigt den typischen Aufbau eines Verbrennungsmotors (Ottomotors).

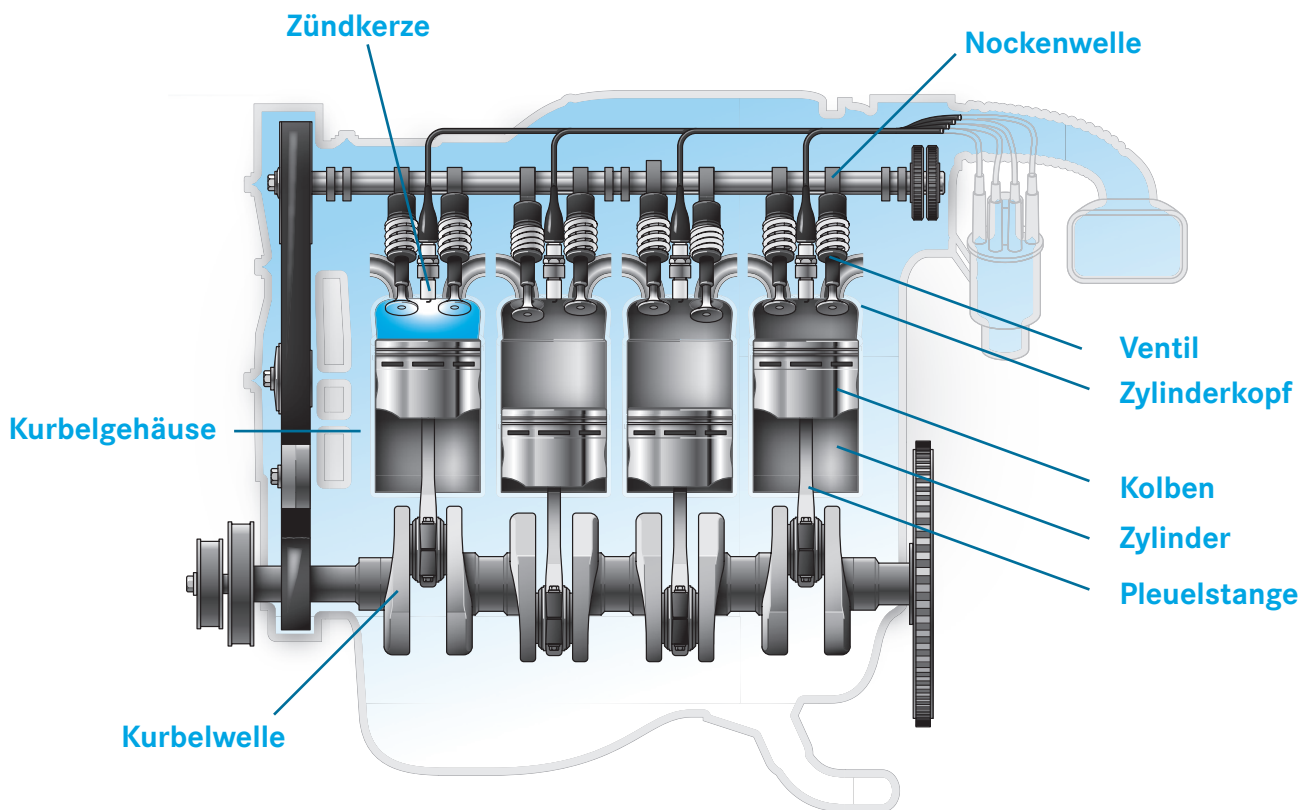
a) Bezeichne die Hinweislinien mit folgenden Begriffen:

Kolben, Kurbelgehäuse, Kurbelwelle, Nockenwelle, Pleuelstange, Ventil, Zündkerze, Zylinder, Zylinderkopf

b) Erkläre deinem Banknachbarn/deiner Banknachbarin die Funktion der einzelnen Teile. Wechselt euch ab.

c) Beschreibt abwechselnd den Weg der Energieumwandlung im Motor.

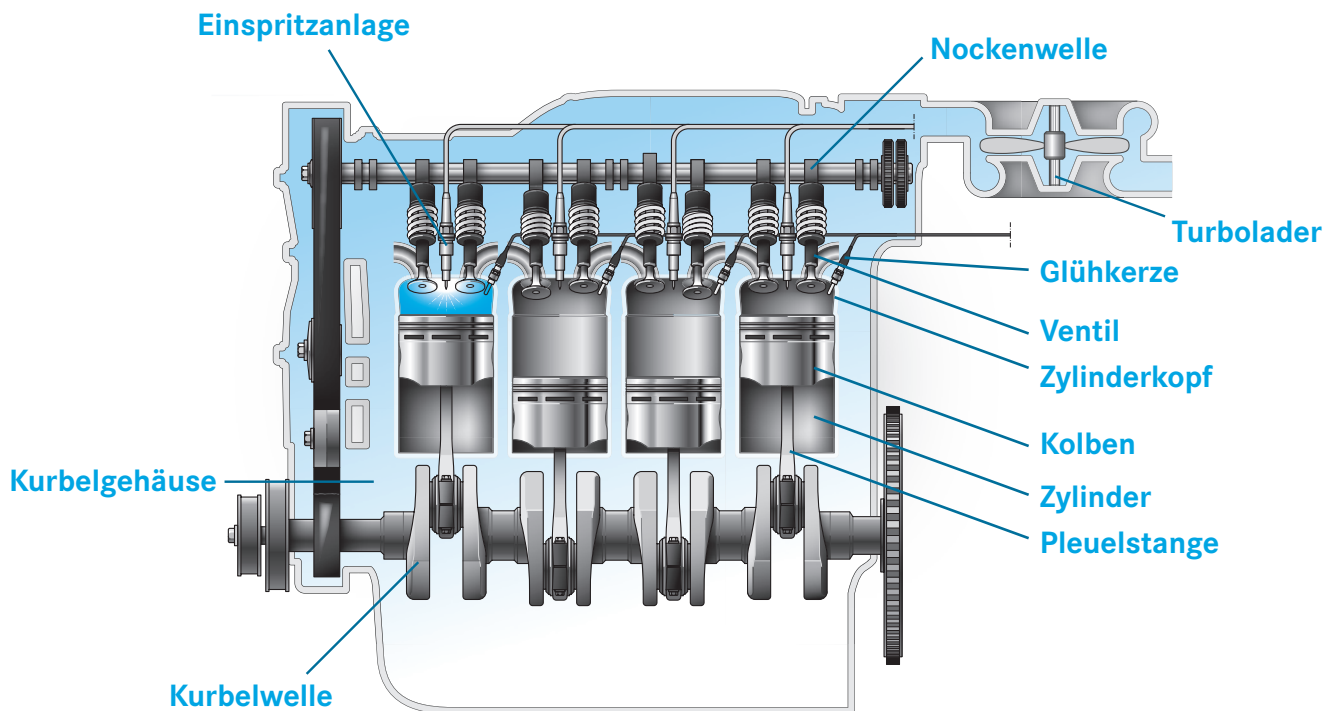
d) Notiere, ob dir Informationen zum kompletten Verständnis eines Verbrennungsmotors fehlen.



schülerindividuelle Antwort

2. Die Zeichnung zeigt den typischen Aufbau eines Dieselmotors.

a) Bezeichne die Teile, die genauso aussehen wie in Aufgabe 1, mit den entsprechenden Begriffen.



b) Ergänze den Text zum Dieselmotor mit folgenden Begriffen:

Einspritzanlage, entzündet, Glühkerzen, heiße, kalten, Luft, Selbstzündung, Turboladers, vorverdichtet

In die Zylinder von Dieselmotoren wird nur Luft (statt eines Kraftstoff-Luft-Gemischs) gesaugt, die mithilfe eines Turboladers oder Kompressors vorverdichtet wurde. In diese im Zylinder weiter verdichtete heiße Luft wird durch die Einspritzanlage der Dieselmotorkraftstoff eingespritzt, der sich selbst entzündet (Selbstzündung). Beim Start des kalten Motors werden die Glühkerzen benötigt, die zusätzliche Wärme in den Brennraum einbringen.

c) Beschrifte nun die noch freien Hinweislinien in der Abbildung mit den passenden Begriffen aus dem Text zu Aufgabe b).

3. Otto- und Dieselmotoren (Viertakter) für Automobile haben viele Gemeinsamkeiten, aber auch typische Unterschiede. Vervollständige bitte die Tabelle.

	Ottomotor	Dieselmotor
Takte	4	4
Umdrehungen der Kurbelwelle je Arbeitstakt	2	2
Kraftstoff	Benzin	Diesel
Zündung	Fremdzündung	Selbstzündung

B7 Moderne Technologien in Verbrennungsmotoren



Info

Ein moderner Hochleistungsmotor in einem Automobil ist noch viel komplexer, als es die dargestellten Prinzipien vermuten lassen. Die Ingenieure arbeiten ständig an Verbesserungen, vor allem aus Umweltschutzgründen (z.B. wegen immer strengerer Abgasvorschriften) und um Rohstoffe einzusparen (z.B. um den Kraftstoffverbrauch zu senken).

1. Was glaubst du: Wo überall im und direkt am Motor kann man optimieren? Beschreibe bei den folgenden Stichworten, was man verbessern könnte und welche Auswirkungen dies hätte.

- Größe → Es geht darum, Motoren mit kleinerem Hubraum bei gleichbleibender Leistung zu bauen, um (vor allem) den Verbrauch zu verringern („Downsizing“). Dies kann insbesondere über Aufladung bewirkt werden.
- Material → Leichtere Motoren, z.B. aus Aluminium, sparen Masse und damit auch Kraftstoff.
- Oberflächen → Möglichst glatte Oberflächen verringern die Reibung (z.B. im Zylinder). Auch auf die Luftansaugung, z.B. im Ansaugkrümmer, hat die Oberflächengüte Einfluss (möglichst glatt, damit es nicht zu Verwirbelungen kommt).
- Brennraum → Die Form des Brennraumes, z.B. durch die Gestaltung des Kolbenbodens, hat großen Einfluss auf die Gemischbildung und den Verbrennungsvorgang.
- Verdichtungsverhältnis → Ein größeres Verdichtungsverhältnis bringt einen besseren Wirkungsgrad, beansprucht den Motor aber stärker und verstärkt beim Ottomotor die unerwünschte Klopfneigung.
- Zündung → Beim optimal eingestellten Zündzeitpunkt wird der Verbrennungshöchstdruck kurz nach OT erreicht; dadurch erreicht man hohe Motorleistung bei geringerem Verbrauch.
- Gemischbildung → Art, Ort und Zeitpunkt der Gemischbildung haben großen Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch und die Leistung.
- Zusammensetzung des Kraft-Luft-Gemischs → Bei der stöchiometrischen Zusammensetzung des Kraftstoff-Luft-Gemisches entstehen (theoretisch) nur Kohlenstoffdioxid, Stickstoff und Wasser als Abgase. Beim Ottomotor lässt sich dies durch einen 3-Wege-Katalysator auch praktisch erreichen. (Beim Dieselmotor gelten wegen des Magerbetriebs andere Regeln bei der Abgasbehandlung.)

2. Hier soll ein Bereich exemplarisch herausgehoben und behandelt werden: die Gemischbildung.

Info

Wenn Kraftstoff und Luft vor dem Brennraum gemischt werden, nennt man dies **äußere Gemischbildung**. Mischt man Kraftstoff und Luft dagegen erst im Brennraum, spricht man von **innerer Gemischbildung**.

Bei herkömmlichen Ottomotoren wird der Kraftstoff vor dem eigentlichen Brennraum eingespritzt, damit er sich mit der Luft mischen kann; dies ist eine „indirekte“ Einspritzung. Im Gegensatz dazu wird in modernen Ottomotoren der Kraftstoff in den Brennraum gespritzt; man nennt dies **Benzin-Direkteinspritzung**.



Vervollständige den Text mit folgenden Begriffen:

Aktoren, Brennraum, Drehmoment, Einlassventil, Einspritzventilen, feinst zerstäubt, heißen Luft, Hochdruckpumpe, hohe Druck, im Brennraum, Luft, Rail, Sensoren

Bei Motoren mit Benzin-Direkteinspritzung wird das

Kraftstoff-Luft-Gemisch im Brennraum

gebildet. Beim Ansaugtakt strömt durch das geöffnete Einlassventil nur noch Luft. Der Kraftstoff

wird mit speziellen Einspritzventilen direkt in den Brennraum gespritzt. Dazu benötigt man eine

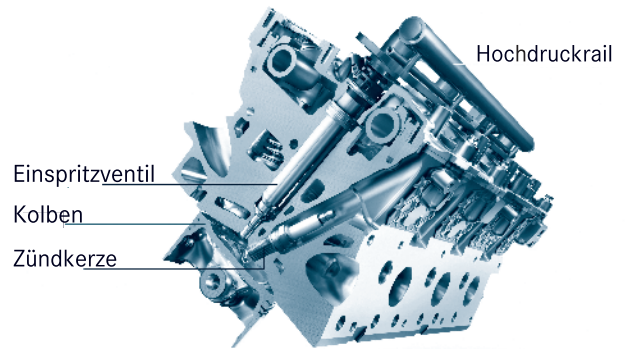
Hochdruckpumpe, die den erforderlichen Kraftstoffdruck im Rail (der Hochdruckleitung) aufbaut. Der

hohe Druck ermöglicht es, dass der Kraftstoff exakt dosiert und feinst zerstäubt in sehr kurzer

Zeit mit der heißen Luft im Brennraum ein Gemisch bildet. Voraussetzung ist eine exakte Steuerung des

Einspritzsystems durch Sensoren und Aktoren über ein Steuergerät. Ziel der Steuerung ist, das ge-

forderte Drehmoment mit möglichst geringem Kraftstoffverbrauch und möglichst wenig Emissionen zu liefern.



3. Ergänze die Tabelle (recherchiere den Einspritzdruck z.B. im Internet).

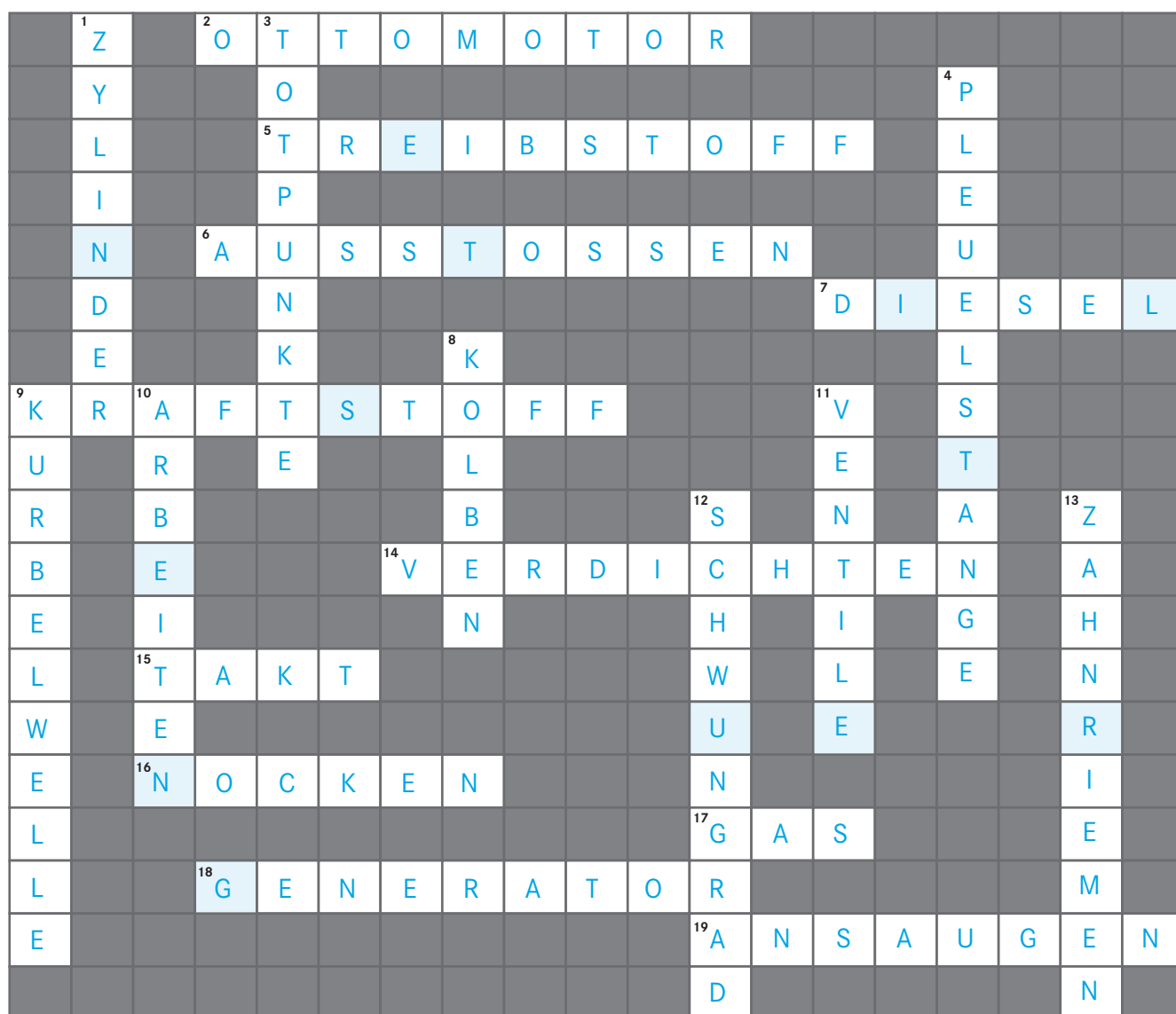
	Benzin-Direkteinspritzung	Diesel-Einspritzanlage
Kraftstoff	Benzin	Diesel
Zündung	Fremdzündung	Selbstzündung
Einspritzdruck	bis 200 bar	bis 2200 bar
Gemischbildung	innere Gemischbildung	innere Gemischbildung

4. Wenn du nun Otto- und Dieselmotor miteinander vergleichst: Was fällt dir auf bezüglich der Entwicklung von Unterschieden und Gemeinsamkeiten?

Durch die technologische Entwicklung werden die Unterschiede geringer. Im Einspritzsystem liegt der hauptsächlichste Unterschied im Einspritzdruck.

B8 Zum Trainieren und Merken

1. a) Trage die gesuchten Begriffe zum Thema „Die Funktion von Verbrennungsmotoren“ ein (ß = ss, ü = ue usw.).



waagerecht

2. Name eines Verbrennungsmotortyps
5. anderer Name für Kraftstoff
6. der letzte Takt im Viertaktmotor
7. Kraftstoff für Motor mit Selbstzündung
9. chemische Energie zum Betrieb eines Verbrennungsmotors
14. zweiter Takt im Viertaktmotor
15. Name für Teil eines Arbeitsspiels im Motor
16. steuern die Ventile
17. Aggregatzustand beim Verbrennen im Motor
18. erzeugt die elektrische Energie im Auto
19. der erste Takt im Viertaktmotor

senkrecht

1. Raum, in dem die Verbrennung abläuft und der Kolben sich bewegt
3. Überbegriff für UT und OT
4. Verbindung von Kolben und Kurbelwelle
8. überträgt die Bewegungsenergie auf das Pleuel
9. überträgt die Kraft auf den Antriebsstrang
10. dritter Takt im Viertaktmotor
11. Dadurch gelangen die Gase in den und aus dem Zylinder.
12. „Zwischenspeicher“ für die Energie, die die Kurbelwelle überträgt
13. überträgt die Drehbewegung der Kurbelwelle auf die Nockenwelle

b) Benutze für das gesuchte Lösungswort die Buchstaben in den blau unterlegten Kästchen von oben nach unten. Es sorgt dafür, dass frische Gase in den Zylinder und die Abgase wieder heraus gelangen.

V	E	N	T	I	L	S	T	E	U	E	R	U	N	G
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

2. Wer wird Wissensmillionär? – Kreuze bei den folgenden Fragen die richtigen Antworten an. Die Lösungsbuchstaben verraten dir von oben nach unten ein wichtiges Bauteil in jedem Motor.

a) Ein Verbrennungsmotor funktioniert nach folgendem physikalischen Prinzip:

- ☐ A Reibungswärme
☐ V Murphys Gesetz
☒ P Ausdehnung von Gasen

b) Folgende Aussage ist falsch:

- ☐ E Die Nockenwelle steuert die Ventile.
☒ L Ein Viertaktmotor muss nicht geschmiert werden.
☐ R An jeder Kurbelwelle sitzt ein Schwungrad.

c) Wie oft dreht sich die Kurbelwelle eines Viertaktmotors während eines Arbeitstaktes?

- ☐ B einmal
☒ E zweimal
☐ N viermal

d) Ein Nocken hat eine besondere Form, und zwar ist er

- ☐ T konzentrisch
☒ U exzentrisch
☐ E asymmetrisch

e) Die Totpunkte sind

- ☒ E die oberen und unteren Punkte der Kolbenumkehr
☐ T die Stellen, an denen kein Verkehr stattfindet
☐ A erreicht, wenn das Schwungrad nicht läuft

f) Die vier Takte eines Motors heißen

- ☐ K ansaugen – verdichten – zünden und arbeiten – verbrennen
☐ A vergasen – verdichten – Kolben bewegen – ausstoßen
☒ L ansaugen – verdichten – zünden und arbeiten – ausstoßen

g) Ein Verbrennungsmotor benötigt zum Verbrennen ein

- ☒ S Kraftstoff-Luft-Gemisch
☐ T Kraftstoff-Öl-Gemisch
☐ R Kraftstoff-Gas-Gemisch

h) Wenn beim Ottomotor der Kraftstoff direkt in den Brennraum gespritzt wird,

- ☐ E geht der Motor kaputt
☒ L bezeichnet man dies als Direkteinspritzung
☐ O bezeichnet man dies als Selbstzündung

i) Das „Arbeitsdiagramm“ eines Verbrennungsmotors ist ein

- ☒ A Druck-Volumen-Diagramm
☐ R Druck-Temperatur-Diagramm
☐ T Luft-Temperatur-Diagramm

j) Der Dieselmotor ist ein sogenannter

- ☒ N Selbstzünder
☐ U Fremdzünder
☐ S Spätzünder

k) Ein Dieselmotor verfügt nicht über folgendes Teil:

- ☐ A Glühkerze
☒ G Zündverteiler
☐ N Ventilsteuerung

l) Als Liefergrad bezeichnet man

- ☐ G die Luftmenge innerhalb einer bestimmten Zeit
☐ N die Freundlichkeit des Pizzaboten
☒ E die Gasmenge, die während eines Arbeitsspiels in den Brennraum strömt

Dieser Gegenstand ist wichtiger Bestandteil eines jeden Motors:

P	L	E	U	E	L	S	T	A	N	G	E
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Lehrerinformationen

Kraftstoffe und deren Produktion

Erdöl entstand im Laufe von Millionen Jahren bei der Umwandlung organischer Stoffe und ist in der Erdkruste eingelagert.

Entdeckt wurde Erdöl schon vor 12000 Jahren im vorderen Orient, da es eine niedrigere Dichte als Wasser besitzt und dadurch in verschiedenen Gesteinsschichten an die Erdoberfläche steigt und dort zu Tage tritt. Zuerst wurde es zum Abdichten von Schiffsplanken (Bitumen), als Schmierstoff für Achsen und Räder und als Kriegswaffe (griechische Feuer) genutzt. Die systematische Erschließung des Rohstoffs erfolgte erst 1856 und 1858 mit ersten Bohrungen in Niedersachsen. Der daraus folgende Boom wurde bis in die heutige Zeit stetig gesteigert. Allein in den Jahren von 2000 bis 2009 wurden weltweit etwa 38,5 Billionen Liter gefördert. Erdöl gilt als Grundlage unserer Industriegesellschaft und ist neben seiner Eigenschaft als wichtigster Energieträger auch Ausgangsstoff für zahlreiche Produkte der chemischen Industrie, wie Düngemittel, Kunststoffe und Medikamente.

Das Sedimentgestein Kohle entstand im Laufe von Millionen Jahren durch Karbonisierung von Pflanzenresten. Bei ihrer Verbrennung wird Wärme freigesetzt, die z.B. zur Stromerzeugung genutzt werden kann. So ist derzeit die Kohleverbrennung weltweit eine der meistverbreiteten Techniken zur Erzeugung elektrischer Energie.

Umweltbewusstsein und Alternativen

Da Erdöl und Kohle jedoch zu den fossilen Energiequellen zählen, die endlich sind, erschöpfen sich die vorhandenen Ressourcen allmählich. Daher wird es immer schwerer und/oder teurer, neue Ölfelder und Kohleflöze zu erschließen. Außerdem wird bei der Kohleverbrennung deutlich mehr CO₂ freigesetzt als bei der Verbrennung von Erdöl. Dies bedeutet, dass dringend Alternativen zu diesen Rohstoffen gefunden werden müssen.

Durch das wachsende Umweltbewusstsein gerieten Benzinverbrauch und Schadstoffausstoß der Automobile in die Diskussion. Bereits in den 1960er Jahren begann man, alternative Antriebsenergien für Fahrzeuge zu entwickeln. Die Ingenieure versuchen, Benzin durch Erdgas, Strom, Alkohol oder Wasserstoff zu ersetzen. Es bedarf technischer Entwicklungen, um den Verbrauch zu senken und die Emissionen zu reduzieren. Daher sollte man bereits in der frühen technischen Bildung damit beginnen, Alternativen aufzuzeigen.

Alternative Kraftstoffe unterscheidet man durch die Art ihrer Gewinnung: Kraftstoffe aus fossilen Energieträgern und Kraftstoffe aus biogenen Energieträgern. Die wichtigsten alternativen Kraftstoffe in Deutschland sind Erdgas, Biogas, Ethanol aus Zuckerrüben oder Weizen, Biodiesel aus veresterten Pflanzenölen, reine Pflanzenöle aus Raps, Sonnenblumen oder Leindotter, Wasserstoff und BtL-Kraftstoff (Biomass to Liquid) aus Biomasse, z.B. Holz oder Stroh.

Die Energiedichte

Die Energiedichte von Brennstoffen nennt man Heizwert, die von Batterien Kapazität pro Volumen / pro Masse. Generell ist eine hohe Energiedichte gewünscht. Dadurch können hohe Reichweiten von Fahrzeugen erzielt und Transportkosten für den Energieträger gering gehalten werden. Die Energiedichte von Benzin liegt bei etwa 11500 Wh pro kg, die von Diesel bei 11800 Wh pro kg. Moderne Li-Ionen-Akkus haben 130 Wh pro kg, Blei-Säure-Akkus (gewöhnliche Autobatterie) 35 Wh pro kg, Ni-MH-Akkus 90 Wh pro kg Energiedichte. Im Vergleich von flüssigen und elektrischen Energiespeichern wird klar, dass die Energiedichte flüssiger Kraftstoffe um ein Vielfaches höher ist als diejenige von Akkus. Für das Jahr 2020 wird damit gerechnet, Energiedichten von 200 Wh pro kg für die Li-Ionen-Akkus der Elektroautos zu erreichen. Die folgende Tabelle stellt die Kraftstoffe unter „Tankbedingungen“ vor, d.h., dass einzelne Kraftstoffe sehr stark gekühlt (Wasserstoff) oder komprimiert (Erdgas) sind.

Kraftstoff	Aggregatzustand	Dichte (kg/m ³)	Heizwert (kWh/kg)
Wasserstoff	flüssig	71	33,3
Erdgas	gasförmig	147	13,6
Flüssiggas	flüssig	540	12,9
Benzin	flüssig	740	11,5
Methanol	flüssig	787	5,5
Ethanol	flüssig	789	7,4
Diesel	flüssig	833	11,8
Pflanzenöl	flüssig	920	10,2

CO₂-Bilanz

Eine CO₂-Bilanz ist ein Maß für den Gesamtbetrag von Kohlenstoffdioxid-Emissionen, die durch ein Produkt entstehen oder verursacht werden. In diesem Zusammenhang spricht man auch über den sogenannten CO₂-Fußabdruck. Hinter-

grund von CO₂-Erfassungen sind Klimaschutzaktivitäten aufgrund der globalen Erderwärmung. Die Automobilindustrie steht dabei besonders in der Verantwortung, da derzeit weltweit jährlich etwa eine Milliarde Pkw rund vier Milliarden Tonnen CO₂ ausstoßen. Es gibt Untersuchungen, die eine weltweite Steigerung der Pkw-Zahl bis 2030 auf 2,3 Milliarden Autos prognostizieren. Dadurch könnten sich Kraftstoffverbrauch und CO₂-Emissionen nochmals verdoppeln.

Schadstoffe und Filtersysteme

Die durch den Individual- und Massenverkehr freigesetzten **Schadstoffe** werden unterschieden in Abgase, Rußpartikel, Feinstaub (durch den Abrieb der Reifen, der Fahrbahn und der Bremsbeläge) sowie Reste von Schmierstoffen, die freigesetzt werden. Bei der Verbrennung von Kraftstoffen entstehen Stickstoffoxide. Diese verursachen Atemwegserkrankungen, sind für hohe Ozonwerte und für die Versauerung von Böden und Gewässern verantwortlich. Feinstaubpartikel und Dieseldieselrußpartikel von weniger als 10 Mikrometer gelten ebenfalls als sehr gefährlich, weil sie bis in die Lunge des Menschen gelangen und Atemwegserkrankungen hervorrufen können. Die durch Abrieb entstehenden Feinstäube lassen sich durch technische Maßnahmen nur bedingt verringern. Hingegen kann die Schadstoffkonzentration in den Abgasen durch unterschiedliche technische Verfahren effektiv verringert werden.

Katalysatoren reduzieren die Schadstoffe im Abgas stark. Zentrales Bauteil ist ein temperaturstabiler Wabenkörper aus Keramik mit einer Vielzahl dünnwandiger, ebenfalls wabenförmiger Kanäle. Diese sind meist mit katalytisch aktiven Edelmetallen, z.B. mit Platin, Rhodium oder Palladium, beschichtet.

Als Erfinder des Autoabgaskatalysators gilt der französische Ingenieur Jules Houdry. Aufgrund der hohen Schadstoffbelastung in amerikanischen Großstädten machte sich Houdry Gedanken über den Einfluss von Autoabgasen auf die Luftverschmutzung. 1956 entwickelte er einen patentierten Autoabgaskatalysator und gründete die „Oxy Catalyst Company“, ein Unternehmen, das Abgaskatalysatoren für Benzinmotoren entwickeln sollte. Seine Idee war ihrer Zeit weit voraus. Die ersten Autoabgaskatalysatoren wurden von dem damals im Kraftstoff enthaltenen Blei zerstört.

Der klassische Katalysator ist der edelmetallhaltige 3-Wege-Katalysator für die Abgasreinigung des stöchiometrisch betriebenen Ottomotors, er beseitigt Stickstoffoxide, Kohlenstoffmonoxid und Kohlenwasserstoffe gleichermaßen. Seit der 1990er Jahre haben Dieselmotoren einen (ebenfalls edelmetallbeladenen) Oxidationskatalysator, der dem 3-Wege-Katalysator des Ottomotors sehr ähnlich ist. Allerdings unterscheidet

er sich bezüglich der Funktionalität von diesem insofern, als er unter oxidierenden Umgebungsbedingungen (mageres Abgas, d.h. Abgas mit Sauerstoffüberschuss) keine Stickstoffoxide zu reduzieren vermag. Zu deren Reduktion unter „mageren Bedingungen“ müssen aufwendigere Wege beschritten werden.

Ein **Dieseldieselrußpartikelfilter** reduziert die Partikel im Abgas von Dieselmotoren. In der Automobilindustrie werden zwei Funktionsprinzipien unterschieden. In sogenannten Wandstromfiltern muss das Abgas eine poröse Wand durchdringen. Durch diesen Prozess wird es gefiltert. In Durchflussfiltern fließt das Abgas im Filter an einer großflächigen Oberfläche entlang und wird dadurch gefiltert.

Um den Ausstoß von schädlichen Abgasen und Rußpartikeln zu begrenzen, gibt es die **Euro-Schadstoffnormen**. In ihnen wird festgelegt, wie viele Schadstoffe maximal freigesetzt werden dürfen. Dabei wird zwischen Benzin- und Dieselmotor unterschieden und die Grenzwerte werden kontinuierlich verschärft.

Seit September 2009 gilt die Schadstoffnorm Euro 5 mit unterschiedlichen Grenzwerten für Benzin- und Dieselmotoren. Die Schadstoffnorm Euro 6 wird ab September 2014 gelten und noch einmal Verschärfungen mit sich bringen.

Umweltzonen

Um die Luftqualität in den Städten zu verbessern, hat die EU besondere Schadstoffgrenzen erlassen. Seit dem 1. Januar 2005 gilt EU-weit ein Grenzwert für Feinstaub und seit dem 1. Januar 2010 ein zusätzlicher Wert für Stickstoffdioxid (NO₂). Gemäß der EU-Richtlinie müssen Städte geeignete Maßnahmen umsetzen, um die Luftqualität zu verbessern. So werden immer mehr Umweltzonen eingerichtet, in denen Autos und Lastwagen mit hohem Schadstoffausstoß bzw. mit unzureichenden Filtersystemen nicht mehr fahren dürfen. Zur Umsetzung wurde ein Verkehrszeichen eingeführt, das die örtlichen Behörden zur Anordnung von Verkehrsbeschränkungen aufstellen können. Gekennzeichnet werden Pkw, Nutzfahrzeuge und Busse von Euro 2 bis Euro 4 (Pkw) und Euro II bis Euro V (Lkw, Busse) nach den von den Fahrzeugen eingehaltenen europäischen Grenzwertstufen. Die runden Schadstoffplaketten in den Fahrzeugen sind je nach Schadstoffklasse unterschiedlich farbig (rot, gelb, grün). Sie enthalten die Nummer der Schadstoffklasse (rot = 2, gelb = 3, grün = 4) sowie ein Schriftfeld, in dem das Kfz-Kennzeichen eingetragen wird. Die Zuordnung der Kraftfahrzeuge zu den Schadstoffklassen erfolgt nach der in den Fahrzeugpapieren eingetragenen Emissionsschlüsselnummer.

C1 Wo kommt die Energie zum Fahren her?

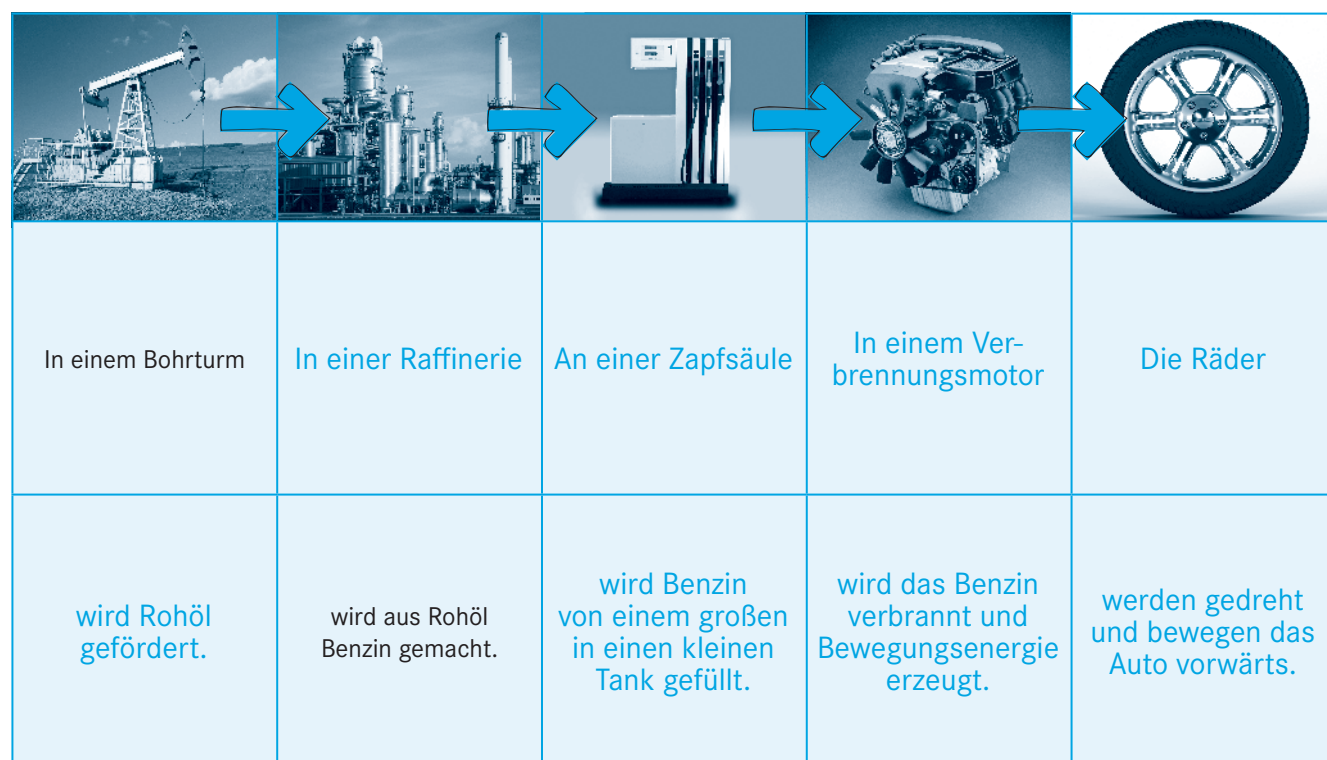
1. Die zum Autofahren benötigte Energie kann in verschiedenen Formen vorliegen.

Zähle die Energiearten auf, die in Fahrzeugen verwendet werden.

Normalbenzin, Superbenzin, E10, Diesel, Rapsdiesel, Autogas, elektrischer Strom, Ethanol, Erdgas

2. Um ein Auto mit Verbrennungsmotor zu bewegen, benötigt man Kraftstoff. Doch wo kommt dieser her?

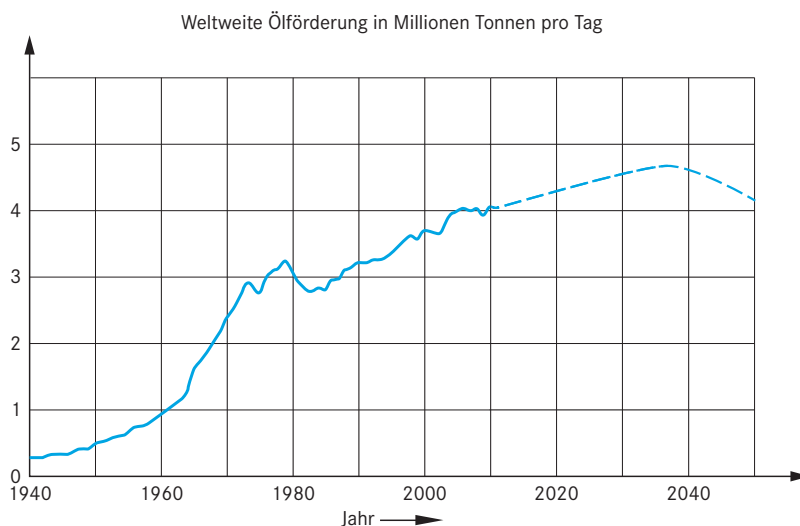
Ergänze die fehlenden Felder der Energiekette von Benzin.



3. Folgende Grafik zeigt die Förderquote von Erdöl.

a) Schreibe eine Erklärung für den Verlauf der Kurve.

Erdöl ist eine fossile Energiequelle, die endlich ist. Die Ressourcen erschöpfen sich irgendwann, die Fachleute streiten sich aber über den Zeitpunkt des „peak oil“. Es wird immer schwerer und teurer, neue Ölfelder zu erschließen.



b) Ziehe Rückschlüsse, warum deshalb Alternativantriebe immer wichtiger werden.

Die Versorgung mit Erdöl ist dauerhaft nicht gewährleistet. Es ist eine Frage der Zeit, wann der Bedarf nicht mehr gedeckt werden kann. Durch Alternativantriebe sinkt die Abhängigkeit vom Erdöl.

4. Um ein Auto mit Elektromotor zu bewegen, benötigt man Strom. Aber wo wird dieser hergestellt? Ergänze die fehlenden Felder.



5. Elektrischer Strom gilt als „saubere“ Energie.

a) Wenn man von Elektroautos spricht, geht man davon aus, dass bei der Nutzung keine Schadstoffe erzeugt werden. Wo liegt der Irrtum? Beschreibe.

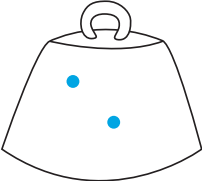
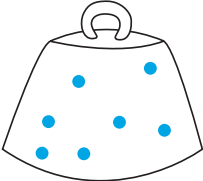
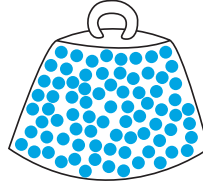
Hauptsächlich wird der elektrische Strom immer noch aus nicht erneuerbaren Energiequellen hergestellt. Solange Strom aus Kraftwerken kommt, die – auch mit modernsten Abgasreinigungsanlagen – CO₂ erzeugen, wird die Umwelt nicht wirklich geschützt.

b) Was müsste man tun, um „sauberen“ Strom nutzen zu können?

Man müsste Strom aus erneuerbaren Energiequellen gewinnen, also aus Sonne, Wind und Wasserkraft.

C2 Klassische Kraftstoffe

1. Immer wenn Energie gespeichert wird, soll das mit möglichst wenig Platz und möglichst geringem Gewicht geschehen. Zum Vergleich gibt man bei jedem Kraftstoff und jeder Batterie an, wie viel Energie in einem Kilo gespeichert ist. Hier sind verschiedene Energieeinheiten pro kg dargestellt.

normale Autobatterie	moderne Lithium-Batterie	Benzin	Dieseldieselkraftstoff	Erdgas
				
35 Einheiten pro kg	130 Einheiten pro kg	11 500 Einheiten pro kg	11 800 Einheiten pro kg	13 600 Einheiten pro kg

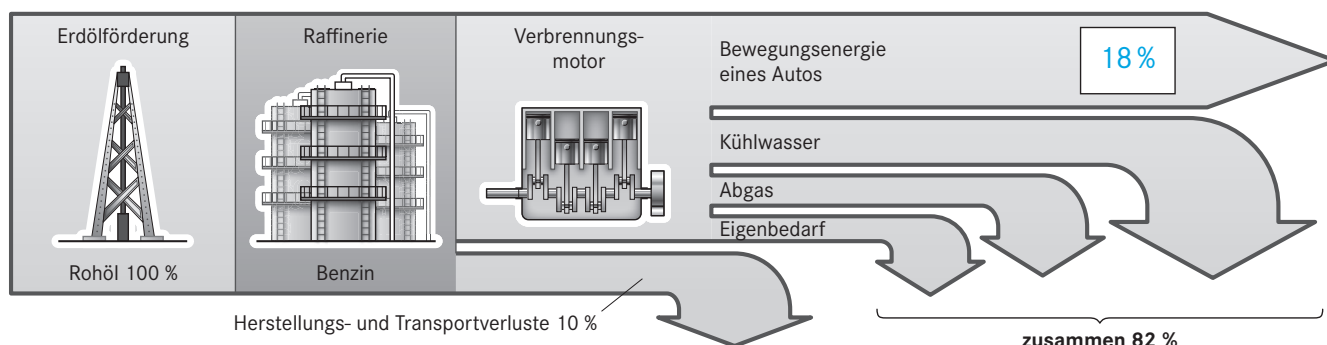
Welche Konsequenzen hat die unterschiedliche Energiedichte für Kraftfahrzeuge?

Benzin und Diesel haben sehr viel Energie pro kg Gewicht gespeichert. Autos können deshalb mit einem relativ geringen Tankgewicht weit fahren. – Batterien sind sehr schwer und können pro kg Gewicht nur wenig Energie speichern. Deswegen könnte ein Auto mit Batterieantrieb nicht weit fahren. – Erdgas hat zwar einen hohen Energiegehalt, in der Praxis ist aber die in den Druckflaschen mitgeführte Gasmasse kleiner als die Kraftstoffmasse bei Benzin- oder Dieselfahrzeugen, sodass die Reichweite geringer ist.

Info

Kraftstoffe für Verbrennungsmotoren sind ein Gemisch aus Kohlenwasserstoffverbindungen, die überwiegend aus Erdöl gewonnen werden (Benzin, Diesel). Sie unterscheiden sich durch den Aufbau (kettenförmig oder ringförmig) und die Größe ihrer Moleküle. Daraus resultieren die unterschiedlichen Eigenschaften der verschiedenen Kraftstoffe. Während der Umwandlung von chemischer Energie (z.B. Benzin, Diesel und Erdgas) in Bewegungsenergie entstehen „Verluste“. Energie geht bei der Umformung jedoch nie „verloren“, sondern sie wird lediglich in andere, teils nicht nutzbare (meist Wärmeenergie), Formen überführt.

2. Das Energieflussdiagramm zeigt den Weg der Umwandlung von chemischer Energie zur mechanischen Energie. Rechne aus, wie groß der Anteil an Bewegungsenergie (in Prozent) für ein Automobil ist und trage die Zahl ein.



3. Der sogenannte Wirkungsgrad bezeichnet das Verhältnis von nutzbarer Energie zu eingesetzter Energie. Die Differenzen werden als „Verluste“ bezeichnet. Der Wirkungsgrad verdeutlicht die Wirksamkeit von Energieumwandlungen. Ergänze die Rechnung, die sich auf das Diagramm in Aufgabe 2 bezieht.

Der Wirkungsgrad η (griechisch eta) wird mit folgender Formel berechnet:	$\eta = \frac{\text{genutzte Energie}}{\text{eingesetzte Energie}} \cdot 100 \text{ (in \%)}$	
Der Gesamtwirkungsgrad wird in zwei Schritten berechnet:	$\eta_1 = \frac{90 \cdot 100}{100} \% = 90 \%$	$\eta_2 = \frac{18 \cdot 100}{100} \% = 18 \%$
Der Gesamtwirkungsgrad beträgt somit	$\eta_{\text{ges}} = \eta_1 \cdot \eta_2 = \frac{90}{100} \cdot \frac{18}{100} = \frac{1620 \cdot 100}{10000} \% = 16,2 \%$	

4. a) Was versteht man unter Primärenergie? Welche Unterkategorien von Primärenergien kennst du?

Nenne jeweils ein Beispiel.

Primärenergie ist die Energie, die durch natürliche Energiequellen zur Verfügung steht. Es gibt fossile Primärenergie (Erdöl, Erdgas), regenerative Primärenergie (nachwachsende Rohstoffe, Windkraft) und nukleare Primärenergie (Kernenergie, Radioaktivität).

b) Was versteht man unter Nutzenergie?

Das ist die Energieform, die nach der Umwandlung der Primärenergie vom Endverbraucher tatsächlich genutzt werden kann.

Löse die Aufgaben 5 und 6 in Partnerarbeit oder einer Kleingruppe.

5. Brainstorming: Was fällt euch alles zu Kohlenstoffdioxid (CO₂) ein?

Pflanzen benötigen es für die Fotosynthese	entsteht beim Atmen	Nationen haben sich verpflichtet, die Emissionen zu senken.
Hauptverursacher des Treibhauseffektes	Kohlenstoffdioxid – CO ₂	„Kohlensäure“ in Sprudel
Abgas bei der Verbrennung organischer Substanzen	...	eigentlich ungiftig, aber „Treibhaus“-Gas

6. Überlegt, warum nach Alternativen für Kraftstoffe aus Erdöl gesucht wird.

- Erdöl ist knapp (begrenzte Vorräte)
- Die CO₂-Emissionen müssen verringert werden.

C3 Alternative Kraftstoffe und Antriebe

1. Energie- und Verkehrsprognosen gehen davon aus, dass Automobile auch zukünftig eine wichtige Rolle für die Mobilität spielen werden. Alternative Kraftstoffe werden also zunehmend an Bedeutung gewinnen.

a) Ordne den folgenden Steckbriefen die richtige Kraftstoffart zu.

Dieser Kraftstoff wird aus der Rapspflanze gewonnen. Damit er in serienmäßigen Motoren eingesetzt werden kann, muss er auf chemischem Wege verändert werden. Die Leistungsausbeute des Motors ist dann etwa 10% geringer. Unvermischt wird dieser Kraftstoff in der Regel nicht eingesetzt. Der Kraftstoff ist nicht CO₂-neutral, er gilt jedoch als nachhaltig, da das bei der Verbrennung entstehende Kohlenstoffdioxid wieder von der Rapspflanze aufgenommen wird.

NAME: Biodiesel

Dieser Kraftstoff fällt nicht unter das Mineralölsteuergesetz, daher sind die Kosten nur halb so hoch wie für Benzin. Vor allem der Preis spricht für den Kauf dieses Kraftstoffs, denn CO₂-neutral ist er nicht. Allerdings fallen ca. 20% weniger CO₂-Emissionen an als bei einem Benzinmotor. Damit der Kraftstoff verwendet werden kann, sind Änderungen im Vergaser und der Einbau eines eigenen Tanks notwendig. Eine Tankfüllung reicht etwa für 400 km. Eine Kopplung mit Dieselmotoren ist nicht möglich.

NAME: Erdgas

Dieser Kraftstoff hat einen fast dreimal höheren Heizwert als Benzin. Beim Vermischen mit dem Luftsauerstoff entsteht ein explosives Gemisch. In einem Fahrzeug kann der Kraftstoff als Medium für Brennstoffzellen oder als direkter Antrieb im Motor genutzt werden. Da ein entsprechender Tank gut isoliert sein muss, ist er recht groß. Der Kraftstoff wird im flüssigen Zustand oder unter sehr hohem Druck transportiert und reicht für ca. 200 km. Seine Verbrennung ist CO₂-neutral, aber das Herstellungsverfahren ist sehr aufwendig.

NAME: Wasserstoff

Dieser Kraftstoff wird oft mit Benzin gemischt. Für die Herstellung wird der in Pflanzen enthaltene Zucker vergoren. Die Gewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen macht den Kraftstoff zwar CO₂-neutral, aber für den Anbau werden oft Waldflächen gerodet. Zudem wird kritisiert, dass aus Pflanzen Kraftstoff statt Nahrung produziert wird. Die Energiedichte ist geringer als die von Benzin. Damit Autos mit dem Kraftstoff fahren können, wird meist ein teurer Umbau nötig. Eine 5-10%ige Mischung vertragen aber fast alle Autos ohne Umrüstung.

NAME: Ethanol

b) In der folgenden Tabelle sollen verschiedene Kraftstoffe verglichen werden. Informiere dich bei Bedarf im Internet und verwende folgende Bewertungseinteilung:

0 gleich, + etwas besser, ++ viel besser, - etwas schlechter, -- viel schlechter

	Benzin	Diesel	Biodiesel	Erdgas	Wasserstoff	Ethanol
Verfügbarkeit/Tankstellen	0	0	-	-	--	-
globale Ressourcen	0	0	-	+	--	-
Wirtschaftlichkeit	0	+	+	++	--	0
CO ₂ -Emission	0	+	++	+	++	++
Stickstoffoxid-Emission	0	-	-	0	0	0
Partikel	0	-	-	++	++	+
Reichweite	0	+	+	-	--	0

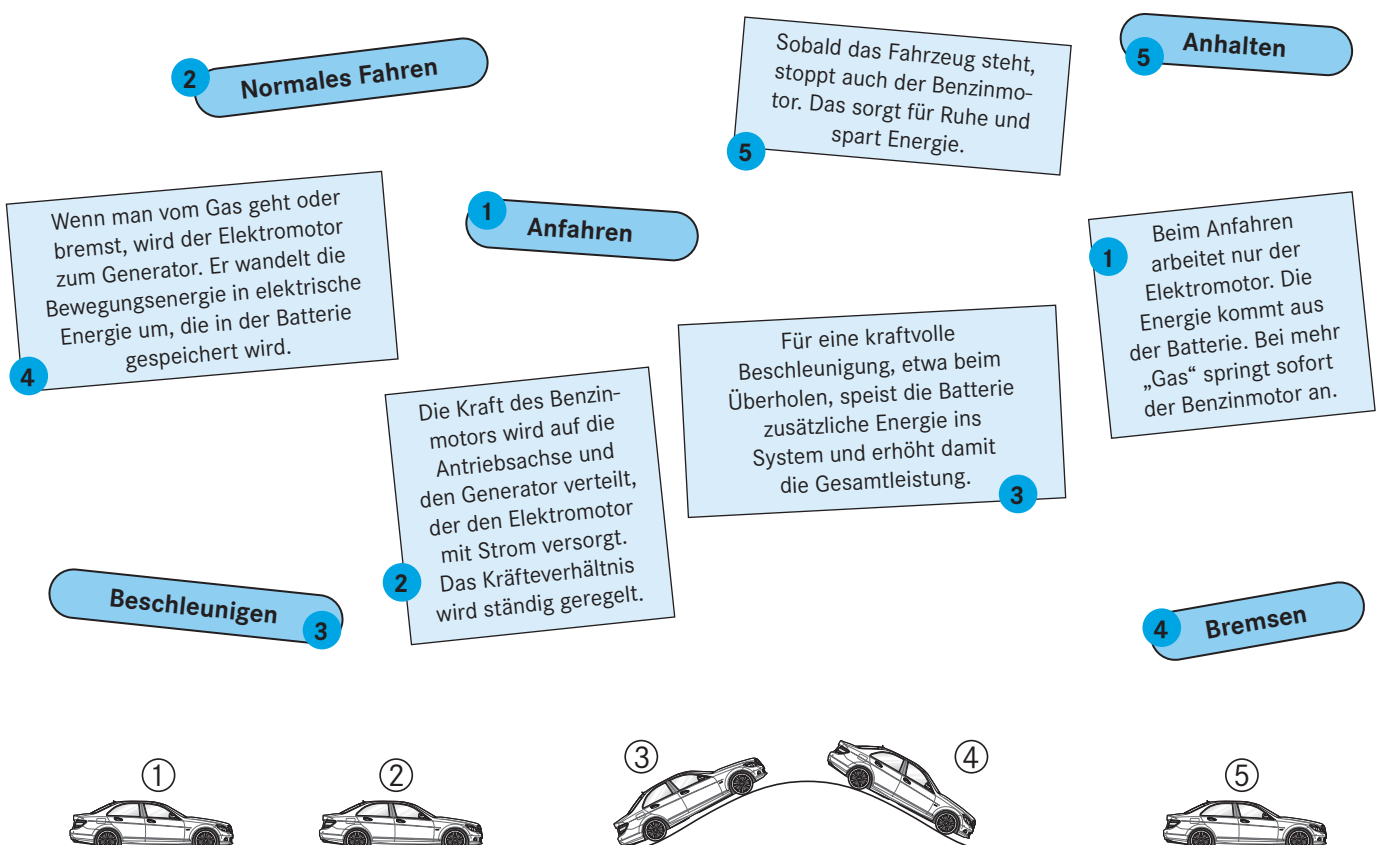
Steigende Kraftstoffpreise und wachsendes Umweltbewusstsein führen dazu, dass zunehmend energiesparende Hybridfahrzeuge, Brennstoffzellenautos und Elektrofahrzeuge entwickelt werden.

2. Fülle die Lücken mit untenstehenden Begriffen aus.

Antriebe, Antriebskraft, Batterie, Drehzahl, Bewegungsenergie, elektrische Energie, Elektromotor, Getriebe, mehr, Wirkungsgrad

Bei Hybridfahrzeugen werden zwei unterschiedliche Antriebe kombiniert: Verbrennungs- und Elektromotor. Vorteil dieser Kombination ist die Fähigkeit, beim Bremsen Bewegungsenergie in elektrische Energie umzuwandeln, diese in einer Batterie zu speichern und beim nächsten Anfahren wieder zu nutzen. Je mehr man im Stop-and-go-Verkehr unterwegs ist, umso mehr elektrische Energie wird gespeichert. Das Fahrzeug kann also die Antriebskraft aus zwei Quellen beziehen. Typischerweise wirken beide Antriebe auf ein gemeinsames Getriebe. Der Verbrennungsmotor läuft dadurch mit günstiger Drehzahl, besserem Wirkungsgrad und unter Umständen geringeren Abgasen.

3. Ordne die verschiedenen Fahrzustände und die Energieflüsse beim Fahren eines Hybridfahrzeugs der Grafik zu.



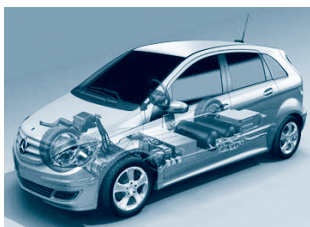
C4 Gasmotoren

Seit einigen Jahren gewinnt gasförmiger Kraftstoff für Fahrzeuge zunehmend an Bedeutung. Dabei unterscheidet man zwischen Autogas oder Flüssiggas (LPG, engl. Liquefied Petroleum Gas) und Erdgas (CNG, engl. Compressed Natural Gas). Beide Gase haben unterschiedliche Eigenschaften und damit Vor- und Nachteile.

1. Der Einsatz von Gas in Kraftfahrzeugen.

Erstelle eine Bilanz, in der Autogas und Erdgas verglichen werden. Verwende dafür folgende Angaben.

- LPG ist ein Propan-Butan-Gemisch, CNG besteht zu etwa 85 – 98% aus Methan.
- Die Oktanzahl von LPG liegt zwischen 105 – 115, die Oktanzahl von CNG beträgt 120 – 140.
- CNG wird gasförmig bei ca. 200 bar Druck gespeichert, LPG flüssig bei ca. 10 bar Druck.
- LPG hat ca. 540 g Kraftstoff je Liter Tankvolumen, CNG ca. 147 g.
- Eine Zylinderfüllung aus Autogas besteht aus etwa 4% Kraftstoff, bei Erdgas aus etwa 12%.
- CNG hat bis zu 15% Leistungsverlust gegenüber Benzin, LPG bis 10%.
- LPG reduziert den CO₂-Ausstoß gegenüber Benzinverbrennung um etwa 10%, CNG um etwa 20%.
- CNG wird in Zylindertanks im Kofferraum, Unterflur oder auf dem Dach untergebracht, LPG wird in Zylindertanks unter dem Fahrzeug mit über 200 L oder in Radmuldentanks von 60 – 84 L gespeichert.
- Der Prüfdruck von LPG Tankanlagen (TÜV) liegt bei 40 bar, von CNG Anlagen bei 300 bar.
- Da LPG-Tanks keine Hochdruckbehälter sind, lassen sich vielfältige Tankformen realisieren, CNG-Tanks werden wegen des hohen Drucks nicht in Sonderformen angeboten.
- CNG wird seit Beginn 2013 in Deutschland an 882 Tankstellen angeboten, LPG an 6216.
- LPG wird wie andere flüssige Kraftstoffe auf der Straße zur Tankstelle transportiert und belastet so den Verkehr, CNG wird über Rohrleitungen der örtlichen Gasversorgungsunternehmen geliefert.



Technologie

Eine Nachrüstung auf LPG ist durch geringeren technischen Aufwand ca. 30% billiger als auf CNG. CNG erfordert aufgrund des höheren Drucks dicker wandige und schwerere Tanks.



Infrastruktur

Die erzielbaren Reichweiten von LPG sind höher als bei CNG. LPG ist an Tankstellen außerdem wesentlich weiter verbreitet.



Kosten

Beim Vergleich der Kraftstoffkosten von Benzin und Gas kann von 60 bis 70% der Kosten ausgegangen werden. LPG ist als Kraftstoff circa 30% teurer als CNG.



Umwelt

CNG reduziert den CO₂-Ausstoß gegenüber LPG um 10% und gegenüber der Benzinverbrennung um etwa 20%.

2. Informiere dich im Internet oder bei einem örtlichen Autohaus über die Umrüstung von Otto- und Dieselmotoren auf Gasbetrieb. Beantworte folgende Fragen.

a) Beschreibe, welches Gassystem bei einer Umrüstung bzw. beim Neukauf sinnvoller ist.

Ist ein Fahrzeug ab Werk mit Unterflurtanks ausgestattet, sind Reichweiten von über 400 km möglich. Zusammen mit den günstigeren Betriebskosten spricht dann viel für CNG, auch unter dem Gesichtspunkt, dass ab Werk wesentlich mehr CNG-Fahrzeuge als LPG-Fahrzeuge angeboten werden. Bei Nachrüstung sieht das anders aus: Soll ein Benzinmotor auf Gas umgerüstet werden, ist aus Kosten- und Platzgründen LPG günstiger.

b) Welche Motortypen lassen sich umrüsten?

Prinzipiell kommen nur Ottomotoren in Betracht. Von der Umrüstung eines modernen Ottomotors mit Direkteinspritzung muss abgeraten werden. Der Benzin-Injektor im Zylinder kann nicht für CNG verwendet werden und auch für die LPG-Direkteinspritzung ist er nicht ausgelegt. Für ältere Ottomotoren mit äußerer Gemischbildung ist eine Nachrüstung prinzipiell denkbar, allerdings ist hier zu beachten, dass es bei den Ventilsitzen bei Gasbetrieb zu erhöhtem Verschleiß kommt.

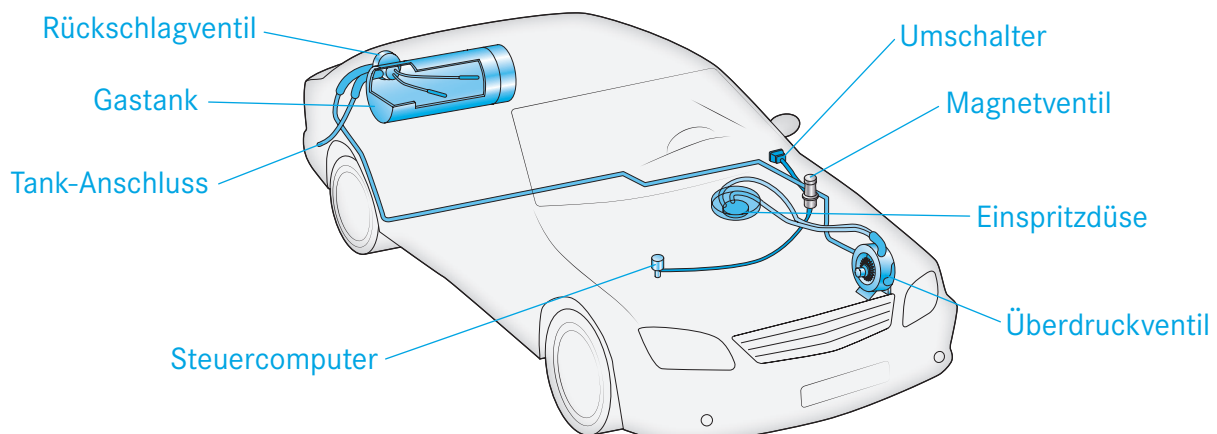
c) Was kostet eine Umrüstung?

Je nach Anzahl der Zylinder, der Leistung des Motors und der zu erreichenden Abgasnorm, liegen die Kosten zwischen 1 100 bis 3 500 €. Neuanschaffung und Umrüstung werden häufig von regionalen Gasversorgungsunternehmen mit ca. 500 € gefördert.

3. Fahrzeuge mit Autogas können in der Regel mit Gas oder Benzin betrieben werden. Je nach Bedarf kann automatisch oder per Schalter auf Gasbetrieb umgestellt werden.

Beschrifte folgende Abbildung mit den vorgegebenen Begriffen:

Gastank, Rückschlagventil (im Falle eines Tankrohrabrisses), Magnetventil (das bei Stromverlust schließt), Steuercomputer (zum Schließen des Magnetventils), Überdruckventil, Einspritzdüse (vor der Drosselklappe), Umschalter (zwischen Gas- und Benzinbetrieb), Tank-Anschluss



C5 CO₂-Bilanz

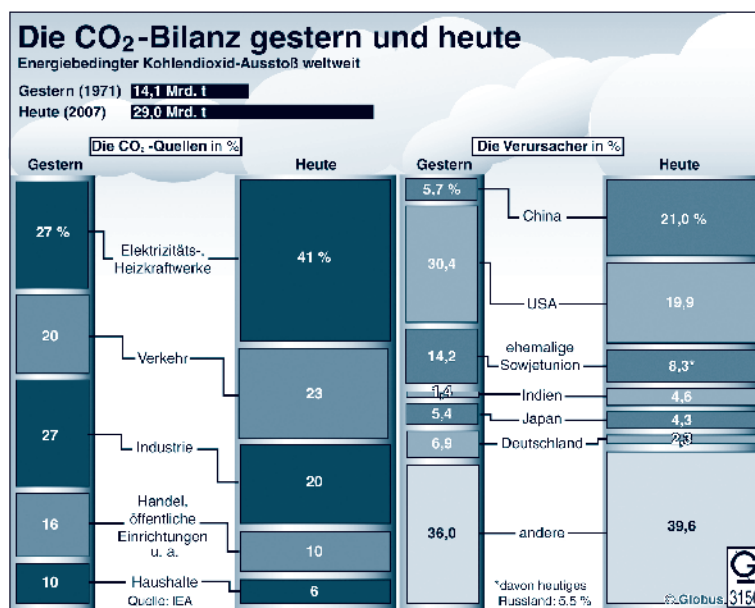
Info

Kraftstoffe aus Erdöl bestehen aus einem begrenzten Rohstoff (fossile Rohstoffe), sie haben einen schlechten Wirkungsgrad und sie werden verantwortlich gemacht für den „Treibhauseffekt“. Deswegen sucht man nach Alternativen.

1. Sieh dir das nebenstehende Diagramm an und beantworte folgende Fragen und Aufgaben.

a) Berechne den CO₂-Ausstoß in t durch den Verkehr weltweit in den Jahren 1971 und 2007.

1971:	100% $\hat{=}$ 14,1 Mrd. t
	20% $\hat{=}$ 2,82 Mrd. t
2007:	100% $\hat{=}$ 29 Mrd. t
	23% $\hat{=}$ 6,67 Mrd. t
Der weltweite CO ₂ -Ausstoß durch den Verkehr betrug im Jahr 1971 2,82 Mrd. t und im Jahr 2007 6,67 Mrd. t.	



b) Berechne den gesamten CO₂-Ausstoß in China und Indien sowie in den USA und in Deutschland. Stelle die Ergebnisse in Mrd. t für die Jahre 1971 und 2007 tabellarisch gegenüber.

China 1971:	5,7% von 14,1 Mrd. t = 0,8 Mrd. t	USA 1971:	30,4% von 14,1 Mrd. t = 4,29 Mrd. t
China 2007:	21% von 29 Mrd. t = 6,09 Mrd. t	USA 2007:	19,9% von 29 Mrd. t = 5,77 Mrd. t
Indien 1971:	1,4% von 14,1 Mrd. t = 0,2 Mrd. t	Deutschl. 1971:	6,9% von 14,1 Mrd. t = 0,97 Mrd. t
Indien 2007:	4,6% von 29 Mrd. t = 1,33 Mrd. t	Deutschl. 2007:	2,3% von 29 Mrd. t = 0,67 Mrd. t

Jahr	China	Indien	USA	Deutschland
1971	0,8 Mrd. t	0,2 Mrd. t	4,29 Mrd. t	0,97 Mrd. t
2007	6,09 Mrd. t	1,33 Mrd. t	5,77 Mrd. t	0,67 Mrd. t

c) Kennzeichne in der Tabelle mit einem schwarzen (mehr Ausstoß) oder einem blauen (weniger Ausstoß) Pfeil die jeweiligen Staaten.

d) Welche Gründe könnten für das starke Ansteigen des CO₂-Ausstoßes in China und Indien vorliegen?

Die industrielle Produktion und die Mobilität haben sich in diesen Ländern mit sehr hoher Einwohnerzahl stark ausgeweitet.



e) Überlege, warum laut Schaubild in den USA, in Japan und in Deutschland der prozentuale Anteil des CO₂-Ausstoßes zurückgegangen sein könnte.

In diesen hochentwickelten Industrieländern mit starker Automobilindustrie werden umweltfreundlichere Technologien entwickelt und eingesetzt. Fahrzeuge mit sparsameren und umweltfreundlicheren Motoren führen dazu, dass trotz zunehmender Mobilität der CO₂-Ausstoß anteilig gesunken ist.

f) Was fällt dir in der Tabelle zu Aufgabe b) auf?

Betrachte die von dir eingezeichneten Pfeile und schreibe eine Erklärung auf.

Deutschland ist das einzige vorgestellte Land, in dem der CO₂-Ausstoß nicht nur prozentual, sondern auch absolut zurückgegangen ist. Dies könnte auf den verstärkten Einsatz anderer Energieformen (regenerative oder nukleare) zurückzuführen sein sowie auf Energiesparmaßnahmen (z.B. im Häuserbau) und den Einsatz sparsamer und effizienter Kfz-Motoren.

2. Berechne anhand der folgenden Angaben, wie viel Energie in kWh ein Deutscher durchschnittlich im Verkehr pro Jahr verbraucht (nimm an, dass CO₂-Ausstoß und Energieverbrauch proportional sind).

10,88 t CO₂ produziert jeder Deutsche durchschnittlich im Jahr; davon entfallen 2,52 t auf den Verkehr.

Der Primärenergieverbrauch pro Person beträgt hierzulande 48 000 kWh/a.

$$10,88 \text{ t} = 100\%$$

$$2,52 \text{ t} = 23,16\%$$

$$23,16\% \text{ von } 48\,000 \text{ kWh/a} = 11\,117 \text{ kWh/a}$$

3. Wie könnten du und deine Familie in Zukunft dazu beitragen, weniger CO₂ im Straßenverkehr zu produzieren?

Kurze Strecken zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurücklegen, den öffentlichen Nahverkehr nutzen, Fahrzeuge mit geringem Kraftstoffverbrauch oder CO₂-neutralen Antrieben bevorzugen.

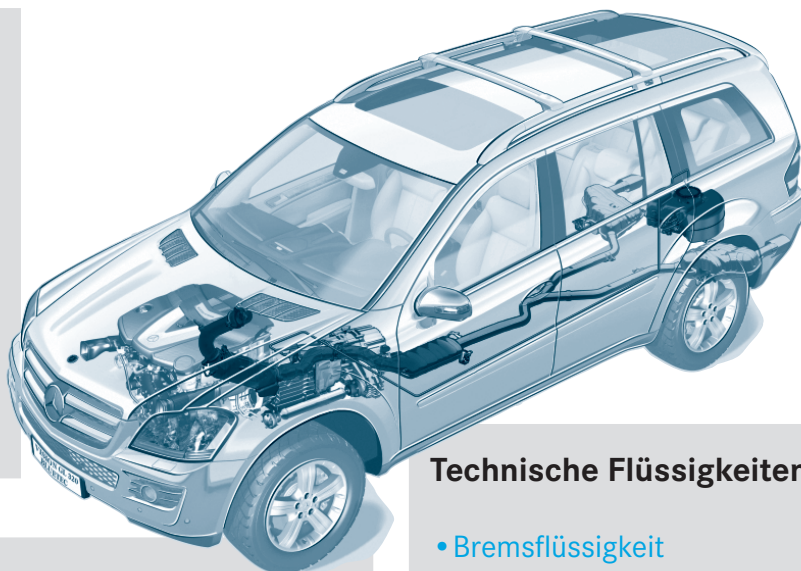
C6 Schadstoffe und Filtersysteme

Bei der Verbrennung von Kraftstoff in einem Motor entstehen schädliche Stoffe. Die durch den Verkehr freigesetzten Schadstoffe werden durch viele Faktoren verursacht.

1. Ergänze das Schaubild um die umweltschädlichen Stoffe, die bei einem Fahrzeug mit Verbrennungsmotor entstehen oder freigesetzt werden können.

Abgase

- Stickstoffoxide
- Kohlenstoffdioxid
- Schwefeloxide
- Kohlenstoffmonoxid
- Kohlenwasserstoffe



Schmierstoffe

- Getriebeöl
- Schmieröl
- Silikonfett

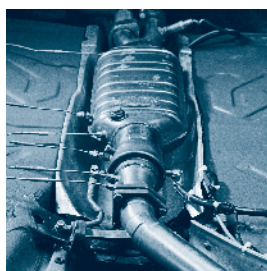
Stäube

- Bremsstaub
- Reifengummi
- Feinstaub bei der Diesel-Kraftstoffverbrennung
- Flugasche

Technische Flüssigkeiten

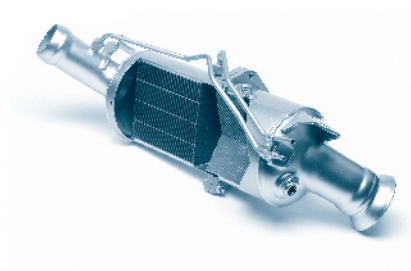
- Bremsflüssigkeit
- Frostschutzmittel
- Scheibenwischwasserzusatz
- Lösungsmittel
- Kältemittel der Klimaanlage

2. Welche Abgasreinigungssysteme werden hier gesucht?



Hier werden schädliche Bestandteile, die in den Abgasen vorhanden sind, in unschädliche Stoffe umgewandelt.

Katalysator



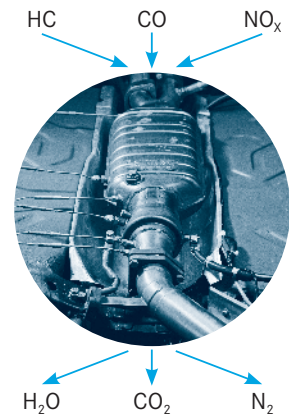
Hier werden kleine Rußteilchen, die in den Abgasen von Dieselmotoren vorhanden sind, aufgefangen und abgebaut.

Dieselpartikelfilter

Info

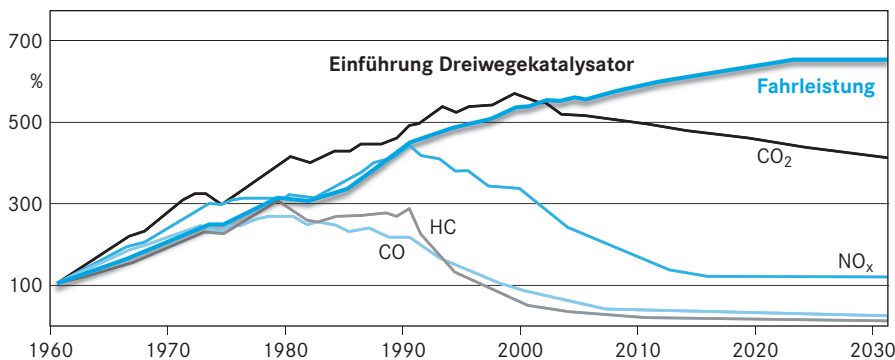
Ein Katalysator ermöglicht oder beschleunigt eine chemische Reaktion, ohne sich selbst zu verändern.

Ein Dreiwege-Katalysator im Kfz wandelt Kohlenstoffmonooxid, Kohlenwasserstoffe und Stickstoffoxide um in Kohlenstoffdioxid, Stickstoff (Hauptbestandteil der Luft) und Wasser(dampf).



3. Schreibe zusammen mit deinem Banknachbarn/deiner Banknachbarin ein Referat (max. 1 DIN A4-Seite) über die Zusammenhänge, die das Diagramm aufzeigt. Gehe dabei auf Fahrleistungen, Katalysator und Schadstoffe ein.

Das Diagramm zeigt die Entwicklung des Straßenverkehrs in Deutschland von 1960 bis 2030.



4. Recherchiere (z.B. im Internet) die Bedeutungen der einzelnen Abkürzungen und ergänze die Steckbriefe.

NO_x

Name:
Stickstoffoxide

Steckbrief:
entstehen bei jeder Verbrennung; sind gesundheits- und umweltschädlich

CO₂

Name:
Kohlenstoffdioxid

Steckbrief:
entsteht bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe; sind klimaschädlich

HC (oder CH)

Name:
Kohlenwasserstoffe

Steckbrief:
Sammelbezeichnung für flüchtige CH-Verbindungen (als „Reste“ bei unvollständiger Verbrennung); sind gesundheitsschädlich

CO

Name:
Kohlenstoffmonooxid

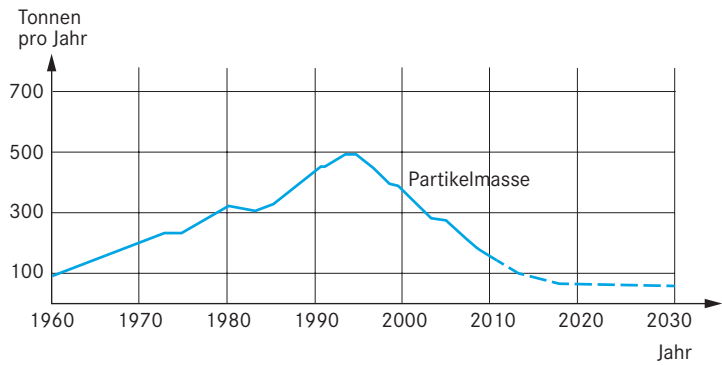
Steckbrief:
giftiger Bestandteil unvollständiger Verbrennungen

PM

Name:
Partikelmasse

Steckbrief:
im Ruß bei Verbrennung von Dieselmotoren; sind gesundheitsschädlich

5. Das Diagramm zeigt die Entwicklung des Partikelmasseausstoßes (Ruß) von Dieselfahrzeugen in Deutschland.



a) Beschreibe den Verlauf des Graphen und stelle Vermutungen an.

Der Partikelmasseausstoß wurde in den 1990er Jahren durch die Einführung neuer Technologien (Aufladung, verbesserte Einspritzverfahren) im Zusammenhang mit den sich verschärfenden Emissionsstandards (Euronormen) drastisch reduziert.

b) Welchen Beitrag für die Umwelt und Gesundheit leistet ein Dieselpartikelfilter (DPF)?

Der DPF dezimiert die im Abgas von Dieselmotoren enthaltenen Rußpartikel nahezu vollständig.

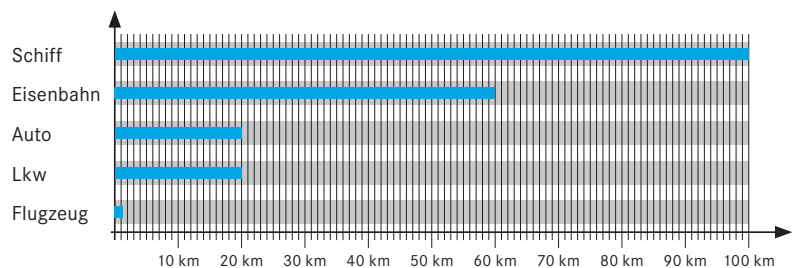
6. Ein großes Problem unserer Gesellschaft ist nicht unbedingt der Schadstoffausstoß einzelner Fahrzeuge, sondern vor allem die Menge der vielen Fahrzeuge auf unseren Straßen. Hier ein paar Fakten:

Mit einem Liter Kraftstoff kommt ein Schiff etwa 100 km, die Eisenbahn 60 km, ein Auto 20 km, ein Lkw 20 km und ein Flugzeug 1 km weit.

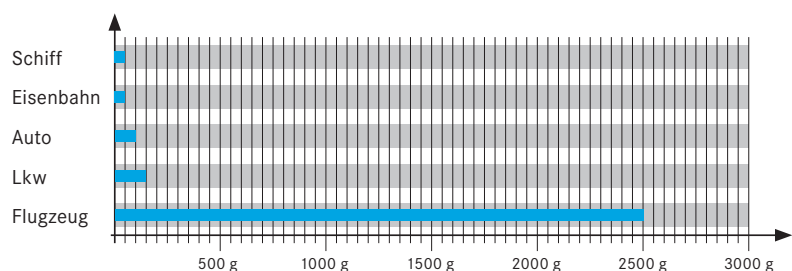
Um eine Tonne Gewicht einen Kilometer weit zu transportieren, produziert ein Schiff 30 g, die Eisenbahn 50 g, ein Auto 90 g, ein Lkw 150 g und ein Flugzeug 2 500 g CO₂-Gas.



a) Zeichne in die Balken ein, wie weit ein Liter Kraftstoff jeweils reicht.



b) CO₂-Gas wird für die Erwärmung der Erde verantwortlich gemacht. Zeichne ein, wie viel von diesem Gas pro km für jede transportierte Tonne Gewicht produziert wird.



7. Ein Mensch in Deutschland verbringt jährlich durchschnittlich 60 Stunden im Stau. Ein Fahrzeug verbraucht im Stehen zwischen 1,5 und 2 Liter Benzin pro Stunde. Ein Pkw mit Dieselmotor benötigt 0,5 bis 1,4 l/h. Eine zusätzlich eingeschaltete Klimaanlage benötigt im Stand noch einmal 1,5 l/h bzw. beim Fahren 1 Liter Kraftstoff pro 100 km.

a) Berechne, wie viel Kraftstoff pro Jahr und Auto ohne Klimaanlage im Stau verbraucht wird.

Benzinmotor: $60 \cdot 1,5 \text{ L}$ bzw. $2 \text{ L} = 90 \text{ bis } 120 \text{ L}$
 Dieselmotor: $60 \cdot 0,5 \text{ L}$ bzw. $1,4 \text{ L} = 30 \text{ bis } 84 \text{ L}$

b) Wie ließe sich diese Verschwendung vermeiden?

Wenn das Auto länger steht, sollte man den Motor ausmachen. Alle Autos sollten mit Start-Stopp-Anlage ausgeliefert werden. Moderne Navigationssysteme können helfen, Staus zu umgehen, indem sie Alternativrouten vorschlagen.

c) Wie viel kostet der jährliche Energieverbrauch der Klimaanlage bei einem Fahrzeug mit 15 000 km Laufleistung pro Jahr? Rechne mit 1,70 € pro Liter.

$$\frac{15\,000 \text{ km}}{100 \text{ km}} \cdot 1,70 \text{ €} = 255 \text{ €}$$

8. In der EU gibt es Umweltzonen, in denen Autos nur unter bestimmten Bedingungen fahren dürfen.

a) Welche Plakette gehört zu welcher Schadstoffgruppe?

„Schadstofffreie
Fahrzeuge“

„Geringfügig schadstoffreduzierte
Fahrzeuge“

„Schadstoffreduzierte
Fahrzeuge“

Schadstoffgruppe: 2

Schadstoffgruppe: 3

Schadstoffgruppe: 4

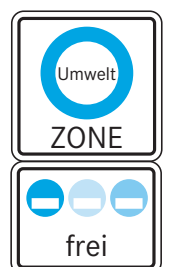


b) Finde die Bedeutung der einzelnen Umweltzonen heraus.

Rot: Umweltzone Stufe 1: Einfahrverbot für Fahrzeuge der Schadstoffgruppe 1

Gelb: Umweltzone Stufe 2: Einfahrverbot für Fahrzeuge der Schadstoffgruppen 1 + 2

Grün: Umweltzone Stufe 3: Einfahrverbot für Fahrzeuge der Schadstoffgruppen 1 + 2 + 3

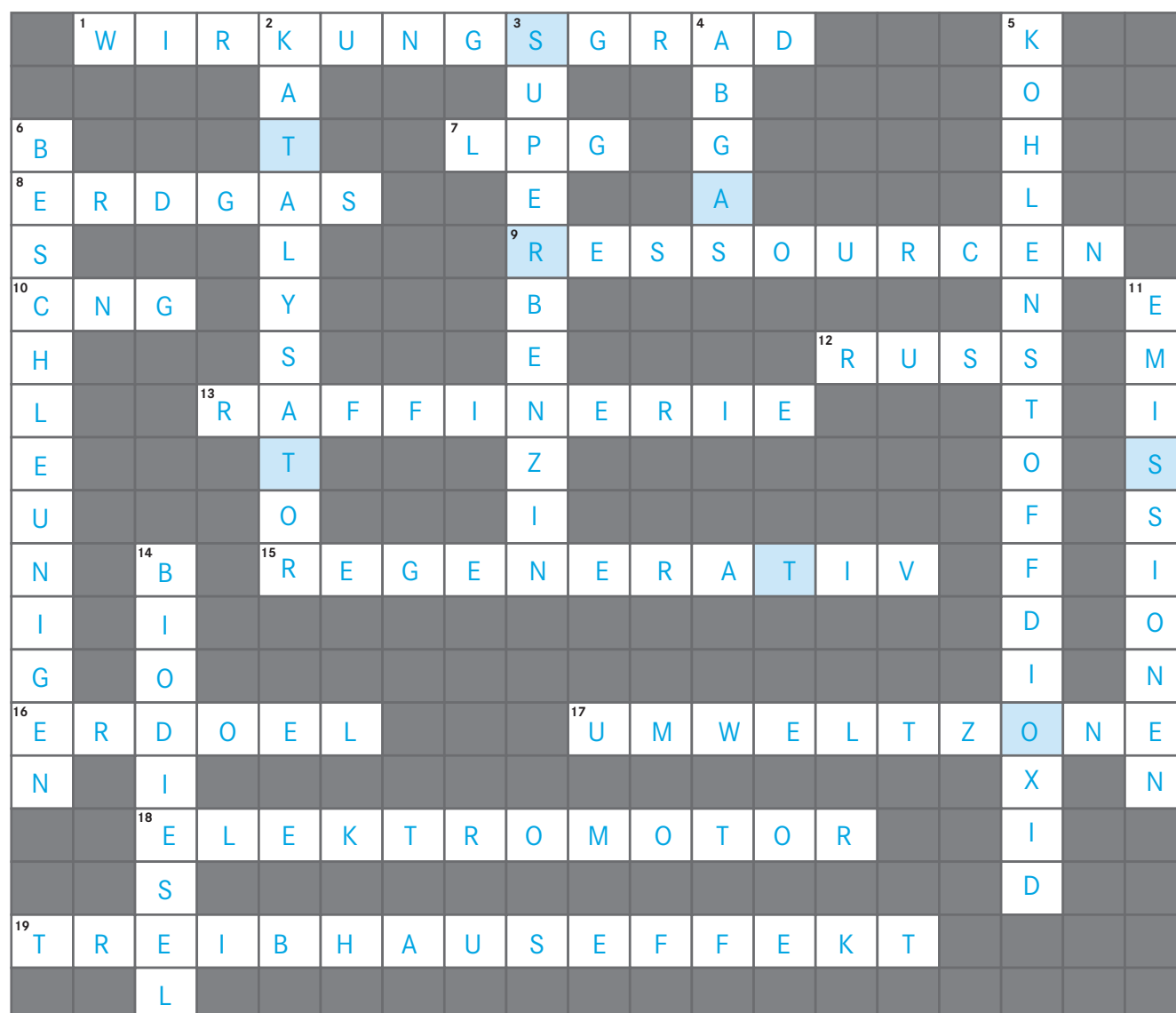


c) Welche Autos dürfen in der abgebildeten Umweltzone fahren?

alle Autos der Schadstoffgruppen 2, 3 und 4 – es handelt sich also um die Umweltzone Stufe 1

C7 Zum Trainieren und Merken

1. a) Trage die gesuchten Begriffe zum Thema „Energie und Kraftstoffe“ ein (ß = ss, ö = oe usw.).



waagerecht

- Verhältnis von nutzbarer zu eingesetzter Energie
- englische Abkürzung für Flüssiggas
- nicht flüssiger Treibstoff
- anderes Wort für Rohstoffvorräte
- englische Abkürzung für Erdgas
- typischer Schadstoff in Dieselabgasen
- Hier wird Erdöl verarbeitet.
- anderes Wort für erneuerbar
- Rohprodukt der Benzinherstellung
- Hier dürfen nur bestimmte Autos fahren.
- Motorenart
- CO₂ gilt als Hauptverursacher dafür.

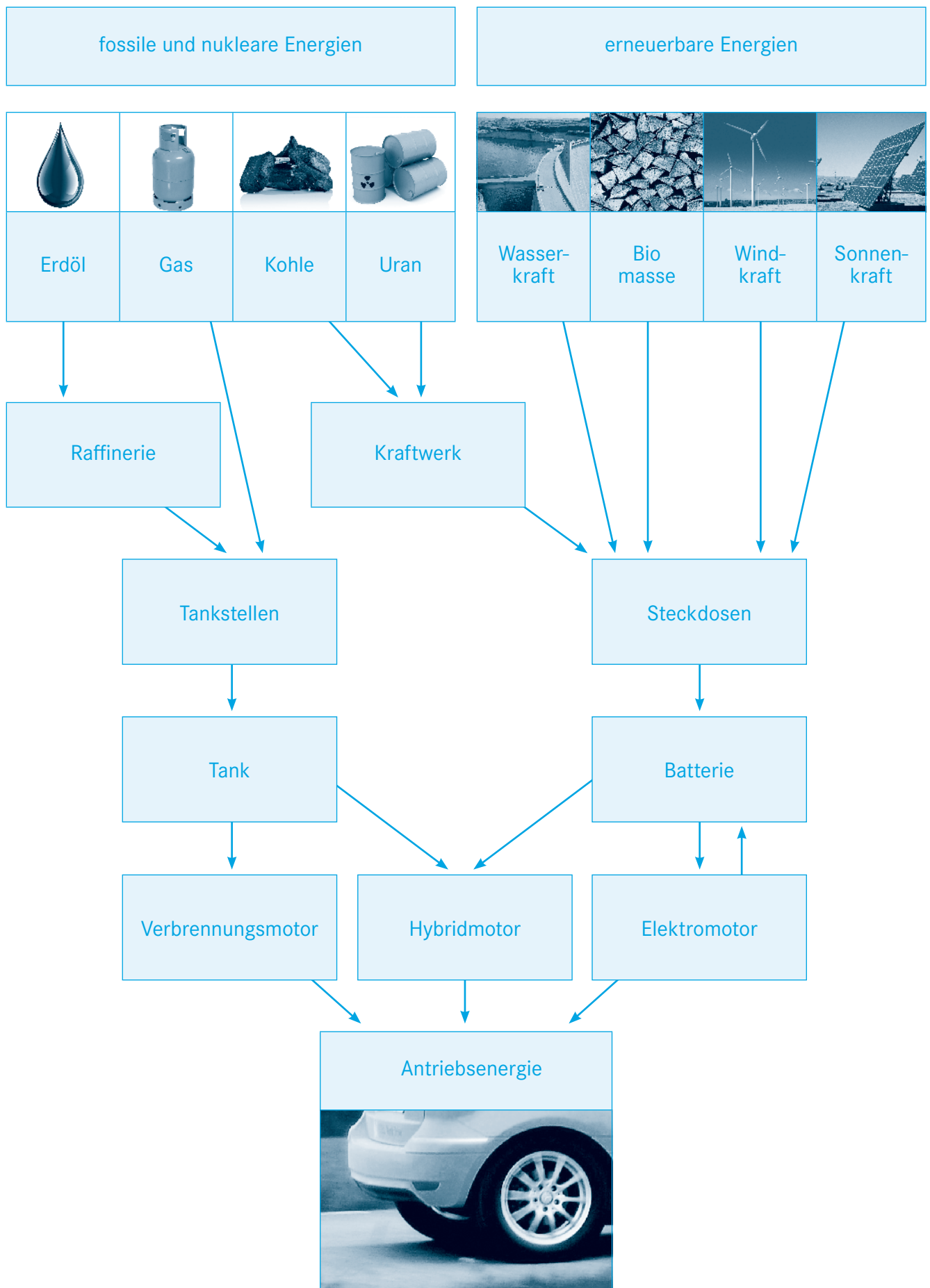
senkrecht

- Bauteil zur Abgasnachbehandlung
- flüssiger Treibstoff
- kommt aus dem Auspuff
- CO₂
- Gegenteil von abbremesen
- anderes Wort für Schadstoffe
- nachwachsender Kraftstoff

b) Benutze für das gesuchte Lösungswort die Buchstaben in den blau unterlegten Kästchen von oben nach unten. Es sorgt für Kraftstoffeinsparung beim Autofahren.

S	T	A	R	T	-	S	T	O	P	P	-	A	N	L	A	G	E
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

2. Wie können die auf der Erde zur Verfügung stehenden Energien so umgewandelt werden, dass sie in einem Fahrzeug nutzbar sind? Erstelle eine Ablaufstruktur, indem du die einzelnen Stationen in die Kästchen schreibst.



Lehrerinformationen **D**

Elektromagnetismus

Je nach Vorwissen der Schülerinnen und Schüler müssen die Begriffe „Magnetfeld“ und „Feldlinien“ wiederholt und besprochen werden. Dies kann auch anhand der Schülerversuche geschehen. Dabei sollte auf folgende Inhalte eingegangen werden:

- Die Pole werden als magnetischer Nord- und Südpol bezeichnet.
- An den Polen eines Magneten ist die magnetische Kraft am stärksten.
- Nähert man zwei Magnete mit ihren gleichen Polen, so stoßen sie sich ab, andernfalls ziehen sie sich an.
- Ein Magnet in der Nähe eines Körpers aus Eisen richtet dessen Elementarmagnete aus. Der Eisenkörper wird magnetisiert, er wird zum magnetischen Dipol (Nord- und Südpol). Es gibt keine magnetischen Einzelpole.
- Im Wirkungsbereich um einen Magneten erfahren andere Magnete Kräfte. Man nennt diesen Wirkungsbereich „magnetisches Feld“.
- Die Struktur eines Magnetfeldes wird durch Feldlinien beschrieben.

Informationen zu den Schülerversuchen

Versuch zum Elektromagnetismus

Mit den Versuchen zum Elektromagnetismus soll das Verständnis über Magnete und Magnetfelder und über die elektromagnetische Wirkung eines stromdurchflossenen Leiters gebildet werden.

Wenn für die Aufgabe 1 keine Magnetnadeln vorhanden sind, können diese auch leicht selbst hergestellt werden. Dazu sind einfache Näh- oder Stecknadeln zu magnetisieren und durch einen Korken zu stecken. Diese können dann schwimmend in einer Wasserschüssel um den Stabmagneten positioniert werden. Dabei richten sich die selbst erstellten Magnetnadeln entlang der Feldlinien des Magneten aus.

Die Aufgabe 2 kann auch als Lehrerexperiment gestaltet werden. Dazu ist die Plexiglasplatte auf einen Tageslichtprojektor zu legen. Das projizierte Bild der angeordneten Feldlinien ist nun gut für alle Schülerinnen und Schüler sichtbar.

In Aufgabe 4 ist unbedingt darauf zu achten, dass der verwendete Kupferdraht mit entsprechendem Lötlack isoliert ist, sonst kann keine Magnetwirkung erzielt werden. Die Spule lässt sich bei Bedarf auch mit Flachbatterien oder einem 9-V-Block betreiben. Es ist jedoch darauf zu achten, dass die Batterien bei längerer Verwendung schnell entladen werden. Aus Gründen der Sicherheit darf der selbst erstellte Elektromagnet, insbesondere an einem Netzgerät, nicht zu lange betrieben werden, da durch hohe Ströme die Spule stark erwärmt werden kann.

Wichtig ist bei allen Versuchen, dass sich bei Vertauschung des Plus- und Minusanschlusses an der Spule auch das Magnetfeld umpolt. Man sollte aber darauf achten, dass es nicht zu folgender Fehlvorstellung kommt:

≠ Pluspol an der Spule → Nordpol des Magnetfelds

≠ Minuspol an der Spule → Südpol des Magnetfelds oder umgekehrt.

Um dieser falschen Vorstellung entgegenzuwirken, kann man die Zusatzaufgabe stellen: „Ändere bei gleicher elektrischer Polung den Wicklungssinn der Spule.“

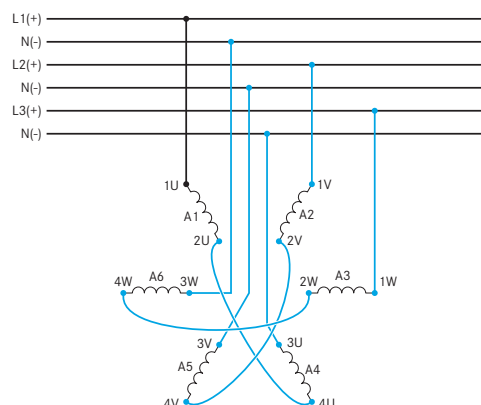
Versuche zum Drehfeld-Elektromotor

Erkenntnis des ersten Versuches soll sein, dass der Rotor durch magnetische Anziehung der beiden Magnete der Drehscheibe bewegt wird. Um den Rotor in eine permanente Drehbewegung zu versetzen, braucht man ein magnetisches Drehfeld.

Im Unterrichtsgespräch muss erarbeitet werden, wie man ein solches magnetisches Drehfeld erzeugen kann, ohne selbst drehen zu müssen. Dazu braucht man mehrere Magnetpaare, die zeitlich nacheinander angesteuert werden. Das wiederum bedeutet, dass die Permanentmagneten durch Elektromagneten ersetzt werden müssen.

Beim zweiten Versuch ist zu beachten, dass immer zwei Spulen in Reihe geschaltet werden (Netzteil 9 V, Spulen für 4,5 V ausgelegt, Stromstärke ca. 1,8 A). Nachdem die Lehrkraft die zur Verfügung gestellte Anschlussbox erklärt hat, erarbeiten die Schüler ausgehend von der Idee des Vorversuchs die Schaltung zur Erzeugung des benötigten magnetischen Drehfelds.

Anschlussplan für das Modell des Drehfeld-Elektromotors



Spule	A 1	A 2	A 3	A 4	A 5	A 6
Buchse	1U	1V	1W	4U	4V	4W
Anschluss	L 1	L 2	L 3	2U	2V	2W
Buchse	2U	2V	2W	3U	3V	3W
Anschluss	4U	4V	4W	N	N	N

Elektromotoren

Elektromotoren wandeln elektrische in mechanische Energie um. Die dazu benötigte Kraft wird von einem Magnetfeld und dem stromdurchflossenen Leiter einer Spule erzeugt. In der Sekundarstufe werden in erster Linie Motoren verwendet, deren Rotor- und Statorwicklung miteinander verbunden sind. Diese werden in Reihen- oder Hauptschlussmotor und Nebenschlussmotor unterschieden.

Beim **Reihen- oder Hauptschlussmotor** sind Erregerwicklung und Ankerwicklung in Reihe geschaltet. Die Ankerwicklung muss möglichst niederohmig sein. Beim Betrieb mit Wechselspannung wechseln sowohl Erregerfeld als auch der Ankerstrom ihre Richtung. Um dabei Wirbelströme zu vermeiden, muss der Eisenkern des Stators aus besonderem Metall bestehen.

Das Drehmoment eines Reihenschlussmotors ist drehzahlabhängig. Diese Motorenart kann im Stillstand und bei geringer Drehzahl ein sehr großes Drehmoment aufbringen. Allerdings fließt dabei ein sehr großer Strom durch den Anker und durch die Erregerwicklung. Bei ansteigender Drehzahl sinkt die Stromaufnahme des Motors, das Erregerfeld wird dadurch geschwächt, damit auch das Drehmoment des Motors. Viele Haushaltsmaschinen enthalten Reihenschlussmotoren (Bohrmaschine, Staubsaugermotor, Mixermotor, ...).

Bei **Nebenschlussmotoren** sind Erreger- und Ankerwicklung parallel geschaltet. Da beide Ströme unterschiedliche Phasenlagen besitzen, lässt sich diese Motorenart nur mit Gleichspannung betreiben. Das erzeugte Drehmoment ist nahezu drehzahlunabhängig und proportional über die Versorgungsspannung regelbar. Das maximale Drehmoment ist durch den zulässigen Ankerstrom begrenzt, bei großen Motoren wird daher in der Regel gekühlt. Diese Motorenart wird häufig bei drehzahlvariablen Antrieben bzw. Maschinen mit konstantem Gegenmoment, z.B. Förderbändern und Hebezeugen eingesetzt. Sie werden aber auch als Generator (z.B. zum Bremsen) verwendet.

Geschichte des Elektromotors

Michael Faraday gilt als erster Erfinder von Elektromotoren. Er verwendete die Erkenntnisse über die magnetische Wirkung des elektrischen Stroms von Hans Christian Ørsted, um

eine Vorrichtung zu entwickeln, bei der ein elektrischer Leiter um einen festen Magneten rotierte. Eine der ersten Anwendungen eines Elektromotors entwickelte Hermann Jacobi. Er baute 1838 den ersten Elektromotor in ein Boot ein. Mit dem von ihm entwickelten etwa 200 Watt starken Motor konnten mehrere Personen befördert werden. Jedoch erst die von Werner von Siemens 1866 entwickelte Dynamomaschine verhalf dem Elektromotor zum Durchbruch, denn erst durch seine Entwicklung konnte Strom in größerem Umfang produziert werden.

Erste elektrische Antriebe für Automobile

Die ersten Unternehmen, die eine Alternative zum Verbrennungsantrieb als Kraftquelle für das Automobil entwickeln wollten, setzten auf Elektromotoren. Die Motorfahrzeug- und Motorenfabrik Berlin-Marienfelde stellte bereits 1898 ihr erstes Elektrofahrzeug vor. Partner des Projekts war die US-amerikanische Columbia Electric Company in Connecticut, die bis 1918 Elektroautos baute. 1899 bot die Motorfahrzeug- und Motorenfabrik Berlin-Marienfelde auf der Basis des amerikanischen Patents vier verschiedene Personenwagen an. Mit der schnellen Weiterentwicklung des Verbrennungsmotors konnte das Elektromobil nach dem System Columbia Electric jedoch nicht mithalten. So wurde die Produktion in Berlin-Marienfelde bereits 1902 wieder eingestellt.

Der erste Mercedes mit elektrischem Antrieb entstand 1907 in Wien. Insbesondere für Feuerwehren und Busse wurden die Fahrzeuge vom Typ Mercedes-Electrique eingesetzt. Für solche Elektroautos entschied sich 1908 auch die Berliner Feuerwehr, als ein neuer Löschzug mit vier Mercedes-Electriques in Dienst gestellt wurde. Das erste Konzept für einen modernen Elektrotransporter entstand bei Mercedes-Benz 1972. 1988 brachte die Firma erste Transporter mit Elektroantrieb auf den Markt. 1993 wurde ein Prototyp auf Basis der C-Klasse mit Asynchron-Elektromotor als Antrieb gebaut. Zebra-Hochenergiebatterien von AEG gaben dem Konzeptfahrzeug eine Reichweite von 120 Kilometern.

Batteriefahrzeuge stellen jedoch, umweltpolitisch gesehen, letztlich nur eine Notlösung dar, solange die Schadstoffemissionen bei der Stromerzeugung in den Kraftwerken entstehen.

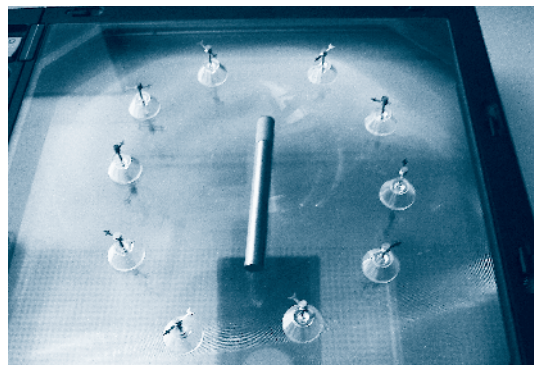
D1 Elektromagnetismus

1. Führe den Versuch zum Magnetismus durch.

Was zeigen die Magnetnadeln an?

Materialliste:

1 Stabmagnet
1 Plexiglasplatte
mehrere Magnetnadeln



Die Magnetnadeln richten sich aufgrund der magnetischen Kraft an den Polen des Stabmagneten aus. Sie zeigen den Verlauf einer magnetischen Feldlinie an.

2. Streue die Eisenfeilspäne auf die Plexiglasplatte und lege sie dann, wie in der Abbildung, auf zwei Hölzer (Stabmagnet unter der Platte in der Mitte). Was beobachtest du?

Erkläre deine Beobachtung.

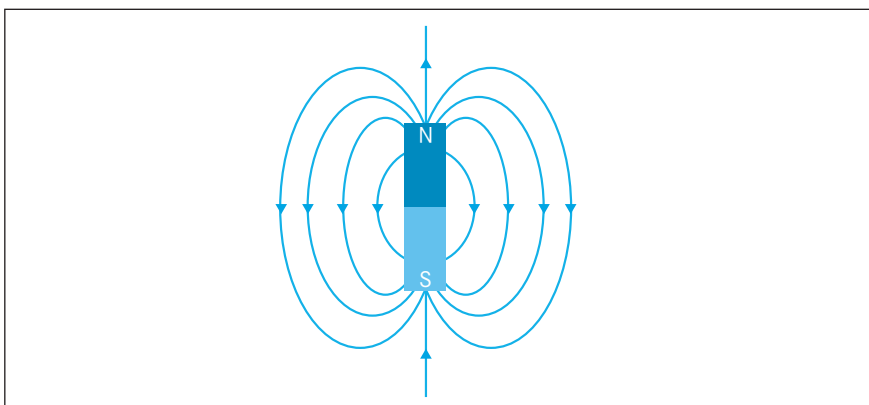
Materialliste:

1 Stabmagnet
1 Plexiglasplatte
2 Hölzer
Eisenfeilspäne



Die Eisenfeilspäne verschieben sich, bis sie ein Feldlinienbild zeigen. Erklärung: Die Eisenfeilspäne werden aufgrund der magnetischen Kraft des Stabmagnets magnetisiert und richten sich anhand der Feldlinien aus.

3. Zeichne das Feldlinienbild.



Magnetische Wirkung des elektrischen Stroms

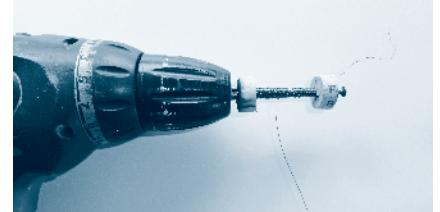
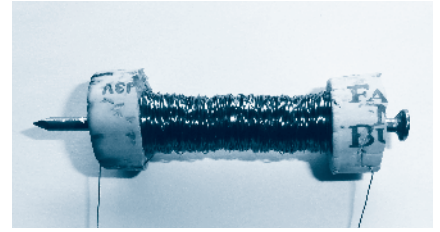
4. Bauanleitung für eine einfache Spule

Materialliste:

- 1 magnetischer Eisennagel
- 1 Flaschenkorken, 1 Schneidmesser
- (z.B. L = 80 mm, D = 4 mm)
- 1 Netzgerät (5 A) mit 2 Kabeln und 2 Krokodilklemmen
- Klebeband
- 1 Acrylplatte, Eisenfeilspäne und 1 drehbar gelagerte Magnetrudel
- ca. 30 m isolierter Lötackdraht
- 1 Akkuschauber
- (z.B. D = 0,25 mm), Schleifpapier

Vorgehensweise:

Schneide vom Korken zwei schmale Streifen ab und stecke den Nagel hindurch. Schiebe einen Korkstreifen an das Ende und den anderen Korkstreifen an den Anfang des Nagels. Schneide mit dem Schneidmesser einen kleinen Schlitz längs in beide Korkstreifen. Isoliere nun das dazwischenliegende Stück des Nagels mit Klebeband. Vom Nagelkopf aus lässt du ein 5 cm langes Drahtstück über den Korkenstreifen ragen und führst den Draht dann durch den Schlitz. Stecke nun die Nagelspitze in einen Akkuschauber und wickle mit dessen Hilfe den Lötackdraht sauber auf den Nagel (siehe Abb.). Ein 5 cm langes Ende führst du an der anderen Seite durch den Korkstreifen. Schleife nun vom Anfang und Ende des Lötackdrahts jeweils 1 cm ab, um diese Stücke leitend zu machen.



a) Schließe die entstandene Spule an das Netzgerät an und überprüfe ihre magnetische Wirkung. Was hast du beobachtet?

Solange das Netzgerät an ist, werden Eisenteile angezogen.

b) Untersuche, wo die Spule ihren magnetischen Nordpol bzw. Südpol hat. Was ändert sich, wenn du den Plus- und Minusanschluss an der Spule vertauschst?

Beim Vertauschen von Plus- und Minusanschluss an der Spule werden auch der Nord- und Südpol vertauscht.

c) Vergleiche die beiden Magnetfelder. Beschreibe deine Beobachtungen.

Die beiden Magnetfelder sehen gleich aus. Ein Stabmagnet und der umwickelte Nagel haben die gleiche magnetische Wirkung.

5. Welche Vorteile bieten Elektromagnete gegenüber Stabmagneten?

Man kann bei Elektromagneten die Polung vertauschen (siehe Aufgabe 4b) und man kann Elektromagnete ein- und ausschalten.

6. Welche Anwendungen von Elektromagneten kennst du?

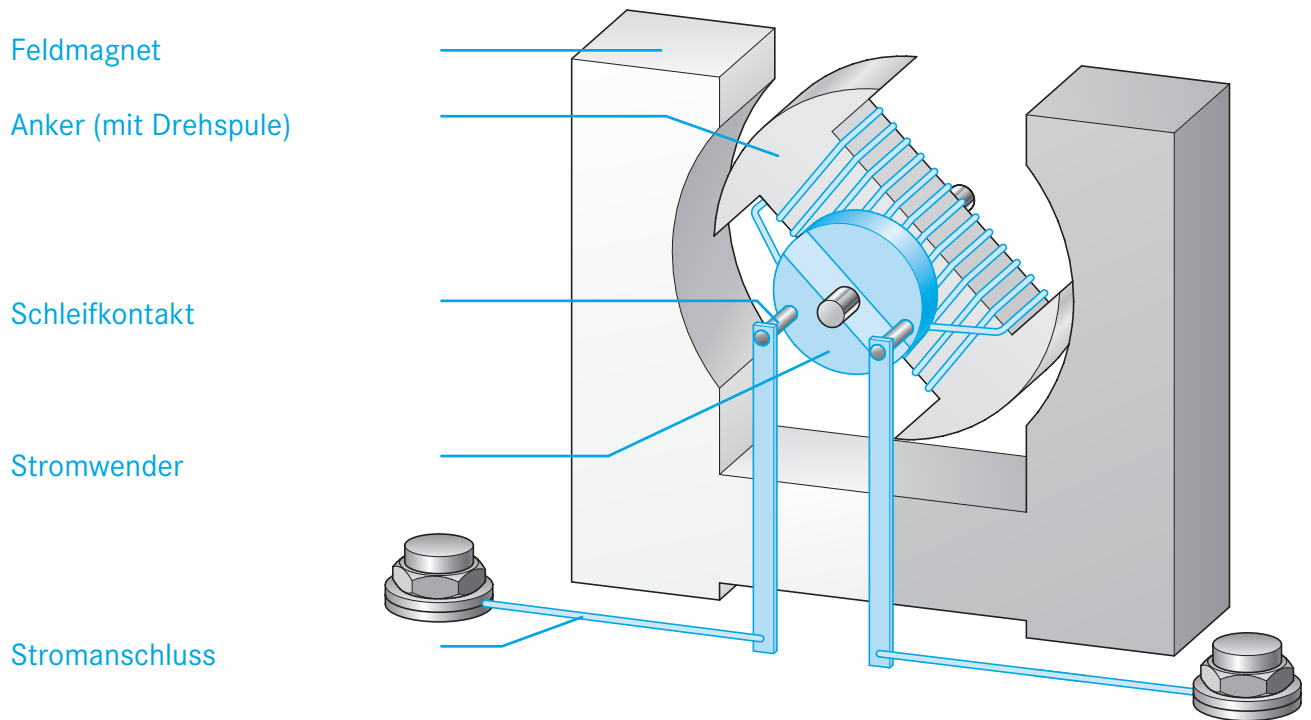
schülerindividuelle Antwort; z.B. Kran auf dem Schrottplatz, elektrische Maschinen, CERN in Genf, MRT (Magnetresonanztomograph), ...

D2 Funktion von Elektromotoren

Die Abbildung zeigt das Prinzip eines zweipoligen Elektromotors mit Stromwender. Ein drehbarer Elektromagnet, auch Läufer, Rotor oder Anker genannt, dreht sich im Magnetfeld eines feststehenden Dauermagneten. Der Dauermagnet wird deshalb auch als Stator oder Feldmagnet bezeichnet.

1. Ordne die richtigen Bezeichnungen zu.

Stromanschluss, Feldmagnet, Stromwender, Anker (mit Drehspule), Schleifkontakt



2. Welche Aufgabe erfüllt der Stromwender (Kommutator)?

Er bewirkt die Stromrichtungsänderung im Anker, d.h. er polt den Strom um, kurz bevor sich der Nord- und Südpol gegenüberstehen. Dadurch liegen zwei gleiche Pole (S und S oder N und N) gegenüber und stoßen sich wieder ab. Der Anker rotiert deshalb immer weiter.

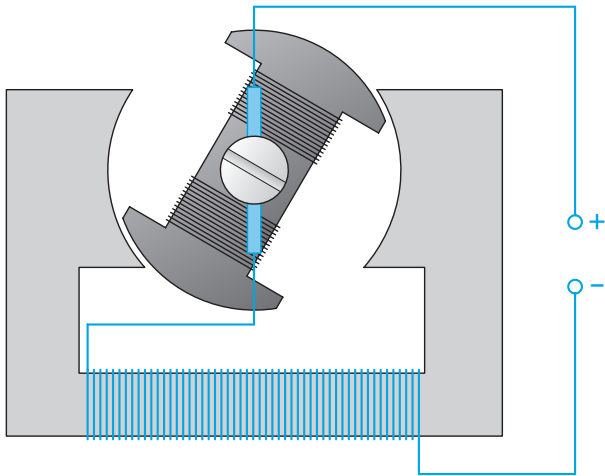
3. Welchen Namen haben die Schleifkontakte noch?

Sie werden Kohlebürsten oder „brushes“ genannt.

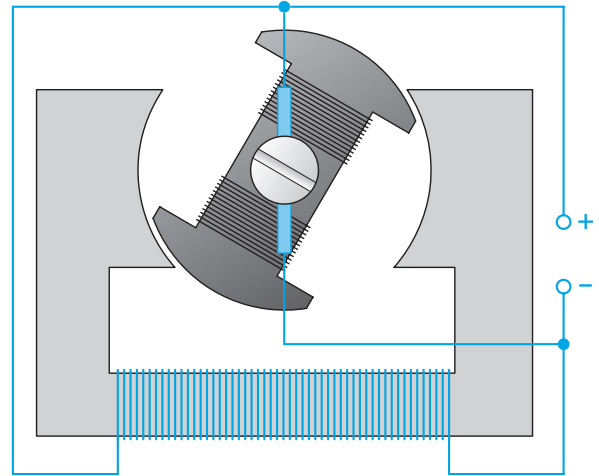
4. Wie können Elektromotoren, die mit Feldmagneten aufgebaut sind, betrieben werden?

Sie können nur mit Gleichstrom betrieben werden.

5. Man unterscheidet zwischen Hauptschlussmotoren und Nebenschlussmotoren.



Hauptschlussmotor



Nebenschlussmotor

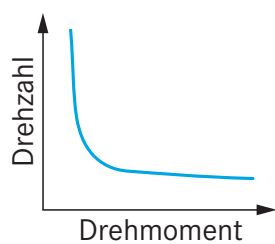
a) Worin liegt der Unterschied?

Beim Hauptschlussmotor sind die Rotorwicklungen und die Statorwicklungen in Reihe geschaltet, beim Nebenschlussmotor dagegen parallel.

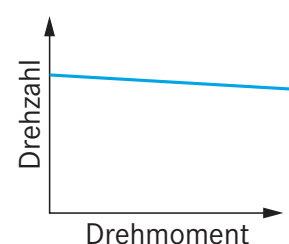
b) Wie wird der Hauptschlussmotor aufgrund seiner Schaltungsart noch bezeichnet?

Da die Rotorwicklungen und die Statorwicklungen in Reihe geschaltet sind, wird er Reihenschlussmotor genannt.

c) Die Abbildungen zeigen die Kennliniendiagramme des Hauptschluss- und Nebenschlussmotors. Beschreibe die Unterschiede.



Hauptschlussmotor



Nebenschlussmotor

Der Hauptschlussmotor hat eine hohe Leerlaufdrehzahl. Bei steigendem Drehmoment fällt die Drehzahl jedoch stark ab.

Beim Nebenschlussmotor ist die Drehzahl relativ belastungsunabhängig.

d) Fülle die beiden „Steckbriefe“ zum Haupt- und Nebenschlussmotor aus.

Hauptschlussmotor

Vorteile schnelles, kräftiges Anziehen bei niedrigen Drehzahlen

Nachteile Die Drehzahl kann bei geringer Belastung stark ansteigen (bis zur Selbstzerstörung – man spricht dann von „Durchgehen des Motors“); wartungsanfällig wegen der Kohlebürsten.

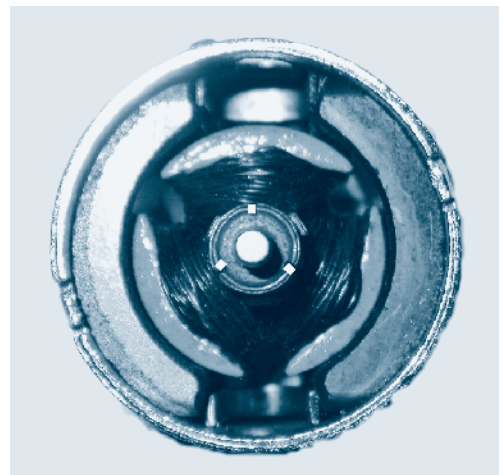
Nebenschlussmotor

Vorteile Die Drehzahl der Motorwelle sinkt bei großer Belastung relativ wenig und ist leicht durch eine veränderbare Spannungsversorgung regulierbar.

Nachteile Durch den Kommutator entstehen Störungen in den Leitungen, die mit Entstörkondensatoren beseitigt werden müssen; wartungsanfällig wegen der Kohlebürsten.

6. Die Abbildung zeigt einen Dreipolmotor. Welchen entscheidenden Vorteil hat der Dreipolmotor gegenüber dem Zweipolmotor beim Start?

Da beim Start den Feldmagnetpolen nie zwei Ankerpole genau gegenüberstehen können, versucht der Anker ein Stück weiter zu drehen, wodurch der Motor selbstständig anläuft.



7. Ingenieure tüfteln immer an Möglichkeiten, sparsam mit der eingesetzten Energie umzugehen. Es lässt sich zum Beispiel die Energie beim Bremsen „einfangen“; diese Art der Energierückgewinnung nennt man Rekuperation. Nutze die Bausteine für einen Vortrag über Rekuperation, der die folgenden vier Punkte klären muss:

1. Was versteht man unter Rekuperation?
2. Wann findet beim Kraftfahrzeug eine Rekuperation statt?
3. Was wird durch die Rekuperation erreicht?
4. Welche Problematik bezüglich Rekuperation muss von Entwicklern beachtet werden?

Bausteine

- Diese gespeicherte Energie kann genutzt werden, um den Elektromotor anzutreiben.
- Die durch Rekuperation gewonnene Energie reduziert den Kraftstoffverbrauch.
- Immer wenn ein Fahrzeug abgebremst wird, geht normalerweise sehr viel Energie „verloren“: Die Bewegungsenergie wird an den Bremsen in Wärme umgewandelt.
- Bei der Rekuperation wird die beim Bremsen normalerweise als Wärme anfallende Energie in Strom umgewandelt und dann in einem Akku oder Kondensator gespeichert.
- Beim Bremsen kann die meiste Energie zurückgewonnen und gespeichert werden.
- Rekuperation steht für „Rückgewinnung“ und meint die Rückgewinnung von Energie.
- Viele moderne Autos sind mit speziellen Bremsanlagen ausgestattet, die bei Betätigung elektrische Energie erzeugen und den Energiespeicher speisen.
- Überschüssige kinetische Energie eines fahrenden Autos wird nicht einfach ungenutzt in Wärme umgewandelt, sondern stattdessen in chemische, kinetische oder elektrische Energie – je nach Speicherort.
- Die Umwandlung der Bewegungsenergie kann unterschiedlich erfolgen.
- Auch der Elektromotor selbst kann zur Rückgewinnung der Energie eingesetzt werden. Er funktioniert dann wie eine Motorbremse: Die Reifen übertragen die Bewegungsenergie über den Antriebsstrang zum Elektromotor, der als Dynamo agiert und Strom erzeugt.
- Bei Elektroautos trägt Rekuperation unmittelbar zu einer spürbaren Erhöhung der Reichweite bei.
- Die Batterien der Elektroautos haben eine begrenzte Anzahl an Ladezyklen. Ohne Pufferung der durch Rekuperation zurückgewonnenen Energie würde sich jede Rekuperation negativ auf die Anzahl der Ladezyklen auswirken. Die Lebensdauer der Batterien würde sich drastisch verschlechtern. Abhilfe schafft u.a. die Pufferung über einen speziellen Speicherkondensator oder Schwungradspeicher. Die rekuperative Energie wird dadurch unabhängig von der Batterie zwischengespeichert und bei Energiebedarf wieder abgegeben, ohne dass die Batterie davon betroffen ist.

Schülerindividuelle Antwort – mögliche Lösung:

Zu 1: Rekuperation bedeutet „Rückgewinnung“ von Energie. Überschüssige kinetische Energie eines fahrenden Autos wird dabei in elektrische, kinetische oder chemische Energie gewandelt.

Zu 2: Immer wenn ein Fahrzeug abgebremst wird, geht normalerweise sehr viel Energie „verloren“: bei der Rekuperation wird diese als Wärme anfallende Energie in Strom umgewandelt und dann in einem Akku, Kondensator oder durch andere Möglichkeiten gespeichert. Anschließend kann diese dann einen Elektromotor antreiben.

Viele moderne Autos sind mit speziellen Bremsanlagen ausgestattet, die bei Betätigung elektrische Energie erzeugen und den Energiespeicher speisen. Aber auch der Elektromotor selbst kann zur Rückgewinnung der Energie eingesetzt werden. Er funktioniert dann wie eine Motorbremse: Die Reifen übertragen die Bewegungsenergie über den Antriebsstrang zum Elektromotor, der als Dynamo agiert und Strom erzeugt.

Zu 3: Die durch Rekuperation gewonnene Energie reduziert den Kraftstoffverbrauch. Außerdem trägt Rekuperation bei Elektroautos unmittelbar zu einer spürbaren Erhöhung der Reichweite bei.

Zu 4: Die zurückgewonnene Energie sollte nicht direkt an die Batterie fließen, da deren Lebensdauer aufgrund der eingeschränkten Ladezyklen sonst stark vermindert würde.

D3 Aufbau und Funktion eines Drehfeld-Elektromotors

Materialliste für alle Versuche:

Das Modell des nachfolgend beschriebenen Drehfeld-Elektromotors wurde in der Ausbildungswerkstatt der Mercedes-Benz Group AG hergestellt.

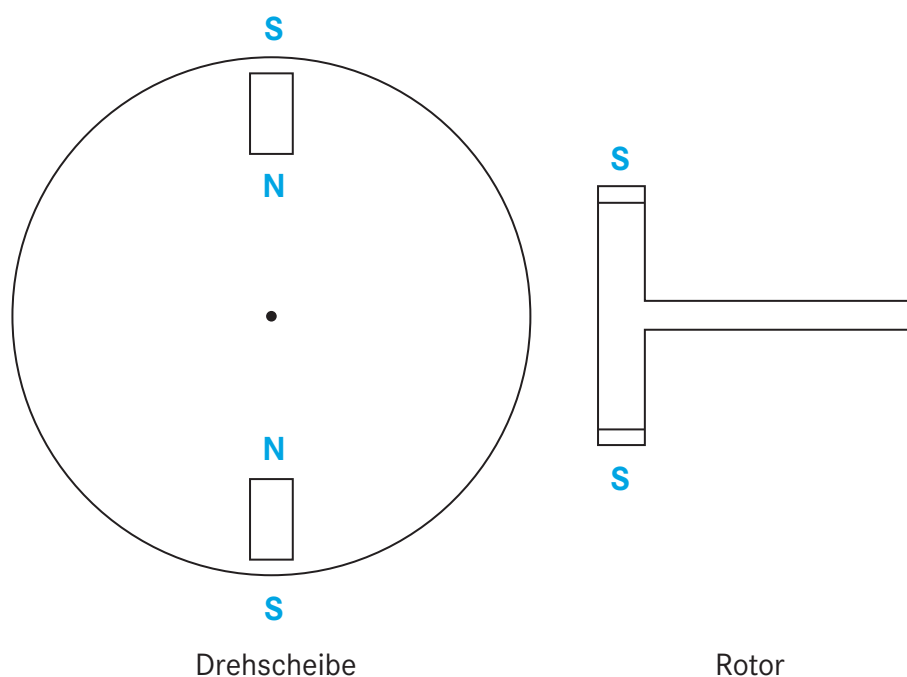
Drehfeld-Elektromotor

Permanentmagnet

Kabel

A Schülerversuch 1

a) Untersuche die magnetische Polung der Permanentmagnete der Drehscheibe und des Rotors und zeichne sie in die folgende Abbildung ein.

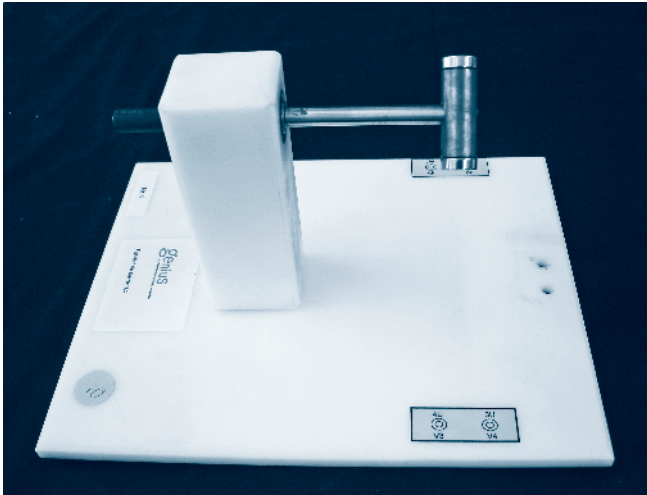


b) Befestige die Drehscheibe mit zwei Inbus-Schrauben an der Grundplatte mit Rotor. Drehe jetzt die Scheibe von Hand. Was beobachtest du? Erkläre die Beobachtung.

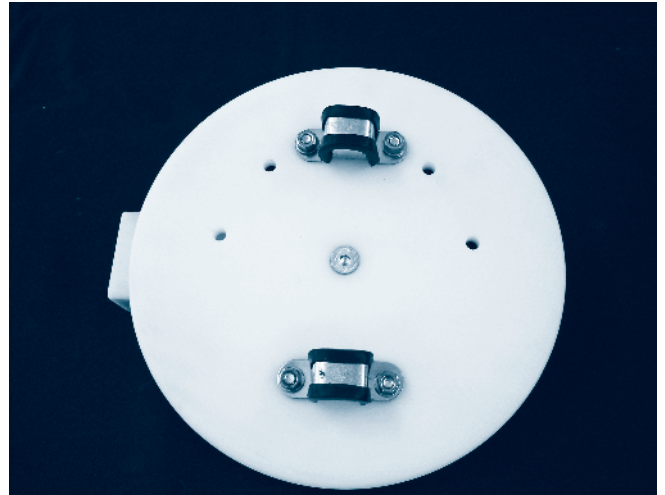
Der Rotor dreht sich mit der Scheibe mit.

Erklärung: Die Südpole am Rotor werden von den innenliegenden Nordpolen an der Scheibe angezogen und folgen deshalb der Drehung.

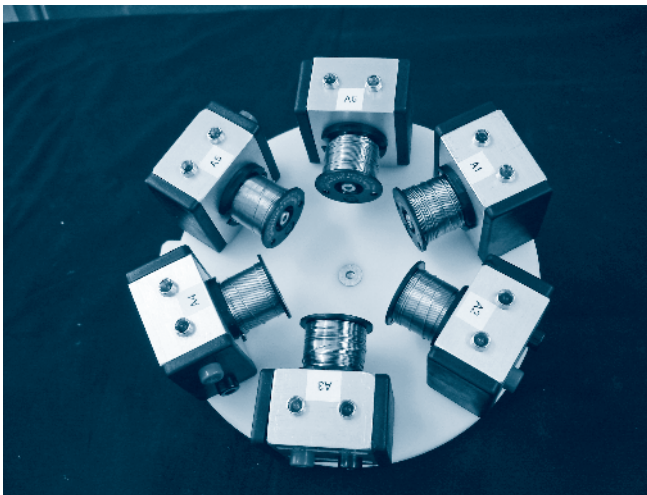
Modell eines Drehfeld-Elektromotors



Grundplatte mit Permanentmagnet-Rotor



Drehscheibe mit zwei Permanentmagneten



Stator mit sechs Spulen



Box mit Tastschaltern zur manuellen Ansteuerung der Spulen



Box zur elektronischen Ansteuerung

B Schülerversuch 2

Ersetze die Drehscheibe durch die Scheibe mit den Spulen. Sie bildet den „Stator“ des Elektromotors.

Versuchsziel:

Durch Anschließen der Spulen an die Tasterbox soll der Rotor beim Drücken der Taster in eine Drehbewegung versetzt werden.

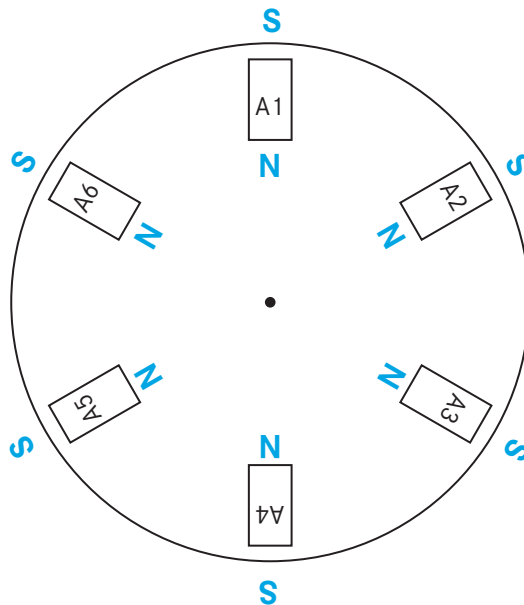
Hinweise – unbedingt beachten:

- Die Spulen sind für 4,5 V ausgelegt, weshalb immer zwei Spulen in Reihe geschaltet werden müssen (Netzteil 9 V).
- Beim Einschalten der Spulenströme geben die Leuchtdioden die magnetische Polung der Elektromagnete auf der Außenseite des Stators an:

Grün → Südpol

Rot → Nordpol

a) Die Elektromagnete sollen die gleiche magnetische Polung wie die Permanentmagnete des Versuchs 1 haben. Zeichne die Pole ein.



b) Um den Rotor weiterzudrehen, müssen beim Betätigen eines Tasters jeweils gleichzeitig zwei Spulen eingeschaltet werden (diese Spulen müssen hintereinandergeschaltet werden!).

Welche Spulenpaare sind zu bilden?

A1 und A4

A2 und A5

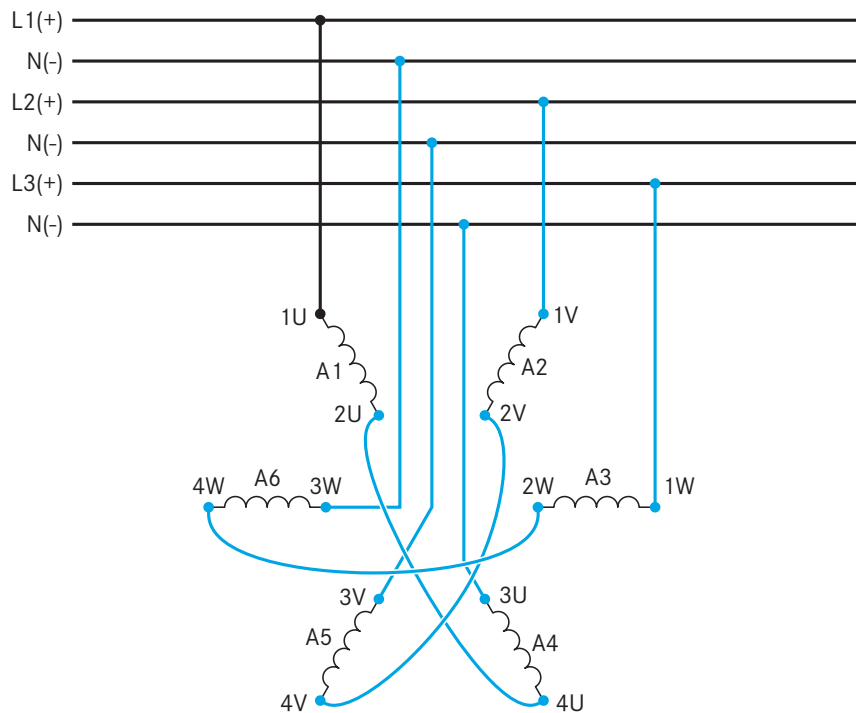
A3 und A6

Aufgaben:**1. Schließe zunächst nur das erste Spulenpaar an die Anschlüsse L1 und N des Tasters 1 an und lass' die Schaltung von deiner Lehrerin oder deinem Lehrer kontrollieren.**

Dabei ist darauf zu achten, dass die Spulen eine magnetische Polung gemäß Vorüberlegung a haben (beachte: Leuchtdiode grün → Südpol).

Der Rotor muss jetzt beim Drücken des Tasters von den beiden Spulen angezogen werden.

Zeichne die Beschaltung der Spulen in die Abbildung ein.

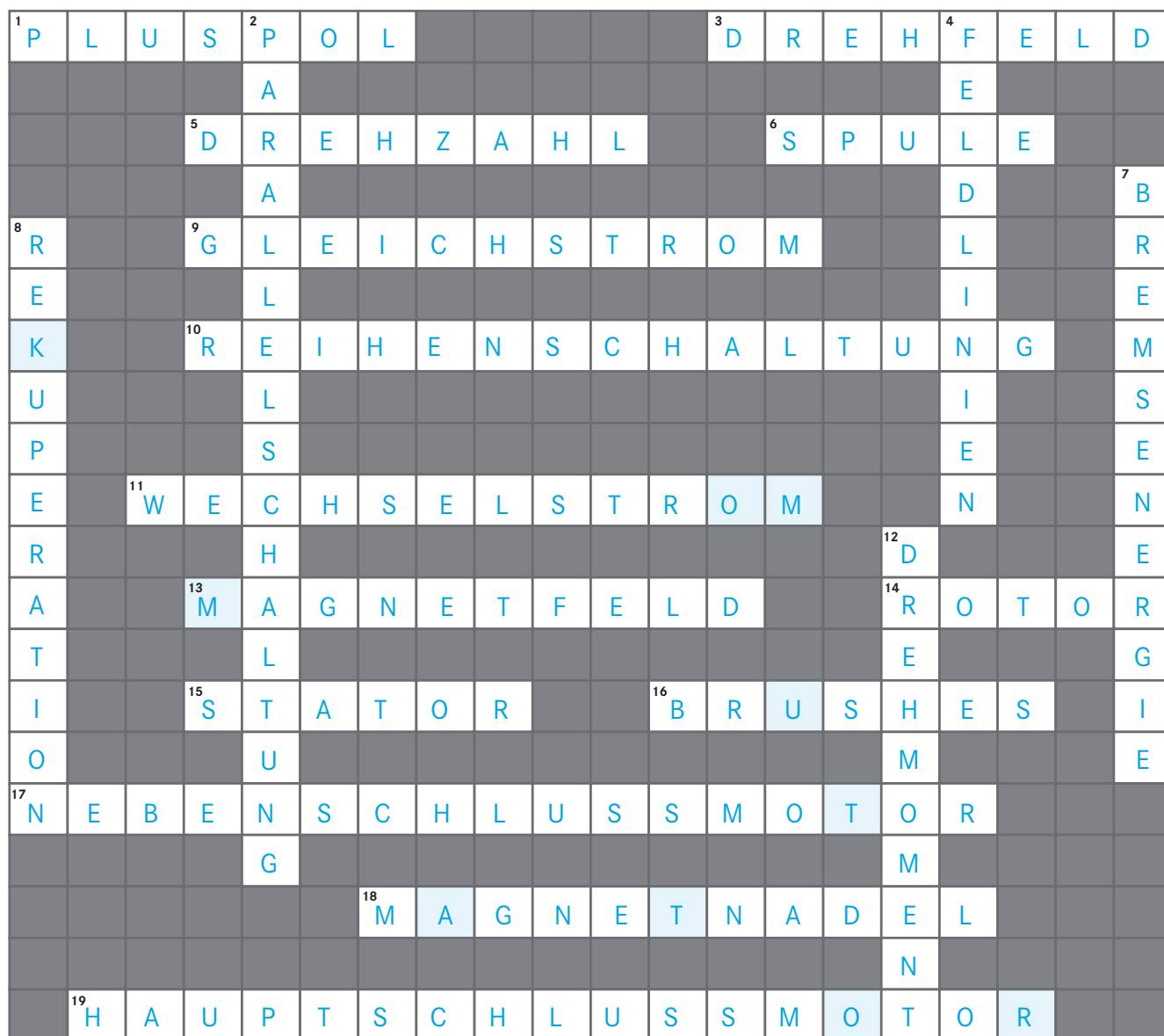
**2. Schließe jetzt das zweite und dann das dritte Spulenpaar entsprechend Aufgabe 1 an und betätige jeweils die zugehörigen Taster. Vervollständige den Schaltplan von Aufgabe 1.****3. Versetze nun den Rotor durch Drücken der drei Taster in eine Rotationsbewegung.****4. Vergleiche die Beobachtungen von Versuch 1 und Versuch 2.**

Überlege, inwiefern es sich bei diesem Modell um einen „Drehfeldmotor“ handelt.

Bei beiden Versuchen dreht sich der Rotor, wobei sich die Scheibe bei Versuch 1 mitdreht, bei Versuch 2 nicht. Es handelt sich um einen „Drehfeldmotor“, da sich bei beiden Versuchen das magnetische Feld der Scheibe dreht und den Rotor mitnimmt.

D4 Zum Trainieren und Merken

1. a) Trage die gesuchten Begriffe zum Thema „Elektromagnetismus und elektrische Motoren“ ein.



waagerecht

- positiver Anschluss einer Batterie
- rotierendes Magnetfeld
- Anzahl der Umdrehungen in einer bestimmten Zeiteinheit
- Wicklung aus Kupferdraht
- Strom, der die Polung beibehält
- mehrere elektrische Bauteile, die hintereinander geschaltet sind
- Strom, der die Polung dauernd ändert
- entsteht, wenn Strom einen Leiter durchfließt
- anderes Wort für Anker des Elektromotors
- unbewegliches Teil des Elektromotors

- englische Bezeichnung für Schleifkontakte

- Elektromotor mit parallel geschalteter Rotor- und Statorwicklung
- zeigt eine magnetische Kraft an
- Elektromotor mit in Reihe geschalteter Rotor- und Statorwicklung

senkrecht

- mehrere elektrische Bauteile, die nebeneinander geschaltet sind
- entsteht, wenn man ein Magnetfeld aufzeichnet
- wird beim Bremsen in Wärme umgewandelt
- Rückgewinnung von Bremsenergie
- physikalische Größe mit der Einheit Newtonmeter (Nm)

b) Benutze für das Lösungswort die Buchstaben in den blau unterlegten Kästchen von oben nach unten.

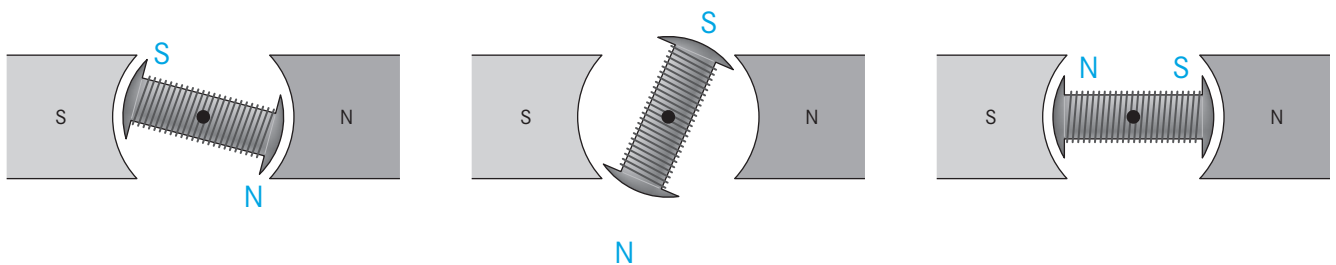
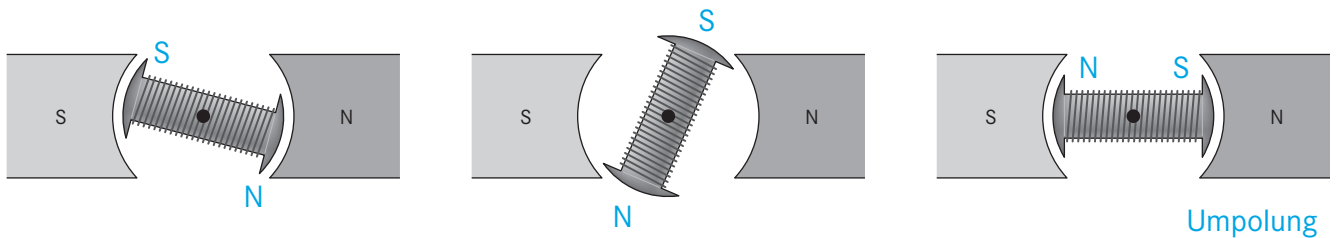
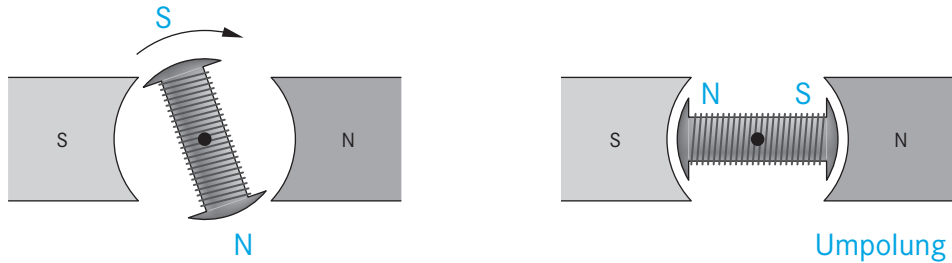
Gesucht ist ein Bauteil in einem Elektromotor, das die Stromrichtungsänderung bewirkt.

K	O	M	M	U	T	A	T	O	R
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

2. Sicher hast du das Funktionsprinzip eines Elektromotors verstanden.

a) Trage in die folgenden Abbildungen jeweils die magnetischen Polungen an der Rotorspule ein.

b) In welcher Position des Rotors muss der Spulenstrom umgepolt werden? Markiere die Stelle mit einem farbigen Stift.



3. Welchen Vorteil hat die Verwendung eines Elektromagneten anstelle eines Dauermagneten als Stator?

Elektromotoren ohne Dauermagneten können mit Gleich- und Wechselstrom betrieben werden. Sie werden deshalb auch als Universalmotoren oder Allstrommotoren bezeichnet. Allerdings gilt dies nur für Hauptschlussmotoren.

Ein Universalmotor ist der klassische Motor für Haushaltsgeräte und Bohrmaschinen.

Lehrerinformationen **E**

Photovoltaik

Unter Photovoltaik versteht man in der Technik die direkte Umwandlung von Sonnenlicht in elektrische Energie. Dieser Prozess wird seit Beginn der 1960er Jahre mithilfe von Solar- bzw. Photovoltaikzellen genutzt. Unter anderem finden diese Zellen Anwendung auf Dach- und Freiflächen, an Schallschutzwänden und in Taschenrechnern.

Die Kosten einer Photovoltaikanlage sind zum großen Teil von Art und Qualität der Komponenten abhängig. Eine Photovoltaik-Dachanlage benötigt ca. 5–8 m² Fläche pro Kilowatt Leistung. Auf die Idee der Herstellung des „Solarfahrzeugs“ in AB E1, Aufgabe 7 bezogen bedeutet dies, dass bei einem Motor von 30 kW Leistung eine Solarfläche von etwa 150 m² benötigt würde!

Hinweise zu AB „E2 Versuche zur Energiewandlung“

Das galvanische Element dient als Grundlage für das Wissen, wie chemische Energie in elektrische Energie umgewandelt werden kann. Es empfiehlt sich ein einfaches Experiment mit einer galvanischen Zelle, wenn eine Wiederholung/Auffrischung des Stoffes nötig erscheint.

Im nächsten Schritt wird die Elektrolyse des Wassers thematisiert, um zu der Überlegung zu kommen, dass die Umkehrung der Elektrolyse analog dem galvanischen Element elektrische Energie „liefern“ kann. Damit diese Vorgänge für die Schulpraxis quantifizierbar sind, wird die Solarzelle als einzige regenerative Energiequelle herangezogen und deshalb auch ausführlich betrachtet.

Bei der Durchführung der Versuche lernen die Schülerinnen und Schüler die grundsätzliche Umkehrung der Elektrolyse kennen. Die Unterschiede zur Brennstoffzelle sollten danach thematisiert werden. Es lohnt sich, den Wirkungsgrad der Low-Cost-Zelle zu thematisieren, da man viel Energie für die Elektrolyse aufwendet und dabei auch viel Gas entweicht, welches nicht für die Rückreaktion zur Verfügung steht.

Die Arbeitsplätze für die Experimente lassen sich schnell einrichten. Man benötigt eine Gleichspannungsquelle, Metall-Topfkratzer, Multimeter und Kabel. Als Verbraucher bietet sich ein Solarmotor an, da dieser auch durch die Low-Cost-Zelle bis zu zwei Minuten läuft. Auch eine einfache Glühlampe kann verwendet werden. Das Gefäß für das

Wasser oder die Kaliumlauge muss so groß sein, dass die Metallschwämme nicht aneinander liegen. Gegebenenfalls können die Schwämme auch halbiert werden. Sie müssen nicht unbedingt ganz untergetaucht werden. Wenn keine Metallschwämme in den Technikräumen vorhanden sind, lässt sich Metallwolle oder ein gut ausgewaschener Metallschwamm verwenden. Die Experimentanordnungen können einige Tage stehen bleiben.

Achtung

Auch beim Arbeiten mit 0,1-molarer Kaliumlauge sind die Sicherheitsbestimmungen einzuhalten! Die Verwendung der Lauge führt zu deutlich besseren Ergebnissen (höheren Strömen) als die Verwendung von einfachem Wasser.



Elektrische Energiespeicher

Eine der Voraussetzungen für Elektroantriebssysteme ist ein leistungsfähiger, sicherer und zuverlässiger Energiespeicher. Die Leistungsfähigkeit des gesamten elektrischen Systems im Automobil wird wesentlich durch die Batterie mitbestimmt. Neben spezifischen Leistungsmerkmalen – vor allem der Speicherkapazität – muss die Batterie eine lange Lebensdauer sowie hohe Crash-Sicherheit aufweisen und recyclingfähig sein. Beste Voraussetzungen bietet die neue Lithium-Ionen-Batterie. Ihre Vorteile liegen insbesondere in ihren kompakten Abmessungen, kombiniert mit einer deutlich höheren Leistungsfähigkeit im Vergleich zu herkömmlichen Batterietechnologien. Weitere Fortschritte verspricht die Lithium-Ionen-Flachzelle mit höherer Energiedichte und noch kompakteren Abmessungen.

Dank des leistungsfähigen Kühlsystems und des intelligenten Temperaturmanagements arbeitet die Lithium-Ionen-Batterie immer im optimalen Temperaturbereich zwischen 15°C und 35°C. So werden klimaunabhängige Zuverlässigkeit sowie volle Leistungsfähigkeit und ein hervorragendes Kaltstartverhalten über die gesamte Lebensdauer sichergestellt. Eine unter Großserienbedingungen kostengünstige Produktion der Lithium-Ionen-Batterie ist die Voraussetzung für eine breite Anwendung im Automobilbereich. Deshalb wird an der Zellstandardisierung dieser Batterietechnologie gearbeitet. Entwicklungsziel ist eine standardisierte, industrialisierte Produktion von Lithium-Ionen-Batterien sowohl für Hybrid- als auch für Brennstoffzellen- und reine Batteriefahrzeuge. 2012 soll die Serienproduktion starten.

Neue Akkumulatoren

Um größere Reichweiten bei Elektrofahrzeugen zu ermöglichen, wird derzeit mit besonderem Nachdruck an der Entwicklung neuer Akkus gearbeitet. Jüngste Forschungen setzen sich mit der Entwicklung eines Zinn-Schwefel-Lithium-Ionen-Akkus auseinander. Zwei Eigenschaften machen diese Batterie für die Automobilindustrie interessant: Erstens besitzt der Akku eine hohe Energiedichte von 1,1 kWh/kg. Damit übertrifft er alle herkömmlichen Akkumulatoren um ein Vielfaches und ermöglicht es, mehr Energie zu speichern und die Reichweite der Fahrzeuge zu verlängern. Zweitens verfügt der Akku über einen besonderen Elektrodenchutz. Dadurch zersetzen sich die Elektroden deutlich langsamer, was die Nutzungsdauer des Akkus verlängert.

Energiedichte von Akkumulatoren

Die Energiedichte verschiedener Kraftstoffe wurde bereits in Modul C behandelt und dargestellt (Seite 41). Im Vergleich dazu hier eine Aufstellung der Energiedichten verschiedener Akkustypen im Laufe der technischen Entwicklung.

Akkutyp	E.dichte (kWh/kg)	Erklärungen
Bleiakku	0,03	günstig, Starter-Batterie für Kraftfahrzeuge
Nickel-Cadmium-Akku	0,04-0,06	Einsatz in Antrieben mit kurzzeitig hoher Stromaufnahme
Natrium-Nickel-chlorid-Akku	0,1-0,12	hohe Zuverlässigkeit, preiswerte Materialien, durch hohe Betriebstemperatur jedoch Heizverluste, keine Selbstentladung
Lithium-Ionen-Akku	0,10	kleine Abmessungen und lange Betriebszeit, schnellladefähig, Überhitzungsgefahr
Lithium-Polymer-Akku	0,14	beliebige Bauformen möglich
Lithium-Schwefel-Akku	0,35	Labor-Prototyp
Zinn-Schwefel-Lithium-Akku	1,1	experimenteller Prototyp

Wasserstoff und Brennstoffzelle

Derzeit gewinnen wir unseren Strom bzw. unsere Energie hauptsächlich aus den fossilen Energieträgern Erdöl, Erdgas und Kohle. Inzwischen (Stand 2012) werden in Deutschland ca. 17% des Energiebedarfs aus regenerativen Energiequellen gedeckt und weltweit ca. 20%. In Zukunft wird der Strom- und Energiebedarf – trotz aller Einsparversuche – weltweit ansteigen. Denn wir wollen und können nicht auf elektrischen Strom, Komfort und Mobilität verzichten. Das globale Wachstum trägt zusätzlich zu einer schnelleren Verknappung der Rohstoffe bei.

Auch die politischen Entscheidungen zum Ausstieg aus der Kernenergie wird die nächsten Jahre die Suche nach alternativen Energieträgern vorantreiben. Deshalb beschäftigen

sich die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler intensiv mit dieser Frage. Ziel ist es, Technologien für eine nachhaltige und sichere Energieversorgung zu entwickeln und zu verbessern. Die Themenpalette reicht von Photovoltaik und Brennstoffzellen über Kernfusion und nukleare Sicherheitsforschung bis hin zu innovativen Kohle- und Gaskraftwerken.

Eine wichtige Frage im Unterricht muss sein, welche Kriterien ein idealer Energieträger erfüllen soll. Antworten darauf könnten sein:

ubiquitär (überall vorhanden sein), regenerativ, umweltverträglich, preiswert, mobil/gut speicherbar, gut handhabbar, wirtschaftlich vermarktbar, hohe Energiedichte, ungefährlich.

Da Brennstoffzellen mit Wasserstoff betrieben werden und dieser in der Natur nur in gebundener Form vorkommt, sind spezielle Verfahren zur Gewinnung notwendig. Die Wasserstoffgewinnung mithilfe regenerativer Energien ist derzeit noch eine Zukunftsoption. Langfristig könnte, um mittels Elektrolyse Wasserstoff zu gewinnen, regenerativ erzeugter Strom eingesetzt werden. Auf diesem Wege ließe sich Sonnen-, Wind- oder Wasserenergie auch speichern, um bei Bedarf daraus in Brennstoffzellen Strom und Wärme zu erzeugen.

Hinweise zu AB „E4 Solarzellen“ und „E5 Brennstoffzellen“

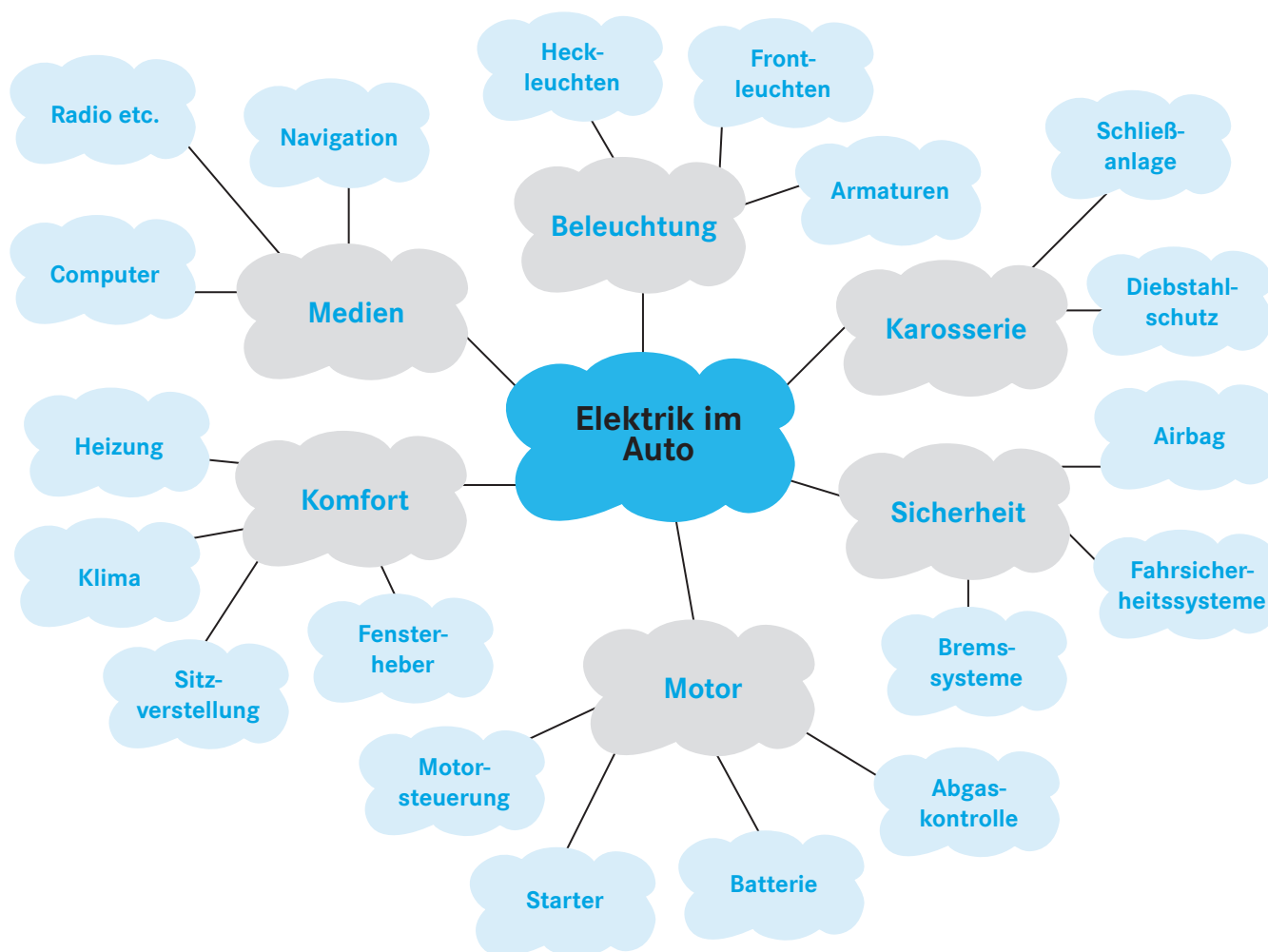
Herstellen des Ausgangsniveaus:

- Wie werden Volt- und Amperemeter in die Schaltung eingebaut, wie bedient?
- Die Unterschiede von Reihen- und Parallelschaltung müssen bekannt sein.
- Darauf achten, dass die Sicherungen in den Messgeräten funktionieren und das Gerät in der Reihenfolge von hohem Strom auf niedrigen Strom eingestellt wird. Bei falschem Anschluss können die Messgeräte zerstört werden.
- Es ist anspruchsvoll, das technische Experiment und den Versuch mit Auswertung in 90 Minuten durchzuführen. Eine Vorstellung der Versuche und eventuelle Vorarbeit der Protokolle als Hausaufgabe ist sinnvoll. Auch sollte vor der Durchführung der Aufgaben 3 und 4 jeweils eine Hypothese von den Schülerinnen und Schülern aufgestellt werden.
- Bei zu geringer Sonneneinstrahlung auf die Solarzellen kann eine starke Lampe oder ein Tageslichtprojektor verwendet werden.
- Als Mindmap eignet sich die gesamte Tafel oder ein möglichst großes Poster.

E1 Warum brauchen Autos elektrischen Strom?

Elektrischer Strom ist eine der wichtigsten Energieformen unserer Gesellschaft. Nicht nur für Elektrofahrzeuge, sondern auch für Autos mit Verbrennungsmotor ist Strom die Voraussetzung, dass sie fahren können.

1. Überlege, wo überall in einem Kraftfahrzeug Elektromotoren eingesetzt werden bzw. welche Systeme elektrisch oder elektronisch gesteuert/geregelt werden. Ergänze die Mindmap.



2. Die Mindmap zeigt dir den vielfältigen Einsatz von Elektrik im Auto. Welche Problematik ergibt sich daraus für die Entwicklung von Elektroautos?

Durch den Einsatz von immer mehr Elektrik und zusätzlichen elektrischen Verbrauchern oder Systemen erhöhen sich der Bedarf an elektrischer Energie und das Gewicht des Autos. Beim Elektrofahrzeug führen diese Aspekte zur Verkürzung der Reichweite.

Viele Autofahrer sind aber nicht bereit, auf gewohnte Standards zu verzichten, z.B. auf die elektrischen Fensterheber.

Der vielfältige Elektrikeinsatz erhöht die Stör- und Ausfallanfälligkeit des Autos.

3. Wie wird elektrischer Strom in einem Auto gespeichert?

In der Autobatterie (Akkumulator), die sich meistens im Motorraum oder im Kofferraum befindet.

4. Ein herkömmlicher Pkw hat etwa 80 kW maximale Leistung. Bei konstanter Fahrt von 100 km/h werden davon etwa 15% benötigt. Eine Autobatterie kann etwa 60 Ah Strom speichern. Wie lange könnte ein Pkw theoretisch mit dieser Batterie fahren?

$$60 \text{ Ah} \cdot 12 \text{ V} = 720 \text{ Wh} = 43\,200 \text{ Wmin} \quad 15\% \text{ von } 80 \text{ kW} = 12 \text{ kW} = 12\,000 \text{ W}$$

$$\frac{43\,200 \text{ Wmin}}{12\,000 \text{ W}} = \text{ca. } 3,6 \text{ Minuten (!)}$$

5. Warum kann man diese Batterie in einem Elektroauto nicht zum Fahren nutzen?

Zum Fahren in einem Elektroauto benötigt man sehr viel elektrischen Strom. Eine normale Autobatterie (Akkumulator) ist zu klein und kann zu wenig speichern.

6. Wie speichert man den elektrischen Strom für Elektrofahrzeuge dann? Welche Konsequenz ergibt sich daraus?

Man speichert die Energie in einer sehr großen und leistungsstarken Batterie (Akkumulator), meist unter dem Fahrzeug oder im Kofferraum. Das Fahrzeug ist sehr schwer.



7. Interpretiere das abgebildete „Solarfahrzeug“.

a) Welche Idee steckt dahinter?

Da Autos häufig im Freien stehen, könnte diese Zeit genutzt werden, um die Batterien (Akkumulatoren) von Elektrofahrzeugen zu laden.



b) Welcher Denkfehler steckt hinter dieser Überlegung?

Da ein Elektroauto sehr viel Strom verbraucht, würde man sehr viel mehr Solarzellen benötigen.

c) Ein Elektroauto hat einen 30-kW-Motor. Ein Quadratmeter Solarzelle erbringt eine Leistung von 200 W. Berechne, wie groß die Dachfläche des Autos sein müsste, um bei guter Sonneneinstrahlung direkt mit dem Auto fahren zu können.

$$\frac{30\,000 \text{ W}}{200 \text{ W/m}^2} = 150 \text{ m}^2 (!)$$

E2 Versuche zur Energiewandlung

In den folgenden Experimenten wird gezeigt, wie man aus Wasser Wasserstoff und Sauerstoff herstellen kann, um anschließend aus beiden Produkten elektrische Energie zu gewinnen.

Materialliste:

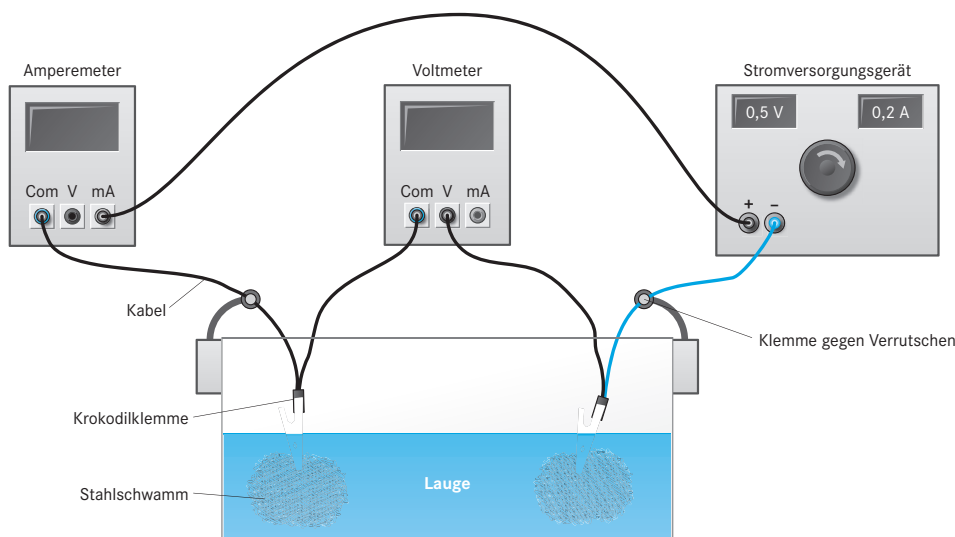
2 Edelstahlschwämme, Schale (geeignet ist ein Deckel mit Halterung für die Krokodilklemmen), Netzgerät, Krokodilklemmen, Kabel, 2 Multimeter, Motor (Solarmotor), Schutzkleidung, eventuell 0,1-molare Kaliumlauge (VORSICHT Chemikalie), Solarzelle

Zur besseren Leitfähigkeit kann man dem Wasser im Experiment Kaliumhydroxid (KOH) zusetzen. Dann musst du jedoch Laborbrille und -mantel tragen und die Sicherheitshinweise der Lehrkraft besonders beachten.



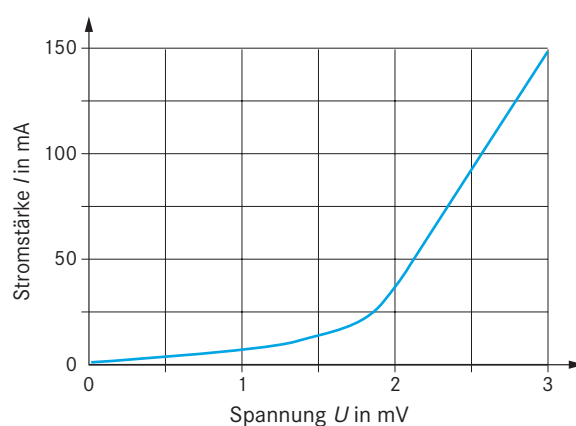
Versuchsaufbau:

Die Edelstahlschwämme befinden sich im Wasser bzw. in der Lauge und sind über Kabel und Krokodilklemmen an eine Spannungsquelle angeschlossen. Die Schwämme dürfen sich nicht berühren!



1. Versuche zur Wasserstoffgewinnung

a) Schalte das Netzgerät ein und erhöhe langsam die Spannung von $U = 0 \text{ V}$ in 0,3-V-Schritten. Warte ca. 20 Sekunden, bis sich die Stromstärke nur noch wenig verändert. Trage zu jeder Spannung die elektrische Stromstärke in die Tabelle ein und werte sie im U - I -Diagramm aus.



U in V	0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3
I in mA	0	0,2	0,28	0,41	0,88	1,6	40	73	90	115	140

b) Bestimme die Spannung (Zersetzungsspannung), ab der Wasserstoff und Sauerstoff an den Elektroden entstehen (sichtbar durch Bläschenbildung).

Ungefähre Zersetzungsspannung: ca. 1,2 V

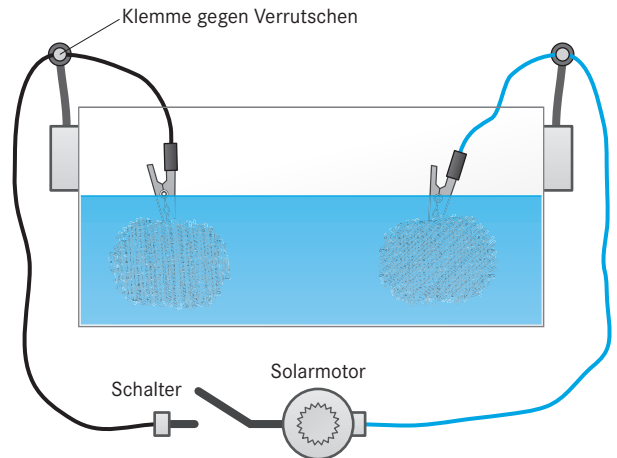
2. Versuche zur Stromgewinnung

a) Erhöhe die Spannung weiter bis ca. 5 V, damit das Wasser schneller zersetzt wird. Sobald die Schwämme mit den Gasen angereichert sind (nach ca. 30 s), schaltest du das Netzgerät aus (Kabel sofort entfernen). Gib die Spannung an, die sich nach einiger Zeit zwischen den Schwämmen einstellt:

Spannung nach 90 Sekunden: 1,1 - 1,3 V

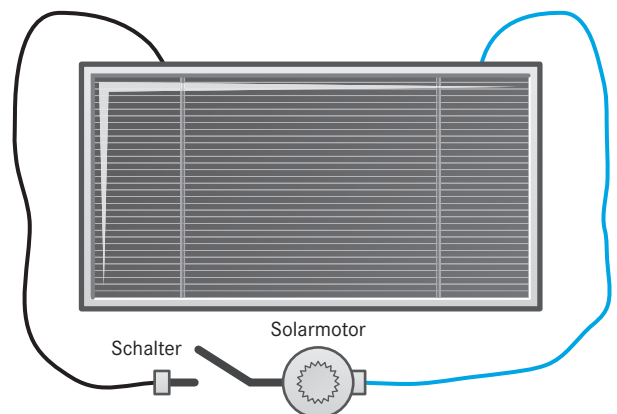
b) Führe die Elektrolyse ein weiteres Mal bei $U = 5\text{ V}$ durch, bis sich die Schwämme mit Wasserstoff und Sauerstoff voll gesaugt haben. Miss hierbei U , I und die Zeit t . Schalte das Netzgerät aus und schließe an dessen Stelle einen kleinen Elektromotor an. Miss nun, während der Motor läuft, wieder U , I und t und beschreibe dein Ergebnis.

t ca. 120 s; U nimmt von ca. 1,3 V bis 0,2 V ab, dann bleibt der Motor stehen. Der Strom nimmt dabei von ca. 35 mA bis auf 5 mA ab. Die Werte hängen von der Konzentration der Lauge, der Schwammgröße und dem Motor ab.



c) Schließe statt des Versuchsaufbaus zur Elektrolyse eine Solarzelle mit 3 V Betriebsspannung an. Schalte den Motor an, miss U , I und die Zeit t und beschreibe dein Ergebnis.

Ohne den Elektromotor sind 3 V messbar. Mit eingeschaltetem Elektromotor sind 2,8 V und 0,08 A messbar. Bei gleichbleibender Sonneneinstrahlung ändern sich die Werte nicht. Bei Verdunkelung wird der Strom schwächer und bricht letztendlich zusammen.



E3 Elektrische Energiespeicher

Info

Die bekanntesten aufladbaren Speicher für elektrische Energie werden Akku bzw. Akkumulator genannt. Bei flüssigem Kraftstoff ist die transportierte Energiemenge in einem Fahrzeug in erster Linie über die Größe des Tanks vorgegeben. Bei Akkus spielen aber neben der Baugröße weitere Faktoren wie Zellspannung, Betriebstemperatur, Aufbau, Wirkungsgrad und Materialzusammensetzung der Zellen eine Rolle. Übrigens: Eine Auto„batterie“ ist eigentlich ein Akkumulator!



1. Was weißt du über Akkumulatoren? Kreuze an.

	richtig	falsch
Beim Aufladen eines Akkus wird elektrische Energie in chemische Energie umgewandelt.	☒	☐
Wird ein Verbraucher an einen Akku angeschlossen, so wird chemische Energie in elektrische Energie umgewandelt.	☒	☐
Beim Aufladen eines Akkus wird elektrische Energie durch Umwandlung von Wärme erzeugt.	☐	☒
Ein Akkumulator kann höchstens 200-mal aufgeladen werden.	☐	☒
Ein Akkumulator kann beliebig oft aufgeladen werden.	☐	☒
Die Energiedichte eines Akkus hängt von der Art der verwendeten Materialien ab.	☒	☐
Akkumulatoren können miteinander kombiniert werden.	☒	☐
Bei der Reihenschaltung von Akkus wird die nutzbare elektrische Spannung erhöht.	☒	☐

2. Entscheidend bei Fahrzeugakkus ist deren Energiedichte bei möglichst geringem Platz und Gewicht. Um beispielsweise 200 km weit zu fahren, benötigt man etwa 25 kWh Antriebsenergie. Im Folgenden siehst du, welchen Treibstoffvorrat Fahrzeuge mit unterschiedlichen Antriebsarten dafür transportieren müssen.

a) Berechne die Gesamtmasse des benötigten Treibstoffs (Gewicht eines normalen Kraftstofftanks ca. 5 kg; Wasserstofftank ca. 100 kg) und runde das Ergebnis auf volle kg.

Energieträger	Energiedichte	Antriebskomponente	Wirkungsgrad	Gesamtmasse
Strom aus Bleiakku	0,03 kWh/kg	Elektromotor mit Nutzbremse	ca. 88 %	947 kg
Strom aus Lithium-Ionen-Akku	0,10 kWh/kg	Elektromotor mit Nutzbremse	ca. 88 %	284 kg
Benzin	11,5 kWh/kg	Ottomotor mit Getriebe	ca. 21 %	15 kg inkl. Tank
Diesel	11,8 kWh/kg	Dieselmotor mit Getriebe	ca. 26 %	13 kg inkl. Tank
Wasserstoff	33,3 kWh/kg	Elektromotor mit Brennstoffzelle	ca. 53 %	101 kg inkl. Tank

b) Was bedeutet dieser Vergleich bezogen auf Fahrzeuge?

Benzin und Diesel haben sehr viel Energie pro kg Gewicht gespeichert. Akkus sind sehr schwer und können pro kg Gewicht nur wenig Energie speichern. Der Wirkungsgrad von Elektromotoren ist jedoch wesentlich höher als der von Verbrennungsmotoren.

3. Welche weiteren Faktoren müssen beim direkten Vergleich der Antriebsenergie von Elektrofahrzeugen und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor berücksichtigt werden?

die Gewichtsunterschiede der Antriebsmotoren bzw. Getriebe, die CO₂-Belastung der Umwelt, die Kosten für die Wartung, ...

4. Damit sich die Alternativen zum Verbrennungsmotor durchsetzen können, muss sich insbesondere die Akku-Technologie weiterentwickeln. Zähle in diesem Zusammenhang mögliche Verbesserungen auf.

saubere Stromgewinnung, höhere Kapazitäten der Akkus, geringeres Akkugewicht, günstigere Stromkosten, geringere Ladezeiten, ...



5. Um hohe Leistungen bei relativ kleinen Strömen aus einem Akku beziehen zu können, werden diese in Elektrofahrzeugen in „Hochvolt“-Technik bis zu 1000 V Spannung verbaut. Was bedeutet dies für die Fahrzeugsicherheit?

Bei einem Unfall müssen Fahrzeuginsassen und Rettungskräfte vor Stromschlägen geschützt werden. Dazu muss eine Abschaltel Elektronik innerhalb kürzester Zeit (ca. 150 Millisekunden) nach dem Aufprall die Batterie vom Stromnetz trennen.

6. Im Zusammenhang mit Elektromobilität spielen sogenannte „Supercaps“ zunehmend eine Rolle. Informiere dich darüber und beschreibe.

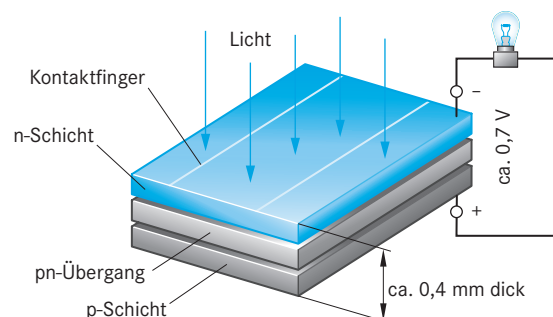
Hochleistungs-Kondensatoren werden als Supercaps bezeichnet. Da solche Kondensatoren anders als Akkus keinem Verschleiß unterliegen, können sie z.B. mit überschüssiger elektrischer Bremsenergie aufgeladen werden. Beim Beschleunigen bringt der Energieschub aus den Supercaps zusätzliche Leistung. Der hohe Wirkungsgrad von fast 100% macht diesen Kondensator interessant, allerdings ist die Energiedichte recht niedrig.

E4 Solarzellen

1. Ergänze die Geschichte der Photovoltaikzelle mit den Begriffen aus dem Buchstabenkasten.

wirkungsgrad umweltbewusstsein photovoltaikzelle satellitentechnik wirtschaftlich lichtenergie photoeffekt

Das Prinzip einer Photovoltaikzelle wurde im Jahre 1839 von dem Franzosen Alexandre Edmond Becquerel entdeckt. Er schaffte es, Lichtenergie in elektrische Energie umzuwandeln. 1905 gelang es Albert Einstein, den Photoeffekt zu erklären.

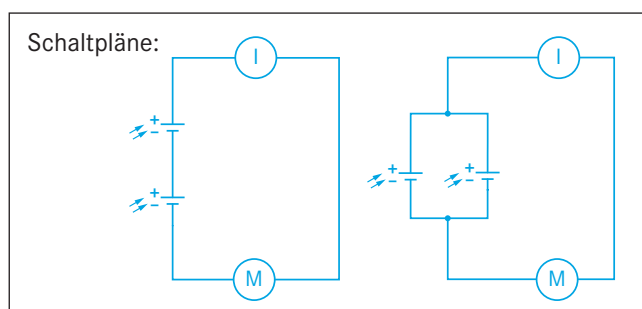


1954 wurden die ersten Siliziumzellen mit einem Wirkungsgrad von über vier Prozent produziert. Von da an wurden Photovoltaikzellen bei der Satellitentechnik verwendet. Durch die Nachfrage aus der Raumfahrt wurden entscheidende Fortschritte in der Entwicklung von Photovoltaikzellen erzielt. Durch gestiegenes Umweltbewusstsein und häufige Energiekrisen wird seitdem versucht, Photovoltaikzellen auch wirtschaftlich interessant zu machen.

2. Technisches Experiment zu Solarzellen

Materialliste: 2 Solarzellen (z.B. 1,5 V/30 mA), Messgerät (Multimeter), Verbindungskabel, Motor

Anleitung: Entwickle eine Schaltung, mit der du die Unterschiede von zwei parallel und zwei in Reihe geschalteten Solarzellen nachweisen kannst. Zeichne die Schaltpläne deiner Experimentalaufbauten.



a) Welcher Strom und welche Spannung liegen an, wenn die Solarzellen in Reihe bzw. parallel geschaltet werden?

Reihenschaltung: 30 mA / 3 V **Parallelschaltung:** 60 mA / 1,5 V

b) Schalte die Module in Reihe und beobachte die Drehzahl des Motors. Decke nun einen Teil einer Solarzelle ab. Was geschieht?

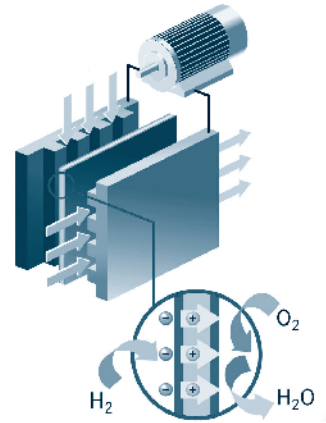
Die Drehzahl nimmt stark ab, setzt dann sogar aus.

E5 Brennstoffzellen

1. Ergänze die Geschichte der Brennstoffzelle mit den Begriffen aus dem Buchstabenkasten.

elektrischespannungelektrischerstromwasserstoffplatinkatalysatorssauerstoffbrennstoffzelle

Im Jahr 1839 entdeckte der Engländer William Grove, dass sich aus Wasserstoff und Sauerstoff in einem galvanischen Element elektrischer Strom gewinnen lässt. Er zerlegte Wasserdampf mit einer damals verfügbaren Stromquelle in die Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff. Dann vereinte er beide Stoffe mithilfe eines Platinkatalysators wieder. In eine Zelle mit verdünnter Schwefelsäure als Elektrolyt tauchte er zwei Glasröhrchen mit Elektroden aus Platin.



Eine Elektrode umspülte er mit Wasserstoff, die andere mit Sauerstoff. Es entstand elektrische Spannung, die sich abgreifen ließ. An der Brennstoffzelle wurde in verschiedenen Varianten weiter geforscht, doch erst im 20. Jahrhundert kam man wieder auf die „neue“ Technik zurück.

2. Versuche zur Brennstoffzelle

Materialliste: 2 Brennstoffzellen, Messgerät (Multimeter), Verbindungskabel, Motor

Anleitung: Schließe die beiden Brennstoffzellen in Reihe und verkabele deinen Versuch. Lass deine Schaltung von der Lehrkraft kontrollieren und schließe den Wasserstoff an die Zellen an. Nach kurzer Zeit sollte sich der Motor drehen.

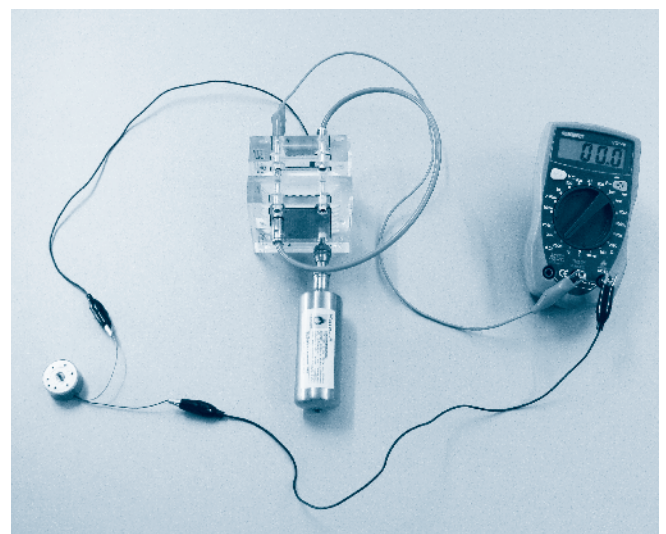
Tipp

Wenn du nicht sicher bist, wie stark du das Ventil des Tanks öffnen musst, halte den Tank in ein Wasserglas. Etwa alle drei Sekunden muss ein kleines Wasserstoffbläschen entstehen.



Achtung

Wasserstoff ist ein gefährliches Gas, das leicht explodieren kann.



Miss den Strom und die Spannung, die in deiner Schaltung fließen.

Strom: ca. 500 mA **Spannung:** ca. 0,5 V

E6 Versuche zu Solarzellen

1. Versuch zu Leistungscharakteristik und Schaltungsart

Materialliste:

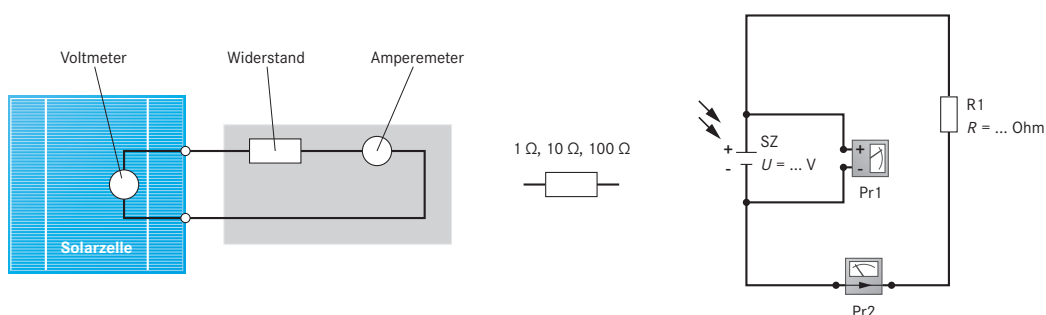
1 Solarzelle, Widerstände (je nach Zellen: 1 Ω bis 20 k Ω),
1 Steckbrett, 6 Kabel, 2 Multimeter

Info

Die abgegebene Leistung ist $P = U \cdot I$

a) Versuchsdurchführung: Baue die Solarzelle so auf, dass sie konstant von der Sonne beschienen werden kann. Schließe die Multimeter und Widerstände nach Schaltplan an und ermittle U , I bei verschiedenen Widerständen. Berechne dazu die Leistung P und trage sie in die Tabelle ein.

- Voltmetereinstellungen: DC, 20 V, Buchsen $\rightarrow$ com + V
- Amperemetereinstellungen: DC, 200 mA, Buchsen $\rightarrow$ com + mA



P in W	8	7,8	38	15	163	130	108	83,6	55,3	40,35	24,6	6,6	3,3	0	162
----------	---	-----	----	----	-----	-----	-----	------	------	-------	------	-----	-----	---	-----

b) Auswertung: Erweitere die Tabelle und trage in einem Diagramm I und P über U auf. Für welche Werte ergibt sich das Leistungsmaximum der Solarzelle?

R in Ω	0	1	22	100	220	330	470	660	1000	1500	2200	10000	20000	∞	147
U in V	0,21	0,2	1,02	3,9	6	6,72	7,2	7,6	7,9	8,07	8,2	8,35	8,36	8,5	5,08
I in A	39	39	38	38	27	20	15	11	7	5	3	0,8	0,4	0	37
P in W	8	7,8	38	15	163	130	108	83,6	55,3	40,35	24,6	6,6	3,3	0	162

c) Zusatz: • Parallelschaltung: Schalte zwei Solarzellen parallel und ermittle U , I .

Die Spannung ist konstant, der Strom beträgt etwa das Zweifache des Stroms einer Zelle.

• Reihenschaltung: Schalte zwei Solarzellen hintereinander und ermittle U , I .

Der Strom ist konstant, die Spannung beträgt etwa das Zweifache des Stroms einer Zelle.

2. Versuch zur Energieumwandlung

Materialliste:

2 Solarzellen, 1 Dynamo als Motor (mit Rolle und Schnur), verschiedene Massen (100 g, 200 g, 500 g), 6 Kabel, 2 Multimeter, 1 Steckbrett, 1 Schalter, Stativmaterial

Info

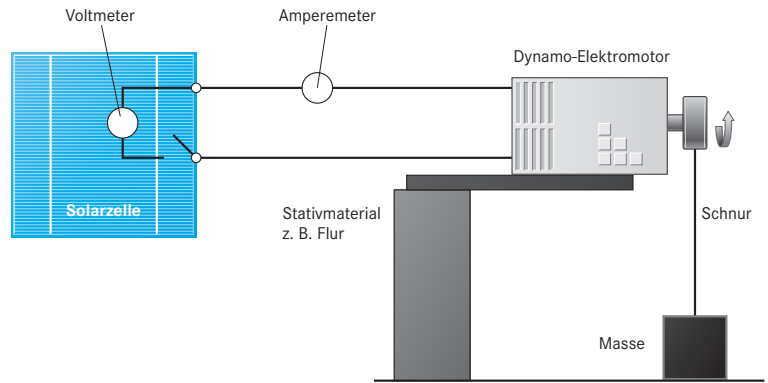
Elektrische Energie: $W = U \cdot I \cdot t$

Lageenergie: $W = m \cdot g \cdot h$

a) Baue den Versuch auf und achte darauf, dass die Solarzellen gut von der Sonne beschienen werden.

Experimentiere, ob ein stabiler Betrieb des Motors in Reihen- oder Parallelschaltung gewährleistet wird.

Ermittle mit den Multimetern die Stromstärke I und die Spannung U .



b) Positioniere den Dynamo-Elektromotor so, dass die Schnur ein Gewichtsstück vom Boden aus (z.B. Schulvorplatz → 1. Stock) mittels der sich drehenden Rolle anheben kann. Vorsicht: Überlaste weder die Rolle noch die Anordnung!

Teste die annehmbaren Werte (m , h , ...) aus. Ermittle dann die Hubhöhe und die dafür benötigte Zeit t und ermittle den durchschnittlichen Wirkungsgrad $P_{\text{elektrisch}}$ zu $P_{\text{mechanisch}}$

m in kg	U in V	I in A	t in s	h in m	$P_{\text{elektrisch}}$ in W $P_e = U \cdot I$	$P_{\text{mechanisch}}$ in W $P_m = \frac{m \cdot g \cdot h}{t}$	Wirkungsgrad
0,1							
0,2							
0,5	1,6	0,8	11	1,0	1,28	0,41	0,35

(Messwerte in Abhängigkeit von den Eigenschaften der Solarzelle und der solaren Einstrahlung)

3. Versuch zu Neigungswinkel und Sonneneinstrahlung

Materialliste:

1 Solarzelle, 1 Energiemessgerät für Solarzellen (alternativ: 2 Multimeter, 1 Widerstand mit 10Ω , Stoppuhr), Stativmaterial

Info

Eine Solarzelle wandelt Lichtenergie in elektrische Energie um. Diese hängt wiederum von der einfallenden Lichtstärke, der beschienenen Fläche und somit vom Winkel zur Sonne ab.

a) Baue die Solarzelle so auf, dass sie gut von der Sonne beschienen werden kann. Ermittle die Position, bei der die Sonne senkrecht auf die gesamte Solarfläche zeigt. Man kann beispielsweise ein Rohr so vor die Solarzelle halten, dass die Sonne das Rohrrinnere als hellen Kreis auf der Solarzelle abbildet.

b) Verändere den Winkel um jeweils 10 Grad und miss je 10 s lang. Notiere Winkel und Werte; erstelle ein Diagramm „Leistung in Abhängigkeit des Winkels“.

Info

Falls der Energiemesser nicht zur Verfügung steht, lässt sich die Energie auch über die gemessene Spannung und die Stromstärke ermitteln: $E = U \cdot I \cdot t$

α in Grad	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
P in mW	22*	32	50	70	88	96	109	121	130	132

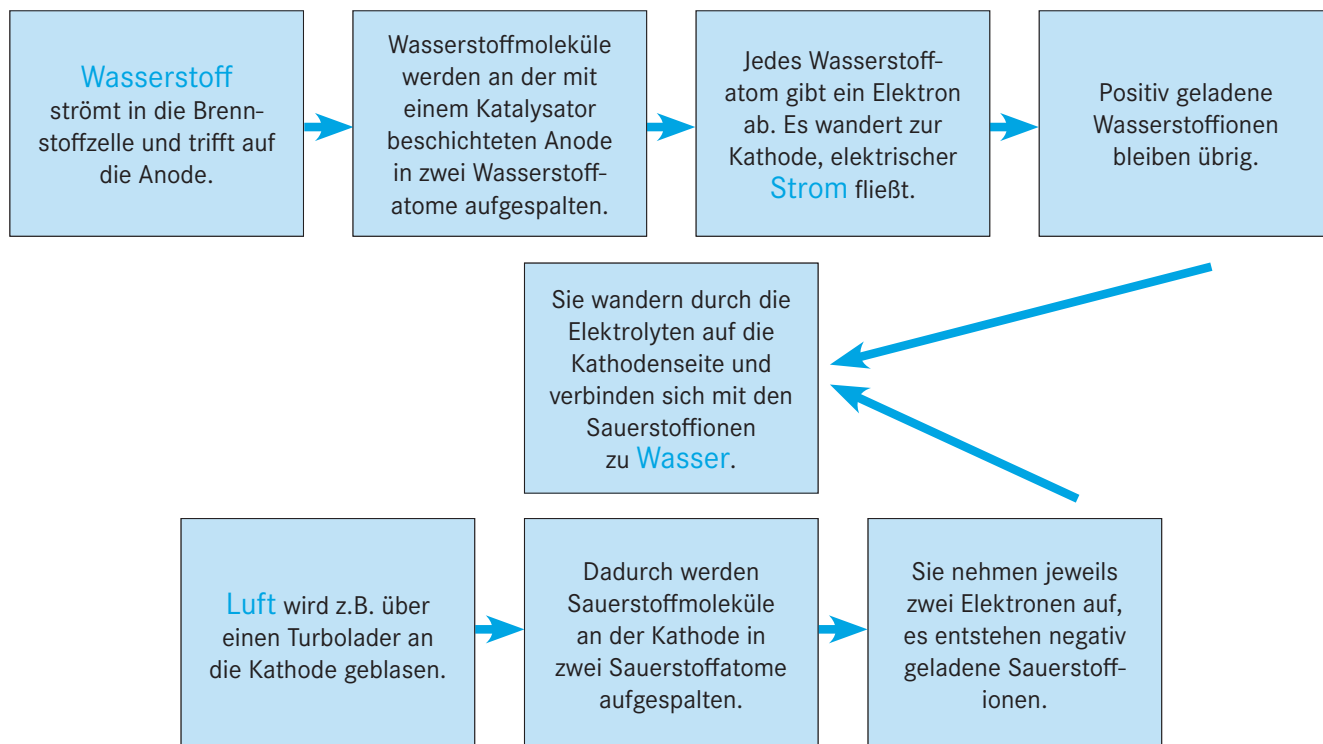
* Eigentlich 0, aber Streustrahlung

E7 Brennstoffzellen als Energiewandler

Wenn über Wasserstoff als Kraftstoff für die Zukunft gesprochen wird, geschieht dies meist im Zusammenhang mit der Brennstoffzelle. Sie dient zur Umwandlung der im Wasserstoff gespeicherten chemischen Energie.

1. Erkläre den Aufbau der Energieumwandlung mit Brennstoffzellen.

a) Schneide auf einer Kopie dieser Seite die unteren Textbausteine aus und klebe sie in das Diagramm in der richtigen Reihenfolge ein.



b) Welche Eingangsstoffe werden in dem Prozess benötigt und welche Ausgangsstoffe werden erzeugt?

Eingangsstoffe: **Wasserstoff und Sauerstoff aus der Luft**

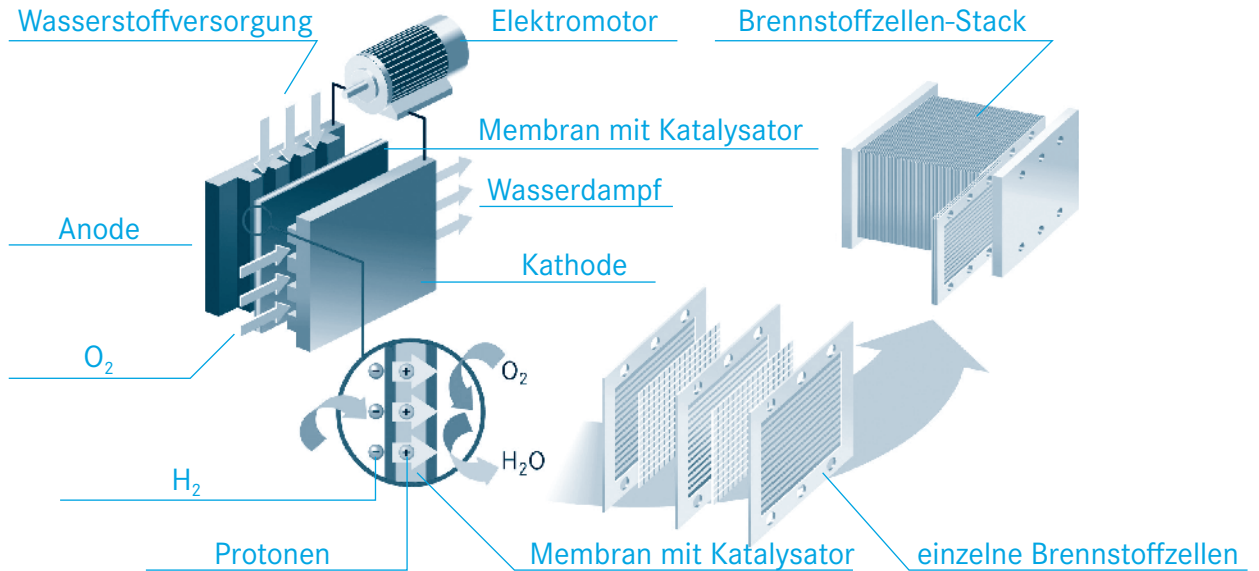
Ausgangsstoffe: **Wasser und Strom**

c) Kennzeichne die Eingangs- und Ausgangsstoffe des Energiewandlungsprozesses farbig.

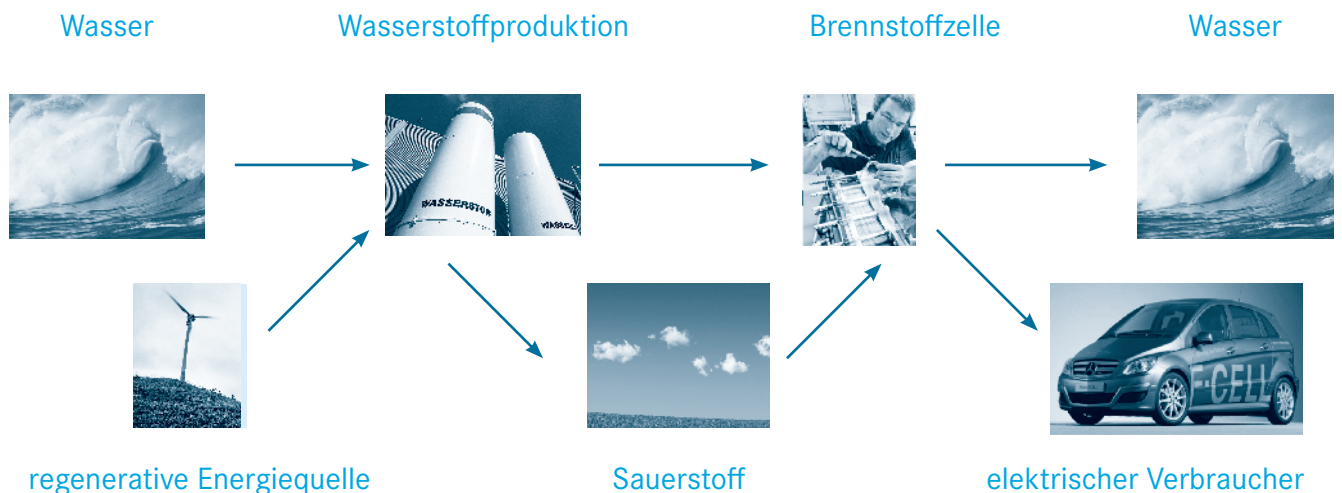
2. Wie ist eine Wasserstoffzelle aufgebaut und wie funktioniert der Kreislauf der „Wasserstoffwirtschaft“?

a) Beschrifte die einzelnen Komponenten der Abbildung mit folgenden Begriffen:

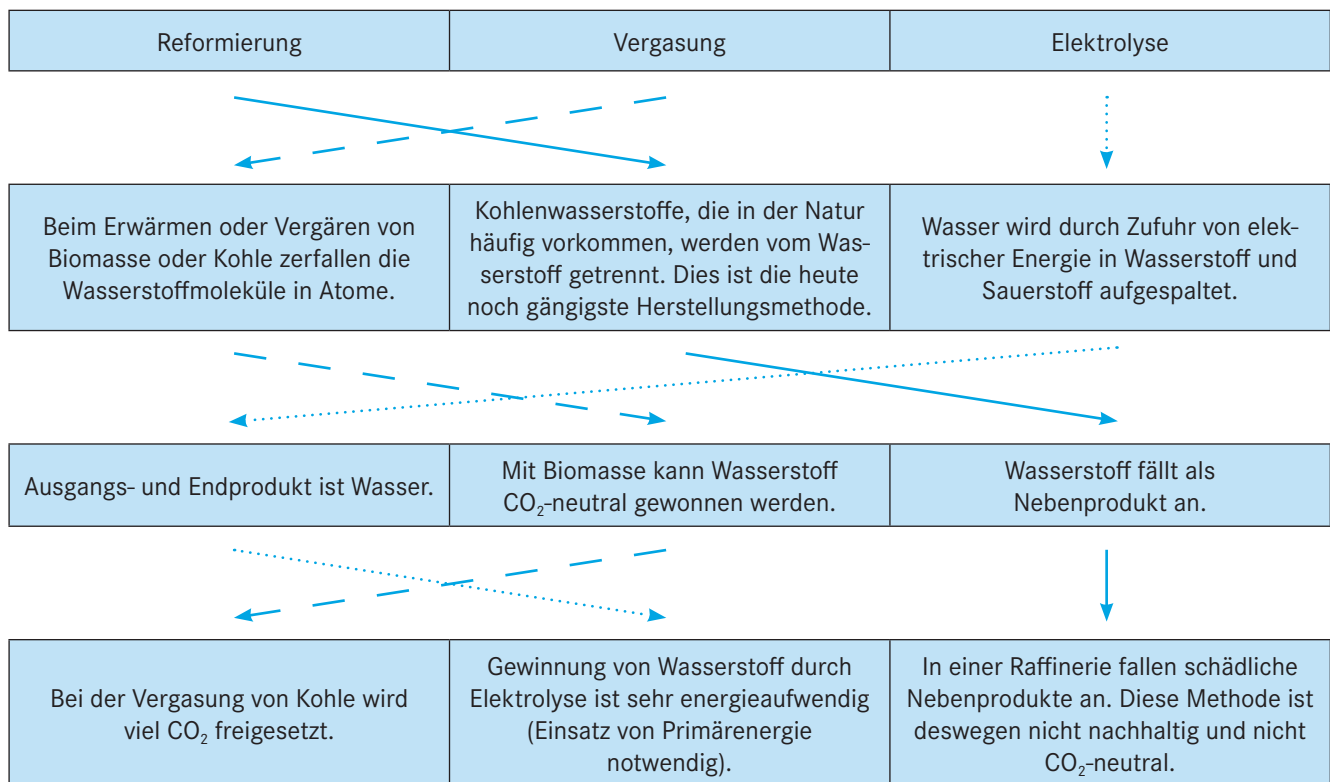
Anode, Brennstoffzellen-Stack (Stapel), einzelne Brennstoffzellen, Elektromotor, H_2 , H_2O , Kathode, Membran mit Katalysator (2x), O_2 , Protonen, Wasserdampf, Wasserstoffversorgung



b) Das Diagramm zeigt den Kreislauf einer emissionsfreien Energiewandlung. Schneide die Bilder aus und klebe sie in der richtigen Anordnung auf die freien Stellen. Beschrifte mit den folgenden Begriffen: elektrischer Verbraucher, Brennstoffzelle, Wasserstoffproduktion, Wasser, Sauerstoff, Wasser, regenerative Energiequelle.

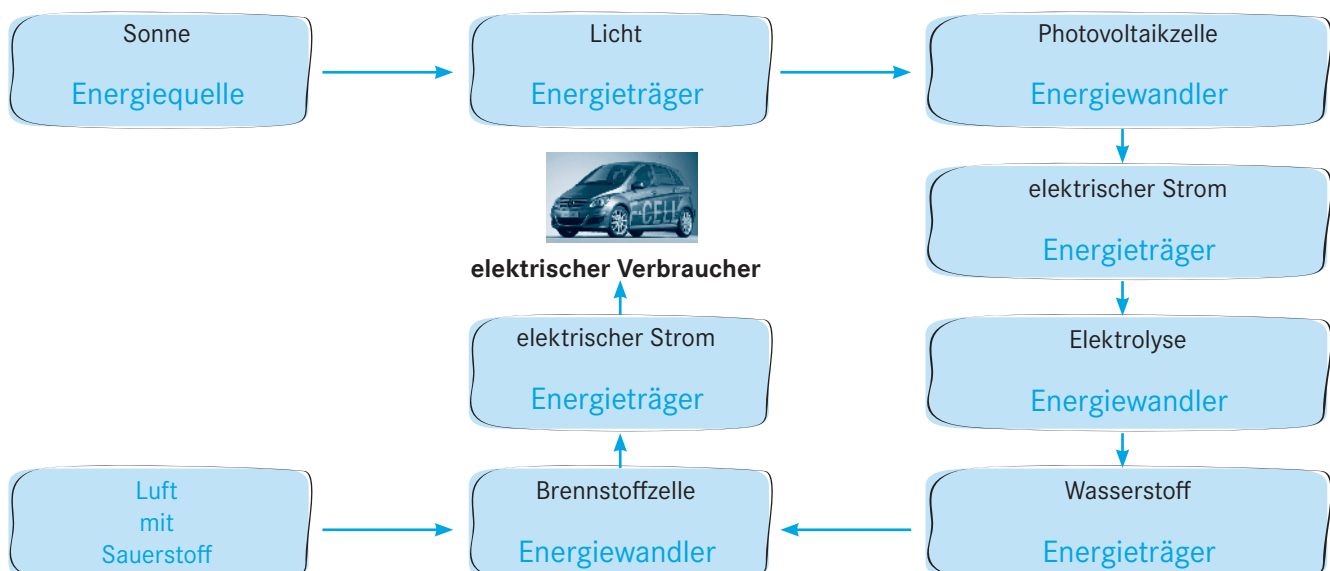


3. Ordne mithilfe von farbigen Pfeilen den Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff die entsprechenden Erläuterungen sowie die Vor- und Nachteile zu.



4. Der Energiekreislauf

a) Ergänze das Schaubild um die Begriffe „Energiewandler“, „Energiespeicher“ und „Energieträger“.



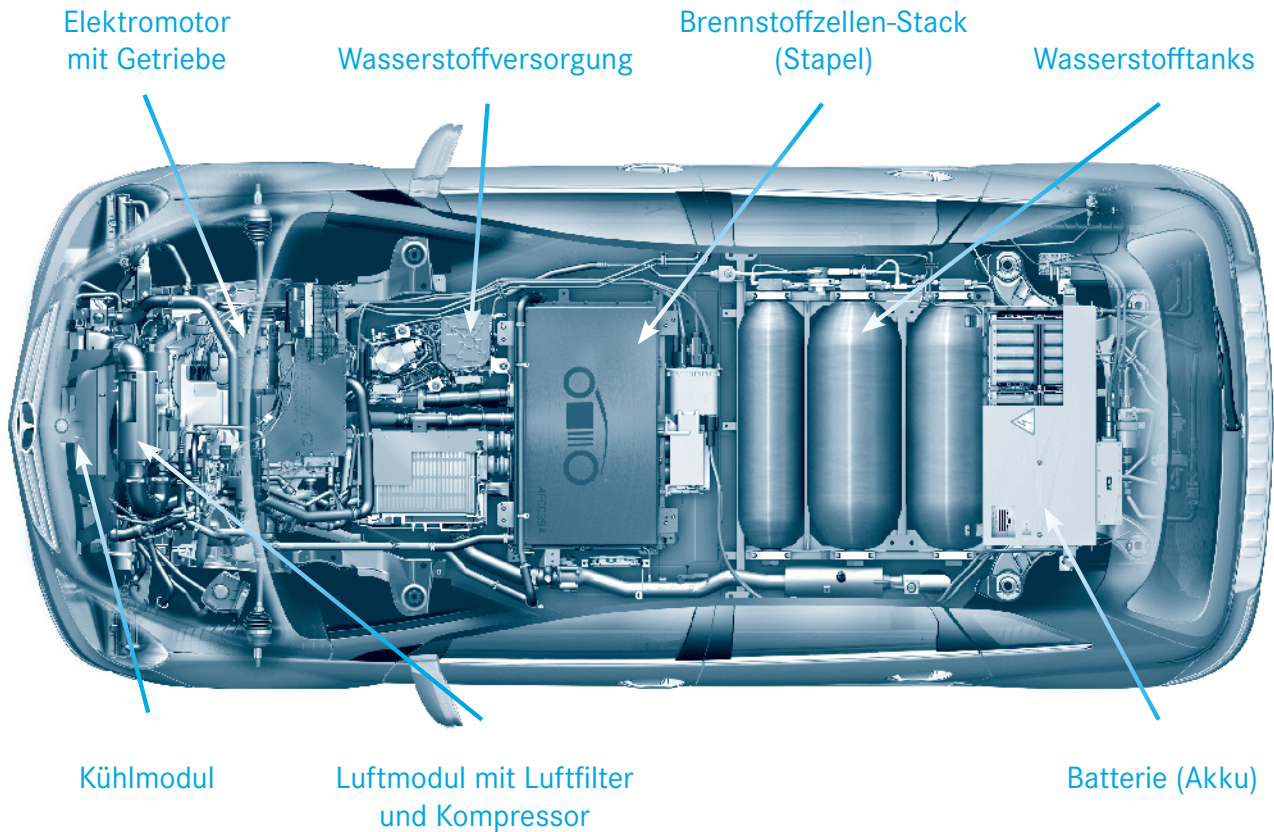
b) Welche weiteren zukunftsfähigen Stromgewinnungsmöglichkeiten für die Elektrolyse kennst du?

Windkraftwerke, Aufwindkraftwerke, Wasserkraftwerke (Gezeitenkraftwerke, Wellenkraftwerke, ...), Biogasanlagen

5. Die Abbildung zeigt die Draufsicht auf ein Elektroauto mit Brennstoffzellenantrieb.

a) Ergänze die Hinweislinien mit folgenden Begriffen:

Batterie (Akku), Brennstoffzellen-Stack (Stapel), Elektromotor mit Getriebe, Kühlmodul, Luftmodul mit Luftfilter und Kompressor, Wasserstoffversorgung, Wasserstofftanks



b) Welche Funktion hat die Batterie im abgebildeten Fahrzeug?

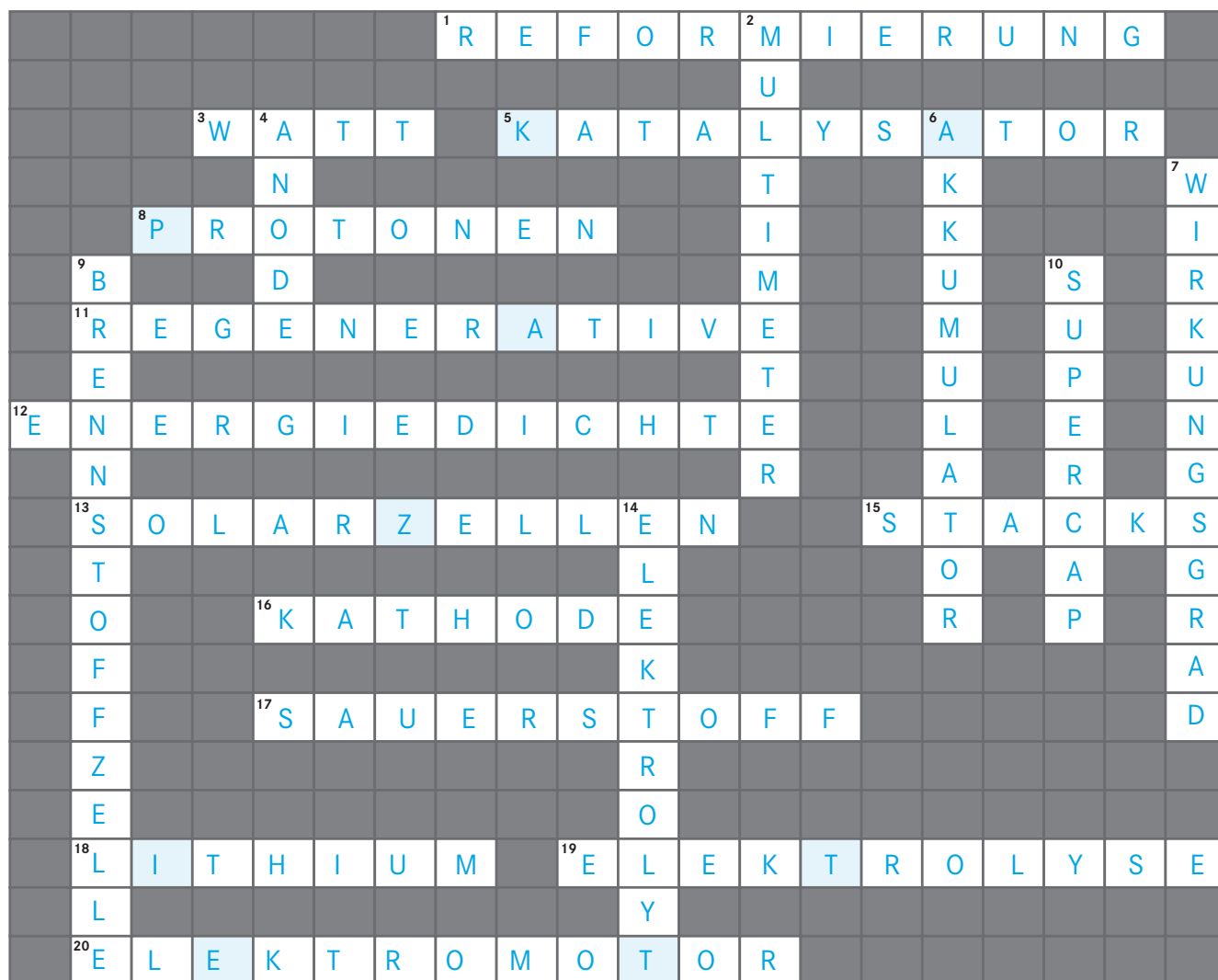
In einem Brennstoffzellenauto ist die Batterie nicht notwendig für den Antrieb. Sie dient als Zwischenspeicher für Spitzenbelastungen, nimmt zurückgespeiste Energie aus dem rekuperativen Bremsen auf und versorgt die elektrischen Aggregate des Autos mit Strom.

c) Welche Aufgabe hat die Batterie in einem „batterieelektrischen“ Auto?

In diesem Fall ist eine leistungsstarke Batterie im Antriebsstrang zwingend notwendig für den Betrieb des Elektromotors.

E8 Zum Trainieren und Merken

1. a) Trage die gesuchten Begriffe zum Thema „Elektrische Energiewandlung und -speicherung“ ein.



waagerecht

1. Arbeitsschritt bei der Erdölveredelung, bei der Wasserstoff anfällt
3. Einheit für Leistung
5. dient dazu, dass z.B. Wasserstoff und Sauerstoff miteinander reagieren
8. elektrisch positiv geladene Teilchen
11. anderer Begriff für erneuerbare (Energieformen)
12. Größe zum Vergleich unterschiedlicher Energieträger mit der Einheit kWh/kg
13. Überbegriff für Erzeuger von Energie aus Sonne
15. Verbindung mehrerer Brennstoffzellen
16. An dieser Elektrode werden einer Brennstoffzelle Elektronen zugeführt.
17. wird für die Reaktion des Wasserstoffs in der Brennstoffzelle benötigt

18. Edelmetall in der Akkuproduktion

19. Prozess, in dem Wasserstoff durch Spaltung von Wasser hergestellt wird

20. wandelt elektrische Energie in Bewegung

senkrecht

2. Messgerät, mit dem sehr unterschiedliche Messungen durchgeführt werden können
4. An dieser Elektrode werden Elektronen abgeführt.
6. wiederaufladbare Batterie
7. Verhältnis von Nutzleistung zu zugeführter Leistung
9. wandelt Wasserstoff in elektrische Energie
10. eine Art von Hochleistungs-Kondensator
14. benötigt man immer, wenn zwischen Anode und Kathode etwas passieren soll

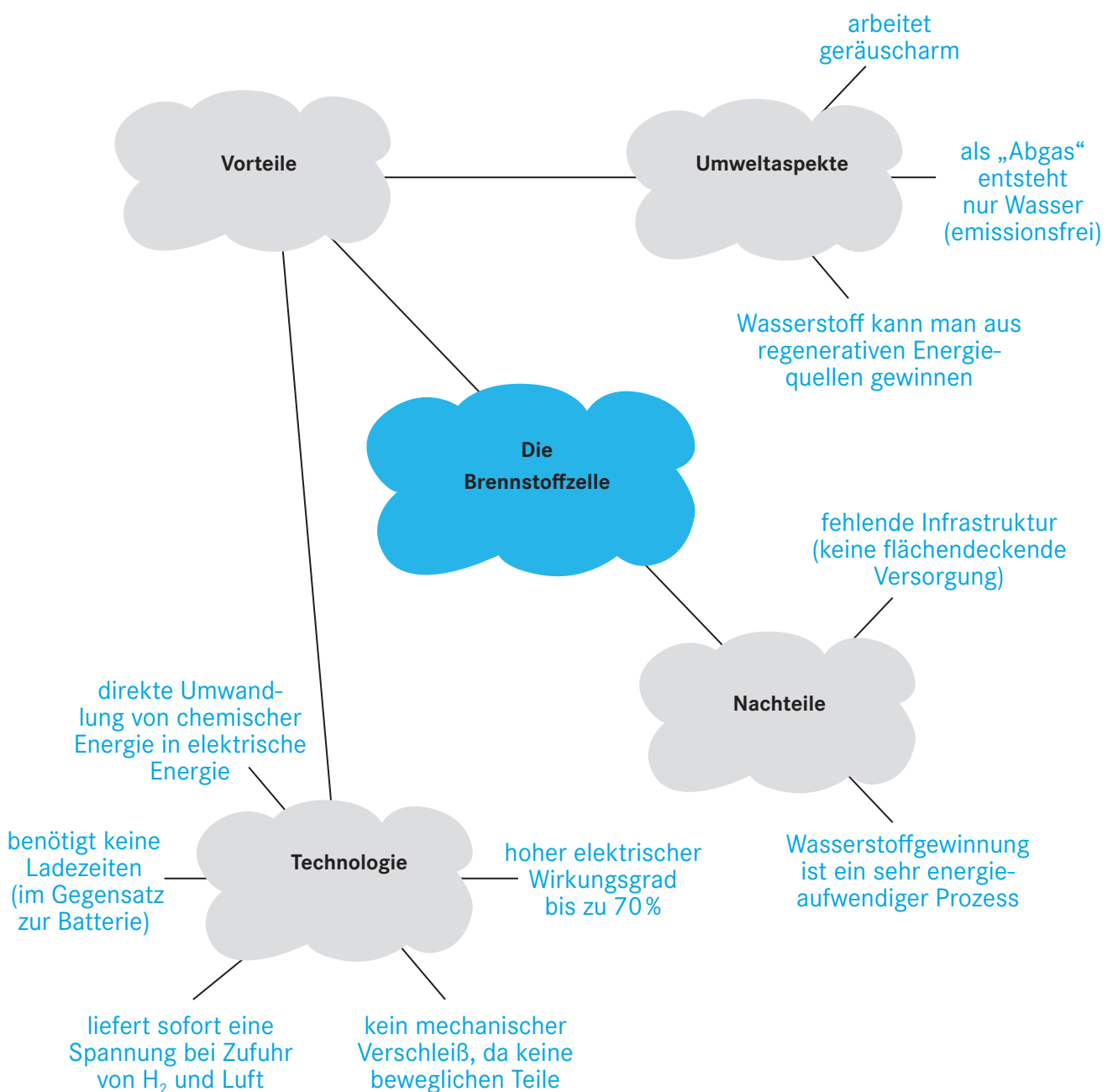
b) Benutze für das Lösungswort die Buchstaben in den blau unterlegten Kästchen von oben nach unten. Gesucht wird der Begriff für die Fähigkeit von Batterien und Kondensatoren, elektrische Ladung zu speichern.

K	A	P	A	Z	I	T	A	E	T
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

2. In welchen Bereichen wurde die Brennstoffzelle als Erstes eingesetzt? Welche Gründe gab es dafür vermutlich?

Die Brennstoffzelle wurde als Erstes im Militärbereich und in der Raumfahrt eingesetzt. In der Raumfahrt spielten die Kosten eine untergeordnete Rolle. Die Vorteile der Technik standen im Vordergrund.

3. Ergänze die Mindmap zur Brennstoffzelle unter den vorgegebenen Aspekten.



Lehrerinformationen **F**

Rohstoffverbrauch und Alternativen

In der Diskussion um die begrenzte Verfügbarkeit von Rohstoffen gilt es, zwei Argumente voneinander zu trennen:

a) Politik (Verfügbarkeit wird zur politischen Machtfrage instrumentalisiert) und b) Umwelt (Endlichkeit der Ressourcen).

Das wachsende Umweltbewusstsein führte dazu, dass Benzinverbrauch und Schadstoffausstoß der Automobile in die Diskussion gerieten. Bereits in den 1960er Jahren begann man, alternative Antriebsenergien für Fahrzeuge zu entwickeln. Es bedarf technischer Entwicklungen, um den Verbrauch zu senken und die Emissionsausstöße zu reduzieren. In diesem Zusammenhang gibt es ein ehrgeiziges Ziel: Deutschland soll eine Vorreiterrolle bei der Entwicklung und Einführung neuer Mobilitätsformen übernehmen. Eine Million Elektroautos sollen bis 2020 auf den Straßen fahren. Diese ehrgeizige Vorgabe erfordert die Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen, damit Automobilhersteller in diese Zukunftstechnologie investieren und Elektrofahrzeuge für Kunden attraktiv werden.

Mit dem derzeitigen Stand der Technik lassen sich viele Argumente für und gegen Elektrofahrzeuge finden. Kritische Aspekte von Elektrofahrzeugen sind die geringere Reichweite, Batterieprobleme und das höhere Preisniveau. Mittelfristig lässt sich bei einer Erstnutzung von vier Jahren ein deutlicher vierstelliger Betrag als Kostennachteil gegenüber vergleichbaren konventionellen Fahrzeugen verzeichnen. Derzeit gibt es keine steuerrechtlichen oder anderweitigen Vergünstigungen für Elektrofahrzeuge. Als schwerwiegend wird außerdem ein möglicher Komfortverlust bei der Nutzung empfunden. Auf der positiven Seite lassen sich die Geräuscharmheit und die Umweltfreundlichkeit, effektivere Motoren und einfache, zukunftsweisende und unterhaltssparsame Technik anführen.

Hybridfahrzeuge

In einem Hybridfahrzeug arbeiten mehrere Antriebssysteme auf unterschiedliche Weise zusammen. Derzeit werden in der Regel Verbrennungsmotoren zusammen mit Elektromotoren eingesetzt. Die Motoren können parallel arbeiten, dann wirken die Antriebe gleichzeitig auf den zu bewegenden Teil; oder seriell arbeiten, dann wirkt ein Antrieb unmittelbar auf den zu bewegenden Teil, während der andere nur Leistung bereitstellt, die umgewandelt dem direkt wirkenden Antrieb zugeführt wird. Auch Mischformen sind möglich. Die derzeitigen Hybridmodelle sind Kompromisslösungen, da zwei verschiedene Motortypen zu einem höheren Gewicht führen und die

Umwelt noch immer durch Schadstoffe belastet wird, wenn auch in einem geringeren Maße.

Abgasreinigung mit Chemikalien

Unter dem Begriff AdBlue wird seit 2003 eine synthetisch hergestellte 32,5%ige Lösung von Harnstoff in demineralisiertem Wasser zur Nachbehandlung von Dieselaabgasen eingesetzt. Bei dem Einsatz dieser Technik wird der Schadstoffausstoß von Stickstoffoxiden um etwa 90% reduziert. Neben einem gesonderten Tank ist ein Einspritzsystem vor dem Katalysator notwendig, welches die Lösung in den Abgasstrom einspritzt. In der dabei entstehenden chemischen Reaktion werden die Stickstoffoxide in Stickstoff und Wasserdampf umgewandelt. Neben der Reduzierung der Stickstoffoxide liegen die Vorteile dieser Technologie in einer etwa 2–5%igen Kraftstoffeinsparung, einer flächendeckenden Verbreitung, einer hohen Reichweite, in Wartungsfreiheit und einer unkomplizierten und ungefährlichen Befüllbarkeit des Zusatztanks. Nachteilig sind neben dem zusätzlichen Platz- und Gewichtsbedarf des Tanks, der Lösung und der Einspritzanlage ein hoher Gefrierpunkt von etwa -11 °C, zusätzliche Kosten für die Lösung und eine längerfristig mögliche Kristallbildung im Abgastrakt.

Der Einsatz von Brennstoffzellen

Brennstoffzellen wurden zuerst produktiv eingesetzt in der amerikanischen Raumfahrttechnik in den 1960er Jahren. Sie waren in den Apollo-Missionen zum Mond meist zuverlässige Energielieferanten.

Am 11. April 1970 kam es jedoch zu einem folgeschweren Zwischenfall: Nachdem die Rakete der Apollo-13-Mission nach problemlosem Start das All erreicht hatte, explodierte eine der Brennstoffzellen und brachte die Sauerstofftanks ebenfalls zur Explosion. Dadurch hatte das Servicemodul der Raumfähre keinen Strom mehr. Die drei Männer der Mannschaft mussten daher im Mondlandemodul ohne Heizung bei -200 °C Umgebungstemperatur knapp sechs Tage lang ausharren! Das Lebenserhaltungssystem des Mondlandemoduls war nicht dafür ausgelegt, drei Personen über einen so langen Zeitraum am Leben zu erhalten. Bei diesem Zwischenfall fiel der berühmte Satz „Houston, we've had a problem here“ („Houston, wir hatten hier ein Problem“). Die geplante Mondlandung musste aufgegeben werden und die Mission wurde abgebrochen. 2010 wurden die ersten serienmäßigen Brennstoffzellenfahrzeuge „F-Cell“ ausgeliefert. Herzstück dieser Elektrofahrzeuge

ge ist eine kompakte und leistungsfähige Brennstoffzelle, die mit gasförmigem Wasserstoff betrieben wird. Dieser ist in drei Tanks mit 700 bar Druck gespeichert. Ein 100 kW starker Elektromotor mit einem Drehmoment von 290 Nm wandelt den erzeugten Strom in mechanische Antriebsenergie. Im Vergleich mit Dieselmotor ergibt sich ein Verbrauch von umgerechnet 3,3 Litern Kraftstoff auf 100 Kilometer.

Die Brennstoffzelle ist ein hocheffizienter Energiewandler. Im Gegensatz zum Verbrennungsmotor, der auf einem thermodynamischen Prinzip basiert, also Wärme in Bewegung umsetzt, wandelt sie den Kraftstoff Wasserstoff direkt in elektrischen Strom um, mit dem dann ein Elektromotor betrieben wird.

Brennstoffzellenautos eignen sich dank ihrer größeren Reichweite und ihrer kurzen Betankungszeit auch für Langstrecken, da sie den Fahrstrom mithilfe von Wasserstoff selbst an Bord erzeugen. Dabei fahren sie lokal genauso sauber und ohne schädliche Emissionen wie Fahrzeuge mit batterieelektrischem Antrieb. Brennstoffzellen erzeugen aus der chemischen Reaktion von Wasserstoff und Sauerstoff Strom. Dabei entsteht lediglich reiner Wasserdampf.

Herstellung und Speicherung von Wasserstoff

Es gibt zahlreiche Verfahren, Wasserstoff herzustellen. Sie lassen sich drei Hauptmethoden zuordnen:

- Reformierung: Hier wird der Wasserstoff aus der Umsetzung von Wasserdampf mit in der Natur vorkommenden Kohlenwasserstoffen gewonnen. Dies ist heute die gängigste Herstellungsmethode.
- Thermo-, bio- oder fotochemische Prozesse: Bei diesen Prozessen zerfallen Wassermoleküle in Atome.
- Elektrolyse: Wasser wird durch einen elektrolytischen Spaltungsprozess in Sauerstoff und Wasserstoff zerlegt.

In Europa gibt es große Überschussmengen an Wasserstoff, die meist als Nebenprodukt in Rohö Raffinerien und in der chemischen Industrie anfallen. Diese Kontingente könnten günstig für erste Anwendungen im Verkehr eingesetzt werden, da sie bisher mangels geeigneter Verwendungsmöglichkeiten vernichtet werden. Mit der derzeit in Deutschland verfügbaren Menge könnten vorübergehend sogar die ersten Brennstoffzellen-Fahrzeuge betrieben werden. Für eine flächendeckende, langfristige Versorgung muss jedoch die Wasserstoff-Infrastruktur erst entwickelt werden.

Am sinnvollsten erweist sich die Herstellung von Wasserstoff durch Elektrolyse aus regenerativen Energiequellen wie Biomasse oder auch Wind-, Wasser- oder Sonnenkraft. Gerade Solar- und Windenergie bieten ein enormes Potenzial, da durch die Wasserstoff-Erzeugung die Diskontinuität dieser Energien überbrückt werden könnte. Hier ausreichende Ka-

pazitäten aufzubauen, bleibt eine der großen Herausforderungen der Zukunft. Diese Form der Erzeugung ist nicht nur unter Umweltschutzgesichtspunkten von großem Vorteil. Studien zur ganzheitlichen Energiebilanzierung von der Energiequelle bis zum angetriebenen Rad (Well-to-Wheel-Analyse) haben erwiesen, dass ein Brennstoffzellen-Fahrzeug, das mit Wasserstoff aus regenerativen Energiequellen angetrieben wird, eine der besten Energiebilanzen aufweist.

Intelligente Stromnetze

Um traditionelle Energieversorger, private Erzeuger von regenerativer Energie und die in geladenen Akkus von Elektroautos zur Verfügung stehende Energie zu koordinieren und abzurechnen, bedarf es eines „intelligenten“ Stromnetzes. Die sogenannten „Smart Grids“ bezeichnen ein „intelligentes“ Stromnetz, welches die Vernetzung und Steuerung von Stromerzeugern, Speichern, Verbrauchern und Netzbetriebsmitteln in Energieübertragungs- und -verteilungsnetzen umfasst. Smart Grids werden notwendig sein, um zu steuern, welche Anlagen den Strom für die Verbraucher produzieren, welche Netze geschaltet werden, um den Strom zu den Nutzern zu leiten und welche Energiespeicher eingesetzt werden, um den Energieverbrauch, der über den Tag verteilt stark schwankt, an die tatsächliche Energieversorgung anzupassen.

Neue Konzepte des Individualverkehrs

Eine mögliche Lösung, um den Individualverkehr weiter aufrecht zu erhalten, wären elektrisch betriebene Klein- und Kleinstfahrzeuge. Um lokale Emissionen zu vermeiden, werden gerade in Großstädten mehr und mehr Fahrzeuge elektrisch betrieben sein. Hier könnten kleine Kabinenroller und zweisitzige Fahrzeuge eine Lösung für den drohenden Verkehrskollaps sein. Mit einem 10–15 kW starken Elektromotor, der das Fahrzeug auf bis zu 80 km/h bringt und eine Reichweite von 100 Kilometer ermöglicht, würden diese Fahrzeuge den Mobilitätsansprüchen vieler Pendler genügen. Längerfristig werden jedoch auch diese Fahrzeuge die Menge des Individualverkehrs nicht bewältigen können.

Neben der Optimierung von Verbrennungsmotoren und der Fahrzeuggröße spielt die Gewichtsersparnis durch Leichtbauweise eine entscheidende Rolle bei der Verringerung von Verbrauch und CO₂-Emissionen. Allgemein gilt, 100 Kilogramm weniger Fahrzeuggewicht verringert den Treibstoffverbrauch um ca. 0,1–0,2 L/100 km. Dem stehen jedoch steigende Sicherheits- und Komfortansprüche und eine zunehmende Anzahl von Elektronikkomponenten gegenüber.

F1 Alternativen – warum und welche?

Info

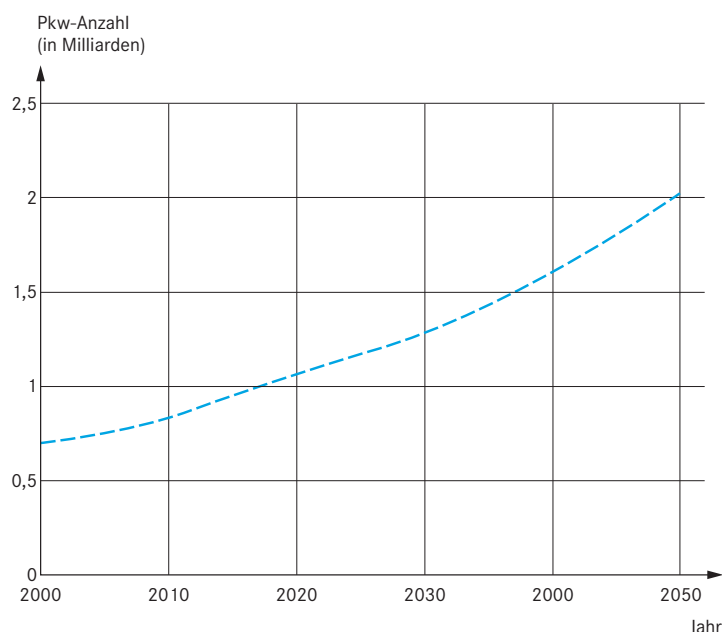
Kraftstoffe aus Erdöl bestehen aus einem begrenzten Rohstoff (fossile Energieträger), sie haben einen schlechten Wirkungsgrad und sie werden für den „Treibhauseffekt“ verantwortlich gemacht. Deswegen sucht man nach Alternativen.



1. Das Diagramm veranschaulicht das Wachstum des Pkw-Bestandes.

a) Bestimme aus der Grafik die Werte des Gesamtautomobilbestands im Jahr 2011 und den erwarteten im Jahr 2050. Vergleiche die Werte und berechne den realen Anstieg und den prozentuellen Anstieg.

Grafik über den erwarteten Pkw-Fahrzeugbestand



Im Jahr 2011 gab es ca. 0,8 Milliarden Pkws, 2050 sind 2 Milliarden prognostiziert.

Dies ist eine Differenz von 1,2 Milliarden und entspricht einem prozentuellen Anstieg um 150%.

b) Welche Folgen ergeben sich daraus? Warum sind Alternativantriebe deshalb so wichtig?

Da der Pkw-Bestand auf das Zweieinhalbfache steigen wird, nehmen die Emissionen ebenfalls immens zu. Um der Klimaerwärmung entgegenzuwirken und die Umwelt zu schützen, sind deshalb Alternativantriebe unumgänglich, da der CO₂-Ausstoß minimiert werden muss.

2. Stell dir vor: Auf der Straße siehst du das nebenstehende Auto.

a) Was bedeutet das Wort „Hybrid“?

Hybrid (griech.-lat.) bedeutet: von unterschiedlicher Herkunft, aus Verschiedenem zusammengesetzt



b) Worauf könnte sich das Wort Hybrid beim Auto beziehen?

Auf den Antrieb: Verschiedene Antriebsarten sind in einem Auto enthalten.

c) Welche Kombination wird wahrscheinlich eingesetzt?

Verbrennungsmotor zusammen mit einem Elektromotor

3. Recherchiere und beschreibe anschließend die folgenden Begriffe.

Mikro-Hybrid: Der Verbrennungsmotor wird um eine Start-Stopp-Anlage erweitert. Dies ist eine günstige Möglichkeit, Kraftstoff einzusparen (ca. 3-5 % oder mehr), z.B. an der Ampel oder auch im Stau.

Mild-Hybrid: Der Verbrennungsmotor wird zeitweilig durch einen kleinen Elektromotor unterstützt (Verwendung einer Start-Stopp-Anlage und regeneratives Bremsen). Die Einsparung beträgt 15-20 %.

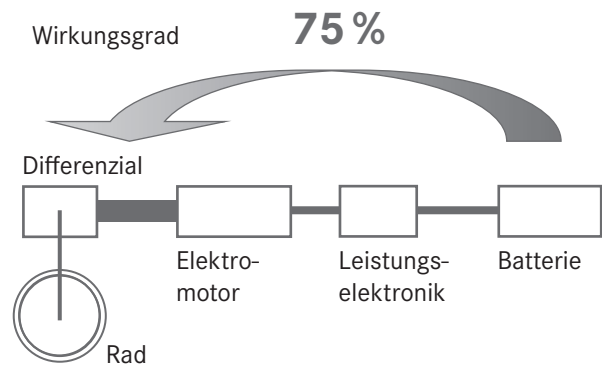
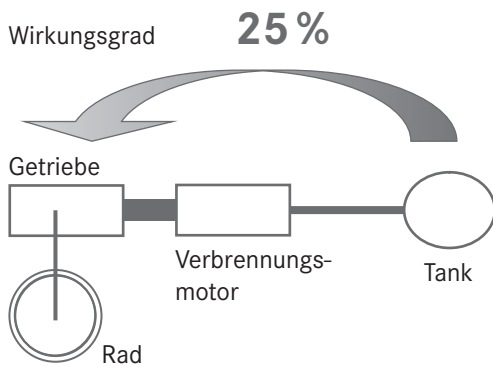
Voll-Hybrid: Für eine begrenzte Zeit kann ausschließlich der Elektromotor als Antrieb verwendet werden, z.B. beim Rangieren im Parkhaus. Elektromotor und Batterie sind größer dimensioniert als beim Mild-Hybriden, dementsprechend sind die Einsparpotenziale größer. Die elektrische Ladung der Batterie stammt aber nur aus dem Generatorbetrieb des Elektromotors, d.h. dem Auto wird nach wie vor ausschließlich über das Tanken des Kraftstoffs Energie zugeführt.

Plug-in-Hybrid: Die Auslegung der Batterie ermöglicht einen rein elektrischen Fahrbetrieb über größere Strecken (> 10 km). Ein Plug-in-Hybrid ist an der Steckdose ladbar (to plug in (engl.) = anschließen, einstecken).

Range Extender: Der Elektroantrieb ist der Standardantrieb, die Batterie ist an der Steckdose aufladbar. Für größere Reichweiten wird zusätzlich durch einen Verbrennungsmotor an Bord Strom erzeugt, um die Batterie nachzuladen.

F-Cell: Dies ist ein spezieller wasserstoffbetriebener Brennstoffzellenantrieb.

4. Die folgenden Abbildungen zeigen unterschiedliche Wirkungsgrade.



a) Worauf bezieht sich die Angabe des Wirkungsgrades?

Der Wirkungsgrad bezieht sich nur auf das System „Auto“ und berücksichtigt nicht die Bereitstellung der Energie.

b) Welche Energie muss zum Vergleich der Antriebe herangezogen werden?

Es sind die Primärenergien zu vergleichen.

c) Vergleiche die Kosten pro gefahrenem km bei Autos mit herkömmlichem Verbrennungsmotor und beim Elektroauto.

	Verbrauch	Energiekosten	CO ₂ -Ausstoß
Benzinmotor	6 L/100 km	1,40 €/L	2,36 kg/L
Dieselmotor	4,5 L/100 km	1,20 €/L	2,65 kg/L
Elektroantrieb	20 kWh/100 km	0,20 €/kWh	520 g/kWh (Strommix EU)

Benzinmotor:	$0,06 \frac{\text{L}}{\text{km}} \cdot 1,40 \frac{\text{€}}{\text{L}} = 0,084 \frac{\text{€}}{\text{km}} \approx 8 \frac{\text{ct}}{\text{km}}$
Dieselmotor:	$0,045 \frac{\text{L}}{\text{km}} \cdot 1,20 \frac{\text{€}}{\text{L}} = 0,054 \frac{\text{€}}{\text{km}} \approx 5 \frac{\text{ct}}{\text{km}}$
Elektromotor:	$0,20 \frac{\text{kWh}}{\text{km}} \cdot 0,20 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 0,04 \frac{\text{€}}{\text{km}} = 4 \frac{\text{ct}}{\text{km}}$

d) Vergleiche den CO₂-Ausstoß in g pro gefahrenem km bei Autos mit herkömmlichem Verbrennungsmotor und beim Elektroauto. Achte auf die Einheiten. Tipp: Rechne zuerst die kg in g um.

Benzinmotor:	$2\,360 \frac{\text{g}}{\text{L}} \cdot 0,06 \frac{\text{L}}{\text{km}} = 141,6 \frac{\text{g}}{\text{km}} \approx 142 \frac{\text{g}}{\text{km}}$
Dieselmotor:	$2\,650 \frac{\text{g}}{\text{L}} \cdot 0,045 \frac{\text{L}}{\text{km}} = 119,25 \frac{\text{g}}{\text{km}} \approx 119 \frac{\text{g}}{\text{km}}$
Elektromotor:	$520 \frac{\text{g}}{\text{kWh}} \cdot 0,20 \frac{\text{kWh}}{\text{km}} = 104 \frac{\text{g}}{\text{km}}$

5. Finde heraus, was hinter dem Begriff „AdBlue“ steckt. Beschreibe die Wirkungsweise und zähle jeweils stichwortartig drei Vor- und Nachteile auf.

AdBlue ist ein Markenname für eine umweltschonende Chemikalie (wässrige Harnstofflösung). Es wird zur Abgasreinigung in Katalysatoren bei Dieselfahrzeugen eingesetzt.

Drei Vorteile

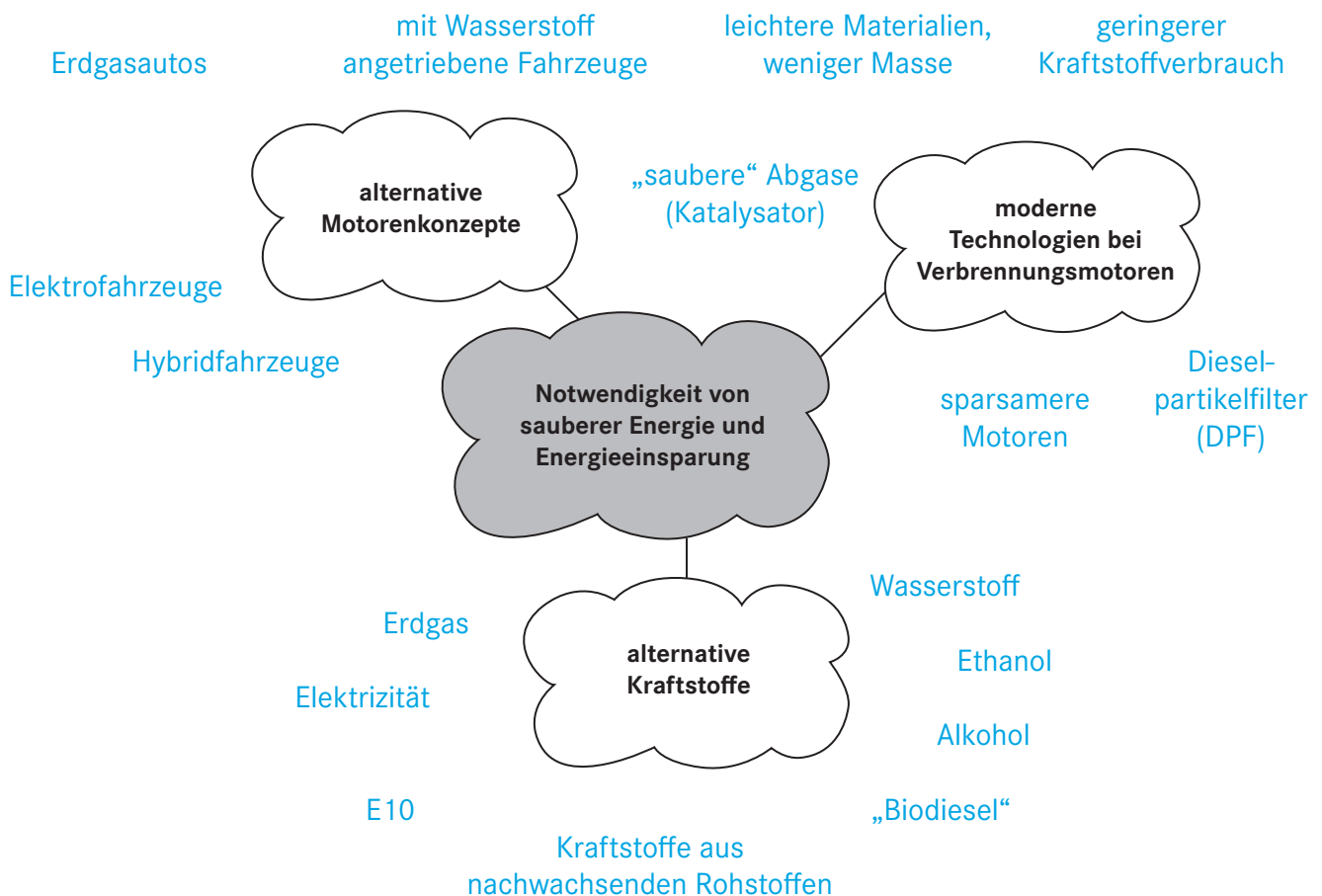
- führt zu geringerem Kraftstoffverbrauch (ca. 2–5 %)
- ermöglicht die Einhaltung strengerer Abgasnormen
- ist in Europa gut erhältlich

Drei Nachteile

- Zusatztank nötig
- Zusatzgewicht durch Tank und Flüssigkeit
- Zusatzkosten durch Betankung

6. Was hast du alles gelernt über alternative Antriebs- und Energiekonzepte?

a) Ergänze die Übersicht und schreibe rund um die Wolken alles auf, was dir zu den jeweiligen Punkten einfällt.



b) Partner- oder Gruppenarbeit: Vergleicht eure Lösungen untereinander und diskutiert die Ergebnisse.

F2 Warum haben noch nicht alle Autos einen Elektroantrieb?

1. Folgende Berechnungen über eine Fahrstrecke von 500 km ermöglichen einen Vergleich zwischen herkömmlichem Kraftstoff und Akkus für einen Elektroantrieb. Löse die folgenden Aufgaben.

- a) Wie hoch ist der Verbrauch (Energiebedarf) über die Strecke von 500 km in L und kWh bei Kraftstoff (Benzin) und bei Akkus für Elektroantrieb?
- b) Rechne die L in kWh um.
- c) Wie viel wiegt die benötigte Menge Kraftstoff?
- d) Wie groß ist die Masse der Lithium-Ionen-Akkus?

Energiespeicher	Kraftstoff für Verbrennungsmotor	Lithium-Ionen-Akkus
Energiedichte	9 kWh/L, 12 kWh/kg (Dichte von Benzin: 740 kg/1000 L)	0,14 kWh/kg
Energiebedarf	6 L/100 km	20 kWh/100 km
Fahrstrecke	500 km	
Verbrauch	a) Berechnung des Verbrauchs in L: $500 \text{ km} \cdot \frac{6 \text{ L}}{100 \text{ km}} = 30 \text{ L}$	a) Berechnung des Verbrauchs in kWh: $500 \text{ km} \cdot \frac{20 \text{ kWh}}{100 \text{ km}} = 100 \text{ kWh}$
KWh	b) Umrechnung der L in kWh: $30 \text{ L} \cdot 9 \frac{\text{kWh}}{\text{L}} = 270 \text{ kWh}$	
Masse	c) $30 \text{ L} \cdot \frac{740 \text{ kg}}{1000 \text{ L}} = 22,2 \text{ kg}$	d) $\frac{100 \text{ kWh}}{0,14 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}} \approx 714,29 \text{ kg}$

- e) Wie hoch müsste die Energiedichte eines Akkus sein bei einem angenommenen Gewicht von 90 kg?

Berechnung der Energiedichte von 100 kWh pro 90 kg:

$$\frac{100 \text{ kWh}}{90 \text{ kg}} \approx 1,11 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}$$

2. Das Aufladen von Batterien erfordert einen größeren Zeitbedarf, sodass als Ladestellen vor allem Garagen, Parkhäuser oder Parkplätze infrage kommen. Meistens wird man sein Elektroauto über Nacht in der heimischen Garage aufladen.

Welche Ladezeit am Hausanschluss ist für den Akku des Elektroantriebs von Aufgabe 1 erforderlich, wenn man am nächsten Tag 100 km weit fahren möchte?

Info

Werte eines normalen Hausanschlusses:

$$U = 230 \text{ V} \quad I = 16 \text{ A}$$

Formeln für die elektrische

Leistung P :

$$P = U \cdot I \quad P = W / t$$



Benötigter Energiebedarf für 100 km:

$$W = 20 \text{ kWh}$$

Berechnung der elektrischen Leistung P beim Aufladen am normalen Hausanschluss:

$$P = 230 \text{ V} \cdot 16 \text{ A} = 3,68 \text{ kW}$$

Berechnung der benötigten Ladezeit:

$$W = P \cdot t \Rightarrow t = \frac{W}{P} \quad t = \frac{20 \text{ kWh}}{3,68 \text{ kW}} \approx 5,43 \text{ Stunden}$$

3. Auf dem Bild siehst du einen „Smart fortwo electric drive“.

a) Bestimme die Masse seiner Batterie.



$$M = \frac{17,6 \text{ kWh}}{0,14 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}} \approx 125,71 \text{ kg}$$

Technische Daten	
Fahrzeugtyp	smart fortwo (BR45 1)
Antrieb	Permanentmagnetischer Synchron-Elektromotor Leistung (Continuous/Peak): 35 kW / 50 kW Max. Drehmoment: 130 Nm
Verbrauch	~ 13 kWh / 100 km
Reichweite	150 km (100 miles)
Höchstgeschw.	125 km/h (78 mph)
Beschleunigung	11,5 s (0-100 km/h)
Batterie	Flüssiggekühlte Li-Ionen-Batterie, Leistung (Continuous/Peak) 35 kW / 55 kW; Kapazität: 17,6 kWh

b) Errechne und diskutiere die Kosten für die Batterie des abgebildeten Smarts (Automobilhersteller berechnen die „Batterie-System-Kosten“ bei 20 000 Einheiten/Jahr mit 500 €/kWh).

$$500 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \cdot 17,6 \text{ kWh} = 8\,800 \text{ €}$$

4. Notiere alle Punkte, die die Entwicklungsabteilungen zur Verbesserung des Elektroantriebs noch abarbeiten müssen.

Energiedichte des Akkus

- Reichweite erhöhen
- Gewicht reduzieren
- Größe verringern

Primärenergie

- zusätzlicher Energiebedarf entsteht
- vermehrt regenerative Energie einsetzen

Infrastruktur

- Netz von Ladestationen aufbauen
- Ladezeiten verkürzen

5. Laut einer Statistik des Kraftfahrt-Bundesamts waren am 1. Januar 2012 in Deutschland 43 Millionen Autos (ohne Lkws oder Busse) zugelassen. Ein Kraftwerk liefert etwa 1 400 Megawatt elektrische Energie.

a) Berechne, wie viele Kraftwerke in Deutschland theoretisch gebaut werden müssten, wenn alle Autos mit Strom fahren würden. Lege den Durchschnittswert von 30 kW pro Automotor zugrunde und die Annahme, dass die Hälfte aller Autos gleichzeitig gefahren werden.

$$\frac{43\,000\,000 \cdot 30 \text{ kW}}{1\,400\,000 \text{ kW} \cdot 2} = 461 \text{ Kraftwerke (gerundet)}$$

b) Was bedeutet diese theoretische Rechnung?

Eine komplette Umstellung auf Elektromobilität ist langfristig nur möglich, wenn neue Möglichkeiten der Stromerzeugung oder -speicherung und des effizienteren Umgangs mit Energie gefunden werden.

F3 Brennstoffzellenfahrzeuge

Info

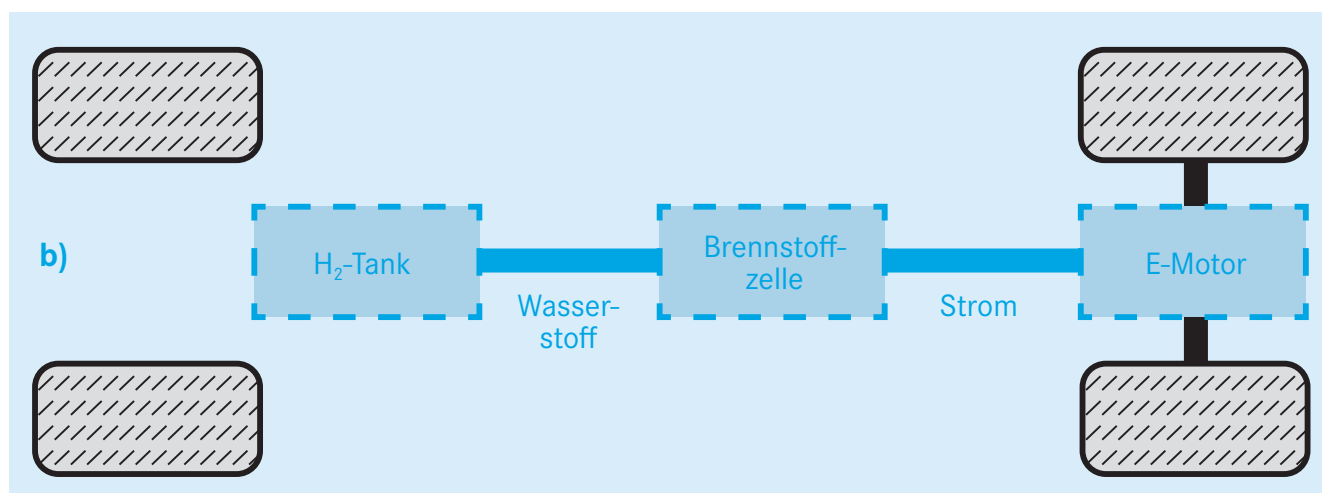
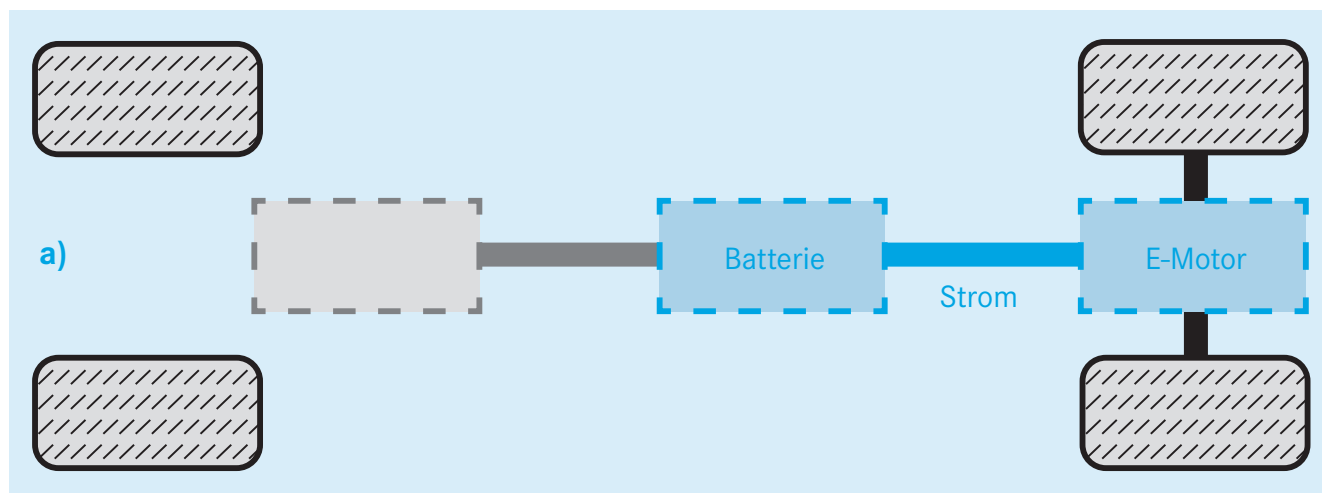
Bei Brennstoffzellenfahrzeugen wird die benötigte Energie durch eine Brennstoffzelle erzeugt und an einen Elektromotor weitergeleitet. Bis 2015 sollen die ersten wasserstoffbetriebenen Brennstoffzellenautos in Serie produziert werden.



1. Im Internet findest du interessante Erläuterungen zum Brennstoffzellenauto. Wähle aus den folgenden Themen eines aus und informiere dich auch unter Zuhilfenahme der unter dem Link angebotenen Videosequenzen. Erarbeite ein Kurzreferat (Umfang eine Seite DIN A4).

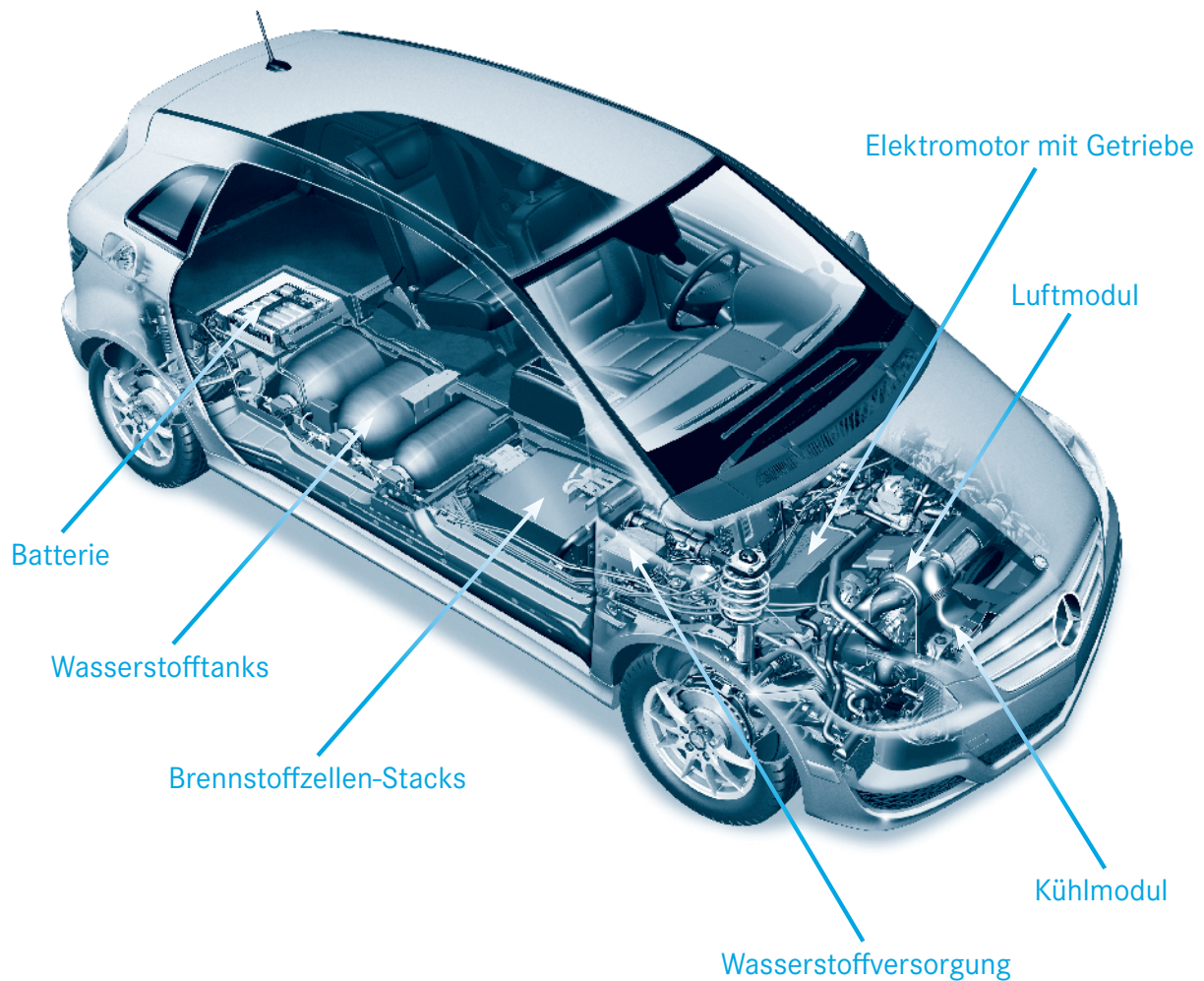
- Der Brennstoffzellen-Stack
- Das Brennstoffzellen-System
- Das Tanksystem
- Die Batterie
- Der E-Motor

2. Skizziere den Antriebsstrang für (a) ein „batterieelektrisches“ Auto und (b) ein Elektroauto mit Brennstoffzellenantrieb. (Achtung: Nicht alle Kästchen werden notwendigerweise befüllt.)



3. Beschrifte die Darstellung eines Brennstoffzellenfahrzeugs.

Füge bitte Hinweislinien ein und verwende folgende Begriffe: Batterie, Brennstoffzellen-Stacks, Elektromotor mit Getriebe, Kühlmodul, Luftmodul, Wasserstofftanks, Wasserstoffversorgung



4. Berechne mithilfe der Vorgaben die Reichweite des Brennstoffzellenfahrzeugs.

Ein Brennstoffzellenfahrzeug von der Größe eines Mittelklassewagens kann 4 kg Wasserstoff speichern. Die Brennstoffzelle verbraucht durchschnittlich 12,5 kWh Energie auf 100 km bei einem Wirkungsgrad von 42%. Ein Kilogramm Wasserstoff hat eine Energiedichte von 33,3 kWh.

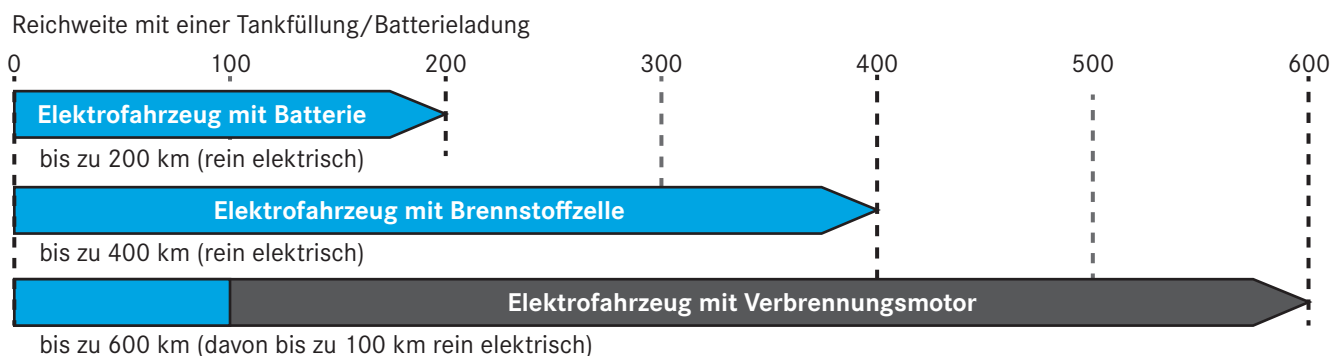
$$\text{Tankinhalt} = 4 \text{ kg} \cdot 33,3 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} = 133,2 \text{ kWh}$$

$$\text{Verbrauch} = \frac{12,5 \text{ (kWh/100 km)}}{0,42} \approx 29,76 \text{ kWh/100 km} \approx 0,2976 \text{ kWh/km}$$

$$\text{Reichweite} = \frac{\text{Tankinhalt}}{\text{Verbrauch}} = \frac{133,2 \text{ kWh}}{0,2976 \text{ kWh/km}} \approx 447,5 \text{ km}$$

F4 Mobilitätsszenarien und Gesamtenergiebilanz

1. Das folgende Diagramm zeigt die Reichweiten verschiedener Antriebsarten.



a) Bewerte die Einsatzbereiche der Antriebsarten mit ganzen Schulnoten von 1 (sehr gut geeignet) bis 6 (nicht geeignet).
Tipp: obige Angaben helfen dir.

	Langstreckenverkehr	Überlandverkehr	Stadtverkehr
Verbrennungsmotor	1	1	1-5*
Elektromotor	5	4	1
Elektromotor mit Verbrennungsmotor	1-2	1	1-2*
Elektrofahrzeug mit Brennstoffzellenantrieb	3	2	2

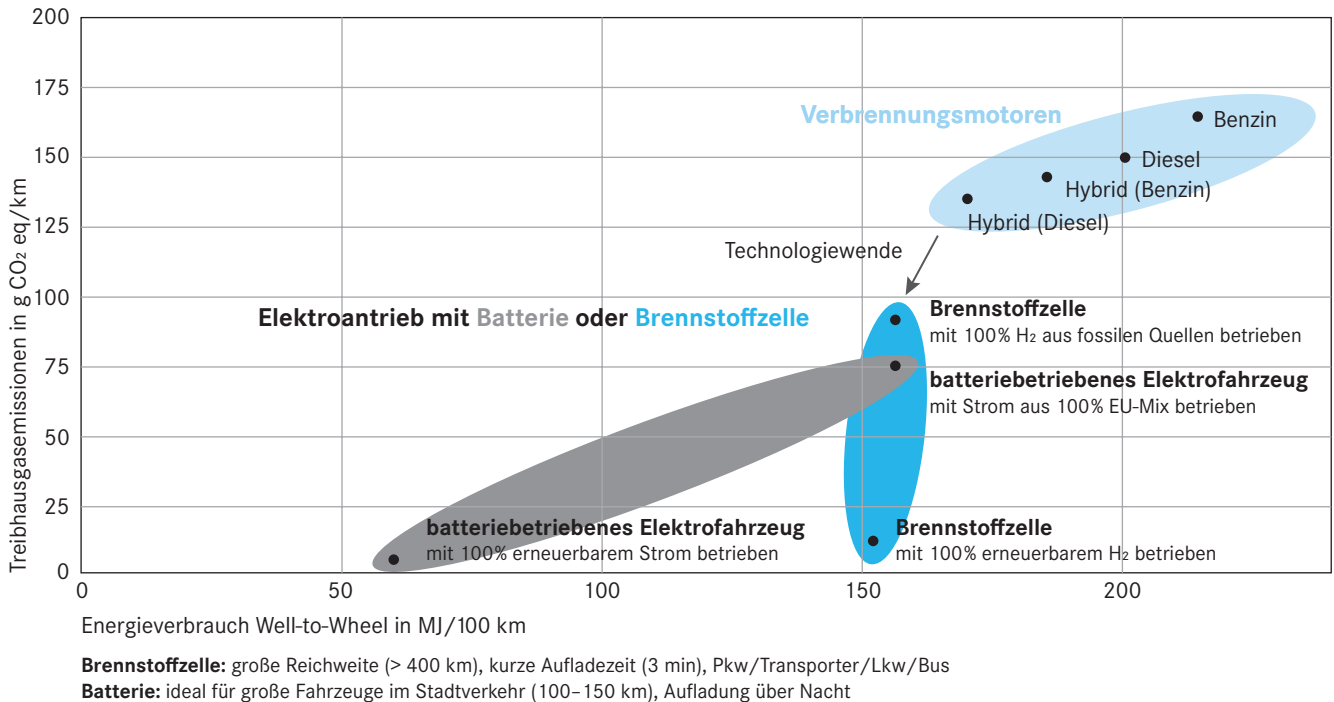
* emissionsarme, moderne Verbrennungsmotoren sind deutlich besser zu bewerten

b) Begründe deine Bewertungen.

- Der Verbrennungsmotor hat zurzeit die beste Infrastruktur und Leistungsdichte.
- Beim Elektromotor fehlen Infrastruktur und leistungsfähige Batterien, sodass lange Überlandfahrten nicht möglich sind; der Range Extender verbessert die Reichweite.
- Da Brennstoffzellen-Antriebe zurzeit nur eine mittlere Reichweite haben und die entsprechende Infrastruktur fehlt, sind sie auf Langstrecken nur eingeschränkt einsetzbar.
- Wenn fossile Kraftstoffe immer teurer werden (wegen zurückgehender Verfügbarkeit oder aus politischen Gründen), dann werden Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren zuerst im Stadtverkehr durch Elektro- oder Brennstoffzellenfahrzeuge verdrängt, weil sie dort am ehesten ersetzbar sind.

2. Das Schaubild zeigt die Gesamtenergiebilanz für einen bestimmten Autotyp unter verschiedenen Antrieben und Voraussetzungen.

Gesamtenergiebilanz – Well-to-Wheel-Klassifizierung



Quelle: EUCAR/CONCAWE „Well-to-Wheel Report 2004“, Optiresource, 2006 Reference vehicle class: VW Golf

a) Übersetze und erkläre den Begriff „Well-to-Wheel“.

well (engl.) = Quelle;

wheel (engl.) = Rad

well-to-wheel bedeutet „von der (Energie-)Quelle bis zum (Auto-)Rad“ und meint die Betrachtung des gesamten Energieeinsatzes von der Gewinnung der Primärenergie bis zur Fortbewegung des Automobils.

b) Welcher Antrieb ist laut Diagramm der (1) umweltschädlichste und welcher Antrieb ist der (2) umweltfreundlichste? Gib jeweils die CO₂-Emissionen und den Energieverbrauch an.

(1) Benzin-Verbrennungsmotor mit ca. 170 g CO₂/km und einem Energieverbrauch von ca. 220 MJ/100 km.

(2) Batteriebetriebenes Elektrofahrzeug mit Strom aus 100% erneuerbaren Quellen mit fast 0 g CO₂/km und einem Energieverbrauch von ca. 60 MJ/100 km.

c) Partner- oder Gruppenarbeit: Beschreibt und bewertet das gesamte Schaubild, insbesondere im Hinblick auf den Begriff „Technologiewende“ und die Bemerkungen unter dem Schaubild.

F5 Intelligentes Energiemanagement mit Smart Grids

1. Im Jahr 2011 gab es auf der Welt etwa 800 Millionen Autos, im Jahr 2050 werden es voraussichtlich ca. zwei Milliarden Autos sein.

a) Beschreibe, was dieser Anstieg für die Zukunft bedeuten könnte, wenn die Entwicklung von Elektrofahrzeugen oder anderen alternativen Antriebssystemen nicht stark vorangetrieben würde.

Wenn in Zukunft noch mehr Autos mit konventionellen Antrieben fahren, werden die fossilen Rohstoffe Öl und Gas noch knapper werden. Durch den Kohlenstoffdioxidausstoß wird zudem die Umwelt stark belastet.

b) Was würde andererseits passieren, wenn ab morgen jeder ein Elektroauto hätte?

Wenn viele Menschen gleichzeitig ihre Autos aufladen wollten, würde das Stromnetz zusammenbrechen.

c) Viele Verkehrsteilnehmer haben ähnliche Fahr- und Ruhezeiten, z.B. zu Stoßzeiten oder nachts. Beschreibe, wie man dieses Verhalten bezogen auf Elektromobilität und das Stromnetz ausnutzen sollte.

Durch den Einsatz eines „intelligenten“ Ladesystems könnten die Ladezeiten der Fahrzeuge entzerrt und so gesteuert werden, dass das Stromnetz nicht kollabiert.

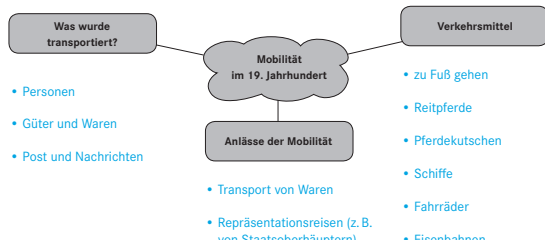
2. Was bedeutet der Beschluss der Bundesregierung zum Atomausstieg für die Elektromobilität? Bearbeite den Lückentext mithilfe von Nachschlagewerken.

Durch den am 30.05.2011 von der Regierung beschlossenen Atomausstieg bis 2022 haben sich große Herausforderungen für die Erzeugung von elektrischer Energie ergeben. Um den bisher von Atomkraftwerken erzeugten Strom zu ersetzen, werden viele neue Kraftwerke für die Erzeugung von regenerativer Energie gebaut werden müssen. Wenn zusätzlich ein Umstieg auf Elektromobilität erfolgen soll, müssen weitere Kraftwerke gebaut werden. Die Gefahr von plötzlichen Stromausfällen großer Stromnetze, sogenannten „Blackouts“, wird zukünftig ansteigen und neben dem Bau von regenerativen Kraftwerkstypen ein „intelligentes“ Netzmanagement voraussetzen.

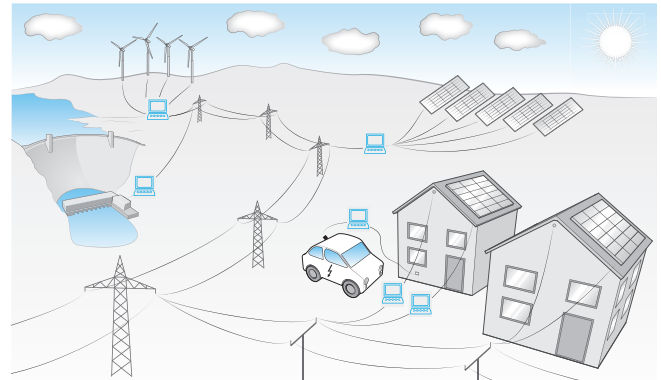
3. Die Abbildungen zeigen unterschiedliche Stromnetze.

A1 Mobilität früher

1. Überlege dir, was früher alles transportiert wurde, aus welchen Anlässen etwas transportiert wurde und welche Verkehrsmittel es gab. Ergänze dazu die Mindmap.



herkömmliches Stromnetz



Stromnetz der Zukunft (Smart Grid)

a) Untersuche die Grafiken und erkläre, was ein Smart Grid von einem herkömmlichen Netz unterscheidet.

Im Stromnetz der Zukunft wird Energie aus regenerativen Energiequellen gewonnen. In einem Smart Grid kann jeder nicht nur Energie entnehmen, sondern auch einspeisen (Dezentralität). Durch eine intelligente Zusammenschaltung aller Aggregate, die Strom benötigen oder liefern, lassen sich Verbraucher, Energieübertragungsnetze und Energielieferanten optimal verbinden. Die Wichtigkeit von Ladevorgängen oder Energieentnahmen wird priorisiert, d.h., die Netzsteuerung kann Verbrauchsspitzen mildern und in verbrauchsschwächeren Zeiten nachgeordnete Aggregate (z.B. Elektroautos oder Waschmaschinen) mit Energie beliefern.

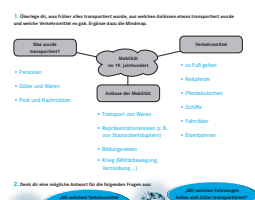
b) Ein Problem bei der herkömmlichen Stromerzeugung entsteht, wenn mehr Energie in das Netz eingespeist als abgerufen wird und diese Energie ungenutzt verloren geht. Wie könnten z.B. Elektroautos zur Lösung dieses Problems beitragen?

Wenn alle elektrischen Verbraucher, die einen Akkumulator besitzen, an das Stromnetz angeschlossen sind, können diese im Fall von Energiespitzen geladen werden und so als Speicher fungieren.

4. Bereits heute gibt es Geräte, die ein intelligentes Informationssystem über die Steuerung des Energieverbrauchs des eigenen Wohnhauses bereitstellen. Beschreibe, warum es sinnvoll sein könnte, das Elektrofahrzeug in der Garage und einige andere Geräte im Haushalt intelligent zu steuern.

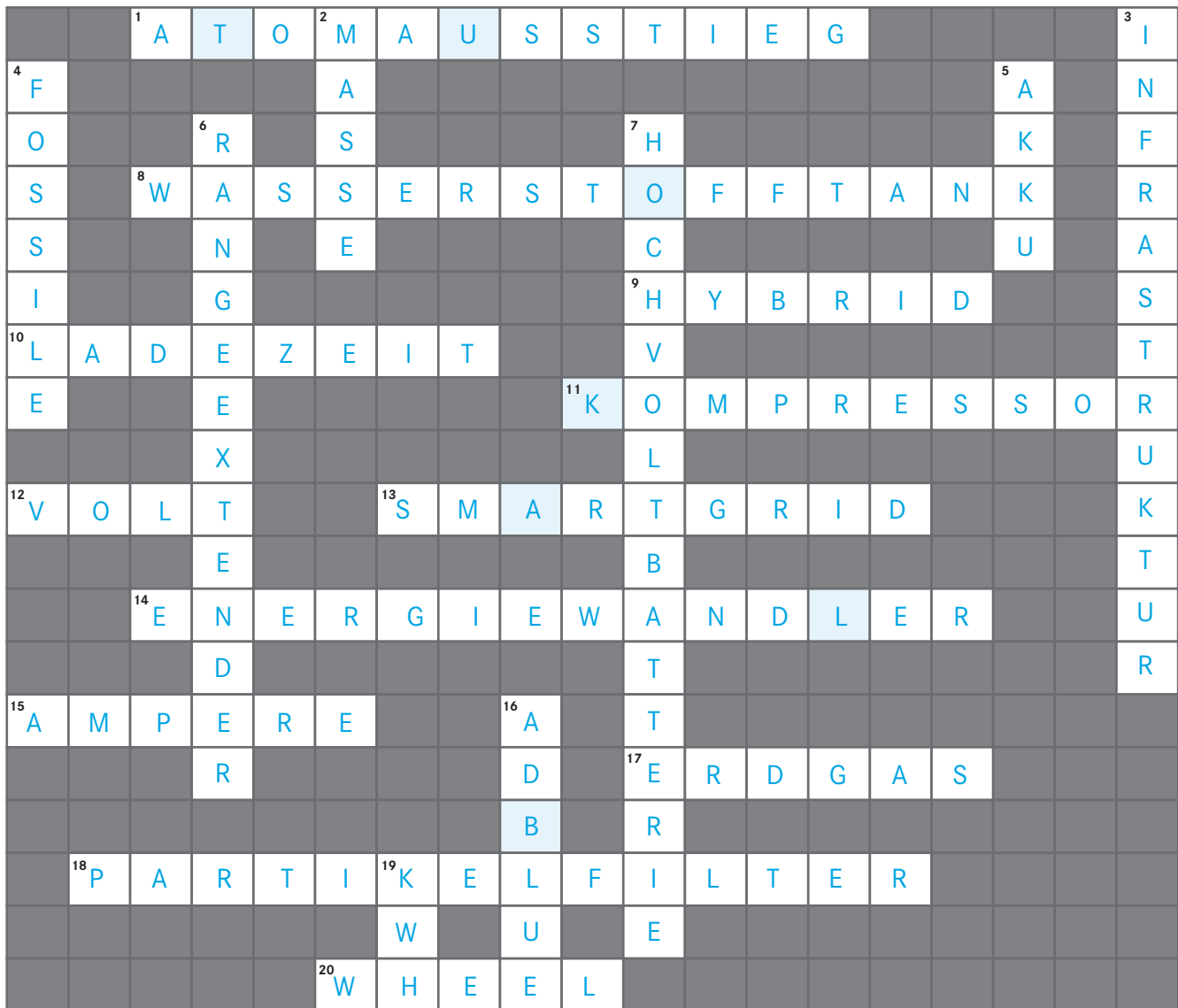
Elektrofahrzeuge, Solaranlagen, Heizung und z.B. Waschmaschine, Lüftung oder der Kühlschrank könnten immer dann eingeschaltet bzw. geladen werden, wenn ausreichend Energie zur Verfügung steht. Dabei könnte auch die Wichtigkeit der Funktion berücksichtigt werden (z.B. Kühlschrank ist in einem bestimmten Moment wichtiger als Waschmaschine).

A1 Mobilität früher



F6 Zum Trainieren und Merken

1. a) Trage die gesuchten Begriffe zum Thema „Mobilität der Zukunft“ ein.



waagerecht

1. Dies beschloss die Bundesregierung am 30. Mai 2011.
8. Behälter für Wasserstoff
9. Begriff, den man für Autos mit zwei unterschiedlichen Antrieben benutzt
10. Zeitraum, in dem Akkus geladen werden
11. Aggregat zum Zusammendrücken von Luft
12. Einheit für elektrische Spannung
13. englischer Begriff für „intelligentes Stromnetz“
14. Die Brennstoffzelle ist ein ...
15. Einheit für Stromstärke
17. gasförmiger Treibstoff
18. filtert Schadstoffe aus Dieselfahrzeugen
20. Well-to-...-Klassifizierung

senkrecht

2. verursacht die Gewichtskraft eines Körpers
3. alle langlebigen Grundeinrichtungen zum Funktionieren eines Systems
4. Kohle und Erdöl sind ... Energieträger.
5. Abkürzung für wiederaufladbare Batterie
6. Aggregat zur Verlängerung der Reichweite eines Elektrofahrzeugs
7. moderner Akku in Autos mit hoher Bordspannung
16. Name einer Harnstofflösung zur Nachbehandlung von Abgasen
19. Abkürzung der Einheit für Leistung in einer bestimmten Zeit und mit Faktor 1000

b) Schreibe das gesuchte Lösungswort in die Kästchen. Verwende die blau unterlegten Buchstaben von unten nach oben (!!).

Stromausfall eines ganzen Stromnetzes:

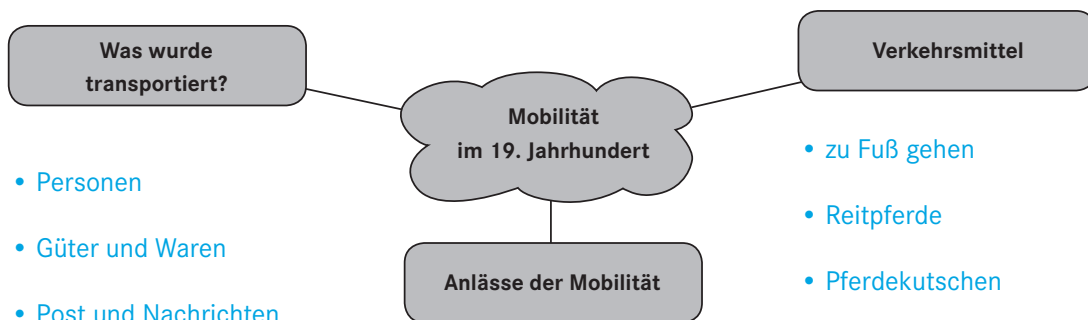
B	L	A	C	K	O	U	T
---	---	---	---	---	---	---	---

2. Die Abbildung zeigt den Wirkungsgrad einer herkömmlichen Glühlampe. Übertrage die Grafik auf den Wirkungsgrad eines Elektrofahrzeugs.

15

A1 Mobilität früher

1. Überlege dir, was früher alles transportiert wurde, aus welchen Anlässen etwas transportiert wurde und welche Verkehrsmittel es gab. Ergänze dazu die Mindmap.



3. Kreuze bei den folgenden Fragen die richtigen Antworten an. Die Lösungsbuchstaben verraten dir von oben nach unten einen englischen Ausdruck.

a) Der CO₂-Ausstoß muss unbedingt verringert werden, weil

- ☒ S CO₂ für die Erderwärmung verantwortlich gemacht wird
☐ H CO₂ ein starkes Atemgift ist
☐ F CO₂ kein regenerativer Rohstoff ist

b) Ein Fahrzeug mit zwei unterschiedlichen Antrieben nennt man

- ☐ Y Hybrid
☒ T Hybrid
☐ U Hyazinth

c) Ein Range Extender

- ☐ E ist ein Gerät in einem Fitnessstudio
☐ B optimiert den Betrieb eines Verbrennungsmotors
☒ A ist ein Reichweitenverlängerer bei Autos mit zwei Antrieben

d) F-Cell

- ☒ C ist ein spezieller wasserstoffbetriebener Brennstoffzellenantrieb
☐ R steht für Fast-cell (also schnelle Zelle)
☐ L bedeutet, dass dieses Fahrzeug ein Forschungsfahrzeug ist

e) Die Chemikalie zur Abgasreinigung in Diesel-Katalysatoren

- ☐ C heißt AdRed
☒ K ist eine wässrige Harnstofflösung
☐ I wird dem Dieselmotorkraftstoff direkt beim Tanken zugefügt

f) Eine Brennstoffzelle

- ☒ S ist ein Energiewandler
☐ K ist eine Energiequelle
☐ D ist ein Energieträger

So nennt man viele einzelne Brennstoffzellen auch:

S	T	A	C	K	S
---	---	---	---	---	---

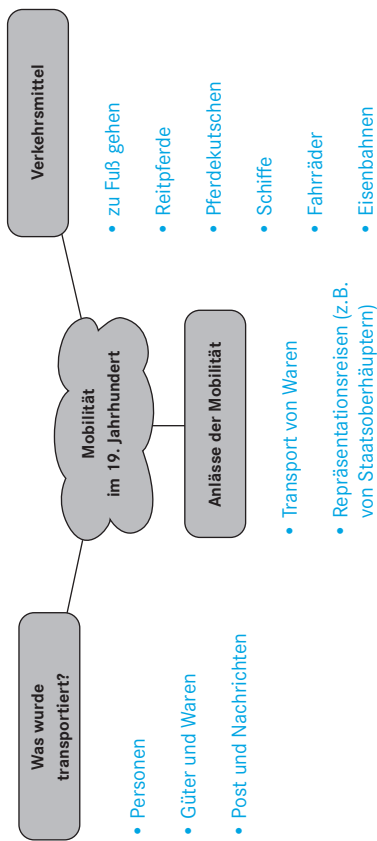


Auf den folgenden Seiten finden Sie
die Lösungen zu den vorhergehenden
Arbeitsblättern.



A1 Mobilität früher

1. Überlege dir, was früher alles transportiert wurde, aus welchen Anlässen etwas transportiert wurde und welche Verkehrsmittel es gab. Ergänze dazu die Mindmap.



2. Denk dir eine mögliche Antwort für die folgenden Fragen aus:

„Mit welchem Verkehrsmittel konnten die Menschen früher größere Entfernungen zurücklegen?“

- mit einem Pferd
- mit der Postkutsche
- mit der Eisenbahn

„Mit welchen Fahrzeugen ließen sich Güter transportieren?“

- mit einer Pferdekutsche
- mit einem Schiff
- mit der Eisenbahn

„Welche Bedeutung hatten die Postwege für die Menschen?“

- Austausch von Nachrichten und Personentransport

„Wie funktionierte der Verkehr in den großen Städten?“

- zu Fuß
- mit dem Fahrrad
- mit einer Pferdekutsche

3. Ergänze die Lücken im folgenden Text. Verwende dazu die blau gesetzten Worte.

Schiffen, Kutschen, Eisenbahn, Arbeit, Massenmobilität, Pferdewagen, Fahrrad, Individualverkehr, Pferdefuhrwerk, in Richtung Mannheim, ausweiten, Bahnhof, Personenbeförderung, Hochrades, große Distanzen, Pferde, Bahnstrecke, Gütertransport, Markt, Kettendampfschiffe, erste deutsche Zugverbindung, Postkutsche

a) Um 1890 erscheinen auf dem Stuttgarter Marktplatz immer mehr Bürger mit einem neuartigen Gefährt: dem Fahrrad. Als Nachfolger des Hochrades ist es zunächst Sport- und Freizeitgerät der Reichen, bevor es auch den einfachen Menschen den Weg zur Arbeit und zum Markt erleichtert. So können auch weniger Begüterte ihren Lebensraum dauerhaft ausweiten. Man kann sagen: das Fahrrad trägt dazu bei, dass der Individualverkehr zunimmt.

b) Pferdewagen bestimmen im 19. Jahrhundert den Verkehr rund um das Schloss Solitude. Pferde und Wagen haben einen doppelten Nutzen: Als Pferdefuhrwerk und Postkutsche helfen sie beim Warentransport und der Personenbeförderung.

Die Versorgung der Schlossbewohner mit Nahrungsmitteln und Gütern (z.B. Kohle, Holz) stellen Pferdefuhrwerke sicher. Der Adel sitzt zu Pferde oder lässt sich in Kutschen chauffieren – den Repräsentationsfahrzeugen vor der Erfindung des Automobils.

c) Schon sehr lange erfolgt der Gütertransport auf Schiffen. Auf dem Neckar bei Heidelberg verkehren seit 1878 Kettendampfschiffe; diese ziehen sich an einer 113 km langen Kette, die auf dem Grund des Flusses verankert ist, flussaufwärts. Sie transportieren Kohle, Getreide, Eisen- und Kolonialwaren nach Stuttgart. Flussabwärts, in Richtung Mannheim, sind die Schiffe mit Salz, Zement, Steinen und Häuten beladen.

d) Die erste Bahnstrecke der Welt wird 1825 in Großbritannien in Betrieb genommen. Zehn Jahre später entsteht zwischen Nürnberg und Fürth die erste deutsche Zugverbindung. Ende des 19. Jahrhunderts gehört der Bahnhof, wie hier in Stuttgart, fest zum Bild aller größeren Städte. Mit der Eisenbahn beginnt die Massenmobilität. Sie ermöglicht erstmals allen gesellschaftlichen Kreisen Reisen über große Distanzen.

A2 Pioniere der Automobilindustrie

1. Gottlieb Daimler, Nikolaus Otto, Wilhelm Maybach, Karl Benz und Rudolf Diesel gelten als die Erfinder des motortriebenen Automobils. Ordne jeder Kurzbiografie die richtige Person zu.

Mein Name ist Karl Benz. Ich wurde am 25. November 1844 bei Karlsruhe geboren. Nach meinem Studium gründete ich in Mannheim mehrere Firmen. Mein Ziel war es dabei, einen Wagen mit eigenem Antrieb zu bauen! Im Januar 1886 gelang es mir, ein Patent für das erste Benzinautomobil anzumelden: ein 18 km/h schnell fahrendes dreirädriges Fahrzeug mit Verbrennungsmotor und elektrischer Zündung.



Anfangs wurde mein Automobil als „Wagen ohne Pferde“ verspottet. Mit meinem Patent-Motorwagen führen meine Frau Bertha und zwei unserer Söhne 1888 von Mannheim nach Pforzheim. Die Weltausstellung in Paris brachte unserem Wagen den Durchbruch.

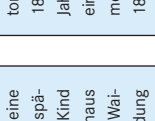
Mein Name ist Rudolf Diesel. Ich wurde am 18. März 1858 in Paris als Sohn eines deutschen Händlers geboren. Bereits mit 12 Jahren wurde ich für meine Noten ausgezeichnet. Wegen des Krieges musste ich kurz darauf Frankreich verlassen. In München beendete ich 1880 mein Studium an der Technischen Hochschule mit dem besten Abschlussexamen. Immer schon interessierten mich Wärmekraftmaschinen. 1893 entwickelte ich einen Motor, der eine deutlich höhere Leistung erzielte als die bisherigen Maschinen. Mit einem Freund gelang es mir zwischen 1893 und 1897, meinen selbstzündenden Motor weiterzuentwickeln (heute heißt meine Fabrik übrigens MAN AG). Nach mir wurde ein Treibstoff benannt.



Mein Name ist Nikolaus Otto. Ich wurde als Sohn eines Bauern, Gastwirts und lokalen Posthalters am 10. Juni 1832 in Holzhausen an der Heide (Taunus) geboren. Nach dem Besuch der Realschule machte ich eine Lehre als Kaufmann. Mit 30 Jahren begann ich mit Motoren zu experimentieren, die nach dem Viertaktprinzip funktionierten. 1864 gründete ich mit einem Kollegen die erste Motorenfabrik der Welt, acht Jahre später die „Gasmotoren-Fabrik Deutz AG“. Im Jahre 1876 gelang es mir, meinem damaligen Mitarbeiter Wilhelm Maybach zur Serienreife gebracht. Ab 1876 wurde er in Serie produziert. Der Motortyp blieb bis in die heutige Zeit Grundlage für viele Verbrennungsmotoren, auch wird mein Name immer noch für alle Benzinmotoren verwendet.



Mein Name ist Wilhelm Maybach. Ich wurde am 9. Februar 1846 in Heilbronn geboren. Meine Familie zog einige Jahre später nach Stuttgart. Als Kind musste ich ins Bruderhaus nach Reutlingen, wo Waisenkinder eine Ausbildung erhielten. Ich wurde technischer Zeichner, Konstrukteur und Assistent des Leiters der Maschinenfabrik im Bruderhaus. Herr Daimler, und folgte ihm in verschiedene andere Unternehmen, bis wir schließlich in Camstatt die Daimler-Motoren-Gesellschaft gründeten. Als deren Direktor hatte ich maßgeblichen Anteil an der Entwicklung des modernen Automobils.



Mein Name ist Gottlieb Daimler. Ich wurde am 17. März 1834 in Schorndorf geboren. Nach einer Lehre als Büchsenmacher begann ich ein Maschinenbaustudium und arbeitete als Konstrukteur und Manager. Zusammen mit Wilhelm Maybach habe ich in Nikolaus Ottos Gasmotorenfabrik Deutz seinen Motor zur Serienreife entwickelt. Später habe ich in Camstatt eine eigene Versuchswerkstatt mit aufgebaut. Ich wollte einen kleinen, mobilen, leichten – also überall einsetzbaren – und schnell laufenden Verbrennungsmotor bauen. Im Jahr 1885 erhielt ich ein Patent auf einen verbesserten Zylinder-Viertaktmotor, der Benzin verbrannte. Dieser Motor ist als „Standuhr“ in die Geschichte eingegangen.



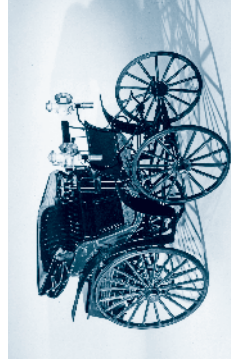
Es war der Beginn des öffentlichen Personenverkehrs, der Siedlungen abseits der Bahnlagen erschließen kann. Vorteile: Gegenüber der Eisenbahn waren Omnibusse flexibel und individuell einsetzbare Fahrzeuge.

2. Die Entwicklung von Fahrzeugen war ein langer Prozess. Informiere dich über die Meilensteine der Technik und schreibe die Jahreszahlen fortlaufend in den Zahlenstrahl.

1	Lenoir entwickelt einen Motor mit Leuchtgasantrieb.	2	Fulton baut eine Dampfmaschine in ein Boot.	3	Erste Eisenbahn fährt von Nürnberg nach Fürth.	4	Otto präsentiert seinen gasgetriebenen Motor.
5	Cugnot baut ein Fahrzeug mit Dampfantrieb.	6	Watt verbessert die Dampfmaschine.	7	Newcomen entwickelt eine Dampfmaschine.	8	Bertha Benz fährt von Mannheim nach Pforzheim.

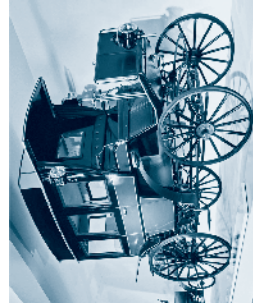
7 (1712) 6 (1769) 5 (1771) 2 (1807) 3 (1835) 1 (1860) 4 (1867) 8 (1888)

3. Gottlieb Daimler und Karl Benz entwickelten unabhängig voneinander ein Fahrzeug, das sich „von selbst fortbewegt“ – das „Automobil“. Beide Pioniere hatten jedoch einen unterschiedlichen Ansatz. Vergleiche Daimlers Fahrzeug (li) mit Benz' Motorwagen (re) und beantworte die folgenden Fragen.



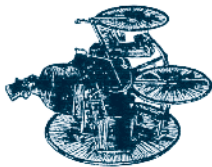
- a) Woran erinnert das vierrädrige Gefährt?
Es erinnert an eine Kutsche mit Motor.
- b) Welche Gründe könnten Benz bewegt haben, ein dreirädriges Auto zu bauen?
Das Lenkungssystem von Kutschen erschien Benz zu kompliziert.

4. Karl Benz arbeitete fortwährend an seiner Idee der Motorisierung des Straßenverkehrs. Bereits 1895 gab es den ersten Omnibus. Was bedeutete dies? Welche Vorteile ergaben sich im Vergleich zur Eisenbahn?

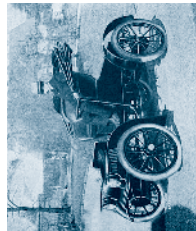


A3 Die Elektrifizierung des Autos

Die Idee, Autos mit Elektromotor zu bauen, ist bereits sehr alt. In der Zeit, als Karl Benz und Gottlieb Daimler noch dabei waren, ihre Motorfahrzeuge zu entwickeln, fuhren bereits Elektrofahrzeuge auf den Straßen von London, Paris und Berlin.



Das Tricycle gilt als erstes Elektrofahrzeug. Das dreirädrige Fahrzeug wurde 1881 von Gustave Trouvé gebaut und besaß einen wiederaufladbaren Blei-Ak-kumulator mit sechs Zellen. Der Motor hatte 0,07 kW und das Gewicht des Fahrzeugs betrug inklusive Motor, Batterien und Fahrer etwa 160 kg. Die Höchstgeschwindigkeit lag bei etwa 12 km/h.



Der Baker-Runabout gilt als erstes vierträdriges Elektroauto. Um 1890 in Amerika entwickelt, wurde es 1893 von Adolph Müller, Gründer des Batterieunternehmens Varta, nach Deutschland importiert und weiterentwickelt. Das Fahrzeug bot Platz für zwei Personen und verfügte über einen Antrieb von 0,6 kW. Die Höchstgeschwindigkeit lag bei etwa 20 km/h.

1. Beschreibe die Vor- und Nachteile der ersten Elektroautos und berücksichtige dabei folgende Aspekte: keine Schadstoffe, Kraftstoff, ungefährlich, leiser Motor, einfach zu bedienen, Zeit zum Aufladen, Steckdosen, Reichweite

Vorteile	Nachteile
Das Fahrzeug war sehr leise. Da kein Kraftstoff verbrannt wurde, war das Fahren ungefährlich und es wurden keine Schadstoffe in die Luft geblasen. Außerdem war das Fahrzeug einfach zu bedienen.	Da es noch keine Steckdosen gab, konnte man das Auto nicht überall aufladen. Man benötigte viel Zeit, um die Batterien wieder aufzuladen. Die Reichweite war gering.

2. 1882 fuhr in Berlin der erste Bus mit Elektroantrieb. Warum konnten sich nur wohlhabende Menschen eine Fahrt leisten?



Die Fahrt mit diesem modernen Fahrzeug war sehr teuer. Es galt als vornehm, nicht mit Dreck verursachenden Pferdeutschen oder stinkenden, lauten Fahrzeugen mit Benzinmotor zu fahren.

3. Trotz anfänglicher Erfolge verschwanden die Elektrofahrzeuge wieder aus dem Straßenverkehr. Kannst du dir vorstellen, warum?

Die Reichweite der Elektrofahrzeuge war gering, die Aufladung der Batterie dauerte sehr lange und Benzinfahrzeuge wurden immer günstiger.

4. Hier sind mehr als 100 Jahre Entwicklungsgeschichte elektrischer Antriebstechnik zu sehen. Ordne die Bilderjahrenszahlen den passenden Texten zu.

2014
Erstes völlig abgasfreies reines Elektrofahrzeug aus Großserienfertigung mit Brennstoffzellen

1908
Der erste elektrisch betriebene Automobil-Feuerlöschzug Deutschlands bei der Berliner Feuerwehr.

1920
Zielfahrt eines Rennwagens mit Hybridantrieb und elektrischen Radnabenmotoren in den Vorderrädern.

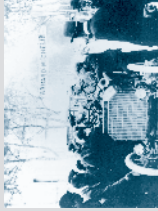
1979
Start eines Modellversuchs mit Elektro-Hybridbussen im regulären Linienverkehr.

1972
Hier ist der erste Elektrotransporter mit Batteriewechselschaltung (Versuchsfahrzeug).

1982
Daimler präsentiert seinen ersten Elektro-Pkw mit einer 600 (!) Kilogramm schweren Nickel-Eisen-Batterie.

2009
Der smart electric drive geht in Serienproduktion.

1906
Einer der ersten Elektrowagen: Hybridfahrzeuge werden als „Mercedes Mixte“, batterieelektrische Fahrzeuge als „Mercedes Electric“ angeboten.



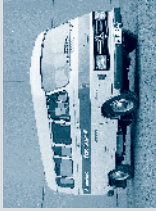
1902



1906



1908



1972



1979



1982



2009



2014

A4 Zum Trainieren und Merken

1. a) Trage die gesuchten Begriffe zum Thema „Geschichte der Mobilität“ ein (ü = ue usw.).

1	F	A	H	R	A	D		3	A	U	F	L	A	4	D	E	N			
						I									A					
5	O					E	L	E	K	T	R	O	M	O	T	O	R			
	T					S								P						
7	T	R	O	U	V	E								F						
	O					L			8	A	K	K	U	M	U	L	A	T	O	R
					9	K								A						
10	V	E	R	B	R	E	N	N	U	N	G	S	M	O	T	O	R			
			A										C					11	B	
			F										H						E	
							12	L												
13	M	O	T	O	R	W	A	G	E	N	I		14	R	A	S	E	N		
	A		S				S				N					C		Z		
	Y	T					T	E	I	S	E	N	B	A	H	N				
	B	O					W								I					
	A	F			17	D	A	I	M	L	E	R					F			
	C	F					G						18	B			F			
	H				19	M	U	E	L	L	E	R		20	U	M	W	E	L	T
															S					

waagerecht

- 1. Fahrzeug mit zwei Rädern ohne Motor
- 3. zeitaufwendiges Energiespeichern bei Elektrofahrzeugen
- 6. Antrieb eines Elektrofahrzeugs
- 7. Erfinder des ersten Elektroautos (Nachname)
- 8. Speicher für elektrische Energie
- 10. Antriebsteil in einem Benzin- oder Dieselfahrzeug
- 13. Name des ersten Fahrzeugs von Benz
- 14. sehr schnell fahren
- 16. Sie braucht Schienen, um fahren zu können.
- 17. Autoerfinder aus Schomdorf (Nachname)
- 19. importierte als erster Elektrofahrzeuge nach Deutschland
- 20. wird durch Schadstoffe belastet

senkrecht

- 2. Autoerfinder, nach dem ein Kraftstoff benannt ist (Nachname)
- 4. Damit wurden Eisenbahnen früher angetrieben.
- 5. Motorenerfinder aus Holzhausen (Nachname)
- 9. wird in Automotoren verbrannt
- 11. Autoerfinder aus Karlsruhe (Nachname)
- 12. Fahrzeug für Warentransport
- 13. erster Direktor der Daimler-Motoren-Gesellschaft
- 15. Fahrzeuge für Wasserwege
- 18. fuhr 1882 in Berlin mit elektrischem Antrieb

b) Schreibe das gesuchte Lösungswort in die Kästchen. Verwende die Buchstaben in den blau unterlegten Kästchen von oben nach unten.

R	E	I	C	H	W	E	I	T	E
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Problem bei Elektrofahrzeugen:

2. Ordne alle historisch bedeutsamen Ereignisse im Zusammenhang mit der Erfindung von Kraftfahrzeugen und der Entwicklung der Mobilität auf einem Zahlenstrahl. Die Daten findest du in den Arbeitsblättern A2 bis A4. Vielleicht recherchierst du in diesem Zusammenhang weitere wichtige Erfinder oder Erfindungen?

1771	Cugnots „Fardier“ ist das erste Automobil mit Dampfantrieb.
1825	In Großbritannien fährt die erste Eisenbahn.
1876	Nikolaus Otto entwickelt einen Viertaktmotor.
1881	Gustave Trouvé baut das dreirädrige Elektroauto „Tricycle“.
1882	In Berlin transportiert der erste Elektrobuss wohlhabende Bürger.
1885	Daimler lässt die „Standuhr“ patentieren, einen Viertaktmotor.
1886	Karl Benz erhält ein Patent auf seinen dreirädrigen Motorwagen.
1888	Bertha Benz unternimmt die erste Überlandfahrt mit einem Auto.
1890	In Amerika wird der Baker-Runabout entwickelt.
1893	Rudolf Diesel erfindet einen selbstzündenden Motor.
1900	Daimler und Maybach entwickeln den Rennwagen „Mercedes“.
1900	Lohner und Porsche bauen das erste Hybridfahrzeug.
1902	Der erste Rennwagen mit Hybridantrieb geht an den Start.
1914	Das Fließband ermöglicht die Massenproduktion von Autos.
2009	Die Serienproduktion des Smart electric drive beginnt.

Hinweis: Die Schülerlösungen können von dieser Musterlösung abweichen.

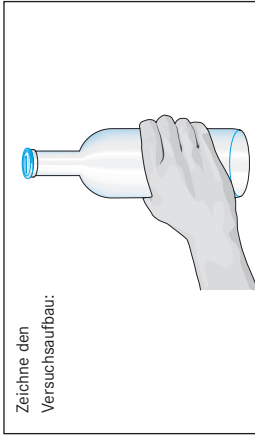
B1 Ausdehnung von Gasen I

1. Jeder Verbrennungsmotor funktioniert nach dem gleichen physikalischen Grundprinzip – der Ausdehnung von Gasen. Um dieses Prinzip zu verstehen, lassen sich zwei Versuche durchführen.

a) Versuch 1:

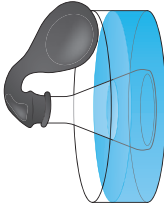
Du benötigst: 1 Münze, 1 leere, kalte Trinkflasche

Anleitung: Lege eine Münze auf eine leere, kalte Flasche. Umfasse die Flasche vorsichtig mit den Händen und achte darauf, dass die Münze nicht verrutscht. Wärme die Flasche eine Zeit lang mit den Händen auf und beobachte die Münze.



Beschreibe, was passiert:

Durch die Wärme der Hände wird die Luft in der Flasche erwärmt. Sie dehnt sich aus und die Münze hüpfte vom Flaschendeckel.



b) Versuch 2:

Du benötigst: 1 Luftballon, 1 leere Trinkflasche, 3 Gefäße, warmes und kaltes Wasser und Eiswasser

Anleitung: Ziehe einen Luftballon über die Öffnung einer leeren Flasche. Stelle nun die Flasche abwechselnd in jeweils ein Gefäß mit kaltem Wasser, warmem Wasser und Eiswasser. Beschreibe deine Beobachtungen.

kaltes Wasser	Die Luft in der Flasche wird abgekühlt. Dadurch zieht sich der Ballon etwas zusammen.
warmes Wasser	Die Luft in der Flasche wird erwärmt. Dadurch bläst sich der Ballon auf.
Eiswasser	Die Luft in der Flasche wird stark abgekühlt. Der Ballon wird teilweise in die Flasche gezogen.

c) Wie könnte man die beobachteten Ergebnisse der beiden Versuche verbessern?

Man könnte das Luftvolumen, d.h. die Luftmenge vergrößern.

d) Wie könnte man die erzeugten Bewegungen beschleunigen?

Indem man durch eine technische Konstruktion die Luft in der Flasche austauscht.

2. Um eine größere und schnellere Ausdehnung der Gase zu erreichen, verwendet man in der Motorentechnik ein leicht entzündliches Benzin-Luft-Gemisch. Die Funktionsweise der Verbrennung lässt sich mit einem Experiment sehr eindrucksvoll demonstrieren.

Du benötigst: 1 Papprohr (Toilettenrolle), 1 Wattekugel, 1 Wattestäbchen, Klebeband, Schere, Feuerzeug

Anleitung: Klebe ein Ende der Papprolle mit dem Klebeband zu. Bohre am Rand der zugeklebten Seite ein kleines Loch in die Papprolle. Wickle die Wattekugel um das Wattestäbchen, lass etwas Feuerzeuggas von oben in die Papprolle strömen und stecke die Wattekugel mit dem Wattestäbchen in die Rolle. „Pumpe“ ein paar mal mit dem Wattestäbchen hin und her. Halte nun die Flamme des Feuerzeugs an das Loch und entzünde das Gasgemisch!



a) Nicht jeder Zündversuch klappt auf Anhieb. Was musstest du optimieren, bis sich das Gemisch entzündet hat?

Das Luft-Gas-Gemisch musste durch „pumpen“ optimiert werden. Die Zündflamme musste direkt an das Zündloch gehalten werden.



b) Wie wird bei einem Ottomotor die Zündung ausgelöst?

Die Zündung wird durch einen Zündfunken im Zylinder ausgelöst.

c) Optimierte die Zündung in deinem Versuchsaufbau:

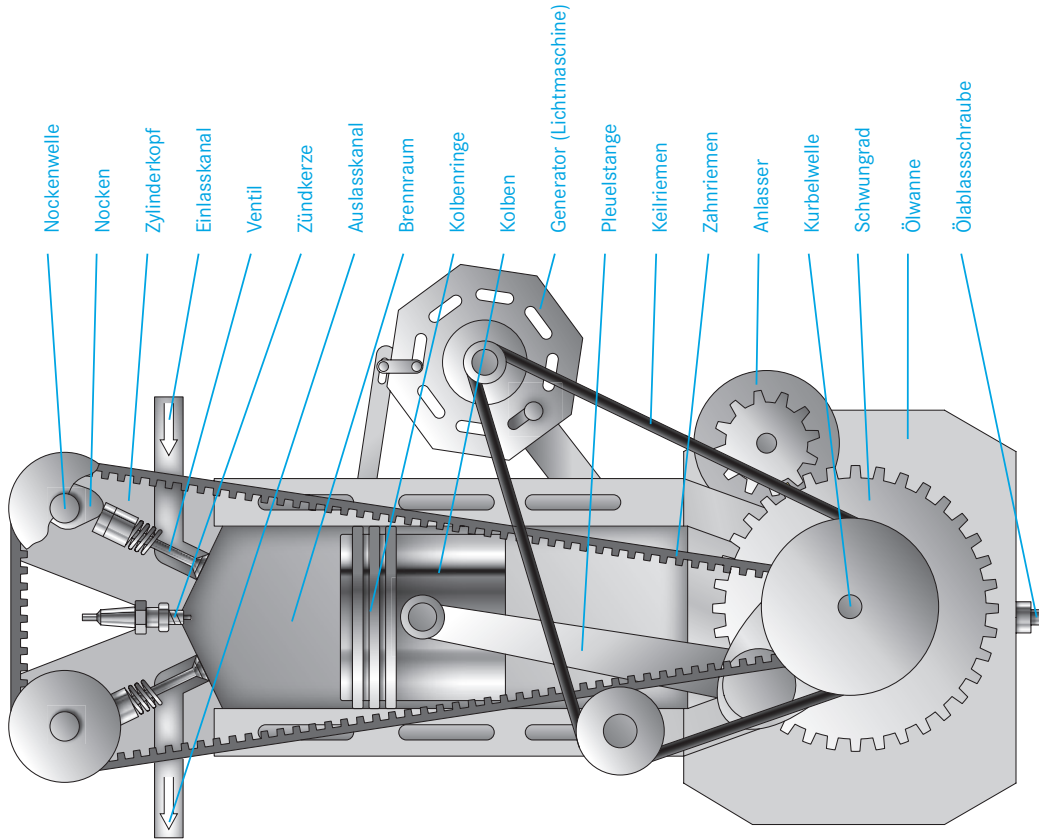
Zerlege vorsichtig das Feuerzeug, indem du den Flammenschutz entfernst. Ziehe danach den elektrischen Zünder (Piezozünder) aus dem Feuerzeug und stecke den Zünddraht in das Loch der Papprolle. Nun kann man beim Betätigen des Piezozünders das Gemisch fernzünden. Teste deinen Versuchsaufbau.



d) Welche Verbesserungen könnte man noch realisieren?

Das Wattestäbchen und der Wattebausch könnten durch eine feste Konstruktion ersetzt und das Volumen des Brennraums vergrößert werden.

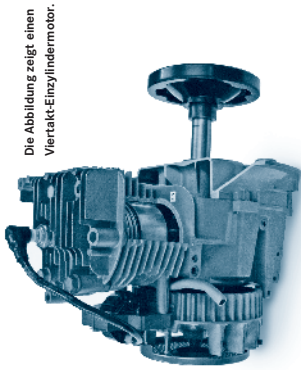
B2 Aufbau eines Verbrennungsmotors



1. Beschrifte die Abbildung. Nutze dafür diese Wortschnipsel:
ab - An - Aus - ben - Brenn - Ein - Gene - kanal - Keil - kerze - Kol - Kolben - **kopf** - Kurbel - lasser - lass - lass - lass - Nocken - Nocken - Öl - Öl - Pleuel - rad - rator - raum - riemen - riemen - ringe - schraube - schwingung - stange - til - Ven - wanne - welle - welle - Zahn - Zünd - **Zylinder**

2. Bestimme die Funktion der wichtigsten Teile eines Verbrennungsmotors. In den linken Kästchen stehen die einzelnen Bauteile, in den rechten deren Funktionen.

Ordne den Bauteilen ihre Funktion zu. Trage dazu die entsprechenden Nummern in die leere Spalte ein.

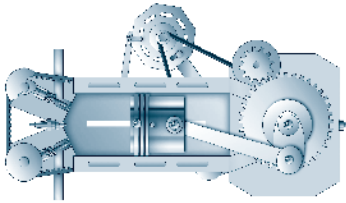


1.	Zylinder	4.	entzündet beim Benzin- und Gasmotor das Gasgemisch
2.	Kolben	7.	wandelt die Kolbenkraft über das Pleuel in eine Drehbewegung um und überträgt diese auf den Antriebsstrang
3.	Ventile	9.	dient zum Befüllen des Zylinders mit frischem Gasgemisch
4.	Zündkerze	11.	steuert die Bewegung der Nocken
5.	Nocken	3.	dienen dem Öffnen bzw. Abdichten der Einlass- und Auslassöffnungen im Zylinderkopf
6.	Pleuelstange	10.	überträgt die Drehbewegung der Kurbelwelle auf die Nockenwelle
7.	Kurbelwelle	6.	überträgt die Kraft des Kolbens auf die Kurbelwelle
8.	Auslasskanal	5.	bewirken das Öffnen und Schließen der Einlass- und Auslassventile
9.	Einlasskanal	8.	dient zum Abführen der Abgase aus dem Brennraum
10.	Zahnriemen	2.	gibt die Energie durch eine Auf- und Abbewegung an das Pleuel weiter
11.	Nockenwelle	1.	bildet den Raum, in dem die Verbrennungsvorgänge ablaufen

3. Was muss in den Ölflecken auf der folgenden Beschreibung der Arbeitsweise eines Verbrennungsmotors stehen?

Um einen Motor mit frischem **Gas** zu versorgen und die **Abgase** aus dem Zylinder zu befördern, müssen die **Ventile** zum richtigen Zeitpunkt geöffnet und geschlossen werden. Die **Öffnung** der Ventile erfolgt meistens über die **Nockenwelle**, auf der für jedes Ventil ein **Nocken** sitzt. Die Nockenwelle wird in der Regel über eine **Steuerkette** oder einen **Zahnriemen** angetrieben.

2. Bewege den Kolben deines Modells auf und ab und beschreibe, wie sich das Pleuel und die Kurbelwelle verhalten.



Das Pleuel wird durch den Kolben angetrieben und bewegt seinerseits die Kurbelwelle mit dem Schwungrad. Das Pleuel wandelt also die Auf- und Abbewegung des Kolbens in eine Drehbewegung um. Dies wird durch eine bewegliche Lagerung aller Komponenten ermöglicht.

3. Beschreibe, wo die sogenannten „Totpunkte“ liegen und warum sie so genannt werden.

Die Totpunkte sind die Stellungen, an denen sich der Kolben am weitesten oben bzw. unten befindet. Man nennt sie so, weil in diesen Punkten eine Umkehrung der Richtung stattfindet, die durch das Schwungrad ermöglicht wird.

4. Wie verhindert man in der Praxis, dass der Motor in einem Totpunkt „hängenbleibt“?

Bei Einzylinder-Motoren verwendet man ein großes Schwungrad. Häufig baut man aber Motoren mit mehreren Zylindern und versetzt die Arbeitszyklen der Zylinder gegeneinander. Dadurch läuft der Motor viel runder und das Schwungrad muss nicht so schwer sein.

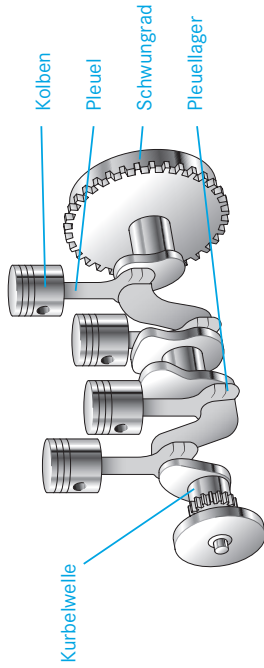
5. Beschreibe mithilfe des Modells, wie bei einem echten Verbrennungsmotor die Steuerung der Ventile realisiert wird.

Von der Kurbelwelle muss die Drehbewegung über eine Steuerkette oder einen Zahnriemen auf die Nockenwelle übertragen werden. Diese öffnet und schließt die Ventile zum richtigen Zeitpunkt.

B4 Viertaktmotoren

1. Alle Verbrennungsmotoren sind nach dem gleichen Prinzip aufgebaut.

Durch die Entzündung eines Gasgemisches wird eine Kraft auf einen Kolben übertragen. Dieser wird im Zylinder nach unten gedrückt. Dabei überträgt er die Kraft über ein **Pleuel** auf die **Kurbelwelle**. Diese ist mit dem Pleuel über ein bewegliches **Pleuellager** verbunden. Es wandelt die geradlinige Abwärtsbewegung des **Kolbens** in eine Drehbewegung um und leitet sie über das **Schwungrad** ans Getriebe und die Räder weiter. Benenne die Teile des Kurbeltriebs.

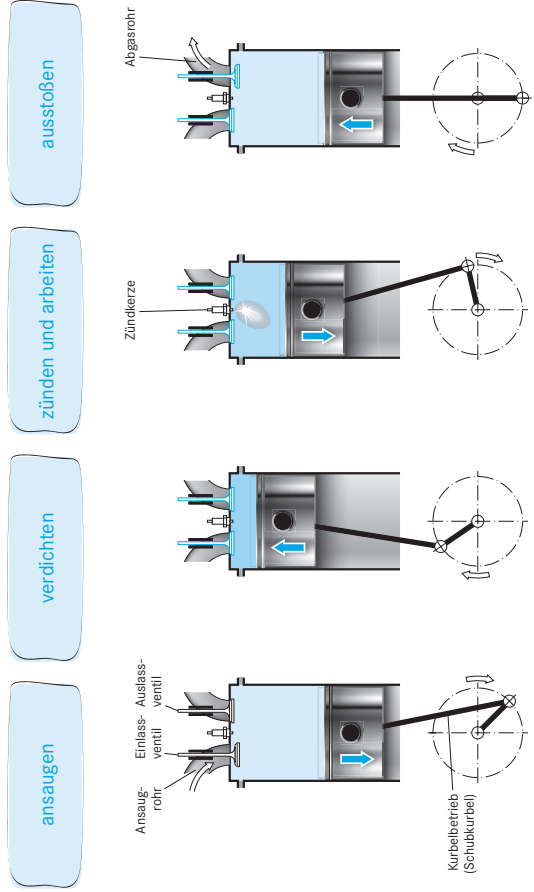


2. Bei einem Viertaktmotor werden die Verbrennungsgase in vier Takten (Arbeitsspiel) angesaugt, verdichtet, entzündet und verbrannt und dann ausgestoßen. Beim Verbrennen entsteht die Kraft, die auf den Kolben wirkt („arbeiten“).

a) Schreibe den jeweiligen Arbeitstakt im Zylinder über die Zeichnungen.

b) Kennzeichne die Bewegung des Kolbens durch zwei unterschiedlich farbige Pfeile.

c) Zeichne die fehlenden Ventilstellungen von Einlassventil (EV) und Auslassventil (AV) ein.



d) Wie oft steht der Kolben während eines kompletten Arbeitsspiels ganz oben (oberer Totpunkt OT) bzw. ganz unten (unterer Totpunkt UT)?

2-mal

e) In diese Richtung (OT bzw. UT) bewegt sich der Kolben:

Takt	ansaugen	verdichten	arbeiten	ausstoßen
Kolbenbewegung	von OT nach UT	von UT nach OT	von OT nach UT	von UT nach OT

f) Wie oft dreht sich die Kurbelwelle während eines Arbeitsspiels?

2-mal

g) Wie viele Winkelgrade an der Kurbelwelle (Grad KW) umfasst ein komplettes Arbeitsspiel?

720 Grad KW

3. Bei vielen Motoren wird die Zündfolge 1 – 3 – 4 – 2 verwendet. Vervollständige die Übersicht für alle vier Zylinder eines Motors.

1. Zylinder	2. Zylinder	3. Zylinder	4. Zylinder
zünden und arbeiten	ausstoßen	verdichten	ansaugen
ausstoßen	ansaugen	zünden und arbeiten	verdichten
ansaugen	verdichten	ausstoßen	zünden und arbeiten
verdichten	zünden und arbeiten	ansaugen	ausstoßen

4. Angenommen, ein Motor dreht mit 5 100 1/min. Wie oft öffnen und schließen sich die Einlass- bzw. Auslassventile in einer Stunde?

5 100 1/min · 60 = 306 000 Kurbelwellenumdrehungen/h
306 000 / 2 = 153 000 Öffnungen/Schließungen von Einlass- bzw. Auslassventil

5. Wie viele Umdrehungen macht eine Kurbelwelle unter folgenden Bedingungen?

Laufleistung 10 000 km; durchschnittliche Geschwindigkeit 72 km/h; durchschnittliche Drehzahl 2400 1/min

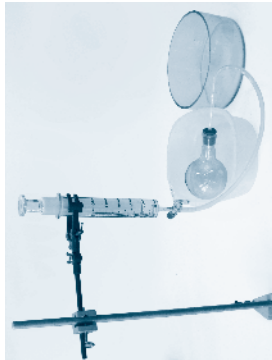
10 000 km 72 km/h	= 138,88 h Betriebsdauer
138,88 h · 60 = 8 333 min	
8 333 min · 2 400 1/min = 19 999 200 (rund 20 Mill.) Kurbelwellenumdrehungen	

B5 Ausdehnung von Gasen II

1. Kolbenversuch zum Verdeutlichen der Wärmeausdehnung von Gasen im Zylinder: Beobachte den Ablauf des Versuches und beantworte dann die Fragen a) bis g).

Info

Der Versuch muss vom Lehrer aufgebaut werden. Vorsicht: der Kolbenprober ist zerbrechlich! Das heiße Wasser kann zu Verbrühungen führen!



Materialliste:

- 1 Glasbehälter
- 1 Schlauchverbindung
- 1 Kolbenprober
- Stativständer zum Befestigen
- 2 Schalen mit heißem und kaltem Wasser

a) Wie und warum bewegt sich der Kolben, wenn man den Glasbehälter in heißes Wasser taucht? Der Kolben hebt sich, da sich das Gas durch Erwärmung ausdehnt.

b) Wie verhält sich der Kolben, wenn man den Glasbehälter abwechselnd in heißes und kaltes Wasser taucht? Der Kolben hebt und senkt sich.

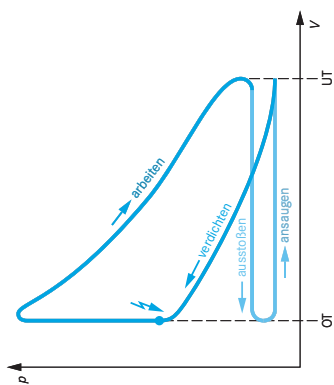
c) Warum hebt sich der Kolben nach einem Durchgang nicht mehr bis zum Anfangspunkt? Was muss man deshalb beim Motorbau beachten? Der Kolben ist nicht ganz dicht und es entweicht ständig etwas Luft. Bei Motoren muss man deshalb Dichtungen einbauen.

d) Wie könnte man die Kolbenbewegung beschleunigen? Man könnte heißeres Wasser verwenden (mit größeren Temperaturunterschieden arbeiten) oder für einen besseren Wärmekontakt sorgen.

e) Wie könnte man den Kolben höher heben? Durch Temperaturerhöhung dehnt sich das Gas mehr aus und hebt den Kolben höher. Man könnte auch das Volumen des Gases oder des Glasbehälters vergrößern.

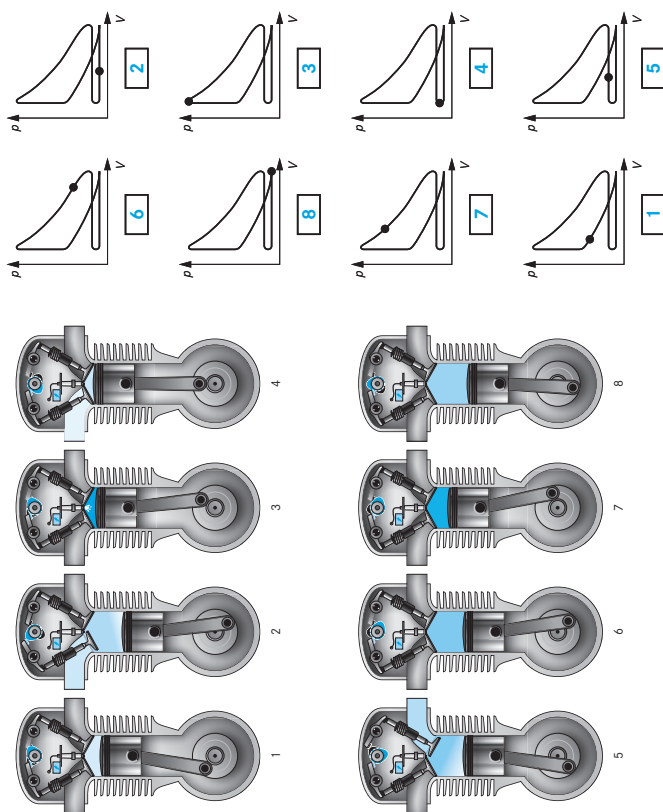
f) Wie könnte man das Erhitzen des Gases im Kolbenprober verbessern? Durch Verbrennung im Gasvolumen.

g) Wie könnte man die „Verbrennungsrückstände“ abkühlen und austauschen? Abkühlen: durch Ablassen der heißen Luft. Austauschen: durch Be- und Entlüften des Verbrennungsraumes über Ventile.



n. Ordne jedem Bild eines Ottomotors das zutreffende Diagramm zu.

Die Kurbelwelle dreht sich im Uhrzeigersinn.



aben.

ruhiger und runder, weil die in den Zylindern
umdrehung weitergegeben wird.

B6 Vergleich verschiedener Verbrennungsmotoren

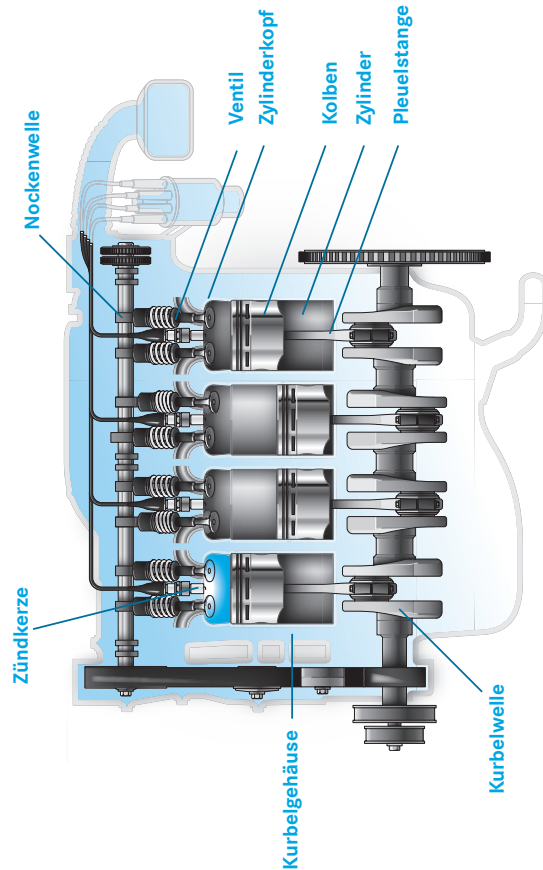
1. Die Zeichnung zeigt den typischen Aufbau eines Verbrennungsmotors (Ottomotors).

a) Bezeichne die Hinweislinien mit folgenden Begriffen:

b) Erkläre deinem Banknachbarn/deiner Banknachbarin die Funktion der einzelnen Teile. Wechselt euch ab.

c) Beschreibt abwechselnd den Weg der Energieumwandlung im Motor.

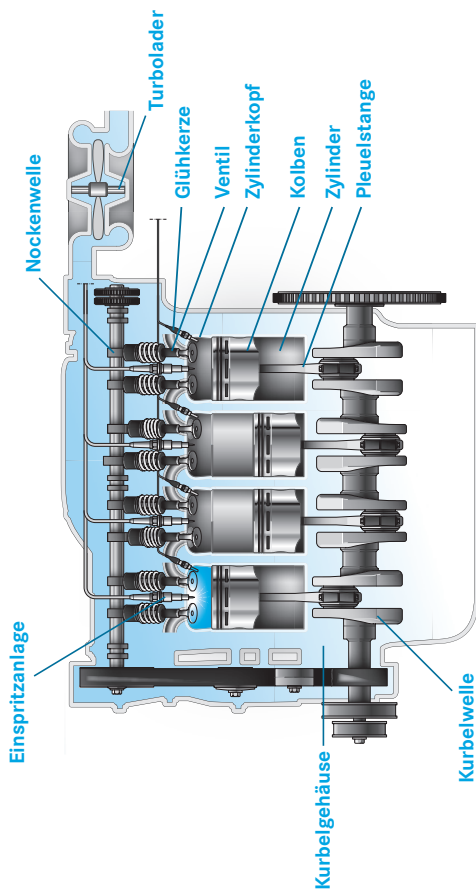
d) Notiere, ob dir Informationen zum kompletten Verständnis eines Verbrennungsmotors fehlen.



schülerindividuelle Antwort

2. Die Zeichnung zeigt den typischen Aufbau eines Dieselmotors.

a) Bezeichne die Teile, die genauso aussehen wie in Aufgabe 1, mit den entsprechenden Begriffen.



b) Ergänze den Text zum Dieselmotor mit folgenden Begriffen:

Einspritzanlage, entzündet, Glühkerzen, heiße, kalten, Luft, Selbstzündung, Turboladers, vorverdichtet

In die Zylinder von Dieselmotoren wird nur Luft (statt eines Kraftstoff-Luft-Gemischs) gesaugt, die mithilfe eines

Turboladers oder Kompressors **vorverdichtet** wurde. In diese im Zylinder weiter verdichtete **heiße**

Luft wird durch die Einspritzanlage der Diesellochstoff eingespritzt, der sich selbst entzündet

(**Selbstzündung**). Beim Start des **kalten** Motors werden die **Glühkerzen** benötigt, die zusätzliche

Wärme in den Brennraum einbringen.

c) Beschrifte nun die noch freien Hinweislinien in der Abbildung mit den passenden Begriffen aus dem Text zu Aufgabe b).

3. Otto- und Dieselmotoren (Viertakter) für Automobile haben viele Gemeinsamkeiten, aber auch typische Unterschiede. Vervollständige bitte die Tabelle.

	Ottomotor	Dieselmotor
Takte	4	4
Umdrehungen der Kurbelwelle je Arbeitstakt	2	2
Kraftstoff	Benzin	Diesel
Zündung	Fremdzündung	Selbstzündung

B7 Moderne Technologien in Verbrennungsmotoren

Info

Ein moderner Hochleistungsmotor in einem Automobil ist noch viel komplexer, als es die dargestellten Prinzipien vermuten lassen. Die Ingenieure arbeiten ständig an Verbesserungen, vor allem aus Umweltschutzgründen (z.B. wegen immer strenger Abgasvorschriften) und um Rohstoffe einzusparen (z.B. um den Kraftstoffverbrauch zu senken).

1. Was glaubst du: Wo überall im und direkt am Motor kann man optimieren? Beschreibe bei den folgenden Stichworten, was man verbessern könnte und welche Auswirkungen dies hätte.

- **Größe** → Es geht darum, Motoren mit kleinerem Hubraum bei gleichbleibender Leistung zu bauen, um (vor allem) den Verbrauch zu verringern („Downsizing“). Dies kann insbesondere über Aufladung bewirkt werden.
- **Material** → Leichtere Motoren, z.B. aus Aluminium, sparen Masse und damit auch Kraftstoff.
- **Oberflächen** → Möglichst glatte Oberflächen verringern die Reibung (z.B. im Zylinder). Auch auf die Luftansaugung, z.B. im Ansaugkrümmer, hat die Oberflächengüte Einfluss (möglichst glatt, damit es nicht zu Verwirbelungen kommt).
- **Brennraum** → Die Form des Brennraumes, z.B. durch die Gestaltung des Kolbenbodens, hat großen Einfluss auf die Gemischbildung und den Verbrennungsvorgang.
- **Verdichtungsverhältnis** → Ein größeres Verdichtungsverhältnis bringt einen besseren Wirkungsgrad, beansprucht den Motor aber stärker und verstärkt beim Ottomotor die unerwünschte Klopfneigung.
- **Zündung** → Beim optimal eingestellten Zündzeitpunkt wird der Verbrennungshöchstdruck kurz nach OT erreicht; dadurch erreicht man hohe Motorleistung bei geringerem Verbrauch.
- **Gemischbildung** → Art, Ort und Zeitpunkt der Gemischbildung haben großen Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch und die Leistung.
- **Zusammensetzung des Kraft-Luft-Gemischs** → Bei der stöchiometrischen Zusammensetzung des Kraftstoff-Luft-Gemischs entstehen (theoretisch) nur Kohlenstoffdioxid, Stickstoff und Wasser als Abgase. Beim Ottomotor lässt sich dies durch einen 3-Wege-Katalysator auch praktisch erreichen. (Beim Dieselmotor gelten wegen des Magerbetriebs andere Regeln bei der Abgasbehandlung.)

2. Hier soll ein Bereich exemplarisch herausgehoben und behandelt werden: die Gemischbildung.

Info

Wenn Kraftstoff und Luft vor dem Brennraum gemischt werden, nennt man dies **äußere Gemischbildung**. Mischt man Kraftstoff und Luft dagegen erst im Brennraum, spricht man von **innerer Gemischbildung**. Bei herkömmlichen Ottomotoren wird der Kraftstoff vor dem eigentlichen Brennraum eingespritzt, damit er sich mit der Luft mischen kann; dies ist eine „indirekte“ Einspritzung. Im Gegensatz dazu wird in modernen Ottomotoren der Kraftstoff in den Brennraum gespritzt; man nennt dies **Benzin-Direkteinspritzung**.



Vervollständige den Text mit folgenden Begriffen:

Aktoren, Brennraum, Drehmoment, Einlassventil, Einspritzventilen, feinst zerstäubt, heißen Luft, Hochdruckpumpe, hohe Druck, im Brennraum, Luft, Rail, Sensoren

Bei Motoren mit Benzin-Direkteinspritzung wird das Kraftstoff-Luft-Gemisch im Brennraum

gebildet. Beim Ansaugtakt strömt durch das geöffnete Einlassventil nur noch Luft. Der Kraftstoff

wird mit speziellen Einspritzventilen direkt in den Brennraum gespritzt. Dazu benötigt man eine

Hochdruckpumpe, die den erforderlichen Kraftstoffdruck im Rail (der Hochdruckleitung) aufbaut. Der hohe Druck ermöglicht es, dass der Kraftstoff exakt dosiert und feinst zerstäubt in sehr kurzer

Zeit mit der heißen Luft im Brennraum ein Gemisch bildet. Voraussetzung ist eine exakte Steuerung des

Einspritzsystems durch Sensoren und Aktoren über ein Steuergerät. Ziel der Steuerung ist, das geforderte Drehmoment mit möglichst geringem Kraftstoffverbrauch und möglichst wenig Emissionen zu liefern.

3. Ergänze die Tabelle (recherchiere den Einspritzdruck z.B. im Internet).

	Benzin-Direkteinspritzung	Diesel-Einspritzanlage
Kraftstoff	Benzin	Diesel
Zündung	Fremdzündung	Selbstzündung
Einspritzdruck	bis 200 bar	bis 2200 bar
Gemischbildung	innere Gemischbildung	innere Gemischbildung

4. Wenn du nun Otto- und Dieselmotor miteinander vergleichst: Was fällt dir auf bezüglich der Entwicklung von Unterschieden und Gemeinsamkeiten?

Durch die technologische Entwicklung werden die Unterschiede geringer. Im Einspritzsystem liegt der hauptsächlichste Unterschied im Einspritzdruck.

B8 Zum Trainieren und Merken

1. a) Trage die gesuchten Begriffe zum Thema „Die Funktion von Verbrennungsmotoren“ ein (ß = ss, ü = ue usw.).

1

Z

2

O

3

T

4

P

5

T

6

A

7

D

8

K

9

K

10

R

11

V

12

S

13

Z

14

V

15

T

16

E

17

G

18

G

19

A

O

M

O

T

O

R

F

S

T

O

F

F

L

B

E

R

D

I

C

H

T

E

N

A

N

G

H

E

N

R

I

E

N

A

S

A

T

O

R

N

S

A

U

G

E

N

D

waagerecht

senkrecht

1. Raum, in dem die Verbrennung abläuft und der Kolben sich bewegt

2. Name eines Verbrennungsmotortyps

3. Überbegriff für UT und OT

4. Verbindung von Nocken und Kurbelwelle

5. anderer Name für Kraftstoff

6. der letzte Takt im Viertaktmotor

7. Kraftstoff für Motor mit Selbstzündung

8. überträgt die Bewegungenergie auf das Pleuel

9. chemische Energie zum Betrieb eines Verbrennungsmotors

10. überträgt die Kraft auf den Pleuelstrang

11. dritter Takt im Viertaktmotor

12. „Zwischenspeicher“ für die Energie, die die Kurbelwelle überträgt

13. überträgt die Drehbewegung der Kurbelwelle auf die Pleuelwelle

14. Name für Teil eines Pleuelstrangs im Motor

15. steuern die Ventile

16. Aggregatzustand beim Verbrennen im Motor

17. erzeugt die elektrische Energie im Auto

18. der erste Takt im Viertaktmotor

19. der erste Takt im Viertaktmotor

b) Benutze für das gesuchte Lösungswort die Buchstaben in den blau unterlegten Kästchen von oben nach unten. Es sorgt dafür, dass frische Gase in den Zylinder und die Abgase wieder heraus gelangen.

V	E	N	T	I	L	S	T	E	U	E	R	U	N	G
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

C1 Wo kommt die Energie zum Fahren her?

2. Wer wird Wissensmillionär? – Kreuze bei den folgenden Fragen die richtigen Antworten an. Die Lösungsbuchstaben verraten dir von oben nach unten ein wichtiges Bauteil in jedem Motor.

a) Ein Verbrennungsmotor funktioniert nach folgendem physikalischen Prinzip:

- ☐ A Reibungswärme
☒ V Murphys Gesetz
☒ D Ausdehnung von Gasen

b) Folgende Aussage ist falsch:

- ☐ E Die Nockenwelle steuert die Ventile.
☒ D Ein Viertaktmotor muss nicht geschmiert werden.
☐ R An jeder Kurbelwelle sitzt ein Schwungrad.

c) Wie oft dreht sich die Kurbelwelle eines Viertaktmotors während eines Arbeitstaktes?

- ☐ B einmal
☒ D zweimal
☐ N viermal

d) Ein Nocken hat eine besondere Form, und zwar ist er

- ☐ T konzentrisch
☒ D exzentrisch
☐ E asymmetrisch

e) Die Totpunkte sind

- ☒ D die oberen und unteren Punkte der Kolbenumkehr
☐ T die Stellen, an denen kein Verkehr stattfindet
☐ A erreicht, wenn das Schwungrad nicht läuft

f) Die vier Takte eines Motors heißen

- ☐ K ansaugen – verdichten – zünden und arbeiten – verbrennen
☐ A vergasen – verdichten – Kolben bewegen – ausstoßen
☒ D ansaugen – verdichten – zünden und arbeiten – ausstoßen

Brennraum strömt

g) Ein Verbrennungsmotor benötigt zum Verbrennen ein

- ☒ S Kraftstoff-Luft-Gemisch
☐ T Kraftstoff-Öl-Gemisch
☐ R Kraftstoff-Gas-Gemisch

h) Wenn beim Ottomotor der Kraftstoff direkt in den Brennraum gespritzt wird,

- ☐ E geht der Motor kaputt
☒ D bezeichnet man dies als Direkteinspritzung
☐ O bezeichnet man dies als Selbstzündung

i) Das „Arbeitsdiagramm“ eines Verbrennungsmotors ist ein

- ☒ A Druck-Volumen-Diagramm
☐ R Druck-Temperatur-Diagramm
☐ T Luft-Temperatur-Diagramm

j) Der Dieselmotor ist ein sogenannter

- ☒ N Selbstzünder
☐ U Fremdzünder
☐ S Spätzünder

k) Ein Dieselmotor verfügt nicht über folgendes Teil:

- ☐ A Glühkerze
☒ D Zündverteiler
☐ N Ventilsteuerung

l) Als Liefergrad bezeichnet man

- ☐ G die Luftmenge innerhalb einer bestimmten Zeit
☐ N die Freundlichkeit des Pizzaboten
☒ D die Gasmenge, die während eines Arbeitsspiels in den Brennraum strömt

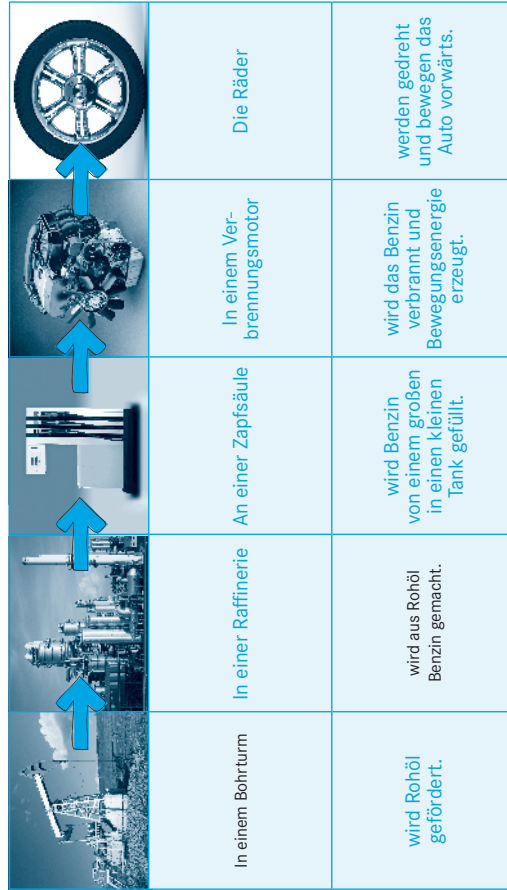
Dieser Gegenstand ist wichtiger Bestandteil eines jeden Motors:

P	L	E	U	E	L	S	T	A	N	G	E
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

1. Die zum Autofahren benötigte Energie kann in verschiedenen Formen vorliegen. Zähle die Energiearten auf, die in Fahrzeugen verwendet werden.

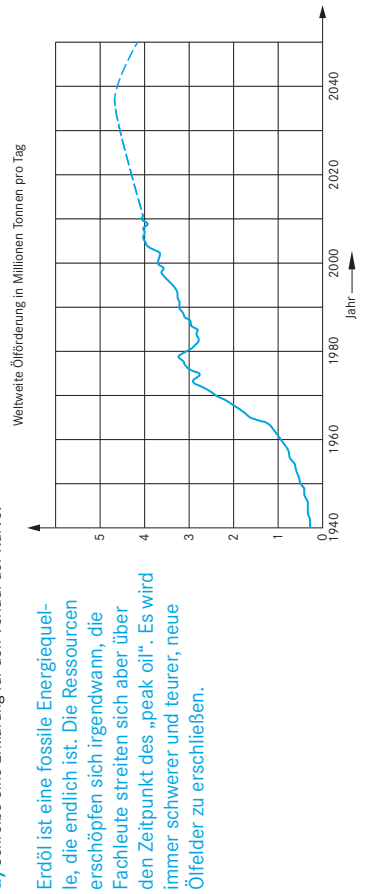
Normalbenzin, Superbenzin, E10, Diesel, Rapsdiesel, Autogas, elektrischer Strom, Ethanol, Erdgas

2. Um ein Auto mit Verbrennungsmotor zu bewegen, benötigt man Kraftstoff. Doch wo kommt dieser her? Ergänze die fehlenden Felder der Energiekette von Benzin.



3. Folgende Grafik zeigt die Förderquote von Erdöl.

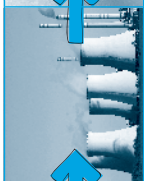
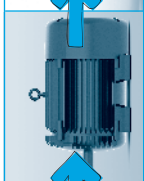
a) Schreibe eine Erklärung für den Verlauf der Kurve.



b) Ziehe Rückschlüsse, warum deshalb Alternativantriebe immer wichtiger werden.

Die Versorgung mit Erdöl ist dauerhaft nicht gewährleistet. Es ist eine Frage der Zeit, wann der Bedarf nicht mehr gedeckt werden kann. Durch Alternativantriebe sinkt die Abhängigkeit vom Erdöl.

4. Um ein Auto mit Elektromotor zu bewegen, benötigt man Strom. Aber wo wird dieser hergestellt? Ergänze die fehlenden Felder.

				
Aus der Erde	In einem Kraftwerk	An der Steckdose einer Strom-tankstelle	In einem Elektromotor	Die Räder
werden Brenn-stoffe gefördert.	werden die Brenn-stoffe verbrannt und Strom wird in die Leitungen gespeist.	wird der Strom in den Autoakku geladen.	wird durch den Strom Bewegungsenergie erzeugt.	werden gedreht und bewegen das Auto vorwärts.

5. Elektrischer Strom gilt als „saubere“ Energie.

a) Wenn man von Elektroautos spricht, geht man davon aus, dass bei der Nutzung keine Schadstoffe erzeugt werden. Wo liegt der Irrtum? Beschreibe.

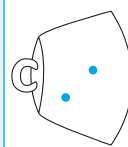
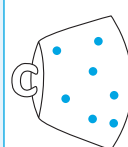
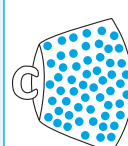
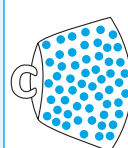
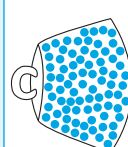
Hauptsächlich wird der elektrische Strom immer noch aus nicht erneuerbaren Energiequellen hergestellt. Solange Strom aus Kraftwerken kommt, die – auch mit modernsten Abgasreinigungsanlagen – CO₂ erzeugen, wird die Umwelt nicht wirklich geschützt.

b) Was müsste man tun, um „sauberen“ Strom nutzen zu können?

Man müsste Strom aus erneuerbaren Energiequellen gewinnen, also aus Sonne, Wind und Wasserkraft.

C2 Klassische Kraftstoffe

1. Immer wenn Energie gespeichert wird, soll das mit möglichst wenig Platz und möglichst geringem Gewicht geschehen. Zum Vergleich gibt man bei jedem Kraftstoff und jeder Batterie an, wie viel Energie in einem Kilo gespeichert ist. Hier sind verschiedene Energieeinheiten pro kg dargestellt.

				
normale Autobatterie	moderne Lithium-Batterie	Benzin	Dieseldieselkraftstoff	Erdgas
35 Einheiten pro kg	130 Einheiten pro kg	11 500 Einheiten pro kg	11 800 Einheiten pro kg	13 600 Einheiten pro kg

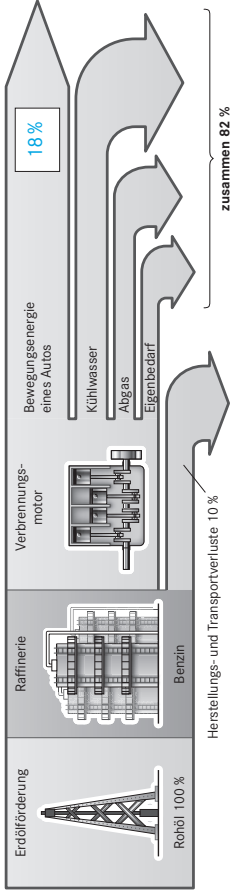
Welche Konsequenzen hat die unterschiedliche Energiedichte für Kraftfahrzeuge?

Benzin und Diesel haben sehr viel Energie pro kg Gewicht gespeichert. Autos können deshalb mit einem relativ geringen Tankgewicht weit fahren. – Batterien sind sehr schwer und können pro kg Gewicht nur wenig Energie speichern. Deswegen könnte ein Auto mit Batterieantrieb nicht weit fahren. – Erdgas hat zwar einen hohen Energiegehalt, in der Praxis ist aber die in den Druckflaschen mitgeführte Gasmasse kleiner als die Kraftstoffmasse bei Benzin- oder Dieselfahrzeugen, sodass die Reichweite geringer ist.

Info

Kraftstoffe für Verbrennungsmotoren sind ein Gemisch aus Kohlenwasserstoffverbindungen, die überwiegend aus Erdöl gewonnen werden (Benzin, Diesel). Sie unterscheiden sich durch den Aufbau (kettenförmig oder ringförmig) und die Größe ihrer Moleküle. Daraus resultieren die unterschiedlichen Eigenschaften der verschiedenen Kraftstoffe. Während der Umwandlung von chemischer Energie (z.B. Benzin, Diesel und Erdgas) in Bewegungsenergie entstehen „Verluste“. Energie geht bei der Umformung jedoch nie „verloren“, sondern sie wird lediglich in andere, teils nicht nutzbare (meist Wärmeenergie), Formen überführt.

2. Das Energieflussdiagramm zeigt den Weg der Umwandlung von chemischer Energie zur mechanischen Energie. Rechne aus, wie groß der Anteil an Bewegungsenergie (in Prozent) für ein Automobil ist und trage die Zahl ein.



3. Der sogenannte Wirkungsgrad bezeichnet das Verhältnis von nutzbarer Energie zu eingesetzter Energie. Die Differenzen werden als „Verluste“ bezeichnet. Der Wirkungsgrad verdeutlicht die Wirksamkeit von Energieumwandlungen. Ergänze die Rechnung, die sich auf das Diagramm in Aufgabe 2 bezieht.

Der Wirkungsgrad η (griechisch eta) wird mit folgender Formel berechnet:

$$\eta = \frac{\text{genutzte Energie}}{\text{eingesetzte Energie}} \cdot 100 \text{ (in \%)}$$

Der Gesamtwirkungsgrad wird in zwei Schritten berechnet:

$$\eta_1 = \frac{90 \cdot 100}{100} \% = 90\%$$
$$\eta_{\text{ges}} = \eta_1 \cdot \eta_2 = \frac{90 \cdot 18}{100 \cdot 100} = \frac{1620 \cdot 100}{10000} \% = 16,2\%$$

4. a) Was versteht man unter Primärenergie? Welche Unterkategorien von Primärenergien kennst du? Nenne jeweils ein Beispiel.

Primärenergie ist die Energie, die durch natürliche Energiequellen zur Verfügung steht. Es gibt fossile Primärenergie (Erdöl, Erdgas), regenerative Primärenergie (nachwachsende Rohstoffe, Windkraft) und nukleare Primärenergie (Kernenergie, Radioaktivität).

b) Was versteht man unter Nutzenergie?

Das ist die Energieform, die nach der Umwandlung der Primärenergie vom Endverbraucher tatsächlich genutzt werden kann.

Löse die Aufgaben 5 und 6 in Partnerarbeit oder einer Kleingruppe.

5. Brainstorming: Was fällt euch alles zu Kohlenstoffdioxid (CO₂) ein?

Pflanzen benötigen es für die Photosynthese

entsteht beim Atmen

Nationen haben sich verpflichtet, die Emissionen zu senken.

Hauptverursacher des Treibhauseffektes

Kohlenstoffdioxid – CO₂

Abgas bei der Verbrennung organischer Substanzen

... eigentlich ungiftig, aber „Treibhaus“-Gas

6. Überlegt, warum nach Alternativen für Kraftstoffe aus Erdöl gesucht wird.

- Erdöl ist knapp (begrenzte Vorräte)
- Die CO₂-Emissionen müssen verringert werden.

C3 Alternative Kraftstoffe und Antriebe

1. Energie- und Verkehrsprognosen gehen davon aus, dass Automobile auch zukünftig eine wichtige Rolle für die Mobilität spielen werden. Alternative Kraftstoffe werden also zunehmend an Bedeutung gewinnen.

a) Ordne den folgenden Steckbriefen die richtige Kraftstoffart zu.

Dieser Kraftstoff fällt nicht unter das Mineralsteuergesetz, daher sind die Kosten nur halb so hoch wie für Benzin. Vor allem der Preis spricht für den Kauf dieses Kraftstoffs, denn CO₂-Emissionen an als bei einem Benzinmotor. Damit der Kraftstoff verwendet werden kann, sind Änderungen im Vergaser und der Einbaueigenen Tanks notwendig. Eine Tankfüllung reicht etwa für 400 km. Eine Kopplung mit Dieselmotoren ist nicht möglich.

NAME: _____ **Erdgas**

Dieser Kraftstoff wird aus der Rapspflanze gewonnen. Damit er in serienmäßigen Motoren eingesetzt werden kann, muss er auf chemischem Wege verändert werden. Die Leistungsausschüttung des Motors ist dann etwa 10 % geringer. Unvermischt wird dieser Kraftstoff in der Regel nicht eingesetzt. Da das Kraftstoff ist nicht CO₂-neutral, er gilt jedoch als nachhaltig, da das bei der Verbrennung entstehende Kohlenstoffdioxid wieder von der Rapspflanze aufgenommen wird.

NAME: _____ **Biodiesel**

Dieser Kraftstoff wird oft mit Benzin gemischt. Für die Herstellung wird in Pflanzen enthaltene Rohstoffe vergoren. Die Gewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen macht den Kraftstoff zwar CO₂-neutral, aber für den Anbau werden oft Waldflächen gerodet. Zudem wird kritisiert, dass aus Pflanzen Kraftstoff statt Nahrung produziert wird. Die Energiedichte ist geringer als die von Benzin. Damit Autos mit dem Kraftstoff fahren können, wird meist ein teurer Umbau nötig. Eine 5-10%ige Mischung vertragen aber fast alle Autos ohne Umrüstung.

NAME: _____ **Ethanol**

Dieser Kraftstoff hat einen fast dreimal höheren Heizwert als Benzin. Beim Vermischen mit dem Luftsauerstoff entsteht ein explosives Gemisch. In einem Fahrzeug kann der Kraftstoff als Medium für Brennstoffzellen oder als direkter Antrieb im Motor genutzt werden. Da ein entsprechender Tank gut isoliert sein muss, ist er recht groß. Der Kraftstoff wird im flüssigen Zustand oder unter sehr hohem Druck transportiert und reicht für ca. 200 km. Seine Verbrennung ist CO₂-neutral, aber das Herstellungsverfahren ist sehr aufwendig.

NAME: _____ **Wasserstoff**

b) In der folgenden Tabelle sollen verschiedene Kraftstoffe verglichen werden. Informiere dich bei Bedarf im Internet und verwende folgende Bewertungseinteilung:

0 gleich, + etwas besser, ++ viel besser, – etwas schlechter, – – viel schlechter

	Benzin	Diesel	Biodiesel	Erdgas	Wasserstoff	Ethanol
Verfügbarkeit/Tankstellen	0	0	–	–	– –	–
globale Ressourcen	0	0	–	+	– –	–
Wirtschaftlichkeit	0	+	+	++	– –	0
CO ₂ -Emission	0	+	++	+	++	++
Stickstoffdioxid-Emission	0	–	–	0	0	0
Partikel	0	–	–	++	++	+
Reichweite	0	+	+	–	– –	0

Steigende Kraftstoffpreise und wachsendes Umweltbewusstsein führen dazu, dass zunehmend energiesparende Hybridfahrzeuge, Brennstoffzellenautos und Elektrofahrzeuge entwickelt werden.

2. Fülle die Lücken mit untenstehenden Begriffen aus.

Antriebe, Antriebskraft, Batterie, Drehzahl, Bewegungsenergie, elektrische Energie, Elektromotor, Getriebe, mehr, Wirkungsgrad

Bei Hybridfahrzeugen werden zwei unterschiedliche Antriebe kombiniert: Verbrennungs- und Elektromotor. Vorteil dieser Kombination ist die Fähigkeit, beim Bremsen Bewegungsenergie in elektrische Energie umzuwandeln, diese in einer Batterie zu speichern und beim nächsten Anfahren wieder zu nutzen. Je mehr man im Stop-and-go-Verkehr unterwegs ist, umso mehr elektrische Energie wird gespeichert. Das Fahrzeug kann also die Antriebskraft aus zwei Quellen beziehen. Typischerweise wirken beide Antriebe auf ein gemeinsames Getriebe. Der Verbrennungsmotor läuft dadurch mit günstiger Drehzahl, besserem Wirkungsgrad und unter Umständen geringeren Abgasen.

3. Ordne die verschiedenen Fahrzustände und die Energieflüsse beim Fahren eines Hybridfahrzeugs der Grafik zu.

1 Anfahren

Wenn man vom Gas geht oder bremst, wird der Elektromotor zum Generator. Er wandelt die Bewegungsenergie in elektrische Energie um, die in der Batterie gespeichert wird.

2 Normales Fahren

Sobald das Fahrzeug steht, stoppt auch der Benzinmotor. Das sorgt für Ruhe und spart Energie.

3 Beschleunigen

Die Kraft des Benzinmotors wird auf die Antriebsachse und den Generator verteilt, der den Elektromotor mit Strom versorgt. Das Kräfteverhältnis wird ständig geregelt.

4 Bremsen

Für eine kraftvolle Beschleunigung, etwa beim Überholen, speist die Batterie zusätzliche Energie ins System und erhöht damit die Gesamtleistung.

5 Anhalten

Beim Anfahren arbeitet nur der Elektromotor. Die Energie kommt aus der Batterie. Bei mehr „Gas“ springt sofort der Benzinmotor an.

C4 Gasmotoren

Seit einigen Jahren gewinnt gasförmiger Kraftstoff für Fahrzeuge zunehmend an Bedeutung. Dabei unterscheidet man zwischen Autogas oder Flüssiggas (LPG, engl. Liquefied Petroleum Gas) und Erdgas (CNG, engl. Compressed Natural Gas). Beide Gase haben unterschiedliche Eigenschaften und damit Vor- und Nachteile.

1. Der Einsatz von Gas in Kraftfahrzeugen.

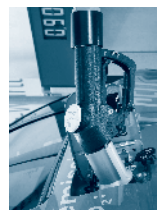
Erstelle eine Bilanz, in der Autogas und Erdgas verglichen werden. Verwende dafür folgende Angaben.

- LPG ist ein Propan-Butan-Gemisch, CNG besteht zu etwa 85 – 98 % aus Methan.
- Die Oktanzahl von LPG liegt zwischen 105 – 115, die Oktanzahl von CNG beträgt 120 – 140.
- CNG wird gasförmig bei ca. 200 bar Druck gespeichert, LPG flüssig bei ca. 10 bar Druck.
- LPG hat ca. 540 g Kraftstoff je Liter Tankvolumen, CNG ca. 147 g.
- Eine Zylinderfüllung aus Autogas besteht aus etwa 4 % Kraftstoff, bei Erdgas aus etwa 12 %.
- CNG hat bis zu 15 % Leistungsverlust gegenüber Benzin, LPG bis 10 %.
- LPG reduziert den CO₂-Ausstoß gegenüber Benzinverbrennung um etwa 10 %, CNG um etwa 20 %.
- CNG wird in Zylindertanks im Kofferraum, Unterflur oder auf dem Dach untergebracht, LPG wird in Zylindertanks unter dem Fahrzeug mit über 200 L oder in Radmuldentanks von 60 – 84 L gespeichert.
- Der Prüfdruck von LPG Tankanlagen (TÜV) liegt bei 40 bar, von CNG Anlagen bei 300 bar.
- Da LPG-Tanks keine Hochdruckbehälter sind, lassen sich vielfältige Tankformen realisieren, CNG-Tanks werden wegen des hohen Drucks nicht in Sonderformen angeboten.
- CNG wird seit Beginn 2013 in Deutschland an 882 Tankstellen angeboten, LPG an 6216.
- LPG wird wie andere flüssige Kraftstoffe auf der Straße zur Tankstelle transportiert und belastet so den Verkehr, CNG wird über Rohrleitungen der örtlichen Gasversorgungsunternehmen geliefert.



Technologie

Eine Nachrüstung auf LPG ist durch geringeren technischen Aufwand ca. 30 % billiger als auf CNG. CNG erfordert aufgrund des höheren Drucks dickere und schwerere Tanks.



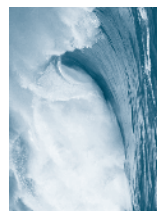
Infrastruktur

Die erzielbaren Reichweiten von LPG sind höher als bei CNG. LPG ist an Tankstellen außerhalb des wesentlichen weiter verbreitet.



Kosten

Beim Vergleich der Kraftstoffkosten von Benzin und Gas kann von 60 bis 70 % der Kosten ausgegangen werden. LPG ist als Kraftstoff circa 30 % teurer als CNG.



Umwelt

CNG reduziert den CO₂-Ausstoß gegenüber LPG um 10 % und gegenüber der Benzinverbrennung um etwa 20 %.

2. Informiere dich im Internet oder bei einem örtlichen Autohaus über die Umrüstung von Otto- und Dieselmotoren auf Gasbetrieb. Beantworte folgende Fragen.

a) Beschreibe, welches Gassystem bei einer Umrüstung bzw. beim Neukauf sinnvoller ist.

Ist ein Fahrzeug ab Werk mit Unterflurtanks ausgestattet, sind Reichweiten von über 400 km möglich. Zusammen mit den günstigeren Betriebskosten spricht dann viel für CNG, auch unter dem Gesichtspunkt, dass ab Werk wesentlich mehr CNG-Fahrzeuge als LPG-Fahrzeuge angeboten werden. Bei Nachrüstung sieht das anders aus: Soll ein Benzinmotor auf Gas umgerüstet werden, ist aus Kosten- und Platzgründen LPG günstiger.

b) Welche Motortypen lassen sich umrüsten?

Prinzipiell kommen nur Ottomotoren in Betracht. Von der Umrüstung eines modernen Ottomotors mit Direkteinspritzung muss abgesehen werden. Der Benzin-Injektor im Zylinder kann nicht für CNG verwendet werden und auch für die LPG-Direkteinspritzung ist er nicht ausgelegt. Für ältere Ottomotoren mit äußerer Gemischbildung ist eine Nachrüstung prinzipiell denkbar, allerdings ist hier zu beachten, dass es bei den Ventilsitzen bei Gasbetrieb zu erhöhtem Verschleiß kommt.

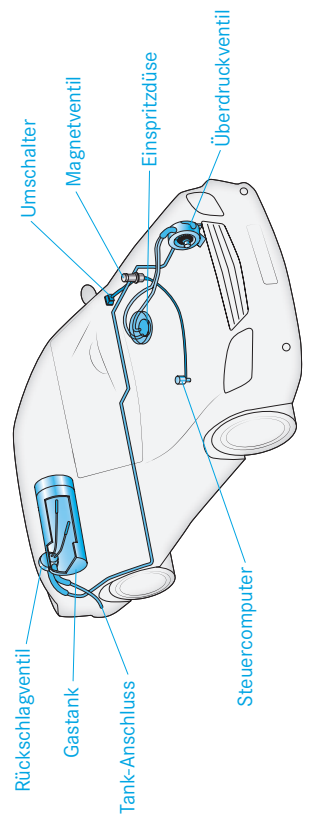
c) Was kostet eine Umrüstung?

Je nach Anzahl der Zylinder, der Leistung des Motors und der zu erreichenden Abgasnorm, liegen die Kosten zwischen 1 100 bis 3 500 €. Neuanschaffung und Umrüstung werden häufig von regionalen Gasversorgungsunternehmen mit ca. 500 € gefördert.

3. Fahrzeuge mit Autogas können in der Regel mit Gas oder Benzin betrieben werden. Je nach Bedarf kann automatisch oder per Schalter auf Gasbetrieb umgestellt werden.

Beschrifte folgende Abbildung mit den vorgegebenen Begriffen:

Gastank, Rückschlagventil (im Falle eines Tankrohrabrisses), Magnetventil (das bei Stromverlust schließt), Steuercomputer (zum Schließen des Magnetventils), Überdruckventil, Einspritzdüse (vor der Drosselklappe), Umschalter (zwischen Gas- und Benzinbetrieb), Tank-Anschluss

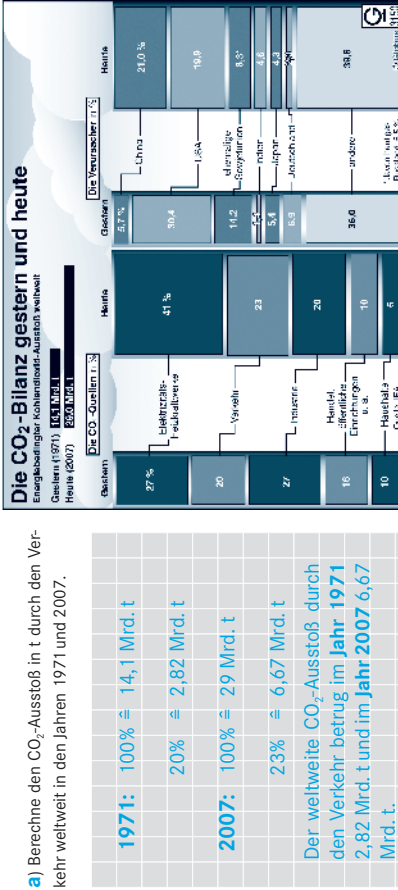


C5 CO₂-Bilanz

Info

Kraftstoffe aus Erdöl bestehen aus einem begrenzten Rohstoff (fossile Rohstoffe), sie haben einen schlechten Wirkungsgrad und sie werden verantwortlich gemacht für den „Treibhauseffekt“. Deswegen sucht man nach Alternativen.

1. Sieh dir das nebenstehende Diagramm an und beantworte folgende Fragen und Aufgaben.



a) Berechne den CO₂-Ausstoß in t durch den Verkehr weltweit in den Jahren 1971 und 2007.

1971: 100% = 14,1 Mrd. t

20% = 2,82 Mrd. t

2007: 100% = 29 Mrd. t

23% = 6,67 Mrd. t

Der weltweite CO₂-Ausstoß durch den Verkehr betrug im Jahr 1971 2,82 Mrd. t und im Jahr 2007 6,67 Mrd. t.

b) Berechne den gesamten CO₂-Ausstoß in China und Indien sowie in den USA und in Deutschland. Stelle die Ergebnisse in Mrd. t für die Jahre 1971 und 2007 tabellarisch gegenüber.

China 1971:	5,7% von 14,1 Mrd. t = 0,8 Mrd. t	USA 1971:	30,4% von 14,1 Mrd. t = 4,29 Mrd. t
China 2007:	21% von 29 Mrd. t = 6,09 Mrd. t	USA 2007:	19,9% von 29 Mrd. t = 5,77 Mrd. t
Indien 1971:	1,4% von 14,1 Mrd. t = 0,2 Mrd. t	Deutschl. 1971:	6,9% von 14,1 Mrd. t = 0,97 Mrd. t
Indien 2007:	4,6% von 29 Mrd. t = 1,33 Mrd. t	Deutschl. 2007:	2,3% von 29 Mrd. t = 0,67 Mrd. t

Jahr	China	Indien	USA	Deutschland
1971	0,8 Mrd. t	0,2 Mrd. t	4,29 Mrd. t	0,97 Mrd. t
2007	6,09 Mrd. t	1,33 Mrd. t	5,77 Mrd. t	0,67 Mrd. t

c) Kennzeichne in der Tabelle mit einem schwarzen (mehr Ausstoß) oder einem blauen (weniger Ausstoß) Pfeil die jeweiligen Staaten.



d) Welche Gründe könnten für das starke Ansteigen des CO₂-Ausstoßes in China und Indien vorliegen?

Die industrielle Produktion und die Mobilität haben sich in diesen Ländern mit sehr hoher Einwohnerzahl stark ausgeweitet.

e) Überlege, warum laut Schaubild in den USA, in Japan und in Deutschland der prozentuale Anteil des CO₂-Ausstoßes zurückgegangen sein könnte.

In diesen hochentwickelten Industrieländern mit starker Automobilindustrie werden umweltfreundlichere Technologien entwickelt und eingesetzt. Fahrzeuge mit sparsameren und umweltfreundlicheren Motoren führen dazu, dass trotz zunehmender Mobilität der CO₂-Ausstoß anteilig gesunken ist.

f) Was fällt dir in der Tabelle zu Aufgabe b) auf? Betrachte die von dir eingezeichneten Pfeile und schreibe eine Erklärung auf.

Deutschland ist das einzige vorgestellte Land, in dem der CO₂-Ausstoß nicht nur prozentual, sondern auch absolut zurückgegangen ist. Dies könnte auf den verstärkten Einsatz anderer Energieformen (regenerative oder nukleare) zurückzuführen sein sowie auf Energiesparmaßnahmen (z.B. im Häuserbau) und den Einsatz sparsamer und effizienter Kfz-Motoren.

2. Berechne anhand der folgenden Angaben, wie viel Energie in kWh ein Deutscher durchschnittlich im Verkehr pro Jahr verbraucht (nimm an, dass CO₂-Ausstoß und Energieverbrauch proportional sind).

10,88 t CO ₂ produziert jeder Deutsche durchschnittlich im Jahr; davon entfallen 2,52 t auf den Verkehr.	10,88 t = 100%	2,52 t = 23,16%
Der Primärenergieverbrauch pro Person beträgt hierzulande 48000 kWh/a.	23,16% von 48000 kWh/a = 11 117 kWh/a	

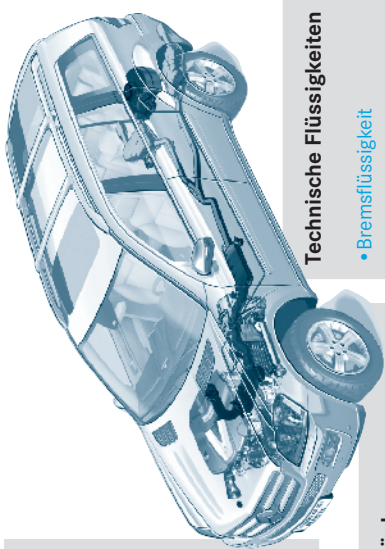
3. Wie könntest du und deine Familie in Zukunft dazu beitragen, weniger CO₂ im Straßenverkehr zu produzieren?

Kurze Strecken zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurücklegen, den öffentlichen Nahverkehr nutzen, Fahrzeuge mit geringem Kraftstoffverbrauch oder CO₂-neutralen Antrieben bevorzugen.

C6 Schadstoffe und Filtersysteme

Bei der Verbrennung von Kraftstoff in einem Motor entstehen schädliche Stoffe. Die durch den Verkehr freigesetzten Schadstoffe werden durch viele Faktoren verursacht.

1. Ergänze das Schaubild um die umweltschädlichen Stoffe, die bei einem Fahrzeug mit Verbrennungsmotor entstehen oder freigesetzt werden können.



Abgase

- Stickstoffoxide
- Kohlenstoffdioxid
- Schwefeloxide
- Kohlenstoffmonoxid
- Kohlenwasserstoffe

Schmierstoffe

- Getriebeöl
- Schmieröl
- Silikonfett

Stäube

- Bremsstaub
- Reifengummi
- Feinstaub bei der Diesel-Kraftstoffverbrennung
- Flugasche

Technische Flüssigkeiten

- Bremsflüssigkeit
- Frostschutzmittel
- Scheibenwischwasserzusatz
- Lösungsmittel
- Kältemittel der Klimaanlage

2. Welche Abgasreinigungssysteme werden hier gesucht?



Hier werden schädliche Bestandteile, die in den Abgasen vorhanden sind, in unschädliche Stoffe umgewandelt.

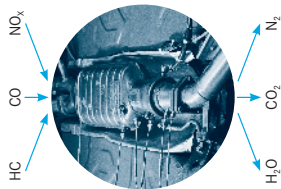
Katalysator

Hier werden kleine Rußteilchen, die in den Abgasen von Dieselmotoren vorhanden sind, auffangen und abgebaut.

Dieselpartikelfilter

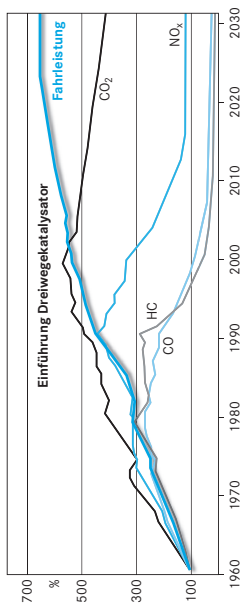
Info

Ein Katalysator ermöglicht oder beschleunigt eine chemische Reaktion, ohne sich selbst zu verändern.
Ein Dreifach-Katalysator im Kfz wandelt Kohlenstoffmonoxid, Kohlenwasserstoffe und Stickstoffdioxid um in Kohlenstoffdioxid, Stickstoff (Hauptbestandteil der Luft) und Wasser (dampf).



3. Schreibe zusammen mit deinem Banknachbarn/deiner Banknachbarin ein Referat (max. 1 DIN A4-Seite) über die Zusammenhänge, die das Diagramm aufzeigt. Gehe dabei auf Fahrleistungen, Katalysator und Schadstoffe ein.

Das Diagramm zeigt die Entwicklung des Straßenverkehrs in Deutschland von 1960 bis 2030.



4. Recherchiere (z.B. im Internet) die Bedeutungen der einzelnen Abkürzungen und ergänze die Steckbriefe.

NO_x

Name: Stickstoffoxide

Steckbrief: entstehen bei jeder Verbrennung; sind gesundheits- und umweltschädlich

CO₂

Name: Kohlenstoffdioxid

Steckbrief: entsteht bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe; sind klimaschädlich

HC (oder CH)

Name: Kohlenwasserstoffe

Steckbrief: Sammelbezeichnung für flüchtige CH-Verbindungen (als „Reste“ bei unvollständiger Verbrennung); sind gesundheitsschädlich

CO

Name: Kohlenstoffmonoxid

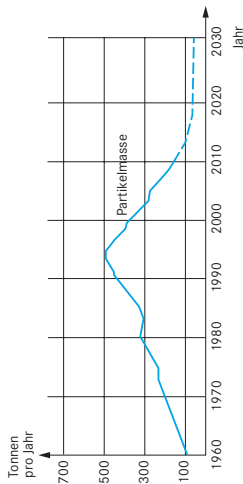
Steckbrief: giftiger Bestandteil unvollständiger Verbrennungen

PM

Name: Partikelmasse

Steckbrief: im Ruß bei Verbrennung von Dieselmotoren; sind gesundheitsschädlich

5. Das Diagramm zeigt die Entwicklung des Partikelmasseausstoßes (Ruß) von Dieselfahrzeugen in Deutschland.



- a) Beschreibe den Verlauf des Graphen und stelle Vermutungen an.

Der Partikelmasseausstoß wurde in den 1990er Jahren durch die Einführung neuer Technologien (Aufladung, verbesserte Einspritzverfahren) im Zusammenhang mit den sich verschärfenden Emissionsstandards (Euronormen) drastisch reduziert.

- b) Welchen Beitrag für die Umwelt und Gesundheit leistet ein Dieselpartikelfilter (DPF)?

Der DPF dezimiert die im Abgas von Dieselmotoren enthaltenen Rußpartikel nahezu vollständig.

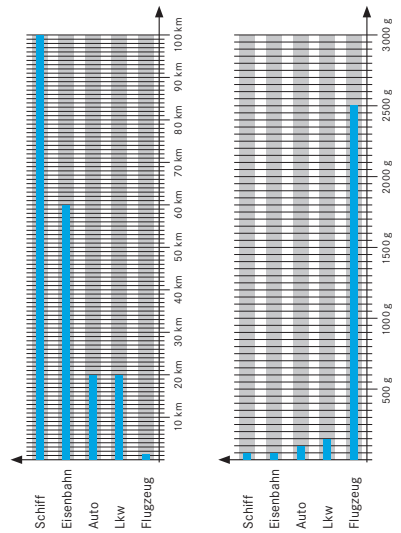


6. Ein großes Problem unserer Gesellschaft ist nicht unbedingt der Schadstoffausstoß einzelner Fahrzeuge, sondern vor allem die Menge der vielen Fahrzeuge auf unseren Straßen. Hier ein paar Fakten:

Mit einem Liter Kraftstoff kommt ein Schiff etwa 100 km, die Eisenbahn 60 km, ein Auto 20 km, ein Lkw 20 km und ein Flugzeug 1 km weit.

Um eine Tonne Gewicht einen Kilometer weit zu transportieren, produziert ein Schiff 30 g, die Eisenbahn 50 g, ein Auto 90 g, ein Lkw 150 g und ein Flugzeug 2500 g CO₂-Gas.

- a) Zeichne in die Balken ein, wie weit ein Liter Kraftstoff jeweils reicht.



- b) CO₂-Gas wird für die Erwärmung der Erde verantwortlich gemacht. Zeichne ein, wie viel von diesem Gas pro km für jede transportierte Tonne Gewicht produziert wird.

7. Ein Mensch in Deutschland bringt jährlich durchschnittlich 60 Stunden im Stau. Ein Fahrzeug verbraucht im Stehen zwischen 1,5 und 2 Liter Benzin pro Stunde. Ein Pkw mit Dieselmotor benötigt 0,5 bis 1,4 l/h. Eine zusätzlich eingeschaltete Klimaanlage benötigt im Stand noch einmal 1,5 l/h bzw. beim Fahren 1 Liter Kraftstoff pro 100 km.

a) Berechne, wie viel Kraftstoff pro Jahr und Auto ohne Klimaanlage im Stau verbraucht wird.

Benzinmotor: 60 · 1,5 L bzw. 2 L = 90 bis 120 L
Dieselmotor: 60 · 0,5 L bzw. 1,4 L = 30 bis 84 L

b) Wie ließe sich diese Verschwendung vermeiden?

Wenn das Auto länger steht, sollte man den Motor ausmachen. Alle Autos sollten mit Start-Stopp-Anlage ausgeliefert werden. Moderne Navigationssysteme können helfen, Staus zu umgehen, indem sie Alternativrouten vorschlagen.

c) Wie viel kostet der jährliche Energieverbrauch der Klimaanlage bei einem Fahrzeug mit 15 000 km Laufleistung pro Jahr? Rechne mit 1,70 € pro Liter.

8. In der EU gibt es Umweltzonen, in denen Autos nur unter bestimmten Bedingungen fahren dürfen.

a) Welche Plakette gehört zu welcher Schadstoffgruppe?

„Schadstoffreiche Fahrzeuge“	„Geringfügig schadstoffreduzierte Fahrzeuge“	„Schadstoffreduzierte Fahrzeuge“
Schadstoffgruppe: 2	Schadstoffgruppe: 3	Schadstoffgruppe: 4

b) Finde die Bedeutung der einzelnen Umweltzonen heraus.



Rot: Umweltzone Stufe 1: Einfahrverbot für Fahrzeuge der Schadstoffgruppe 1

Gelb: Umweltzone Stufe 2: Einfahrverbot für Fahrzeuge der Schadstoffgruppen 1 + 2

Grün: Umweltzone Stufe 3: Einfahrverbot für Fahrzeuge der Schadstoffgruppen 1 + 2 + 3

c) Welche Autos dürfen in der abgebildeten Umweltzone fahren?

alle Autos der Schadstoffgruppen 2, 3 und 4 – es handelt sich also um die Umweltzone Stufe 1

C7 Zum Trainieren und Marken

1. a) Trage die gesuchten Begriffe zum Thema „Energie und Kraftstoffe“ ein ($\beta = ss, \ddot{o} = oe$ usw.).

[illegible]

waagrecht

1. Verhältnis von nutzbarer zu eingesetzter Energie
7. englische Abkürzung für Flüssiggas
8. nicht flüssiger Treibstoff
9. anderes Wort für Rohstoffvorräte
10. englische Abkürzung für Erdgas
11. typischer Schadstoff in Dieselausgasen
12. hier wird Erdöl verarbeitet.
15. anderes Wort für erneuerbar
16. Rohprodukt der Benzinerstellung
17. Hier dürfen nur bestimmte Autos fahren.
18. Motorenart
19. CO₂-gilt als Hauptverursacher dafür.

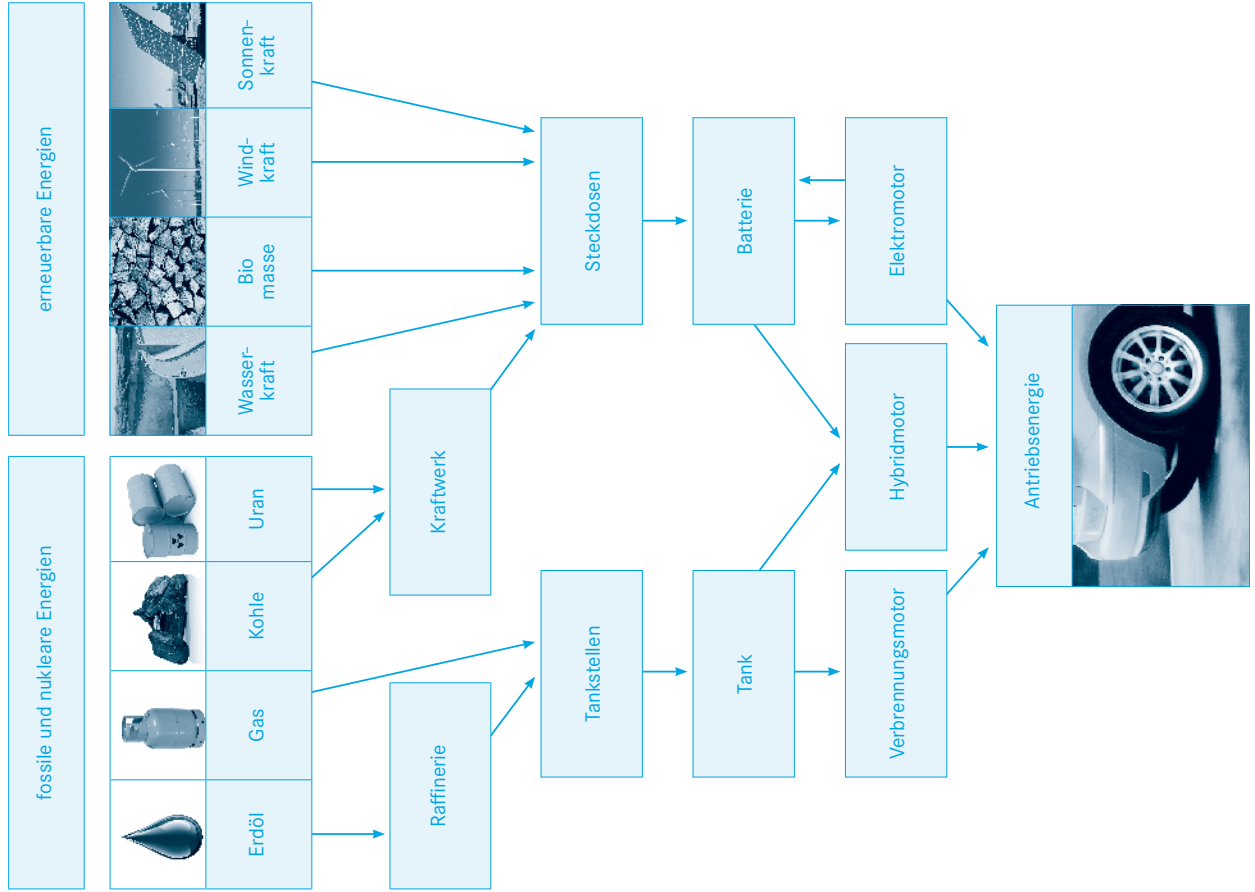
senkrecht

3. flüssiger Treibstoff
4. kommt aus dem Auspuff
5. CO₂
6. Gegenteil von abbrennen
11. anderes Wort für Schadstoffe
14. nachwachsender Kraftstoff

b) Benutze für das gesuchte Lösungswort die Buchstaben in den blau unterlegten Kästchen von oben nach unten. Es sorgt für Kraftstoffeinsparung beim Autofahren.

S	T	A	R	T	-	S	T	O	P	P	-	A	N	L	A	G	E
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

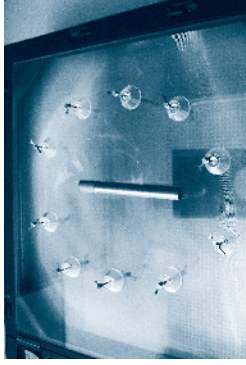
2. Wie können die auf der Erde zur Verfügung stehenden Energien so umgewandelt werden, dass sie in einem Fahrzeug nutzbar sind? Erstelle eine Ablaufstruktur, indem du die einzelnen Stationen in die Kästchen schreibst.



D1 Elektromagnetismus

1. Führe den Versuch zum Magnetismus durch. Was zeigen die Magnethadeln an?

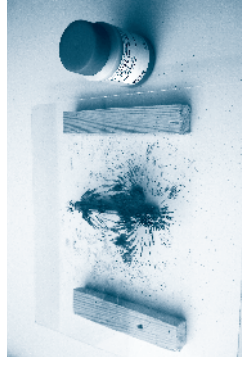
Materialliste:
1 Stabmagnet
1 Plexiglasplatte
mehrere Magnethadeln



Die Magnethadeln richten sich aufgrund der magnetischen Kraft an den Polen des Stabmagneten aus. Sie zeigen den Verlauf einer magnetischen Feldlinie an.

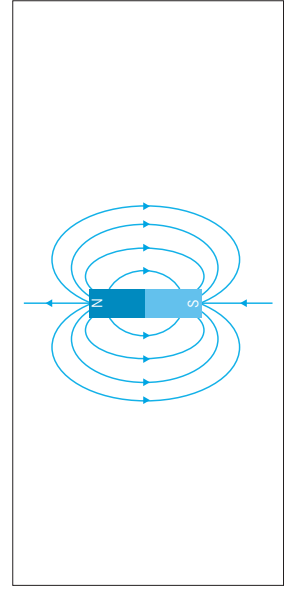
2. Streue die Eisenfeilspäne auf die Plexiglasplatte und lege sie dann, wie in der Abbildung, auf zwei Hölzer (Stabmagnet unter der Platte in der Mitte). Was beobachtest du? Erkläre deine Beobachtung.

Materialliste:
1 Stabmagnet
1 Plexiglasplatte
2 Hölzer
Eisenfeilspäne



Die Eisenfeilspäne verschieben sich, bis sie ein Feldlinienbild zeigen. Erklärung: Die Eisenfeilspäne werden aufgrund der magnetischen Kraft des Stabmagnets magnetisiert und richten sich anhand der Feldlinien aus.

3. Zeichne das Feldlinienbild.



Magnetische Wirkung des elektrischen Stroms

4. Bauanleitung für eine einfache Spule

Materialliste:

- 1 Flaschenkorken, 1 Schneidmesser
- 1 magnetischer Eisennagel (z.B. $L = 80 \text{ mm}$, $D = 4 \text{ mm}$)
- 2 Krokodilklemmen
- Klebeband
- 1 Acrylplatte, Eisenfeilspäne und 1 drehbar gelagerte Magnetnadel (z.B. $D = 0,25 \text{ mm}$), Schleifpapier
- Akkuschrauber

Vorgehensweise:

Schneide vom Korken zwei schmale Streifen ab und stecke den Nagel hindurch. Schiebe einen Korkstreifen an das Ende und den anderen Korkstreifen an den Anfang des Nagels. Schneide mit dem Schneidmesser einen kleinen Schlitz längs in beide Korkstreifen. Isoliere nun das dazwischenliegende Stück des Nagels mit Klebeband. Vom Nagelkopf aus lässt du ein 5 cm langes Drahtstück über den Korkstreifen ragen und führst den Draht dann durch den Schlitz. Stecke nun die Nagelspitze in einen Akkuschrauber und wickle mit dessen Hilfe den Lötackdraht sauber auf den Nagel (siehe Abb.). Ein 5 cm langes Ende führst du an der anderen Seite durch den Korkstreifen. Schleife nun vom Anfang und Ende des Lötackdrahts jeweils 1 cm ab, um diese Stücke leitend zu machen.

a) Schließe die entstandene Spule an das Netzgerät an und überprüfe ihre magnetische Wirkung. Was hast du beobachtet?

Solange das Netzgerät an ist, werden Eisenteile angezogen.

b) Untersuche, wo die Spule ihren magnetischen Nordpol bzw. Südpol hat. Was ändert sich, wenn du den Plus- und Minusanschluss an der Spule vertauschst?

Beim Vertauschen von Plus- und Minusanschluss an der Spule werden auch der Nord- und Südpol vertauscht.

c) Vergleiche die beiden Magnetfelder. Beschreibe deine Beobachtungen.

Die beiden Magnetfelder sehen gleich aus. Ein Stabmagnet und der umwickelte Nagel haben die gleiche magnetische Wirkung.

5. Welche Vorteile bieten Elektromagnete gegenüber Stabmagneten?

Man kann bei Elektromagneten die Polung vertauschen (siehe Aufgabe 4b) und man kann Elektromagnete ein- und ausschalten.

6. Welche Anwendungen von Elektromagneten kennst du?

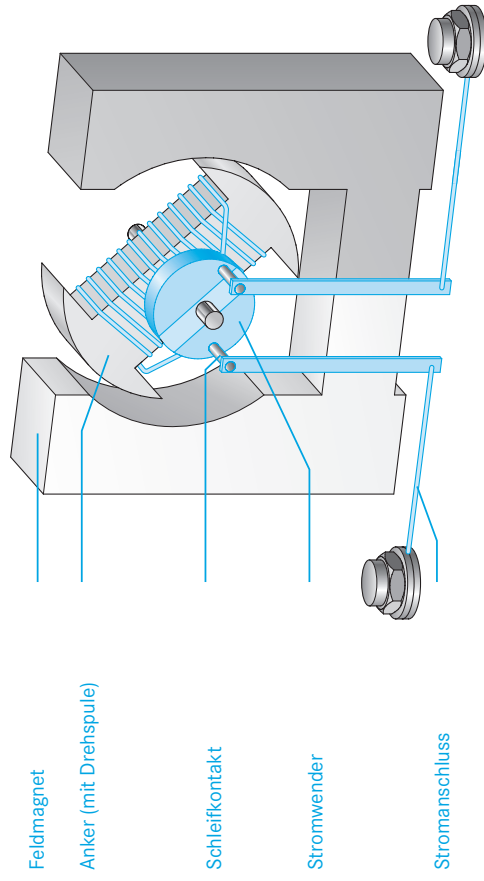
schülerindividuelle Antwort; z.B. Kran auf dem Schrottplatz, elektrische Maschinen, CERN in Genf, MRT (Magnetresonanztomograph), ...

D2 Funktion von Elektromotoren

Die Abbildung zeigt das Prinzip eines zwei poligen Elektromotors mit Stromwender. Ein drehbarer Elektromagnet, auch Läufer, Rotor oder Anker genannt, dreht sich im Magnetfeld eines feststehenden Dauermagneten. Der Dauermagnet wird deshalb auch als Stator oder Feldmagnet bezeichnet.

1. Ordne die richtigen Bezeichnungen zu.

Stromanschluss, Feldmagnet, Stromwender, Anker (mit Drehschule), Schleifkontakt



2. Welche Aufgabe erfüllt der Stromwender (Kommutator)?

Er bewirkt die Stromrichtungsänderung im Anker; d.h. er polt den Strom um, kurz bevor sich der Nord- und Südpol gegenüberstehen. Dadurch liegen zwei gleiche Pole (S und S oder N und N) gegenüber und stoßen sich wieder ab. Der Anker rotiert deshalb immer weiter.

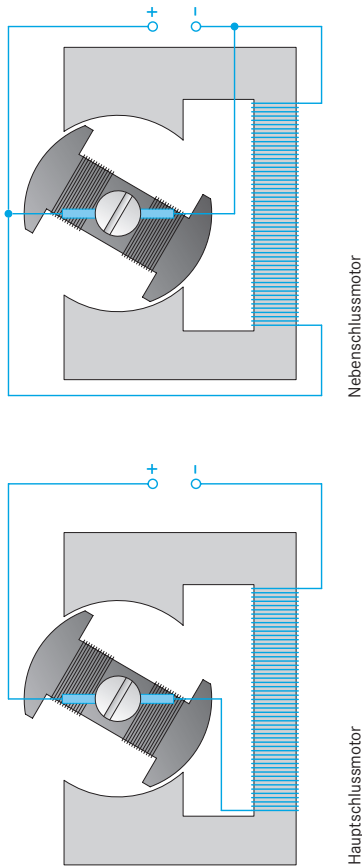
3. Welchen Namen haben die Schleifkontakte noch?

Sie werden Kohlebürsten oder „brushes“ genannt.

4. Wie können Elektromotoren, die mit Feldmagneten aufgebaut sind, betrieben werden?

Sie können nur mit Gleichstrom betrieben werden.

5. Man unterscheidet zwischen Hauptschlussmotoren und Nebenschlussmotoren.



a) Worin liegt der Unterschied?

Beim Hauptschlussmotor sind die Rotorwicklungen und die Statorwicklungen in Reihe geschaltet, beim Nebenschlussmotor dagegen parallel.

b) Wie wird der Hauptschlussmotor aufgrund seiner Schaltungsart noch bezeichnet?

Da die Rotorwicklungen und die Statorwicklungen in Reihe geschaltet sind, wird er **Reihenschlussmotor** genannt.

c) Die Abbildungen zeigen die Kennliniendiagramme des Hauptschluss- und Nebenschlussmotors. Beschreibe die Unterschiede.



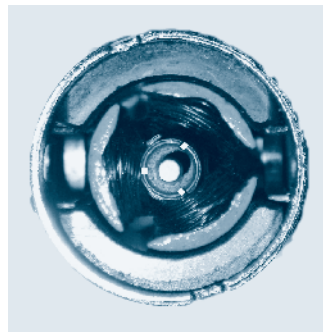
Der Hauptschlussmotor hat eine hohe Leerlaufdrehzahl. Bei steigendem Drehmoment fällt die Drehzahl jedoch stark ab. Beim Nebenschlussmotor ist die Drehzahl relativ belastungsunabhängig.

d) Fülle die beiden „Steckbriefe“ zum Haupt- und Nebenschlussmotor aus.

Hauptschlussmotor	Nebenschlussmotor
Vorteile schnelles, kräftiges Anziehen bei niedrigen Drehzahlen Nachteile Die Drehzahl kann bei geringer Belastung stark ansteigen (bis zur Selbstzerstörung – man spricht dann von „Durchgehen des Motors“); wartungsanfällig wegen der Kohlebürsten.	Vorteile Die Drehzahl der Motorwelle sinkt bei großer Belastung relativ wenig und ist leicht durch eine veränderbare Spannungsversorgung regulierbar. Nachteile Durch den Kommutator entstehen Störungen in den Leitungen, die mit Entstörkondensatoren beseitigt werden müssen; wartungsanfällig wegen der Kohlebürsten.

6. Die Abbildung zeigt einen Dreipolmotor. Welchen entscheidenden Vorteil hat der Dreipolmotor gegenüber dem Zweipolmotor beim Start?

Da beim Start den Feldmagnetpolen nie zwei Ankerpole genau gegenüberstehen können, versucht der Anker ein Stück weiter zu drehen, wodurch der Motor selbstständig anläuft.



7. Ingenieure tüfteln immer an Möglichkeiten, sparsam mit der eingesetzten Energie umzugehen. Es lässt sich zum Beispiel die Energie beim Bremsen „einfangen“; diese Art der Energierückgewinnung nennt man Rekuperation. Nütze die Bausteine für einen Vortrag über Rekuperation, der die folgenden vier Punkte klären muss:

1. Was versteht man unter Rekuperation?
2. Wann findet beim Kraftfahrzeug eine Rekuperation statt?
3. Was wird durch die Rekuperation erreicht?
4. Welche Problematik bezüglich Rekuperation muss von Entwicklern beachtet werden?

Bausteine

- Diese gespeicherte Energie kann genutzt werden, um den Elektromotor anzutreiben.
- Die durch Rekuperation gewonnene Energie reduziert den Kraftstoffverbrauch.
- Immer wenn ein Fahrzeug abgebremst wird, geht normalerweise sehr viel Energie „verloren“: Die Bewegungsenergie wird an den Bremsen in Wärme umgewandelt.
- Bei der Rekuperation wird die beim Bremsen normalerweise als Wärme anfallende Energie in Strom umgewandelt und dann in einem Akku oder Kondensator gespeichert.
- Beim Bremsen kann die meiste Energie zurückgewonnen und gespeichert werden.
- Rekuperation steht für „Rückgewinnung“ und meint die Rückgewinnung von Energie.
- Viele moderne Autos sind mit speziellen Bremsanlagen ausgestattet, die bei Betätigung elektrische Energie erzeugen und den Energiespeicher speisen.
- Überschüssige kinetische Energie eines fahrenden Autos wird nicht einfach ungenutzt in Wärme umgewandelt, sondern stattdessen in chemische, kinetische oder elektrische Energie – je nach Speicherort.
- Die Umwandlung der Bewegungsenergie kann unterschiedlich erfolgen.
- Auch der Elektromotor selbst kann zur Rückgewinnung der Energie eingesetzt werden. Er funktioniert dann wie eine Motorbremse: Die Reifen übertragen die Bewegungsenergie über den Antriebsstrang zum Elektromotor, der als Dynamo agiert und Strom erzeugt.
- Bei Elektroautos trägt Rekuperation unmittelbar zu einer spürbaren Erhöhung der Reichweite bei.
- Die Batterien der Elektroautos haben eine begrenzte Anzahl an Ladezyklen. Ohne Pufferung der durch Rekuperation zurückgewonnenen Energie würde sich jede Rekuperation negativ auf die Anzahl der Ladezyklen auswirken. Die Lebensdauer der Batterien würde sich drastisch verschlechtern. Abhilfe schafft u.a. die Pufferung über einen speziellen Speicherkondensator oder Schwinggradspeicher. Die rekuperative Energie wird dadurch unabhängig von der Batterie zwischengespeichert und bei Energiebedarf wieder abgegeben, ohne dass die Batterie davon betroffen ist.

Schülerindividuelle Antwort – mögliche Lösung:

Zu 1: Rekuperation bedeutet „Rückgewinnung“ von Energie. Überschüssige kinetische Energie eines fahrenden Autos wird dabei in elektrische, kinetische oder chemische Energie gewandelt.

Zu 2: Immer wenn ein Fahrzeug abgebremst wird, geht normalerweise sehr viel Energie „verloren“: bei der Rekuperation wird diese als Wärme anfallende Energie in Strom umgewandelt und dann in einem Akku, Kondensator oder durch andere Möglichkeiten gespeichert. Anschließend kann diese dann einen Elektromotor antreiben.

Viele moderne Autos sind mit speziellen Bremsanlagen ausgestattet, die bei Betätigung elektrische Energie erzeugen und den Energiespeicher speisen. Aber auch der Elektromotor selbst kann zur Rückgewinnung der Energie eingesetzt werden. Er funktioniert dann wie eine Motorbremse: Die Reifen übertragen die Bewegungsenergie über den Antriebsstrang zum Elektromotor, der als Dynamo agiert und Strom erzeugt.

Zu 3: Die durch Rekuperation gewonnene Energie reduziert den Kraftstoffverbrauch. Außerdem trägt Rekuperation bei Elektroautos unmittelbar zu einer spürbaren Erhöhung der Reichweite bei.

Zu 4: Die zurückgewonnene Energie sollte nicht direkt an die Batterie fließen, da deren Lebensdauer aufgrund der eingeschränkten Ladezyklen sonst stark vermindert würde.

D3 Aufbau und Funktion eines Drehfeld-Elektromotors

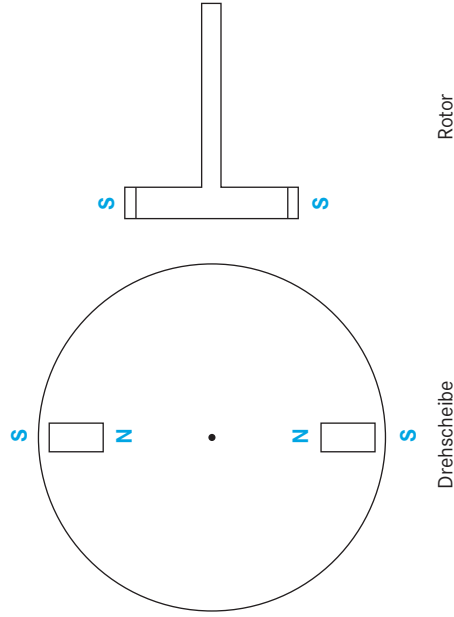
Materialliste für alle Versuche:

Das Modell des nachfolgend beschriebenen Drehfeld-Elektromotors wurde in der Ausbildungswerkstatt der Mercedes-Benz Group AG hergestellt.

Drehfeld-Elektromotor
Permanentmagnet
Kabel

A Schülerversuch 1

a) Untersuche die magnetische Polung der Permanentmagnete der Drehscheibe und des Rotors und zeichne sie in die folgende Abbildung ein.



b) Befestige die Drehscheibe mit zwei Inbus-Schrauben an der Grundplatte mit Rotor. Drehe jetzt die Scheibe von Hand. Was beobachtest du? Erkläre die Beobachtung.

Der Rotor dreht sich mit der Scheibe mit.

Erklärung: Die Südpole am Rotor werden von den innenliegenden Nordpolen an der Scheibe angezogen und folgen deshalb der Drehung.

B Schülerversuch 2

Ersetze die Drehscheibe durch die Scheibe mit den Spulen. Sie bildet den „Stator“ des Elektromotors.

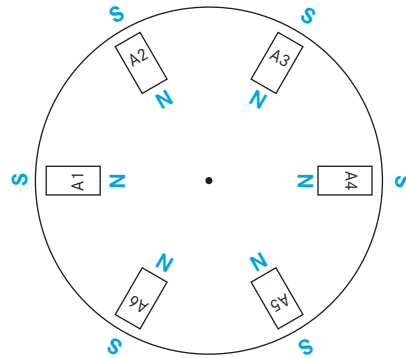
Versuchsziel:

Durch Anschließen der Spulen an die Tasterbox soll der Rotor beim Drücken der Taster in eine Drehbewegung versetzt werden.

Hinweise – unbedingt beachten:

- Die Spulen sind für 4,5 V ausgelegt, weshalb immer zwei Spulen in Reihe geschaltet werden müssen (Netzteil 9 V).
 - Beim Einschalten der Spulenströme geben die Leuchtdioden die magnetische Polung der Elektromagnete auf der Außenseite des Stators an:
- Grün → Südpol Rot → Nordpol

- a) Die Elektromagnete sollen die gleiche magnetische Polung wie die Permanentmagnete des Versuchs 1 haben. Zeichne die Pole ein.



- b) Um den Rotor weiterzudrehen, müssen beim Betätigen eines Tasters jeweils gleichzeitig zwei Spulen eingeschaltet werden (diese Spulen müssen hintereinandergeschaltet werden!). Welche Spulenpaare sind zu bilden?

A1 und A4

A2 und A5

A3 und A6

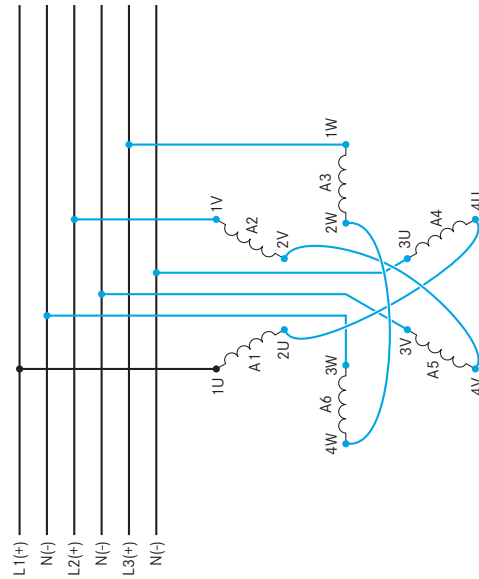
Aufgaben:

1. Schließe zunächst nur das erste Spulenpaar an die Anschlüsse L1 und N des Tasters 1 an und lass' die Schaltung von deiner Lehrerin oder deinem Lehrer kontrollieren.

Dabei ist darauf zu achten, dass die Spulen eine magnetische Polung gemäß Vorüberlegung a haben (beachte: Leuchtdiode grün → Südpol).

Der Rotor muss jetzt beim Drücken des Tasters von den beiden Spulen angezogen werden.

Zeichne die Beschaltung der Spulen in die Abbildung ein.



2. Schließe jetzt das zweite und dann das dritte Spulenpaar entsprechend Aufgabe 1 an und betätige jeweils die zugehörigen Taster. Vervollständige den Schaltplan von Aufgabe 1.

3. Versetze nun den Rotor durch Drücken der drei Taster in eine Rotationsbewegung.

4. Vergleiche die Beobachtungen von Versuch 1 und Versuch 2.

Überlege, inwiefern es sich bei diesem Modell um einen „Drehfeldmotor“ handelt.

Bei beiden Versuchen dreht sich der Rotor, wobei sich die Scheibe bei Versuch 1 mitdreht, bei Versuch 2 nicht. Es handelt sich um einen „Drehfeldmotor“, da sich bei beiden Versuchen das magnetische Feld der Scheibe dreht und den Rotor mitnimmt.

3. Wie wird elektrischer Strom in einem Auto gespeichert?

In der Autobatterie (Akkumulator), die sich meistens im Motorraum oder im Kofferraum befindet.

4. Ein herkömmlicher Pkw hat etwa 80 kW maximale Leistung. Bei konstanter Fahrt von 100 km/h werden davon etwa 15% benötigt. Eine Autobatterie kann etwa 60 Ah Strom speichern. Wie lange könnte ein Pkw theoretisch mit dieser Batterie fahren?

$$60 \text{ Ah} \cdot 12 \text{ V} = 720 \text{ Wh} = 43\,200 \text{ Wmin} \quad 15\% \text{ von } 80 \text{ kW} = 12 \text{ kW} = 12\,000 \text{ W}$$

$$\frac{43\,200 \text{ Wmin}}{12\,000 \text{ W}} = \text{ca. } 3,6 \text{ Minuten (!)}$$

5. Warum kann man diese Batterie in einem Elektroauto nicht zum Fahren nutzen?

Zum Fahren in einem Elektroauto benötigt man sehr viel elektrischen Strom. Eine normale Autobatterie (Akkumulator) ist zu klein und kann zu wenig speichern.

6. Wie speichert man den elektrischen Strom für Elektrofahrzeuge dann? Welche Konsequenz ergibt sich daraus?

Man speichert die Energie in einer sehr großen und leistungsstarken Batterie (Akkumulator), meist unter dem Fahrzeug oder im Kofferraum. Das Fahrzeug ist sehr schwer.



7. Interpretiere das abgebildete „Solarfahrzeug“.

a) Welche Idee steckt dahinter?

Da Autos häufig im Freien stehen, könnte diese Zeit genutzt werden, um die Batterien (Akkumulatoren) von Elektrofahrzeugen zu laden.



b) Welcher Denkfehler steckt hinter dieser Überlegung?

Da ein Elektroauto sehr viel Strom verbraucht, würde man sehr viel mehr Solarzellen benötigen.

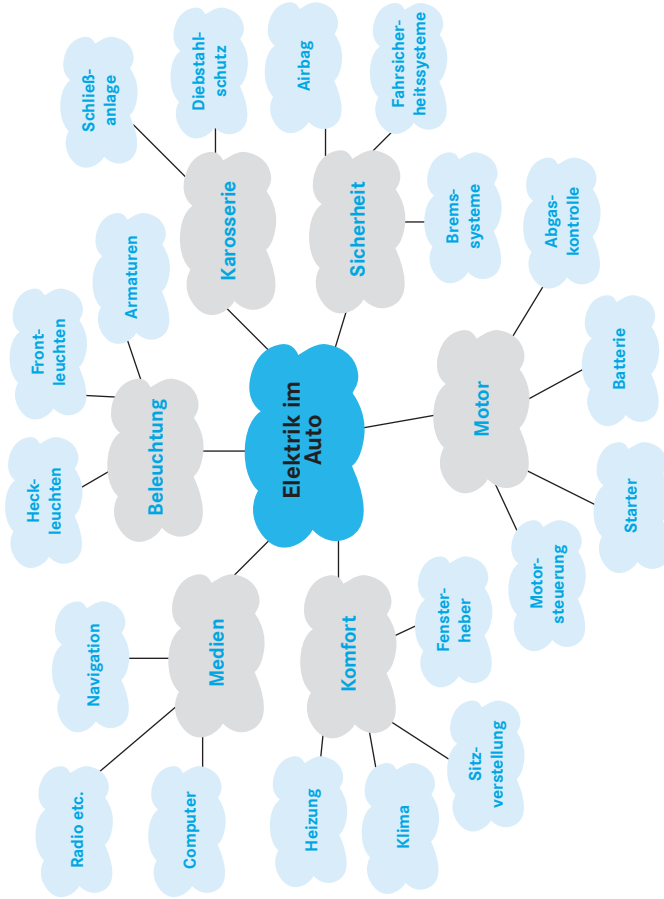
c) Ein Elektroauto hat einen 30-kW-Motor. Ein Quadratmeter Solarzelle erbringt eine Leistung von 200 W. Berechne, wie groß die Dachfläche des Autos sein müsste, um bei guter Sonneneinstrahlung direkt mit dem Auto fahren zu können.

$$\frac{30\,000 \text{ W}}{200 \text{ W/m}^2} = 150 \text{ m}^2 (!)$$

E1 Warum brauchen Autos elektrischen Strom?

Elektrischer Strom ist eine der wichtigsten Energieformen unserer Gesellschaft. Nicht nur für Elektrofahrzeuge, sondern auch für Autos mit Verbrennungsmotor ist Strom die Voraussetzung, dass sie fahren können.

1. Überlege, wo überall in einem Kraftfahrzeug Elektromotoren eingesetzt werden bzw. welche Systeme elektrisch oder elektronisch gesteuert/geregt werden. Ergänze die Mindmap.



2. Die Mindmap zeigt dir den vielfältigen Einsatz von Elektrik im Auto. Welche Problematik ergibt sich daraus für die Entwicklung von Elektroautos?

Durch den Einsatz von immer mehr Elektrik und zusätzlichen elektrischen Verbrauchern oder Systemen erhöhen sich der Bedarf an elektrischer Energie und das Gewicht des Autos. Beim Elektrofahrzeug führen diese Aspekte zur Verkürzung der Reichweite.

Viele Autofahrer sind aber nicht bereit, auf gewohnte Standards zu verzichten, z. B. auf die elektrischen Fensterheber.

Der vielfältige Elektrikeinsatz erhöht die Stör- und Ausfallanfälligkeit des Autos.

E2 Versuche zur Energiewandlung

75

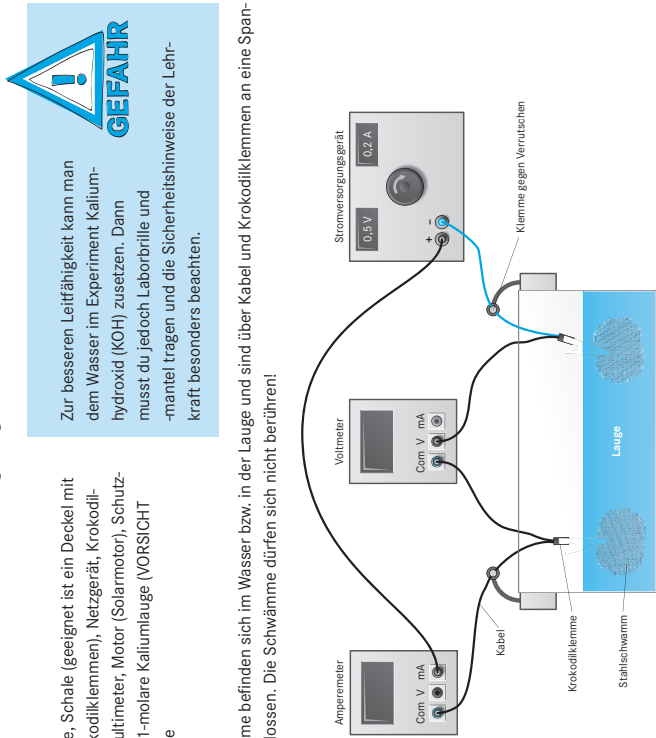
In den folgenden Experimenten wird gezeigt, wie man aus Wasser Wasserstoff und Sauerstoff herstellen kann, um anschließend aus beiden Produkten elektrische Energie zu gewinnen.

Materialliste:

2 Edelstahlschwämme, Schale (geeignet ist ein Deckel mit Halterung für die Krokodilklemmen), Netzgerät, Krokodilklemmen, Kabel, 2 Multimeter, Motor (Solarmotor), Schutzkleidung, eventuell 0,1-molare Kaliumlauge (VORSICHT Chemikalie), Solarzelle

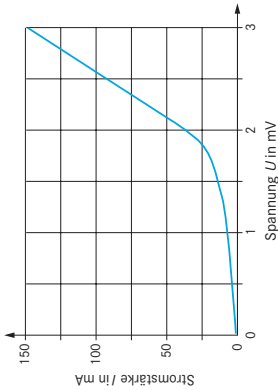
Versuchsaufbau:

Die Edelstahlschwämme befinden sich im Wasser bzw. in der Lauge und sind über Kabel und Krokodilklemmen an eine Spannungsquelle angeschlossen. Die Schwämme dürfen sich nicht berühren!



1. Versuche zur Wasserstoffgewinnung

a) Schalte das Netzgerät ein und erhöhe langsam die Spannung von $U = 0\text{ V}$ in $0,3\text{ V}$ -Schritten. Warte ca. 20 Sekunden, bis sich die Stromstärke nur noch wenig verändert. Trage zu jeder Spannung die elektrische Stromstärke in die Tabelle ein und verwende sie im U - I -Diagramm aus.



U in V	0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3
I in mA	0	0,2	0,28	0,41	0,88	1,6	40	73	90	115	140

b) Bestimme die Spannung (Zersetzungsspannung), ab der Wasserstoff und Sauerstoff an den Elektroden entstehen (sichtbar durch Bläschenbildung).

Ungefähre Zersetzungsspannung: ca. 1,2 V

76 E2 Versuche zur Energiewandlung

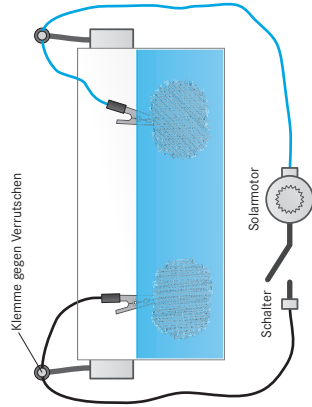
2. Versuche zur Stromgewinnung

a) Erhöhe die Spannung weiter bis ca. 5 V , damit das Wasser schneller zersetzt wird. Sobald die Schwämme mit den Gasen angereichert sind (nach ca. 30 s), schaltest du das Netzgerät aus (Kabel sofort entfernen). Gib die Spannung an, die sich nach einiger Zeit zwischen den Schwämmen einstellt:

Spannung nach 90 Sekunden: 1,1 - 1,3 V

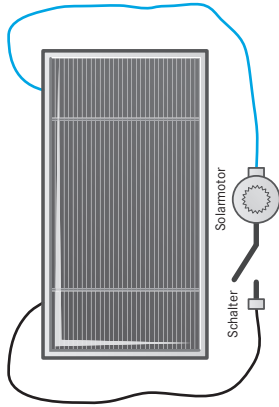
b) Führe die Elektrolyse ein weiteres Mal bei $U = 5\text{ V}$ durch, bis sich die Schwämme mit Wasserstoff und Sauerstoff voll gesaugt haben. Miss hierbei U , I und die Zeit t . Schalte das Netzgerät aus und schließe an dessen Stelle einen kleinen Elektromotor an. Miss nun, während der Motor läuft, wieder U , I und t und beschreibe dein Ergebnis.

t ca. 120 s; U nimmt von ca. $1,3\text{ V}$ bis $0,2\text{ V}$ ab, dann bleibt der Motor stehen. Der Strom nimmt dabei von ca. 35 mA bis auf 5 mA ab. Die Werte hängen von der Konzentration der Lauge, der Schwammgröße und dem Motor ab.



c) Schließe statt des Versuchsaufbaus zur Elektrolyse eine Solarzelle mit 3 V Betriebsspannung an. Schalte den Motor an, miss U , I und die Zeit t und beschreibe dein Ergebnis.

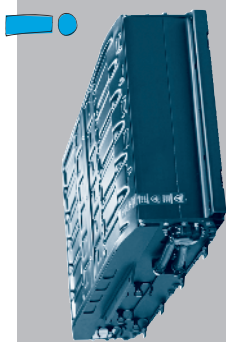
Ohne den Elektromotor sind 3 V messbar. Mit eingeschaltetem Elektromotor sind $2,8\text{ V}$ und $0,08\text{ A}$ messbar. Bei gleichbleibender Sonneneinstrahlung ändern sich die Werte nicht. Bei Verdunkelung wird der Strom schwächer und bricht letztendlich zusammen.



E3 Elektrische Energiespeicher

Info

Die bekanntesten aufladbaren Speicher für elektrische Energie werden Akku bzw. Akkumulator genannt. Bei flüssigem Kraftstoff ist die transportierte Energiemenge in einem Fahrzeug in erster Linie über die Größe des Tanks vorgegeben. Bei Akkus spielen aber neben der Baugröße weitere Faktoren wie Zellspannung, Betriebstemperatur, Aufbau, Wirkungsgrad und Materialzusammensetzung der Zellen eine Rolle. Übrigens: Eine Auto„batterie“ ist eigentlich ein Akkumulator!



1. Was weißt du über Akkumulatoren? Kreuze an.

	richtig	falsch
Beim Aufladen eines Akkus wird elektrische Energie in chemische Energie umgewandelt.	☒	☐
Wird ein Verbraucher an einen Akku angeschlossen, so wird chemische Energie in elektrische Energie umgewandelt.	☒	☐
Beim Aufladen eines Akkus wird elektrische Energie durch Umwandlung von Wärme erzeugt.	☐	☒
Ein Akkumulator kann höchstens 200-mal aufgeladen werden.	☐	☒
Ein Akkumulator kann beliebig oft aufgeladen werden.	☐	☒
Die Energiedichte eines Akkus hängt von der Art der verwendeten Materialien ab.	☒	☐
Akkumulatoren können miteinander kombiniert werden.	☒	☐
Bei der Reihenschaltung von Akkus wird die nutzbare elektrische Spannung erhöht.	☒	☐

2. Entscheidend bei Fahrzeugakkus ist deren Energiedichte bei möglichst geringem Platz und Gewicht. Um beispielsweise 200 km weit zu fahren, benötigt man etwa 25 kWh Antriebsenergie. Im Folgenden siehst du, welchen Treibstoffvorrat Fahrzeuge mit unterschiedlichen Antriebsarten dafür transportieren müssen.

a) Berechne die Gesamtmasse des benötigten Treibstoffs (Gewicht eines normalen Kraftstofftanks ca. 5 kg; Wasserstofftank ca. 100 kg) und runde das Ergebnis auf volle kg.

Energieträger	Energiedichte	Antriebskomponente	Wirkungsgrad	Gesamtmasse
Strom aus Bleiakku	0,03 kWh/kg	Elektromotor mit Nutzbremse	ca. 88 %	947 kg
Strom aus Lithium-Ionen-Akku	0,10 kWh/kg	Elektromotor mit Nutzbremse	ca. 88 %	284 kg
Benzin	11,5 kWh/kg	Ottomotor mit Getriebe	ca. 21 %	15 kg inkl. Tank
Diesel	11,8 kWh/kg	Dieselmotor mit Getriebe	ca. 26 %	13 kg inkl. Tank
Wasserstoff	33,3 kWh/kg	Elektromotor mit Brennstoffzelle	ca. 53 %	101 kg inkl. Tank

b) Was bedeutet dieser Vergleich bezogen auf Fahrzeuge?

Benzin und Diesel haben sehr viel Energie pro kg Gewicht gespeichert. Akkus sind sehr schwer und können pro kg Gewicht nur wenig Energie speichern. Der Wirkungsgrad von Elektromotoren ist jedoch wesentlich höher als der von Verbrennungsmotoren.

3. Welche weiteren Faktoren müssen beim direkten Vergleich der Antriebsenergie von Elektrofahrzeugen und Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor berücksichtigt werden?

die Gewichtsunterschiede der Antriebsmotoren bzw. Getriebe, die CO₂-Belastung der Umwelt, die Kosten für die Wartung, ...

4. Damit sich die Alternativen zum Verbrennungsmotor durchsetzen können, muss sich insbesondere die Akku-Technologie weiterentwickeln. Zähle in diesem Zusammenhang mögliche Verbesserungen auf.

saubere Stromgewinnung, höhere Kapazitäten der Akkus, geringeres Akkugewicht, günstigere Stromkosten, geringere Ladezeiten, ...



5. Um hohe Leistungen bei relativ kleinen Strömen aus einem Akku beziehen zu können, werden diese in Elektrofahrzeugen in „Hochvolt“-Technik bis zu 1000 V Spannung verbaut. Was bedeutet dies für die Fahrzeugsicherheit?

Bei einem Unfall müssen Fahrzeuginsassen und Rettungskräfte vor Stromschlägen geschützt werden. Dazu muss eine Abschalt elektronik innerhalb kürzester Zeit (ca. 150 Millisekunden) nach dem Aufprall die Batterie vom Stromnetz trennen.

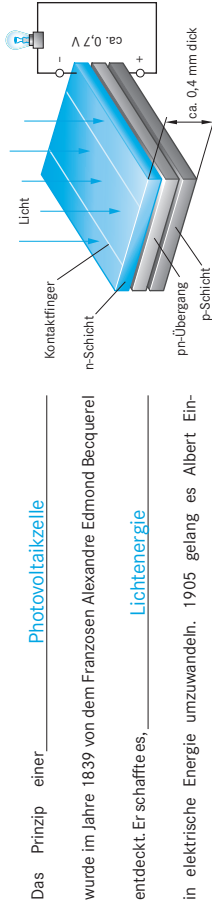
6. Im Zusammenhang mit Elektromobilität spielen sogenannte „Supercaps“ zunehmend eine Rolle. Informiere dich darüber und beschreibe.

Hochleistungs-Kondensatoren werden als Supercaps bezeichnet. Da solche Kondensatoren anders als Akkus keinem Verschleiß unterliegen, können sie z.B. mit überschüssiger elektrischer Bremsenergie aufladen werden. Beim Beschleunigen bringt der Energieschub aus den Supercaps zusätzliche Leistung. Der hohe Wirkungsgrad von fast 100% macht diesen Kondensator interessant, allerdings ist die Energiedichte recht niedrig.

E4 Solarzellen

1. Ergänze die Geschichte der Photovoltaikzelle mit den Begriffen aus dem Buchstabenkasten.

wirkungsgradumweltbewusstseinphotovoltaikzelle satellitentechnikwirtschaftlichlichtenergiephotoeffekt

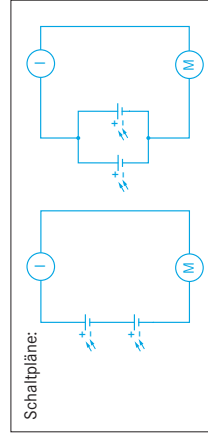


Das Prinzip einer Photovoltaikzelle wurde im Jahre 1839 von dem Franzosen Alexandre Edmond Becquerel entdeckt. Er schaffte es, Lichtenergie in elektrische Energie umzuwandeln. 1905 gelang es Albert Einstein, den Photoeffekt zu erklären. 1954 wurden die ersten Siliziumzellen mit einem Wirkungsgrad von über vier Prozent produziert. Von da an wurden Photovoltaikzellen bei der Satellitentechnik verwendet. Durch die Nachfrage aus der Raumfahrt wurden entscheidende Fortschritte in der Entwicklung von Photovoltaikzellen erzielt. Durch steigendes Umweltbewusstsein und häufige Energiekrisen wird seitdem versucht, Photovoltaikzellen auch wirtschaftlich interessant zu machen.

2. Technisches Experiment zu Solarzellen

Materialliste: 2 Solarzellen (z.B. 1,5 V / 30 mA), Messgerät (Multimeter), Verbindungskabel, Motor

Anleitung: Entwickle eine Schaltung, mit der du die Unterschiede von zwei parallel und zwei in Reihe geschalteten Solarzellen nachweisen kannst. Zeichne die Schaltpläne deiner Experimentalaufbauten.



a) Welcher Strom und welche Spannung liegen an, wenn die Solarzellen in Reihe bzw. parallel geschaltet werden?

Reihenschaltung: 30 mA / 3 V Parallelschaltung: 60 mA / 1,5 V

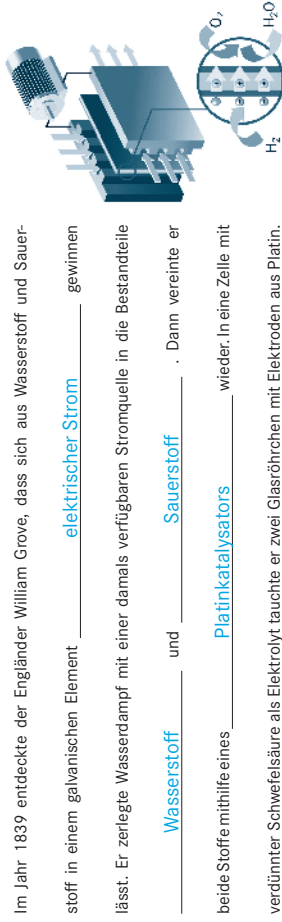
b) Schalte die Module in Reihe und beobachte die Drehzahl des Motors. Decke nun einen Teil einer Solarzelle ab. Was geschieht?

Die Drehzahl nimmt stark ab, setzt dann sogar aus.

E5 Brennstoffzellen

1. Ergänze die Geschichte der Brennstoffzelle mit den Begriffen aus dem Buchstabenkasten.

elektrischespannungelektrischerstromwasserstoffplatin-katalysatorssauerstoffbrennstoffzelle



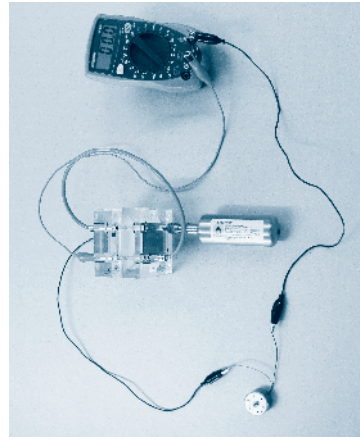
Im Jahr 1839 entdeckte der Engländer William Grove, dass sich aus Wasserstoff und Sauerstoff in einem galvanischen Element elektrischer Strom gewinnen lässt. Er zerlegte Wasserdampf mit einer damals verfügbaren Stromquelle in die Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff. Dann vereinte er beide Stoffe mithilfe eines Platin-katalysators wieder. In eine Zelle mit verdünnter Schwefelsäure als Elektrolyt tauchte er zwei Glasröhrchen mit Elektroden aus Platin. Eine Elektrode umspülte er mit Wasserstoff, die andere mit Sauerstoff. Es entstand elektrische Spannung, die sich abgreifen ließ. An der Brennstoffzelle wurde in verschiedenen Varianten weiter geforscht, doch erst im 20. Jahrhundert kam man wieder auf die „neue“ Technik zurück.

2. Versuche zur Brennstoffzelle

Materialliste: 2 Brennstoffzellen, Messgerät (Multimeter), Verbindungskabel, Motor

Anleitung: Schließe die beiden Brennstoffzellen in Reihe und verkabele deinen Versuch. Lass deine Schaltung von der Lehrkraft kontrollieren und schließe den Wasserstoff an die Zellen an. Nach kurzer Zeit sollte sich der Motor drehen.

Tipp
Wenn du nicht sicher bist, wie stark du das Ventil des Tanks öffnen musst, halte den Tank in ein Wasserglas. Etwa alle drei Sekunden muss ein kleines Wasserstoffbläschen entstehen.



Achtung
Wasserstoff ist ein gefährliches Gas, das leicht explodieren kann.



Miss den Strom und die Spannung, die in deiner Schaltung fließen.

Strom: ca. 500 mA Spannung: ca. 0,5 V

E6 Versuche zu Solarzellen

81

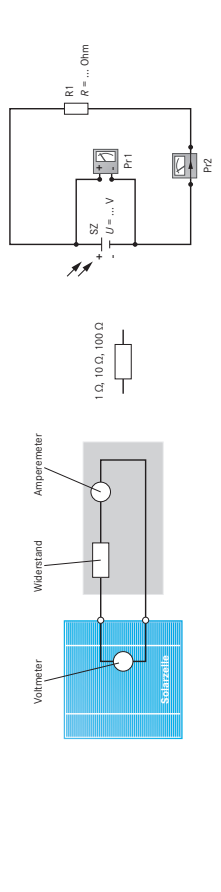
1. Versuch zu Leistungscharakteristik und Schaltungsart

Materialliste:

- 1 Solarzelle, Widerstände (je nach Zellen: 1 Ω bis 20 kΩ), 1 Steckbrett, 6 Kabel, 2 Multimeter

a) Versuchsdurchführung: Baue die Solarzelle so auf, dass sie konstant von der Sonne beschienen werden kann. Schließe die Multimeter und Widerstände nach Schaltplan an und ermittle U_i / I bei verschiedenen Widerständen. Berechne dazu die Leistung P_{und} trage sie in die Tabelle ein.

- Voltmetereinstellungen: DC, 20 V, Buchsen $\rightarrow$ com + V
- Amperemetereinstellungen: DC, 200 mA, Buchsen $\rightarrow$ com + mA



P_{in} W	8	7,8	38	15	163	130	108	83,6	55,3	40,35	24,6	6,6	3,3	0	162
-------------------	---	-----	----	----	-----	-----	-----	------	------	-------	------	-----	-----	---	-----

Info

Die abgegebene Leistung ist $P = U \cdot I$

b) Auswertung: Erweitere die Tabelle und trage in einem Diagramm I und P über U auf. Für welche Werte ergibt sich das Leistungsmaximum der Solarzelle?

R in Ω	0	1	22	100	220	330	470	660	1000	1500	2200	10000	20000	∞	147
U in V	0,21	0,2	1,02	3,9	6	6,72	7,2	7,6	7,9	8,07	8,2	8,35	8,36	8,5	5,08
I in A	39	39	38	38	27	20	15	11	7	5	3	0,8	0,4	0	37
P in W	8	7,8	38	15	163	130	108	83,6	55,3	40,35	24,6	6,6	3,3	0	162

c) Zusatz: • Parallelschaltung: Schalte zwei Solarzellen parallel und ermittle U_i / I_i .

Die Spannung ist konstant, der Strom beträgt etwa das Zweifache des Stroms einer Zelle.

• Reihenschaltung: Schalte zwei Solarzellen hintereinander und ermittle U_i / I_i .

Der Strom ist konstant, die Spannung beträgt etwa das Zweifache des Stroms einer Zelle.

2. Versuch zur Energieumwandlung

Materialliste:

- 2 Solarzellen, 1 Dynamo als Motor (mit Rolle und Schnur), verschiedene Massen (100 g, 200 g, 500 g), 6 Kabel, 2 Multimeter, 1 Steckbrett, 1 Schalter, Stativmaterial

Info

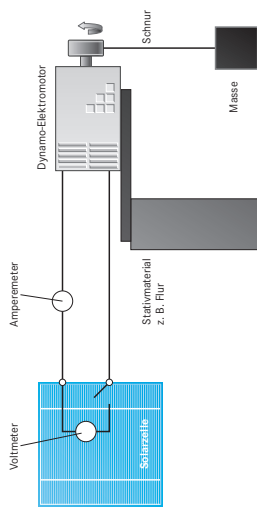
Elektrische Energie: $W = U \cdot I \cdot t$
Lageenergie: $W = m \cdot g \cdot h$

82 E6 Versuche zu Solarzellen

a) Baue den Versuch auf und achte darauf, dass die Solarzellen gut von der Sonne beschienen werden.

Experimentiere, ob ein stabiler Betrieb des Motors in Reihen- oder Parallelschaltung gewährleistet wird.

Ermittle mit den Multimetern die Stromstärke I und die Spannung U .



b) Positioniere den Dynamo-Elektromotor so, dass die Schnur ein Gewichtsstück vom Boden aus (z.B. Schulvorplatz 1. Stock) mittels der sich drehenden Rolle anheben kann. Vorsicht: Überlaste weder die Rolle noch die Anordnung!

Teste die annehmbaren Werte (m , h , ...) aus. Ermittle dann die Hubhöhe und die dafür benötigte Zeit t und ermittle den durchschnittlichen Wirkungsgrad $P_{\text{elektrisch}}$ zu $P_{\text{mechanisch}}$

m in kg	U in V	I in A	t in s	h in m	$P_{\text{elektrisch}}$ in W $P_e = U \cdot I$	$P_{\text{mechanisch}}$ in W $P_m = \frac{m \cdot g \cdot h}{t}$	Wirkungsgrad
0,1							
0,2							
0,5	1,6	0,8	11	1,0	1,28	0,41	0,35

(Messwerte in Abhängigkeit von den Eigenschaften der Solarzelle und der solaren Einstrahlung)

3. Versuch zu Neigungswinkel und Sonneneinstrahlung

Materialliste:

- 1 Solarzelle, 1 Energiemessgerät für Solarzellen (alternativ: 2 Multimeter, 1 Widerstand mit 10 Ω, Stoppuhr), Stativmaterial

Info

Eine Solarzelle wandelt Lichtenergie in elektrische Energie um. Diese hängt wiederum von der einfallenden Lichtstärke, der beschienenen Fläche und somit vom Winkel zur Sonne ab.

a) Baue die Solarzelle so auf, dass sie gut von der Sonne beschienen werden kann. Ermittle die Position, bei der die Sonne senkrecht auf die gesamte Solarfläche zeigt. Man kann beispielsweise ein Rohr so vor die Solarzelle halten, dass die Sonne das Rohrinnere als hellen Kreis auf der Solarzelle abbildet.

b) Verändere den Winkel um jeweils 10 Grad und miss je 10 s lang. Notiere Winkel und Werte; erstelle ein Diagramm „Leistung in Abhängigkeit des Winkels“.

Info

Falls der Energiemesser nicht zur Verfügung steht, lässt sich die Energie auch über die gemessene Spannung und die Stromstärke ermitteln: $E = U \cdot I \cdot t$

α in Grad	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
P in mW	22*	32	50	70	88	96	109	121	130	132

* Eigentlich 0, aber Streustrahlung

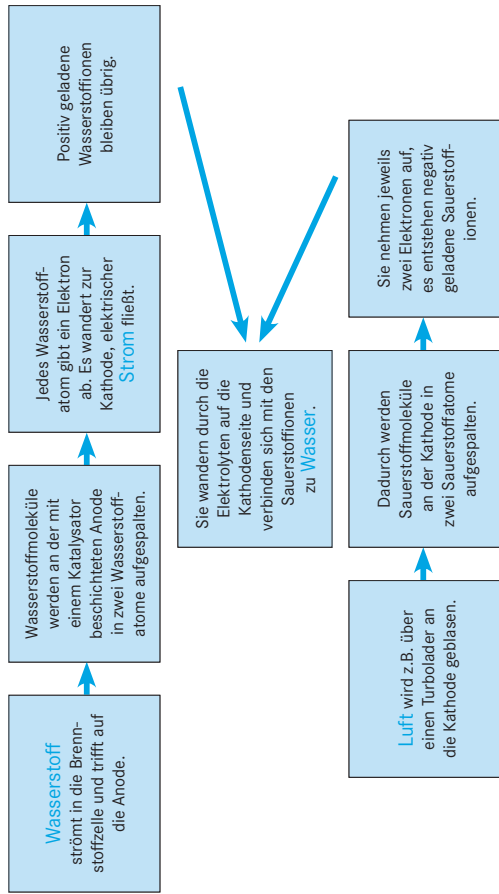
E7 Brennstoffzellen als Energiewandler

83

Wenn über Wasserstoff als Kraftstoff für die Zukunft gesprochen wird, geschieht dies meist im Zusammenhang mit der Brennstoffzelle. Sie dient zur Umwandlung der im Wasserstoff gespeicherten chemischen Energie.

1. Erkläre den Aufbau der Energieumwandlung mit Brennstoffzellen.

a) Schneide auf einer Kopie dieser Seite die unteren Textbausteine aus und klebe sie in das Diagramm in der richtigen Reihenfolge ein.



b) Welche Eingangsstoffe werden in dem Prozess benötigt und welche Ausgangsstoffe werden erzeugt?

Eingangsstoffe: Wasserstoff und Sauerstoff aus der Luft

Ausgangsstoffe: Wasser und Strom

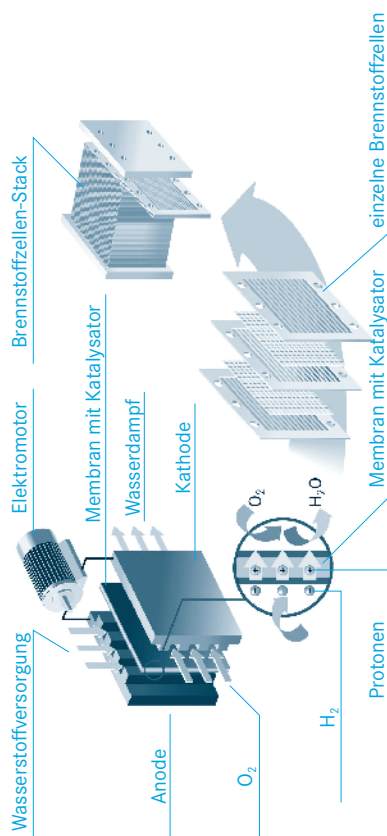
c) Kennzeichne die Eingangs- und Ausgangsstoffe des Energiewandlungsprozesses farblich.

84 E7 Brennstoffzellen als Energiewandler

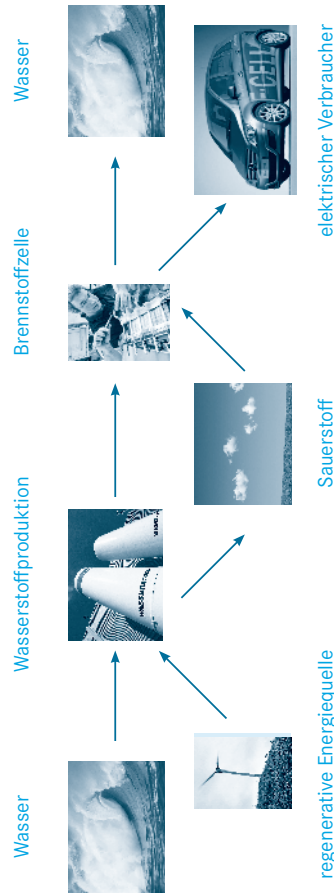
2. Wie ist eine Wasserstoffzelle aufgebaut und wie funktioniert der Kreislauf der „Wasserstoffwirtschaft“?

a) Beschrifte die einzelnen Komponenten der Abbildung mit folgenden Begriffen:

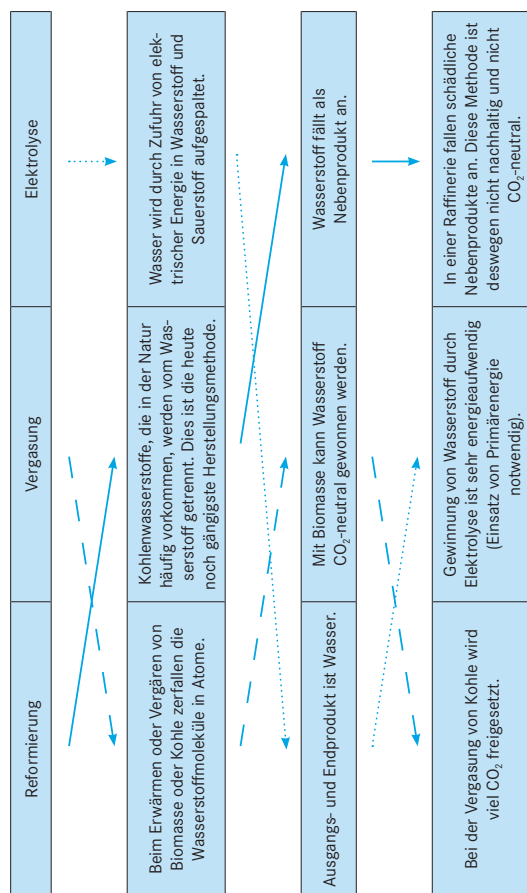
Anode, Brennstoffzellen-Stack (Stapel), einzelne Brennstoffzellen, Elektromotor, H_2 , H_2O , Kathode, Membran mit Katalysator ($2x$), O_2 , Protonen, Wasserdampf, Wasserstoffversorgung



b) Das Diagramm zeigt den Kreislauf einer emissionsfreien Energiewandlung. Schneide die Bilder aus und klebe sie in der richtigen Anordnung auf die freien Stellen. Beschrifte mit den folgenden Begriffen: elektrischer Verbraucher, Brennstoffzelle, Wasserstoffproduktion, Wasser, Sauerstoff, Wasser, regenerative Energiequelle.

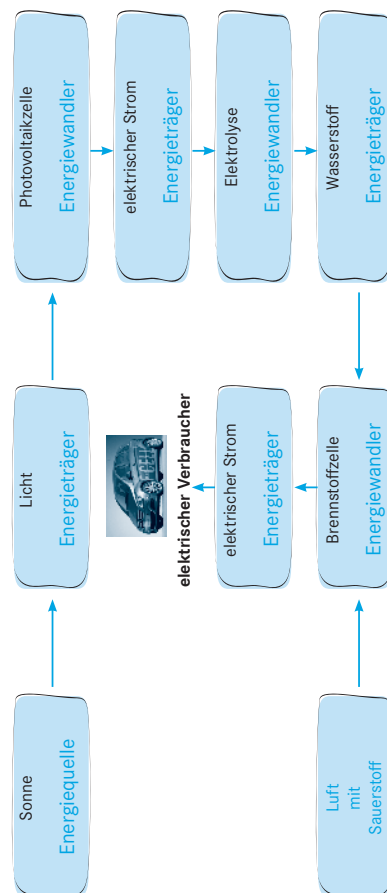


3. Ordne mithilfe von farbigen Pfeilen den Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff die entsprechenden Erläuterungen sowie die Vor- und Nachteile zu.



4. Der Energiekreislauf

a) Ergänze das Schaubild um die Begriffe „Energiewandler“, „Energiespeicher“ und „Energieträger“.

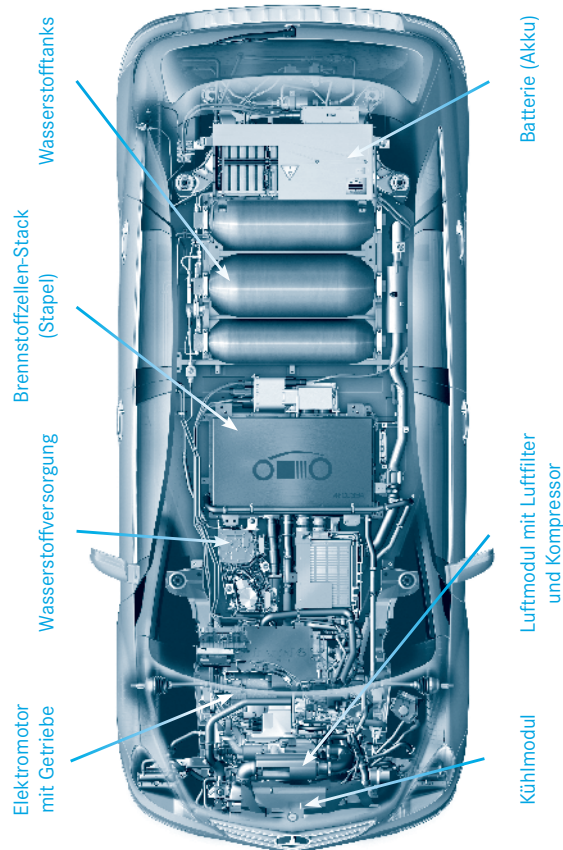


b) Welche weiteren zukunftsfähigen Stromgewinnungsmöglichkeiten für die Elektrolyse kennst du?

Windkraftwerke, Aufwindkraftwerke, Wasserkraftwerke (Gezeitenkraftwerke, Wellenkraftwerke, ...), Biogasanlagen

5. Die Abbildung zeigt die Draufsicht auf ein Elektroauto mit Brennstoffzellenantrieb.

a) Ergänze die Hinweislinien mit folgenden Begriffen: Batterie (Akku), Brennstoffzellen-Stack (Stapel), Elektromotor mit Getriebe, Kompressor, Wasserstoffversorgung, Wasserstofftanks



b) Welche Funktion hat die Batterie im abgebildeten Fahrzeug?

In einem Brennstoffzellenauto ist die Batterie nicht notwendig für den Antrieb. Sie dient als Zwischenspeicher für Spitzenbelastungen, nimmt zurückgespeiste Energie aus dem rekuperativen Bremsen auf und versorgt die elektrischen Aggregate des Autos mit Strom.

c) Welche Aufgabe hat die Batterie in einem „batterieelektrischen“ Auto?

In diesem Fall ist eine leistungsstarke Batterie im Antriebsstrang zwingend notwendig für den Betrieb des Elektromotors.

E8 Zum Trainieren und Merken

1.a) Trage die gesuchten Begriffe zum Thema „Elektrische Energiewandlung und -speicherung“ ein.

[illegible]

waagrecht

1. Arbeitsschritt bei der Erdölveredelung, bei der Wasserstoff anfällt
2. Einheit für Leistung
3. dient dazu, dass z. B. Wasserstoff und Sauerstoff miteinander reagieren
4. elektrisch positiv geladene Teilchen
5. anderer Begriff für erneuerbare (Energieformen)
6. Größe zum Vergleich unterschiedlicher Energieträger mit der Einheit kWh /kg
7. Überbegriff für Erzeuger von Energie aus Sonne
8. Verbindung mehrerer Brennstoffzellen
9. an dieser Elektrode werden einer Brennstoffzelle Elektronen zugeführt
10. wird für die Reaktion des Wasserstoffs in der Brennstoffzelle benötigt
11. Einmaßeinheit in der Akkuproduktion
12. Prozess, in dem Wasserstoff durch Spaltung von Wasser hergestellt wird
13. wandelt elektrische Energie in Bewegung
14. Messgerät, mit dem sehr unterschiedliche Messungen durchgeführt werden können
15. an dieser Elektrode werden Elektronen abgeführt
16. wiederaufladbare Batterie
17. Verhältnis von Nutzleistung zu zugeführter Leistung
18. wandelt Wasserstoff in elektrische Energie
19. eine Art von Hochleistungs-Kondensator
20. benötigt man immer, wenn zwischen Anode und Kathode passieren soll

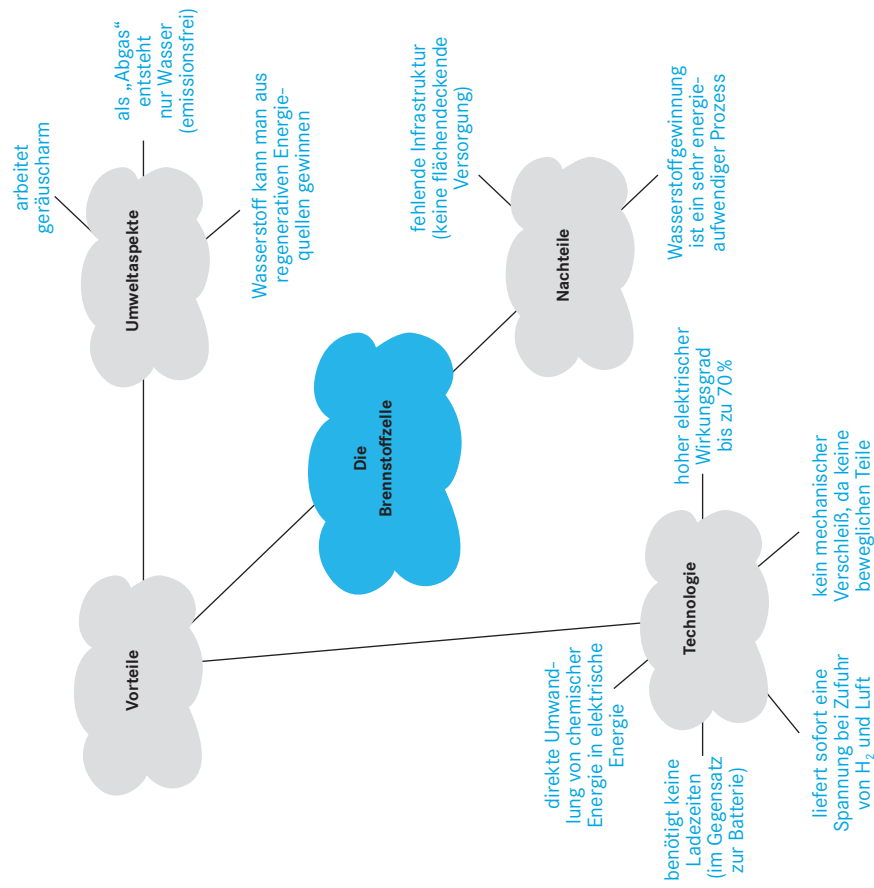
b) Benutze für das Lösungswort die Buchstaben in den blau unterlegten Kästchen von oben nach unten. Gesucht wird der Begriff für die Fähigkeit von Batterien und Kondensatoren, elektrische Ladung zu speichern.

K	A	P	A	Z	I	T	A	E	T
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

2. In welchen Bereichen wurde die Brennstoffzelle als Erstes eingesetzt? Welche Gründe gab es dafür vermutlich?

Die Brennstoffzelle wurde als Erstes im Militärbereich und in der Raumfahrt eingesetzt. In der Raumfahrt spielten die Kosten eine untergeordnete Rolle. Die Vorteile der Technik standen im Vordergrund.

3. Ergänze die Mindmap zur Brennstoffzelle unter den vorgegebenen Aspekten.



F1 Alternativen – warum und welche?

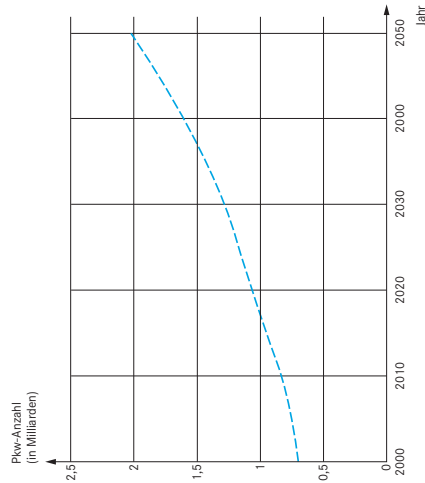
Info

Kraftstoffe aus Erdöl bestehen aus einem begrenzten Rohstoff (fossile Energieträger), sie haben einen schlechten Wirkungsgrad und sie werden für den „Treibhauseffekt“ verantwortlich gemacht. Deswegen sucht man nach Alternativen.

1. Das Diagramm veranschaulicht das Wachstum des Pkw-Bestandes.

- a) Bestimme aus der Grafik die Werte des Gesamtautomobilbestands im Jahr 2011 und den erwarteten im Jahr 2050. Vergleiche die Werte und berechne den realen Anstieg und den prozentuellen Anstieg.

Grafik über den erwarteten Pkw-Fahrzeugbestand



Im Jahr 2011 gab es ca. 0,8 Milliarden Pkws, 2050 sind 2 Milliarden prognostiziert.
Dies ist eine Differenz von 1,2 Milliarden und entspricht einem prozentuellen Anstieg um 150%.

- b) Welche Folgen ergeben sich daraus? Warum sind Alternativantriebe deshalb so wichtig?

Da der Pkw-Bestand auf das Zweieinhalbfache steigen wird, nehmen die Emissionen ebenfalls immens zu. Um der Klimaerwärmung entgegenzuwirken und die Umwelt zu schützen, sind deshalb Alternativantriebe unumgänglich, da der CO₂-Ausstoß minimiert werden muss.

2. Stell dir vor: Auf der Straße siehst du das nebenstehende Auto.

- a) Was bedeutet das Wort „Hybrid“?

Hybrid (griech.-lat.) bedeutet: von unterschiedlicher Herkunft, aus Verschiedenem zusammengesetzt



- b) Worauf könnte sich das Wort Hybrid beim Auto beziehen?

Auf den Antrieb: Verschiedene Antriebsarten sind in einem Auto enthalten.

- c) Welche Kombination wird wahrscheinlich eingesetzt?

Verbrennungsmotor zusammen mit einem Elektromotor

3. Recherchiere und beschreibe anschließend die folgenden Begriffe.

Mikro-Hybrid: Der Verbrennungsmotor wird um eine Start-Stopp-Anlage erweitert. Dies ist eine günstige Möglichkeit, Kraftstoff einzusparen (ca. 3-5% oder mehr), z.B. an der Ampel oder auch im Stau.

Mild-Hybrid: Der Verbrennungsmotor wird zeitweilig durch einen kleinen Elektromotor unterstützt (Verwendung einer Start-Stopp-Anlage und regeneratives Bremsen). Die Einsparung beträgt 15-20%.

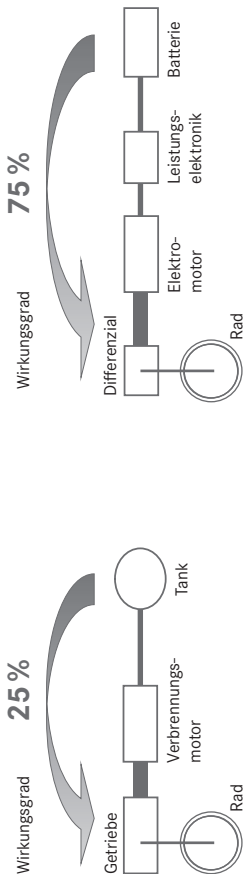
Voll-Hybrid: Für eine begrenzte Zeit kann ausschließlich der Elektromotor als Antrieb verwendet werden, z.B. beim Rangieren im Parkhaus. Elektromotor und Batterie sind größer dimensioniert als beim Mild-Hybriden, dementsprechend sind die Einsparpotenziale größer. Die elektrische Ladung der Batterie stammt aber nur aus dem Generatorbetrieb des Elektromotors, d.h. dem Auto wird nach wie vor ausschließlich über das Tanken des Kraftstoffs Energie zugeführt.

Plug-in-Hybrid: Die Auslegung der Batterie ermöglicht einen rein elektrischen Fahrbetrieb über größere Strecken (> 10 km). Ein Plug-in-Hybrid ist an der Steckdose ladbar (to plug in (engl.) = anschließen, einstecken).

Range Extender: Der Elektroantrieb ist der Standardantrieb, die Batterie ist an der Steckdose aufladbar. Für größere Reichweiten wird zusätzlich durch einen Verbrennungsmotor an Bord Strom erzeugt, um die Batterie nachzuladen.

F-Cell: Dies ist ein spezieller wasserstoffbetriebener Brennstoffzellenantrieb.

4. Die folgenden Abbildungen zeigen unterschiedliche Wirkungsgrade.



a) Worauf bezieht sich die Angabe des Wirkungsgrades?

Der Wirkungsgrad bezieht sich nur auf das System „Auto“ und berücksichtigt nicht die Bereitstellung der Energie.

b) Welche Energie muss zum Vergleich der Antriebe herangezogen werden?

Es sind die **Primärenergien** zu vergleichen.

c) Vergleiche die Kosten pro gefahrenem km bei Autos mit herkömmlichem Verbrennungsmotor und beim Elektroauto.

	Verbrauch	Energiekosten	CO ₂ -Ausstoß
Benzinmotor	6 L/100 km	1,40 €/L	2,36 kg/L
Dieselmotor	4,5 L/100 km	1,20 €/L	2,65 kg/L
Elektroantrieb	20 kWh/100 km	0,20 €/kWh	520 g/kWh (Strommix EU)

Benzinmotor:	$0,06 \frac{\text{L}}{\text{km}} \cdot 1,40 \frac{\text{€}}{\text{L}} = 0,084 \frac{\text{€}}{\text{km}} \approx 8 \frac{\text{ct}}{\text{km}}$
Dieselmotor:	$0,045 \frac{\text{L}}{\text{km}} \cdot 1,20 \frac{\text{€}}{\text{L}} = 0,054 \frac{\text{€}}{\text{km}} \approx 5 \frac{\text{ct}}{\text{km}}$
Elektromotor:	$0,20 \frac{\text{kWh}}{\text{km}} \cdot 0,20 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 0,04 \frac{\text{€}}{\text{km}} = 4 \frac{\text{ct}}{\text{km}}$

d) Vergleiche den CO₂-Ausstoß in g pro gefahrenem km bei Autos mit herkömmlichem Verbrennungsmotor und beim Elektroauto. Achte auf die Einheiten. Tipp: Rechne zuerst die kg in g um.

Benzinmotor:	$2360 \frac{\text{g}}{\text{L}} \cdot 0,06 \frac{\text{L}}{\text{km}} = 141,6 \frac{\text{g}}{\text{km}} \approx 142 \frac{\text{g}}{\text{km}}$
Dieselmotor:	$2650 \frac{\text{g}}{\text{L}} \cdot 0,045 \frac{\text{L}}{\text{km}} = 119,25 \frac{\text{g}}{\text{km}} \approx 119 \frac{\text{g}}{\text{km}}$
Elektromotor:	$520 \frac{\text{g}}{\text{kWh}} \cdot 0,20 \frac{\text{kWh}}{\text{km}} = 104 \frac{\text{g}}{\text{km}}$

5. Finde heraus, was hinter dem Begriff „AdBlue“ steckt. Beschreibe die Wirkungsweise und zähle jeweils stichwortartig drei Vor- und Nachteile auf.

AdBlue ist ein Markenname für eine umweltschonende Chemikalie (wässrige Harnstofflösung). Es wird zur Abgasreinigung in Katalysatoren bei Dieselfahrzeugen eingesetzt.

Drei Vorteile

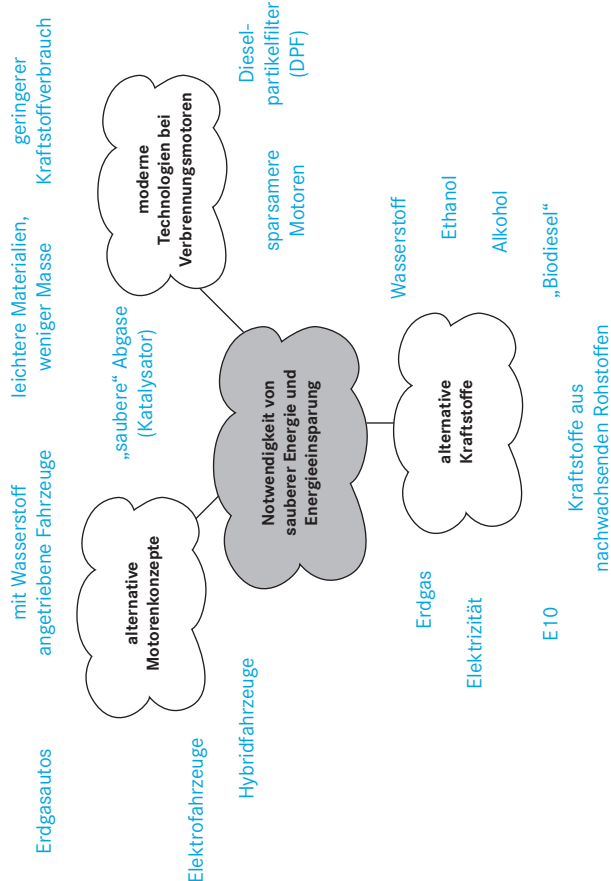
- führt zu geringerem Kraftstoffverbrauch (ca. 2–5 %)
- ermöglicht die Einhaltung strengerer Abgasnormen
- ist in Europa gut erhältlich

Drei Nachteile

- Zusatztank nötig
- Zusatzgewicht durch Tank und Flüssigkeit
- Zusatzkosten durch Betankung

6. Was hast du alles gelernt über alternative Antriebs- und Energiekonzepte?

a) Ergänze die Übersicht und schreibe rund um die Wolken alles auf, was dir zu den jeweiligen Punkten einfällt.



b) Partner- oder Gruppenarbeit: Vergleiche eure Lösungen untereinander und diskutiert die Ergebnisse.

F2 Warum haben noch nicht alle Autos einen Elektroantrieb?

1. Folgende Berechnungen über eine Fahrstrecke von 500 km ermöglichen einen Vergleich zwischen herkömmlichem Kraftstoff und Akkus für einen Elektroantrieb. Löse die folgenden Aufgaben.

- a) Wie hoch ist der Verbrauch (Energiebedarf) über die Strecke von 500 km in L und kWh bei Kraftstoff (Benzin) und bei Akkus für Elektroantrieb?
- b) Reche die L in kWh um.
- c) Wie viel wiegt die benötigte Menge Kraftstoff?
- d) Wie groß ist die Masse der Lithium-Ionen-Akkus?

Energiespeicher	Kraftstoff für Verbrennungsmotor	Lithium-Ionen-Akkus
Energiedichte	9 kWh/L, 12 kWh/kg (Dichte von Benzin: 740 kg/1000 L)	0,14 kWh/kg
Energiebedarf	6 L/100 km	20 kWh/100 km
Fahrstrecke	500 km	
Verbrauch	a) Berechnung des Verbrauchs in L: $500 \text{ km} \cdot \frac{6 \text{ L}}{100 \text{ km}} = 30 \text{ L}$	a) Berechnung des Verbrauchs in kWh: $500 \text{ km} \cdot \frac{20 \text{ kWh}}{100 \text{ km}} = 100 \text{ kWh}$
KWh	b) Umrechnung der L in kWh: $30 \text{ L} \cdot 9 \frac{\text{kWh}}{\text{L}} = 270 \text{ kWh}$	
Masse	c) $30 \text{ L} \cdot \frac{740 \text{ kg}}{1000 \text{ L}} = 22,2 \text{ kg}$	d) $\frac{100 \text{ kWh}}{0,14 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}} \approx 714,29 \text{ kg}$

e) Wie hoch müsste die Energiedichte eines Akkus sein bei einem angenommenen Gewicht von 90 kg?

Berechnung der Energiedichte von 100 kWh pro 90 kg:

$$\frac{100 \text{ kWh}}{90 \text{ kg}} \approx 1,11 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}$$

2. Das Aufladen von Batterien erfordert einen größeren Zeitbedarf, sodass als Ladestellen vor allem Garagen, Parkhäuser oder Parkplätze infrage kommen. Meistens wird man sein Elektroauto über Nacht in der heimischen Garage aufladen. Welche Ladezeit am Hausanschluss ist für den Akku des Elektroantriebs von Aufgabe 1 erforderlich, wenn man am nächsten Tag 100 km weit fahren möchte?

Benötigter Energiebedarf für 100 km:

Berechnung der elektrischen Leistung P beim Aufladen am normalen Hausanschluss:

$$W = 20 \text{ kWh}$$

$$P = 230 \text{ V} \cdot 16 \text{ A} = 3,68 \text{ kW}$$

Berechnung der benötigten Ladezeit:

$$W = P \cdot t \Rightarrow t = \frac{W}{P}$$

$$t = \frac{20 \text{ kWh}}{3,68 \text{ kW}} \approx 5,43 \text{ Stunden}$$

96 F2 Warum haben noch nicht alle Autos einen Elektroantrieb?

3. Auf dem Bild siehst du einen „Smart fortwo electric drive“.

a) Bestimme die Masse seiner Batterie.



Technische Daten	
Fahrzeugtyp	smart fortwo (BR451)
Antrieb	Permanentregler Synchron-Elektromotor Leistung (Continuous/Peak): 35 kW / 50 kW Max. Drehmoment: 130 Nm
Verbrauch	~ 13 kWh / 100 km
Reichweite	150 km (100 miles)
Höchstgeschw.	125 km/h (78 mph)
Beschleunigung	11,5 s (0-100 km/h)
Batterie	Flüssiggekühlte Li-Ionen-Batterie, Leistung (Continuous/Peak): 35 kW / 55 kW; Kapazität: 17,6 kWh

$$M = \frac{17,6 \text{ kWh}}{0,14 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}} \approx 125,71 \text{ kg}$$

b) Errechne und diskutierte die Kosten für die Batterie des abgebildeten Smarts (Automobilhersteller berechnen die „Batterie-System-Kosten“ bei 20 000 Einheiten/Jahr mit 500 €/kWh).

$$500 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \cdot 17,6 \text{ kWh} = 8800 \text{ €}$$

4. Notiere alle Punkte, die die Entwicklungsabteilungen zur Verbesserung des Elektroantriebs noch abarbeiten müssen.

Energiedichte des Akkus	Primärenergie	Infrastruktur
- Reichweite erhöhen - Gewicht reduzieren - Größe verringern	- zusätzlicher Energiebedarf entsteht - vermehrt regenerative Energie einsetzen	- Netz von Ladestationen aufbauen - Ladezeiten verkürzen

5. Laut einer Statistik des Kraftfahrt-Bundesamts waren am 1. Januar 2012 in Deutschland 43 Millionen Autos (ohne Lkws oder Busse) zugelassen. Ein Kraftwerk liefert etwa 1 400 Megawatt elektrische Energie.

a) Berechne, wie viele Kraftwerke in Deutschland theoretisch gebaut werden müssten, wenn alle Autos mit Strom fahren würden. Lege den Durchschnittswert von 30 kW pro Automotor zugrunde und die Annahme, dass die Hälfte aller Autos gleichzeitig gefahren werden.

$$\frac{43\,000\,000 \cdot 30 \text{ kW}}{1\,400\,000 \text{ kW} \cdot 2} = 461 \text{ Kraftwerke (gerundet)}$$

b) Was bedeutet diese theoretische Rechnung?

Eine komplette Umstellung auf Elektromobilität ist langfristig nur möglich, wenn neue Möglichkeiten der Stromerzeugung oder -speicherung und des effizienteren Umgangs mit Energie gefunden werden.

F3 Brennstoffzellenfahrzeuge

Info

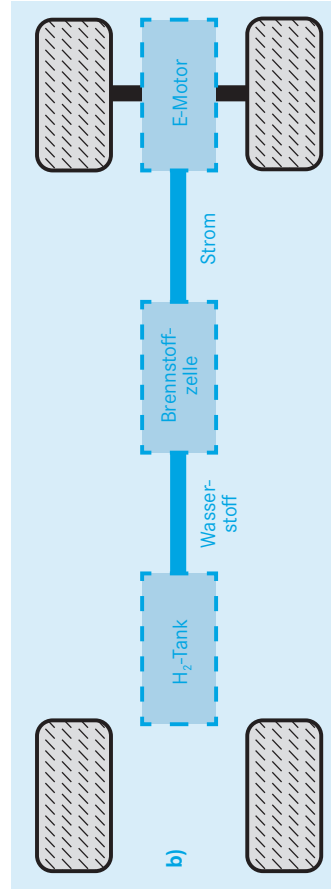
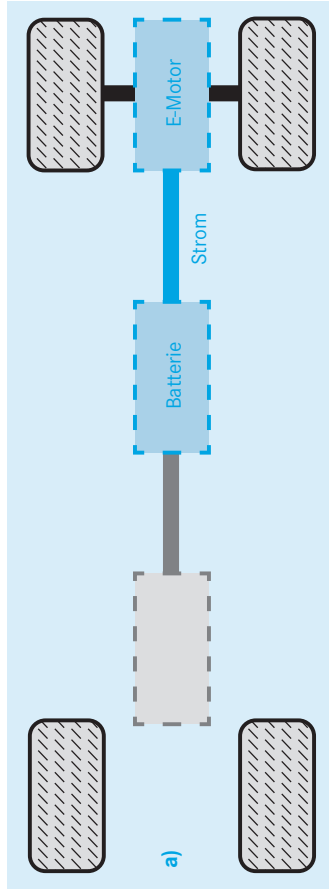
Bei Brennstoffzellenfahrzeugen wird die benötigte Energie durch eine Brennstoffzelle erzeugt und an einen Elektromotor weitergeleitet. Bis 2015 sollen die ersten wasserstoffbetriebenen Brennstoffzellenautos in Serie produziert werden.



1. Im Internet findest du interessante Erläuterungen zum Brennstoffzellenauto. Wähle aus den folgenden Themen eines aus und informiere dich auch unter Zuhilfenahme der unter dem Link angegebenen Videosequenzen. Erarbeite ein Kurzreferat (Umfang eine Seite DIN A4).

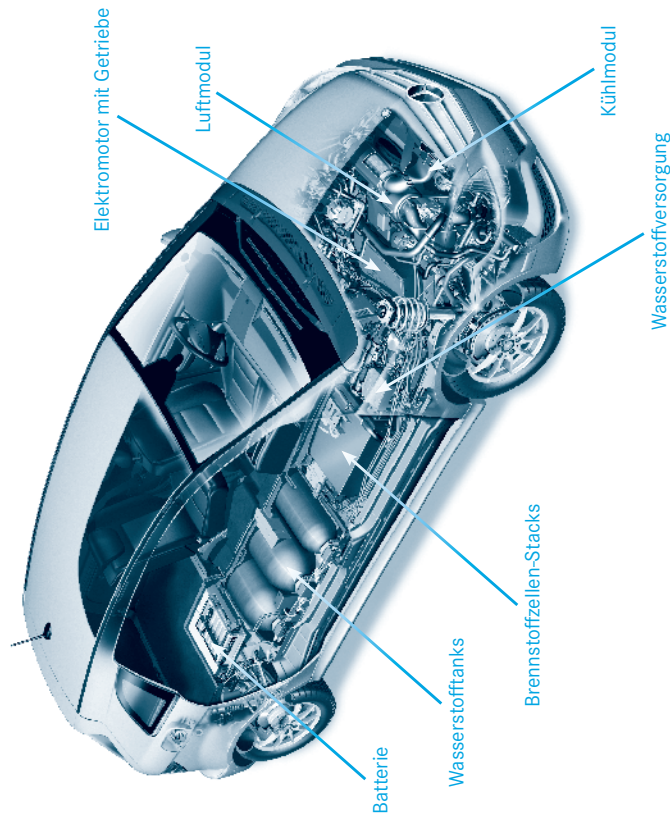
- Der Brennstoffzellen-Stack
- Das Brennstoffzellen-System
- Das Tanksystem
- Die Batterie
- Der E-Motor

2. Skizziere den Antriebsstrang für (a) ein „batterieelektrisches“ Auto und (b) ein Elektroauto mit Brennstoffzellenantrieb. (Achtung: Nicht alle Kästchen werden notwendigerweise befüllt.)



3. Beschrifte die Darstellung eines Brennstoffzellenfahrzeugs.

Füge bitte Hinweislinien ein und verwende folgende Begriffe: Batterie, Brennstoffzellen-Stacks, Elektromotor mit Getriebe, Kühlmodul, Luftmodul, Wasserstofftanks, Wasserstoffversorgung



4. Berechne mithilfe der Vorgaben die Reichweite des Brennstoffzellenfahrzeugs.

Ein Brennstoffzellenfahrzeug von der Größe eines Mittelklassewagens kann 4 kg Wasserstoff speichern. Die Brennstoffzelle verbraucht durchschnittlich 12,5 kWh Energie auf 100 km bei einem Wirkungsgrad von 42 %. Ein Kilogramm Wasserstoff hat eine Energiedichte von 33,3 kWh.

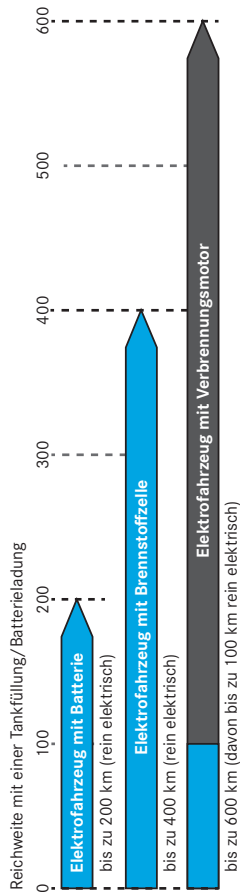
$$\text{Tankinhalt} = 4 \text{ kg} \cdot 33,3 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}} = 133,2 \text{ kWh}$$

$$\text{Verbrauch} = \frac{12,5 \text{ (kWh/100 km)}}{0,42} \approx 29,76 \text{ kWh/100 km} \approx 0,2976 \text{ kWh/km}$$

$$\text{Reichweite} = \frac{\text{Tankinhalt}}{\text{Verbrauch}} = \frac{133,2 \text{ kWh}}{0,2976 \text{ kWh/km}} \approx 447,5 \text{ km}$$

F4 Mobilitätsszenarien und Gesamtenergiebilanz

1. Das folgende Diagramm zeigt die Reichweiten verschiedener Antriebsarten.



a) Bewerte die Einsatzbereiche der Antriebsarten mit ganzen Schulnoten von 1 (sehr gut geeignet) bis 6 (nicht geeignet).
Tipp: obige Angaben helfen dir.

	Langstreckenverkehr	Überlandverkehr	Stadtverkehr
Verbrennungsmotor	1	1	1-5*
Elektromotor	5	4	1
Elektromotor mit Verbrennungsmotor	1-2	1	1-2*
Brennstoffzellenantrieb	3	2	2

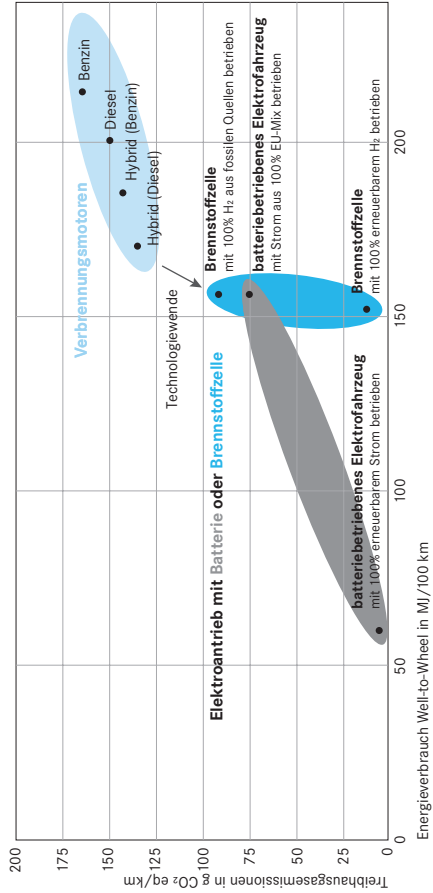
* emissionsarme, moderne Verbrennungsmotoren sind deutlich besser zu bewerten

b) Begründe deine Bewertungen.

- Der Verbrennungsmotor hat zurzeit die beste Infrastruktur und Leistungsdichte.
- Beim Elektromotor fehlen Infrastruktur und leistungsfähige Batterien, sodass lange Überlandfahrten nicht möglich sind; der Range Extender verbessert die Reichweite.
- Da Brennstoffzellen-Antriebe zurzeit nur eine mittlere Reichweite haben und die entsprechende Infrastruktur fehlt, sind sie auf Langstrecken nur eingeschränkt einsetzbar.
- Wenn fossile Kraftstoffe immer teurer werden (wegen zurückgehender Verfügbarkeit oder aus politischen Gründen), dann werden Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren zuerst im Stadtverkehr durch Elektro- oder Brennstoffzellenfahrzeuge verdrängt, weil sie dort am ehesten ersetzbar sind.

2. Das Schaubild zeigt die Gesamtenergiebilanz für einen bestimmten Autotyp unter verschiedenen Antrieben und Voraussetzungen.

Gesamtenergiebilanz – Well-to-Wheel-Klassifizierung



Brennstoffzelle: große Reichweite (> 400 km), kurze Aufladzeit (3 min), Pkw/Transporter/Lkw/Bus

Batterie: ideal für große Fahrzeuge im Stadtverkehr (100-150 km), Aufladung über Nacht

Quelle: EUCAR/CONCAWE „Well-to-Wheel Report 2004“, Optiresource, 2006 Reference vehicle class: VW Golf

a) Übersetze und erkläre den Begriff „Well-to-Wheel“.

well (engl.) = Quelle;

wheel (engl.) = Rad

well-to-wheel bedeutet „von der (Energie-)Quelle bis zum (Auto-)Rad“ und meint die Betrachtung des gesamten Energieeinsatzes von der Gewinnung der Primärenergie bis zur Fortbewegung des Automobils.

b) Welcher Antrieb ist laut Diagramm der (1) umweltschädlichste und welcher Antrieb ist der (2) umweltfreundlichste? Gib jeweils die CO₂-Emissionen und den Energieverbrauch an.

(1) Benzin-Verbrennungsmotor mit ca. 170 g CO₂/km und einem Energieverbrauch von ca. 220 MJ/100 km.

(2) Batteriebetriebenes Elektrofahrzeug mit Strom aus 100% erneuerbaren Quellen mit fast 0 g CO₂/km und einem Energieverbrauch von ca. 60 MJ/100 km.

c) Partner- oder Gruppenarbeit: Beschreibt und bewertet das gesamte Schaubild, insbesondere im Hinblick auf den Begriff „Technologiewende“ und die Bemerkungen unter dem Schaubild.

F5 Intelligentes Energiemanagement mit Smart Grids

101

1. Im Jahr 2011 gab es auf der Welt etwa 800 Millionen Autos, im Jahr 2050 werden es voraussichtlich ca. zwei Milliarden Autos sein.

a) Beschreibe, was dieser Anstieg für die Zukunft bedeuten könnte, wenn die Entwicklung von Elektrofahrzeugen oder anderen alternativen Antriebssystemen nicht stark vorangetrieben würde.

Wenn in Zukunft noch mehr Autos mit konventionellen Antrieben fahren, werden die fossilen Rohstoffe Öl und Gas noch knapper werden. Durch den Kohlenstoffdioxidstoß wird zudem die Umwelt stark belastet.

b) Was würde andererseits passieren, wenn ab morgen jeder ein Elektroauto hätte?

Wenn viele Menschen gleichzeitig ihre Autos aufladen wollten, würde das Stromnetz zusammenbrechen.

c) Viele Verkehrsteilnehmer haben ähnliche Fahr- und Ruhezeiten, z.B. zu Stoßzeiten oder nachts. Beschreibe, wie man dieses Verhalten bezogen auf Elektromobilität und das Stromnetz ausnutzen sollte.

Durch den Einsatz eines „intelligenten“ Ladesystems könnten die Ladezeiten der Fahrzeuge entzerrt und so gesteuert werden, dass das Stromnetz nicht kollabiert.

2. Was bedeutet der Beschluss der Bundesregierung zum Atomausstieg für die Elektromobilität? Bearbeite den Lückentext mithilfe von Nachschlagewerken.

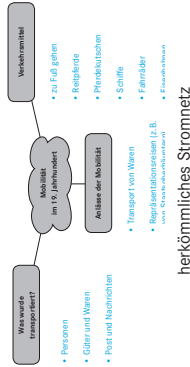
Durch den am 30.05.2011 von der Regierung beschlossenen Atomausstieg bis 2022 haben sich große Herausforderungen für die Erzeugung von elektrischer Energie ergeben. Um den bisher von Atomkraftwerken erzeugten Strom zu ersetzen, werden viele neue Kraftwerke für die Erzeugung von regenerativer Energie gebaut werden müssen. Wenn zusätzlich ein Umstieg auf Elektromobilität erfolgen soll, müssen weitere Kraftwerke gebaut werden. Die Gefahr von plötzlichen Stromausfällen großer Stromnetze, sogenannten „Blackouts“, wird zukünftig ansteigen und neben dem Bau von regenerativen Kraftwerkstypen ein „intelligentes“ Netzmanagement voraussetzen.

102 F5 Intelligentes Energiemanagement mit Smart Grids

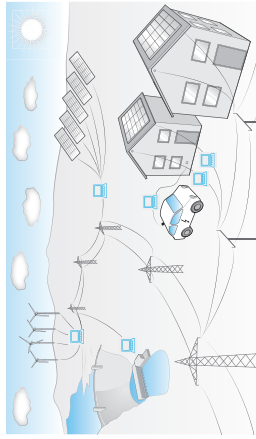
3. Die Abbildungen zeigen unterschiedliche Stromnetze.

A1 Mobilität früher

1. Denke dir, was früher alles transportiert wurde, was welchen Anlagen etwas transportiert wurde und welche Verkehrsmittel es gab. Ergänze dazu die Mindmap.



herkömmliches Stromnetz



Stromnetz der Zukunft (Smart Grid)

a) Untersuche die Grafiken und erkläre, was ein Smart Grid von einem herkömmlichen Netz unterscheidet.

Im Stromnetz der Zukunft wird Energie aus regenerativen Energiequellen gewonnen. In einem Smart Grid kann jeder nicht nur Energie entnehmen, sondern auch einspeisen (Dezentralität). Durch eine intelligente Zusammenschaltung aller Aggregate, die Strom benötigen oder liefern, lassen sich Verbraucher, Energieübertragungsnetze und Energielieferanten optimal verbinden. Die Wichtigkeit von Ladegängen oder Energieentnahmen wird priorisiert, d.h., die Netzsteuerung kann Verbrauchsspitzen mildern und in verbrauchsschwächeren Zeiten nachgeordnete Aggregate (z.B. Elektroautos oder Waschmaschinen) mit Energie beliefern.

b) Ein Problem bei der herkömmlichen Stromerzeugung entsteht, wenn mehr Energie in das Netz eingespeist als abgerufen wird und diese Energie ungenutzt verloren geht. Wie könnten z.B. Elektroautos zur Lösung dieses Problems beitragen?

Wenn alle elektrischen Verbraucher, die einen Akkumulator besitzen, an das Stromnetz angeschlossen sind, können diese im Fall von Energiespitzen geladen werden und so als Speicher fungieren.

4. Bereits heute gibt es Geräte, die ein intelligentes Informationssystem über die Steuerung des Energieverbrauchs des eigenen Wohnhauses bereitstellen. Beschreibe, warum es sinnvoll sein könnte, das Elektrofahrzeug in der Garage und einige andere Geräte im Haushalt intelligent zu steuern.

Elektrofahrzeuge, Solaranlagen, Heizung und z.B. Waschmaschine, Lüftung oder der Kühlschrank könnten immer dann eingeschaltet bzw. geladen werden, wenn ausreichend Energie zur Verfügung steht. Dabei könnte auch die Wichtigkeit der Funktion berücksichtigt werden (z.B. Kühlschrank ist in einem bestimmten Moment wichtiger als Waschmaschine).



