

Weiterentwicklung der Bildungsstandards in der Sekundarstufe I in den Naturwissenschaften

Illustrierende Lernaufgabe für das Fach Chemie

Kurzbeschreibung

Mit E-Fuels in Zukunft mobil...?!

Diese Aufgabe wurde von Fachexpert*innen der Länder, überwiegend Lehrkräften, entwickelt. Die Aufgabenentwicklungsgruppe wurde von Wissenschaftler*innen der Fachdidaktik Chemie beraten. Das Institut zur Qualitätsentwicklung im Bildungswesen hat den Prozess koordiniert.

Zusammenfassung:

Die Herausforderungen unserer Zeit mit Klimaveränderung und endlichen Ressourcen an Erdöl und Erdgas erzwingen ein Umdenken (und somit eine Umgestaltung) im Energie- und Verkehrssektor. In der vorliegenden Lernaufgabe erarbeiten sich die Lernenden eine Vielzahl an Sichtweisen zu E-Fuels und bringen diese in eine Diskussionsrunde mit verteilten Rollen ein.

Kompetenzbereiche und relevante Standards	Kommunikationskompetenz
	<i>Die Lernenden ...</i> K 1.1 recherchieren zu chemischen Sachverhalten in unterschiedlichen, auch digitalen, Quellen. K 1.3 wählen mit Blick auf die Fragestellung relevante Informationen aus. K 2.1 stellen Zusammenhänge zwischen Alltagsphänomenen und chemischen Sachverhalten her. K 2.2 wählen aus, auf welche Weise fachliche Inhalte sach-, adressaten- und situationsgerecht weitergegeben werden. K 3.2 beschreiben, veranschaulichen oder erklären chemische Sachverhalte strukturiert. K 3.4 vertreten ihre Standpunkte zu chemischen Sachverhalten fachlich begründet und reflektieren Einwände.

	Bewertungskompetenz <i>Die Lernenden ...</i> B 1.1 unterscheiden zur Bewertung von Sachverhalten und Informationen unterschiedliche Kriterien (z. B. naturwissenschaftlich, ökonomisch, normativ, sozial). B 1.2 nutzen zur Bewertung von Sachverhalten und Informationen naturwissenschaftliche Kriterien und setzen diese zu anderen Kriterien in Beziehung. B 1.3 diskutieren und bewerten Aspekte gesellschaftsrelevanter Fragen und Aussagen aus unterschiedlichen Perspektiven. B 2.2 treffen begründete Entscheidungen unter Berücksichtigung fachlicher Kriterien. B 3.1 nutzen zur Reflexion von Entscheidungen naturwissenschaftliche Kriterien und setzen diese zu anderen Kriterien in Beziehung.
Basiskonzepte	Konzept vom Aufbau und von den Eigenschaften der Stoffe und ihrer Teilchen, Konzept der chemischen Reaktion, Energiekonzept
konkrete Inhalte	Synthese, Eigenschaften und Verwendung von E-Fuels (synthetisierte Kohlenwasserstoffe)
Materialien	M 1 – Rollentcheck M 2 – Auflösung zum Rollentcheck M 3 – Feedback-Kriterien
Abschluss	Mittlerer Schulabschluss (MSA)
Jahrgangsstufe	3. Lernjahr
Lernvoraussetzungen	♦ Elektrolyse als erzwungene Redoxreaktion ♦ Verbrennungsreaktionen ♦ Kohlenwasserstoffe
Bearbeitungszeit	ca. 90 Minuten, gegebenenfalls mit vorbereitender Hausaufgabe
Hilfsmittel	Mobiles Endgerät für Internetrecherche
Differenzierungsmöglichkeit	Erweiternd kann auf in der Diskussion aufkommende chemische Prozesse (Fischer-Tropsch-Synthese, Power-to-Gas-Verfahren, Carbon-Capture, Power-to-Ammonia-Verfahren) und Stoffkreisläufe (natürlicher Kohlenstoff-Kreislauf, Treibhauseffekt) eingegangen werden.
fachpraktischer Anteil	ja ☐ nein ☒

1 Aufgabe

Unter E-Fuels (engl. **electrofuels**, „E-Sprit“) versteht man alle zumeist auf der Basis von Wasser und Kohlenstoffdioxid synthetisch hergestellten Kraftstoffe für Verbrennungsmotoren.

Kaum ein Ansatz zur „Energiewende“ bringt so vehement Befürworter*innen und Gegner*innen hervor wie E-Fuels. Erste Testanlagen sind in Betrieb und Wissenschaftler*innen weltweit forschen intensiv dazu. Wirtschaft, Verbraucher*innen und Umweltverbände sind sich uneins, ob es sich um einen Irrweg, ökologischen Selbstbetrug oder eine wirkliche Innovation handelt.

Bereitet eine Diskussionsrunde mit Moderator*innen und sechs verschiedenen Rollen vor und führt diese durch. Die Rollen können mehrfach besetzt werden.

Teilaufgabe 1: Finden und Hineinwachsen in die Rolle

- 1.1 Kreuzt auf der Checkliste zur Rollenfindung (M 1) zu jeder Einzelfrage die von euch favorisierte Antwort an und zählt am Ende zusammen, wie oft jeder einzelne Buchstabe angekreuzt wurde. Für den am häufigsten angekreuzten Buchstaben wird euch in der Auflösung (M 2) eine Rolle angeboten, die ihr in der Diskussionsrunde einnehmt. Allerdings sollte jede Rolle besetzt werden, weshalb bei mehrfach gleichen Zuordnungen ein Kompromiss zu finden ist.
- 1.2 Erarbeitet für die von euch einzunehmende Rolle eine Zusammenstellung an Redebeiträgen, die ihr in die Diskussion einbringen möchtet. Recherchiert zu euch wichtigen Inhalten aktuelle Daten und Fakten, um eure Position möglichst aussagekräftig und kompetent vertreten zu können.

Diese Vorbereitung ist auch für die Moderator*innen wichtig, die durch geschickte Gesprächsführung und gezielte Ansprache der Teilnehmenden die Diskussion steuern und dafür geeignete Impulsfragen erarbeiten.

Teilaufgabe 2: Diskussionsrunde „Mit E-Fuels in Zukunft mobil...?!“

- 2.1 Führt die Diskussionsrunde zum Thema durch (Zeitrahmen: ca. 20 Minuten). Bringt eure Position überzeugend und rhetorisch geschickt ein. Nehmt auch die Redebeiträge und Positionen der anderen aktiv wahr.
- 2.2 Reflektiert im Nachgang den Verlauf der Diskussionsrunde, zum einen hinsichtlich der Argumente aus fachlicher Sicht und zum anderen nach gezeigtem Diskussionsverhalten. Wählt begründet aus, wen ihr in der Diskussionsrunde am überzeugendsten fandet. Nutzt dazu die Kriterien aus Material M 3.
- 2.3 Gebt ein Statement ab, ob sich eure eigene Position zur Verwendung von E-Fuels durch die in der Diskussionsrunde aufgezeigte Vielfalt an Argumenten gefestigt oder verändert hat.

2 Material für Lernende

Material 1

Rollencheck

Je Frage darf jeweils nur eine Antwort angekreuzt werden.

01. Das Auto ist für mich ...

- ☐ Ausleben von Erfindergeist seit über 100 Jahren. (C)
- ☐ Identität und Statussymbol. (F)
- ☐ Verursacher von Umweltverschmutzung, Lärm, Smog. (B)
- ☐ Wirtschaftsfaktor. (D)

02. Erdölbasierte Kraftstoffe sind ...

- ☐ Chemierohstoffe und zu schade für die Verbrennung. (A)
- ☐ in chemischen Eigenschaften den E-Fuels gleich. (E)
- ☐ Ermöglicher der Mobilität des letzten Jahrhunderts. (C)
- ☐ hoffentlich bald Geschichte. (B)

03. Mit „Ölkrise“ verbinde ich ...

- ☐ autofreie Sonntage wie 1970. (C)
- ☐ Abhängigkeit von Öl-Staaten. (D)
- ☐ Spritsparen und Entwicklung spritsparender Autos. (F)
- ☐ die Notwendigkeit zur chemischen Synthese von Benzin. (E)

04. Aus Kohle lässt sich synthetischer Kraftstoff gewinnen. Dies geschieht...

- ☐ durch katalytische Hydrierung von Kohlenstoffmonoxid. (A)
- ☐ nach der Fischer-Tropsch-Synthese. (E)
- ☐ wie dereinst in Deutschland des Nationalsozialismus. (C)
- ☐ wenig ökologisch und sehr energieaufwändig. (B)

05. Energieträger sind ...

- ☐ energiereiche Stoffe. (A)
- ☐ Sonne, Wasser, Wind. (B)
- ☐ Syntheseprodukte. (E)
- ☐ globale Handelswaren. (D)
- ☐ potentielle Auslöser von Kriegen. (C)

06. Lärm- und Luftverschmutzung sollten behoben werden durch ...

- ☐ Abgaskatalysatoren. (A)
- ☐ Luftfilteranlagen. (E)
- ☐ flexible Arbeitszeiten und u. a. Homeoffice. (D)
- ☐ kürzere Wege zur Arbeit wie früher. (C)
- ☐ Fahrverbote. (B)

07. Von A nach B gern mit ...

- ☐ Fahrrad, Bus, Bahn (B)
- ☐ Flugzeug, betankt mit E-Fuels (D)
- ☐ dem Oldtimer von Carl Benz (C)
- ☐ Autos, die CO₂-neutral unterwegs sind (F)

08. Zur Verkehrswende ...

- ☐ gehört die Energiewende. (A)
- ☐ muss jede*r einen Beitrag leisten. (B)
- ☐ braucht es Regularien und staatliche Förderungen. (F)
- ☐ gibt es nicht die Musterlösung, sondern viele Ansätze. (E)
- ☐ braucht es Innovationen wie schon oft in der Geschichte. (C)

09. E-Fuels sind ...

- ☐ in Kohlenwasserstoffen chemisch gespeicherte Sonnenenergie. (A)
- ☐ Alternativen zu herkömmlichem Benzin, Diesel und Kerosin. (F)
- ☐ technisch machbar, denn Versuchsanlagen laufen. (E)
- ☐ der Wunschtraum ewiggestriger Motorenfreaks. (B)
- ☐ teuer, aber Angebot wird Preise wie bei erstem Benzin regeln. (C)

10. Angenommen, es wird eine neue Produktionsanlage für E-Fuels eröffnet, dann ...

- ☐ eher nicht in Deutschland. (E)
- ☐ nur mit kräftiger Anschubfinanzierung. (C)
- ☐ als internationale Kooperation. (D)
- ☐ mit Destillationsanlage wie bei herkömmlicher Raffinerie. (A)

11. Wenn Auto, dann ...

- ☐ klimaneutral (B)
- ☐ Neuwagen (F)
- ☐ energieeffizient und ökonomisch (D)

12. Mein Wunsch für Autos der Zukunft ist, dass sie...

- ☐ bezahlbar und für jeden zugänglich sind. (D)
- ☐ im Einklang mit der Natur genutzt werden können. (B)
- ☐ unter Erhalt der Arbeitsplätze in Deutschland produziert werden. (F)
- ☐ mit neuen Technologien ausgestattet sind. (E)

Die Antwort-Buchstaben bitte zählen und das Ergebnis hier notieren:

A _____ B _____ C _____ D _____ E _____ F _____

Material 2

Auflösung zum Rollenspiel

Favorit aus Rollenspiel	In der Diskussionsrunde zu vertretende Position:
A	Chemiker*innen sehen in E-Fuels einen möglichen Beitrag für die Mobilität der Zukunft und bereichern die Runde um chemiespezifische Aspekte zur Synthese.
B	Umweltschützer*innen lehnen E-Fuels begründet ab und bringen alternative Vorstellungen zur Mobilität der Zukunft in die Diskussion ein.
C	Historiker*innen bringen geschichtliche Aspekte in die Diskussion ein und drängen auf Betrachtung von Chancen und Risiken, um aus der Vergangenheit zu lernen.
D	Ökonomen*innen haben die Wirtschaftsleistung eines Landes im Blick und möchten Lösungen für verlässliche Mobilität anbieten. Sie beraten politische Gremien und nehmen Einfluss auf zu schaffende Rahmenbedingungen.
E	Verfahrenstechniker*innen sind mit der technischen Optimierung einer E-Fuels-Versuchsanlage betraut und benennen Erfordernisse, Möglichkeiten und Grenzen zur Herstellung von E-Fuels.
F	Autobauer*innen obliegt die Konstruktion und Fertigung neuer Modelle. Das Betreiben von Verbrennungsmotoren mit E-Fuels wäre ein Weg für sie.
Gleichstand Buchstaben	Moderator*innen sind an allen Positionen interessiert und grundsätzlich offen für jede Sichtweise. Sie hinterfragen Argumente und steuern die Diskussion mit Impulsfragen. Moderator*innen führen zu Beginn der Diskussionsrunde in das Thema ein. Gegen Schluss fordern sie ein abschließendes Statement von den Teilnehmenden ein und geben einen Ausblick.

Material 3

Feedback-Kriterien



3 Hinweise zur Durchführung

Zielsetzung

Zentrale Komponente der vorliegenden Lernaufgabe ist die von den Schüler*innen durchgeführte Diskussionsrunde. Im Rahmen der Diskussion sollen die Lernenden ihre Fähigkeiten zur strukturierten und sachlichen Kommunikation in einem fachlichen Kontext entwickeln und verfeinern. Die Schüler*innen lernen dabei, Argumente logisch zu formulieren und auf Gegenargumente angemessen zu reagieren. Durch die Auseinandersetzung mit anderen Standpunkten wird die Fähigkeit zur kritischen Bewertung von Informationen und Argumenten gefördert. Dies unterstützt die Entwicklung einer differenzierten Urteilsfähigkeit im Sinne der Bewertungskompetenz. Die thematische Einbettung in den Kontext der E-Fuels, einschließlich ihrer Synthese, Eigenschaften und Anwendungen, zielt darauf ab, die Basiskonzepte der Sekundarstufe I zu verknüpfen und anzuwenden und somit ein ganzheitliches Verständnis der Thematik zu fördern.

Didaktische Hinweise

Die Lernaufgabe folgt einem viergliedrigen Aufbau:

Die ersten 10 Minuten dienen der Rollenzuteilung. Dazu kann der in Teilaufgabe 1.1 angebotene Rollentest genutzt werden. Die Rollenzuteilung kann jedoch auch durch die Lehrkraft erfolgen.

Danach haben die Lernenden Gelegenheit, 30–40 Minuten lang die Redebeiträge zu ihren Rollen zu erarbeiten. Hierfür bietet sich eine Recherche im Internet an. Zudem sollten vor Beginn der Diskussionsrunde Kriterien für die Auswertung der Diskussion festgelegt werden.

Anschließend startet die ca. 20-minütige Diskussionsrunde. Die Lernenden bringen ihre Rollen-Position nach Möglichkeit rhetorisch geschickt und argumentativ fundiert ein und hören erstmals die Positionen anderer Rollen. Sie erleben das Spannungsfeld konträrer Meinungen und beobachten die rhetorischen Fähigkeiten ihrer Mitstreitenden.

Daran anschließend lässt sich als dritter Teil der Lernaufgabe eine kriteriengeleitete Reflexion realisieren, zum einen inhaltlich (u. a. fachliche Korrektheit und Nachvollziehbarkeit der Argumente) und zum anderen zur erlebten Streitkultur (u. a. Anzahl und Passung der Redebeiträge, Umgang mit Einwänden, Emotionalität). Dafür sind ca. 20 Minuten einzuplanen. Diese Zeit ermöglicht den Lernenden ein bewusstes Heraustreten aus der zugewiesenen bzw. eingenommenen Rolle. Unterstützend für die Reflexion kann das Material M 3 genutzt werden.

Es ist hilfreich, wenn die Lernenden bereits in einer vorausgehenden Unterrichtsstunde oder in einer vorbereitenden Hausaufgabe Gelegenheit hatten, sich mit dem Herstellungsprozess von E-Fuels vertraut zu machen. Hier könnten Grundlagen der Elektrolyse von Wasser thematisiert werden bzw. eine vergleichende Betrachtung verschiedener Energieträger (Methan, Wasserstoff, Benzin und E-Fuels):

- ◆ Elektrolyse von Wasser: $2 \text{H}_2\text{O} (\text{l}) \rightarrow 2 \text{H}_2 (\text{g}) + \text{O}_2 (\text{g})$
- ◆ Synthesegas aus Kohle: $\text{C} (\text{s}) + \text{H}_2\text{O} (\text{g}) \rightarrow \text{H}_2 (\text{g}) + \text{CO} (\text{g})$
- ◆ Synthesegas aus Kohlenstoffdioxid: $\text{H}_2\text{O} (\text{g}) + \text{CO}_2 (\text{g}) \rightarrow \text{H}_2 (\text{g}) + \text{O}_2 (\text{g}) + \text{CO} (\text{g})$
- ◆ Fischer-Tropsch-Synthese: $n \text{CO} (\text{g}) + m \text{H}_2 (\text{g}) \rightarrow \text{höhere Alkane} (\text{l}) + n \text{H}_2\text{O} (\text{g})$

4 Lösungshinweise und Bezug zu den Standards

Es werden folgende Abkürzungen verwendet:

- ◆ S – Standards der Sachkompetenz,
- ◆ E – Standards der Erkenntnisgewinnungskompetenz,
- ◆ K – Standards der Kommunikationskompetenz,
- ◆ B – Standards der Bewertungskompetenz.

1.1	Kreuzt auf der Checkliste zur Rollenfindung (M 1) zu jeder Einzelfrage die von euch favorisierte Antwort an und zählt am Ende zusammen, wie oft jeder einzelne Buchstabe angekreuzt wurde. Für den am häufigsten angekreuzten Buchstaben wird euch in der Auflösung (M 2) eine Rolle angeboten, die ihr in der Diskussionsrunde einnehmt. Allerdings sollte jede Rolle besetzt werden, weshalb bei mehrfach gleichen Zuordnungen ein Kompromiss zu finden ist.	S	E	K 2.1	B
-----	--	---	---	----------	---

Über die Ankreuzfragen des Rollenchecks erfolgt eine Priorisierung eigener Ansichten und damit eine Rollenzuweisung. Die Aufteilung der Rollen kann jedoch auch anders vorgenommen werden und benötigt zwingend Absprachen. Wichtig ist, dass sich die Lernenden mit der ihnen zugeteilten Rolle identifizieren können.

1.2	Erarbeitet für die von euch einzunehmende Rolle eine Zusammenstellung an Redebeiträgen, die ihr in die Diskussion einbringen möchtet. Recherchiert zu euch wichtigen Inhalten aktuelle Daten und Fakten, um möglichst aussagekräftig und kompetent eure Position vertreten zu können. Diese Vorbereitung ist auch für die Moderator*innen wichtig, die durch geschickte Gesprächsführung und gezielte Ansprache der Teilnehmenden die Diskussion steuern und dafür geeignete Impulsfragen erarbeiten.	S	E	K 1.1 1.3	B
-----	--	---	---	-----------------	---

In nachfolgender Tabelle ist zu den einzelnen Rollen eine Auswahl möglicher Redebeiträge aufgeführt. Diese sind jedoch nicht zwingend so geboten. Die Ausgestaltung der Rollen erfolgt grundsätzlich nach den Rechercheergebnissen der Lernenden. Jede Rolle bietet die Möglichkeit, sich für oder wider E-Fuels zu positionieren. Das ist letztlich nicht entscheidend. Wertvoll sind stets die Argumente, die als Redebeitrag in die Diskussionsrunde einfließen.

Die Recherche von Daten und Fakten ist bei dieser Teilaufgabe bewusst gewählt, da sich hierin die Aktualität der Diskussionsrunde offenbart.

Rolle	Mögliche Redebeiträge
Chemiker*in	◆ Herkömmliche Kraftstoffe (Benzin, Diesel und Kerosin) sind sogenannte Kohlenwasserstoffe und werden durch Raffination aus Erdöl gewonnen. ◆ Auch E-Fuels sind Kohlenwasserstoffe. Die wissenschaftliche Leistung der Chemie ist, dass sie die in der Natur vorkommenden Stoffe auch im Labor und im großtechnischen Maßstab herstellen kann, so auch nicht-erdölbasierte synthetische Kraftstoffe. Ausgangsstoffe hierfür sind Wasser und Kohlenstoffdioxid, die weder knapp noch teuer sind. Dass der Atmosphäre für E-Fuels Kohlenstoffdioxid entzogen wird, ist von großem Vorteil. Die Verbrennung von E-Fuels setzt jedoch erneut Wasser und Kohlenstoffdioxid frei. ◆ Zum Herstellungsprozess für E-Fuels gehören folgende Teilschritte: 1) Elektrolyse von Wasser, 2) Gewinnung von Kohlenstoffdioxid (Direct Air Capture), 3) Fischer-Tropsch-Synthese und 4) Raffination. ◆ E-Fuels enthalten keinerlei Verunreinigungen. Beim Verbrennungsvorgang bildet sich weniger Feinstaub als bei herkömmlichen Kraftstoffen auf Erdölbasis. ◆ Bei der Verbrennung von Kohlenwasserstoffen entsteht das Treibhausgas Kohlenstoffdioxid. E-Fuels sind insofern „klimaneutral“, wenn beim Herstellungsprozess ebenjenes Kohlenstoffdioxid gebunden wird, welches die Verbrennung freisetzt (Energieaufwand nicht eingerechnet). ◆ <u>Ausblick:</u> Neben E-Fuels kommt auch Ammoniak als Kraftstoff der Zukunft in Betracht, Verbrennungsprodukte sind Stickstoff und Wasserdampf. Ammoniak zählt zwar nicht zu den E-Fuels, ist mit diesen aber insofern vergleichbar, da in beiden Wasserstoff gebunden und damit transportierbar vorliegt.
Umweltschützer*in	◆ Um die Auswirkungen der Erderwärmung, des Klimawandels (Abschmelzen des Polareises, Anstieg der Weltmeere, Wetterextreme), zu minimieren, müssen u. a. Emissionen des Treibhausgases Kohlenstoffdioxid gesenkt werden. Daher ist die Abkehr von fossilen Brennstoffen wie Kohle, Erdgas und erdölbasierten Kraftstoffen ökologisch geboten. ◆ E-Fuels und erdölbasierte Kraftstoffe (Benzin, Diesel, Kerosin) unterscheiden sich nicht hinsichtlich des bei der Verbrennung freigesetzten Kohlenstoffdioxids. „Klimaneutrale Verbrennungsmotoren“ gibt es nicht, sie sind Wunschdenken der Autoindustrie. Die E-Fuels-Bilanz wird rein rechnerisch nur dadurch „klimaneutral“, wenn das bei der Verbrennung freigesetzte Kohlenstoffdioxid vormals in der Produktion der E-Fuels aus der Atmosphäre gebunden wird. Eine solche Herstellung ist extrem energieaufwändig und gelingt nur an Standorten, in denen regenerative Energien kostengünstig vorhanden sind.

	◆ Würden die regenerativen Energien nicht erst in E-Fuels gebunden und diese über teils weite Transportwege vom Erzeugungs-ort (z. B. Südchile) an die heimische Tankstelle geliefert werden müssen, sondern gleich den E-Autos als verfügbarer Ladestrom dienen, so wäre das deutlich effizienter. Der Wirkungsgrad eines Elektromotors ist besser als der eines Verbrennungsmotors mit E-Fuels. Das Aus für Verbrennermotoren muss gelten, egal ob mit E-Fuels betrieben oder nicht. ◆ <u>Ausblick:</u> Die Verkehrswende fängt bei jedem und jeder Einzelnen an. Milliarden von Autos, die weltweit für Luftverschmutzung, Klimawandel, Gesundheitsschäden und Zerstörung des Lebensraumes verantwortlich sind, können nicht mit Elektromotor ausgestattet werden, zumal der Ladestrom womöglich aus Kohlekraftwerken stammt. Die Verkehrswende erfordert eine Reduzierung des Individualverkehrs. Stattdessen sollte der Fokus auf den Ausbau des öffentlichen Personennahverkehr gelegt werden. Parallel dazu ist eine Anpassung der Preisstrukturen im Flug- und Schiffsverkehr erforderlich, um deren Umweltauswirkungen stärker zu berücksichtigen.
Historiker*in	◆ Im ersten motorisierten Wagen von Carl Benz war ein Ottomotor verbaut, ein Verbrennungsmotor. Dieser wurde mit Otto-Kraftstoff, einem Gemisch aus Kohlenwasserstoffen, betrieben. Der Ottokraftstoff war als sogenanntes Waschbenzin in Apotheken erhältlich. ◆ Konkurrenz zum Ottomotor war von Anbeginn der Dieselmotor. Er war dem Ottomotor an Effizienz überlegen und etablierte sich massenhaft als Antrieb in PKW, Traktoren, Lokomotiven, LKW und Schiffen. Die Erfolgsgeschichte des Dieselmotors währte über hundert Jahre. Inzwischen ist eine Verkehrswende politischer Wille. ◆ Die Verfügbarkeit von Erdöl war insbesondere in Kriegszeiten der begrenzende Faktor für die Bereitstellung von erdölbasierten Kraftstoffen (Benzin, Diesel, Kerosin). Deutschland hat keine nennenswerten Vorkommen an Erdöl oder Erdgas. Deshalb gab es hier bereits Anfang des 20. Jahrhunderts viele Forschungsvorhaben für den Zugang zu Kohlenwasserstoffen aus Kohle (Kohlenstoff). Der Durchbruch gelang mit drei Verfahren: Kohlehydrierung, Kohlevergasung und der Fischer-Tropsch-Synthese. ◆ Bis Anfang der 1940er Jahre wurden flüssige Kohlenwasserstoffe durch Anwendung der Fischer-Tropsch-Synthese industriell hergestellt. Das Verfahren wurde mit Zugang zu preisgünstigem Erdöl unrentabel. E-Fuels können als Weiterentwicklung von Fischer-Tropsch-Kohlenwasserstoffen gesehen werden. ◆ Die wirtschaftliche Abhängigkeit von preisgünstigem Erdöl zeigte sich in mehreren Ölkrisen, teils mit von der Politik ausgesprochenen Fahrverboten.

	♦ <u>Ausblick:</u> Chemiker*innen, Verfahrenstechniker*innen, Autobauer*innen sowie Ökonom*innen müssen sich ihrer Verantwortung für Mensch und Umwelt zukünftig besser stellen als in der Vergangenheit.
Ökonom*in	♦ E-Fuels haben das Potenzial, zu einer bedeutenden globalen Handelsware zu werden. Dies könnte zu einer Verschiebung in den weltweiten Handelsströmen führen und neue wirtschaftliche Chancen für Länder mit günstigen Produktionsbedingungen eröffnen. ♦ Die Entwicklung und Implementierung von E-Fuel-Technologien erfordert internationale Kooperationen. Dies bietet Chancen für neue wirtschaftliche Partnerschaften, Technologietransfer und gemeinsame Forschungsprojekte auf globaler Ebene. Deutschland unterhält bereits jetzt eine Energiepartnerschaft mit Chile, wo unter Beteiligung deutscher Firmen die E-Fuels-Produktionsanlage „Haru Oni“ aufgebaut wird. ♦ Durch die Nutzung von E-Fuels könnte Deutschland die bestehende Abhängigkeit von Öl-Förderländern reduzieren. Dies würde nicht nur geopolitische Risiken mindern, sondern auch zu einer stabileren und unabhängigeren Energieversorgung beitragen. ♦ Die Automobilindustrie ist ein zentraler Wirtschaftsfaktor in vielen Ländern, insbesondere in Deutschland. Die Einführung von E-Fuels könnte nicht nur Arbeitsplätze in der traditionellen Automobilbranche sichern, sondern auch neue Innovationen und Geschäftsmodelle hervorbringen. ♦ Die Umstellung auf E-Fuels erfordert erhebliche Investitionen in Produktionsanlagen und Vertriebsinfrastruktur. Gleichzeitig bieten sich hier wirtschaftliche Chancen, insbesondere wenn Synergien mit bestehenden Infrastrukturen genutzt werden. ♦ Elektromobilität hat gegenüber Verbrennungsmotoren mit E-Fuels Vorzüge bezüglich der Effizienz geschuldet den bei E-Fuels anfallenden Transportkosten (z. B. aus Chile nach Deutschland) und den energieintensiven Syntheseschritten. ♦ <u>Ausblick:</u> Ein entscheidender Faktor für den Erfolg von E-Fuels wird ihre Wettbewerbsfähigkeit sein. Die Produktionskosten im Vergleich zu fossilen Brennstoffen und anderen alternativen Antriebsarten müssen genau analysiert und mögliche staatliche Fördermaßnahmen in Betracht gezogen werden. Dies ist vor allem auch deshalb wichtig, da die Marktakzeptanz von E-Fuels stark vom Verhalten der Verbraucher*innen abhängen wird, welches sich maßgeblich am Preis orientiert.
Verfahrenstechniker*in	♦ Testanlagen zur Produktion von E-Fuels (z. B. an der TU Bergakademie Freiberg) dienen zur Erprobung der Synthesebedingungen und zur Abschätzung der Umsetzbarkeit dieses

	Verfahrens in großtechnischem Maßstab. Die Ergebnisse sind vielversprechend. ♦ Als Ausgangsstoffe für die Synthese von Kohlenwasserstoffen müssen Kohlenstoff und Wasserstoff bereitstehen, daher der Einsatz von Wasserstoff aus der Elektrolyse von Wasser und Kohlenstoffdioxid aus der Luft. Technisch möglich und beispielsweise in Freiberg praktiziert ist auch eine Produktion auf Basis von Methanol, das aus Biomasse gewonnen wird (Biomass-to-liquid-Verfahren). ♦ Die Herstellung von E-Fuels ist extrem energieintensiv, insbesondere die Elektrolyse von Wasser zur Bereitstellung des Wasserstoffs. Dies ist ein großer Nachteil von E-Fuels. Die Steigerung der Effektivität von Elektrolyseuren ist ein zentrales Anliegen aktueller Forschung. ♦ E-Fuels sind nur dann klimaneutral und rentabel produzierbar, wenn erneuerbare Energieformen wie Windkraft und Solarenergie eingesetzt werden. Der elektrolysierte Wasserstoff ist umgehend vor Ort bis zum fertigen E-Fuel zu verarbeiten, denn Wasserstoff ist im Gegensatz zum E-Fuel nicht gut speicher- und transportierbar. Standorte für die großtechnische Produktion von E-Fuels werden in Gegenden mit günstigen Bedingungen für Sonne und Wind zu bauen sein. ♦ <u>Ausblick:</u> Die derzeit noch hohen Produktionskosten für E-Fuels werden sinken, je mehr Anlagen in Betrieb gehen. Firmen sind angehalten, mehr zu investieren und Erzeugungskapazitäten zu schaffen.
Autobauer*in	♦ E-Fuels sind so entwickelt, dass ihre Eigenschaften den herkömmlich aus Erdöl gewonnenen Kraftstoffen Benzin, Diesel und Kerosin in nichts nachstehen. Die derzeit verbauten Verbrennungsmotoren benötigen nur wenig Anpassung, wenn überhaupt. So können E-Fuels problemlos herkömmliche Kraftstoffe ersetzen – abhängig von Preis und Verfügbarkeit der E-Fuels kann dies ganz oder anteilig geschehen. ♦ Klimaneutrale E-Fuels bieten eine vielversprechende Perspektive für den Erhalt der über Jahrzehnte entwickelten und kontinuierlich verfeinerten Verbrennungsmotortechnologie. Diese Alternative gewinnt insbesondere angesichts der EU-Verordnung zur Festlegung von CO₂-Emissionsnormen für neue Personenkraftwagen und leichte Nutzfahrzeuge an Bedeutung, die andernfalls das Ende dieser Antriebsform bedeuten würde. Nur durch E-Fuels können Verbrennungsmotoren den Anspruch der Klimaneutralität erfüllen, da bei der Verbrennung nur so viel Kohlenstoffdioxid freigesetzt wird, wie vorab im Herstellungsprozess gebunden wurde. ♦ Mit E-Fuels kann das bewährte Tankstellennetz erhalten bleiben, ebenso viele Arbeitsplätze in der Automobilindustrie.

	♦ <u>Ausblick:</u> Die Nachfrage nach synthetischen Kraftstoffen zeigt eine steigende Tendenz und wird in den kommenden Jahren voraussichtlich weiter zunehmen. Allerdings steht der Aufbau entsprechender Produktionskapazitäten noch am Anfang und erfordert erhebliche Investitionen. Um den Umstieg zu beschleunigen könnten steuerliche Anreize in Form einer niedrigen Besteuerung geschaffen werden. Dazu ist es wichtig, E-Fuels als klimaneutral einzustufen und die bei ihrer Synthese erreichte Kohlendioxid-Minderung steuerlich zu berücksichtigen – ein Aspekt, der in der aktuellen Gesetzgebung noch nicht berücksichtigt ist.
Moderator*innen	♦ Mögliche Einleitungssätze: <i>Für die einen repräsentieren sie den Triumph der Forschung, für andere stellen sie eine Verschwendung von Energie dar – E-Fuels, die synthetischen Kraftstoffe für Verbrennungsmotoren, polarisieren die öffentliche Meinung. Diese innovativen Treibstoffe könnten das Potential besitzen, die konventionellen aus Erdöl und Erdgas gewonnenen Benzine und Diesel abzulösen. In einer Zeit, die von geopolitischen Spannungen und begrenzten Ressourcen geprägt ist, erscheint diese Alternative zunächst vielversprechend. Dennoch entfacht das Thema eine intensive Debatte zwischen Befürworter*innen und Kritiker*innen. Unter dem Motto „Mit E-Fuels in Zukunft mobil...?!“ laden wir zu einer spannenden Diskussion ein. Wir freuen uns, Expert*innen aus verschiedenen Disziplinen begrüßen zu dürfen: Vertreter*innen aus dem Bereich der Chemie, des Umweltschutzes, der Geschichtswissenschaft, der Wirtschaft, der Verfahrenstechnik sowie aus der Automobilindustrie werden ihre Perspektiven einbringen und gemeinsam die Potentiale und Herausforderungen dieser Technologie erörtern.</i> ♦ Mögliche Impulsfragen: ♦ Was sind E-Fuels? Wozu werden sie gebraucht? Wer hat sie erfunden? Wie werden sie hergestellt? Was ist der Forschungsstand und was muss weiter optimiert werden? ♦ Warum ist eine „Verkehrswende“ nötig? Wären alle Umweltprobleme gelöst, wenn man auf Verbrennungsmotoren verzichtet? Wie war man früher mobil? ♦ Welche Bedeutung hat die chemische Industrie für die Menschheit? ♦ Wie realistisch ist es, dass Autos demnächst mit E-Fuels betankt werden und wie viel wird das kosten?

2.1	Führt die Diskussionsrunde zum Thema durch (Zeitrahmen ca. 20 Minuten). Bringt eure Position überzeugend und rhetorisch geschickt ein. Nehmt auch die Redebeiträge und Positionen der Anderen aktiv wahr.	S	E	K 2.2 3.2 3.4	B 1.1
-----	---	---	---	------------------------	----------

Die Diskussionsrunde ist abhängig von der Diskussionsfreudigkeit der Teilnehmenden. Als Lehrkraft sollte man sich hier zurücknehmen und nur steuernd eingreifen, falls die Streitkultur intolerabel zu werden droht.

2.2	Reflektiert im Nachgang den Verlauf der Diskussionsrunde, zum einen hinsichtlich der Argumente aus fachlicher Sicht und zum anderen nach gezeigtem Diskussionsverhalten. Wählt begründet aus, wen ihr in der Diskussionsrunde am überzeugendsten fandet. Nutzt dazu die Kriterien aus Material M 3.	S	E	K	B 1.2 1.3
-----	---	---	---	---	-----------------

Die Diskussionsrunde hat neben allen Sachfragen eine nicht zu unterschätzende emotionale Komponente. Auch dies sollte in einem Auswertungsgespräch zur Diskussionsrunde aufgefangen und reflektiert werden. Zudem ist stets die Unterscheidung zwischen eigener Meinung und angenommener Rolle präsent zu halten, zumal nicht auszuschließen ist, dass Lernende auch eine Rolle „einnehmen“, die sie persönlich nicht teilen. So ist im Nachgang zur Diskussionsrunde bewusst die „eingenommene“ Rolle wieder abzulegen.

2.3	Gebt ein Statement ab, ob sich eure eigene Position zur Verwendung von E-Fuels durch die in der Diskussionsrunde aufgezeigte Vielfalt an Argumenten gefestigt oder verändert hat.	S	E	K	B 2.2 3.1
-----	---	---	---	---	-----------------

Wenn am Ende die Einsicht wachsen könnte, dass es nicht die eine richtige Lösung gibt, dass verschiedene Positionen nebeneinander bestehen können und ein „Schwarz-Weiß-Denken“ zu kurz greift, dann wäre mit der Diskussionsrunde viel erreicht. Letztlich ist es mit E-Fuels wie mit vielen anderen technologischen Entwicklungen: Sie sind nicht per se gut oder schlecht.

5 Quellenangaben

- ◆ ARD. (2024, 1. Februar). *Carl Benz: Mit dem Motorwagen von Benz in die Welt*. ARD alpha. <https://www.ardalpha.de/wissen/geschichte/kulturgeschichte/carl-benz-automobil-motorwagen-nr-1-erfinder-100.html>
- ◆ ARD. (2024, 1. Februar). *Rudolf Diesel: Wie der Dieselmotor das Auto veränderte*. ARD alpha. <https://www.ardalpha.de/wissen/geschichte/kulturgeschichte/rudolf-diesel-dieselmotor-automobil-erfinder-100.html>
- ◆ BMWK. (2020, 15. Dezember). *Grüner Wasserstoff aus Chile mit Technologien „Made in Germany“*. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz. <https://www.bmwk-energie-wende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2020/12/Meldung/News1.html>
- ◆ Böff, M. (2023, 13. März). *E-Fuels: Wie sinnvoll sind synthetische Kraftstoffe?* tagesschau.de. <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/energie/efuels-kraftstoff-verbrennungsmotor-101.html>
- ◆ Dittmeyer, R. (o. D.). *Power-to-Liquid (E-Fuels)*. Karlsruher Institut für Technologie. <https://www.elab2.kit.edu/power2liquid.php>
- ◆ eFuel Alliance. (o. D.). *eFuels: Nachhaltig im doppelten Sinn*. eFuel Alliance. <https://www.efuel-alliance.eu/de/efuels>
- ◆ Europäische Kommission. (2023, 28. März). *EU-Staaten stimmen – endgültig – für emissionsfreie Autos ab 2035*. [Pressemeldung]. https://germany.representation.ec.europa.eu/news/eu-staaten-stimmen-endgultig-fur-emissionsfreie-autos-ab-2035-2023-03-28_de
- ◆ Future:Fuels. (2020, 17. April). *Synthese-Benzin aus Biomethanol*. Future:Fuels. <https://futurefuels.blog/im-labor/synthetisches-benzin-aus-biomethanol/>
- ◆ Haenel, M. W. (2005, 14. Dezember). *The return of a classic to fuel production. Max Planck Institute of Coal Research celebrates 80 years of Fischer-Tropsch Synthesis to make fuels out of coal*. Max-Planck-Gesellschaft. <https://www.mpg.de/511447/fischer-tropsch-synthesis-2005>
- ◆ Ilg, P. (2020, 7. März). *E-Fuels: Eine trügerische Hoffnung*. ZEIT ONLINE. <https://www.zeit.de/mobilitaet/2020-03/e-fuels-treibstoff-synthetik-nachhaltigkeit-umweltschutz>
- ◆ Kasten, P., & Kühnel, S. (2019). *Positionen zur Nutzung strombasierter Flüssigkraftstoffe (efuels) im Verkehr*. Öko-Institut e. V. <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Stakeholder-Positionen-e-fuels.pdf>
- ◆ Schneider, G. (o. D.). *E-Fuels und Kolbenmotor. Green Deal der EU setzt neue Energieteuerrichtlinie voraus*. Verband der Automobilindustrie. <https://www.vda.de/de/themen/klima-umwelt-und-nachhaltigkeit/wasserstoff-und-e-fuels/besteuerung-von-e-fuels>