**Beispiel für ein konkretisiertes Unterrichtsvorhaben**

**QUALIFIKATIONSPHASE GRUNDKURS – UNterrichtsvorhaben IV**

| **Q1 UV IV: Wasserstoff – Brennstoff der Zukunft**?**Inhaltsfeld:** **Elektrochemische Prozesse und Energetik** **Zeitbedarf:** ca. 19 Unterrichtsstunden à 45 Minuten | **Fachschaftsinterne Absprachen:****Schwerpunkte:**Erkenntnisprozesse und Ergebnisse interpretieren und reflektieren**Vernetzung*** Q1 UV I (Saure und basische Reiniger im Haushalt)
* Q1 UV III (Mobile Energieträger im Vergleich)
 |  |
| --- | --- | --- |
| **Inhaltliche Schwerpunkte:*** Elektrolyse
* alternative Energieträger
* energetische Aspekte: Erster Hauptsatz der Thermodynamik, Standardreaktionsenthalpien, Satz von Hess, heterogene Katalyse
 | **Ausgewählte Beiträge zu den Basiskonzepten:**[Auszug aus KLP Chemie (2022)]Chemische Reaktion:Das Konzept des chemischen Gleichgewichts wird durch die Betrachtung von Redoxgleichgewichten vertieft. Das Donator-Akzeptor-Prinzip wird anhand von Elektronenübertragungs-reaktionen konkretisiert und für die Erklärung elektrochemischer Prozesse herangezogen. Energie: Durch die energetische Betrachtung von Redoxreaktionen wird der Energieerhaltungssatz konkretisiert. Das Energiekonzept wird durch den Begriff der Standardbildungsenthalpie unter Beachtung des Satzes von Hess erweitert. Die Katalyse wird im Zusammenhang mit der Brennstoffzelle als heterogene Katalyse erweitert. |  |
| **Übergeordnete Kompetenzerwartungen:** Eine vollständige Auflistung der übergeordneten Kompetenzerwartungen befindet sich im KLP Chemie (2022).* S3, S7, S8, S 10, S12, S17
* E4, E7, E8, E11
* K3, K8, K9, K11, K12
* B2, B4
 |  |

| **Sequenzierung:*****Fragestellungen*** | **Kompetenzerwartungen des Kernlehrplans**Die Schülerinnen und Schüler | **Didaktisch-methodische Anmerkungen und Empfehlungen** |
| --- | --- | --- |
| *Wie viel Energie wird bei der Verbrennungsreaktion verschiedener Energieträger freigesetzt?* ca. 10 Ustd. | * interpretieren energetische Erscheinungen bei Redoxreaktionen auf die Umwandlung eines Teils der in Stoffen gespeicherten Energie in Wärme und Arbeit (S3, E11),
* ermitteln auch rechnerisch die Standardreaktionsenthalpien ausgewählter Redoxreaktionen unter Anwendung des Satzes von Hess (E4, E7, S17, K2).
 | **Kontext: Autoantriebe der Zukunft**Einstieg: „Autokauf“: Entwicklung von Kriterien für den Autokauf; Unterrichtsgang (z.B. Autohäuser, ADAC, Verbraucherberatung) oder digital [2] zur Informationsrecherche zu Wasserstoff, Erdgas, Autogas, Benzin und Diesel als Treibstoff (Elektroantriebe wurden im vorangegangenen UV betrachtet!)(mögliche Ergänzung: Dokumentation Die Zukunft der Autos – Aufbruch ins Elektrozeitalter? [1]) Treibstoffe unter der chemischen Lupe:Untersuchen der Verbrennungsreaktionen von Erdgas, Autogas, Wasserstoff, Benzin (Heptan) und Diesel (Heizöl):* Nachweis der Verbrennungsprodukte z. B. [3]
* Redoxreaktionen aufstellen und quantifizieren (Wdh. Oxidationszahlen, Ausbeuteberechnung)
* energetische Betrachtung der Redoxreaktionen (Grundlagen der chemischen Energetik: Prozessgrößen, Enthalpie, Kalorimetrie, Brennwert, Heizwert) [4]
* Ermittlung der Reaktionsenthalpie, (Standard-)

Reaktionsenthalpie und (Standard-) Verbrennungsenthalpie an einem Beispiel experimentell [5-9]* Anwendung des Satzes von Hess zur Berechnung der Verbrennungsenthalpie von Autogas, Erdgas, Benzin, Diesel und Wasserstoff [4]

mögliche Differenzierung des Kontextes: Wie heizen wir in der Zukunft? Ein Vergleich von Holz-, Erdgas-, Heizöl-, Brennstoffzellenheizung und Wärmepumpen  |
| *Wie funktioniert die Wasserstoffverbrennung in der Brennstoffzelle?*ca. 6 Ustd. | * erläutern den Aufbau und die Funktion ausgewählter elektrochemischer Spannungsquellen aus Alltag und Technik (Batterie, Akkumulator, Brennstoffzelle) unter Berücksichtigung der Teilreaktionen und möglicher Zellspannungen (S10, S12, K9),
* erklären am Beispiel einer Brennstoffzelle die Funktion der heterogenen Katalyse unter Verwendung geeigneter Medien (S8, S12, K11), (MKR 1.2)
* erläutern die Reaktionen einer Elektrolyse auf stofflicher und energetischer Ebene als Umkehr der Reaktionen eines galvanischen Elements (S7, S12, K8),
 | Wasserstoff als Autoantrieb: Verbrennungsreaktion in der BrennstoffzelleDemonstrationsversuch: Knallgasreaktion mit und ohne Katalysator [10]Erarbeitung der Funktion der heterogenen Katalyse auch auf energetischer Ebene [9] mit Modellanimation [10]Möglicher Exkurs: Das Döbereiner Feuerzeug [11]Versuch: Betrieb einer Brennstoffzelle [z.B. 12]Erarbeitung/ Auswertung: Aufbau und Funktion der Brennstoffzelle [12,13,14]; Energetische und stoffliche Betrachtung der Verbrennung von Wasserstoff in der PEM-Brennstoffzelle [13] unter Berücksichtigung des Aufbaus (Membran) und der Funktion des KatalysatorsSchülerversuch: Bestimmung des energetischen Wirkungsgrad der PEM- Brennstoffzelle z.B. [15]Wie wird der Wasserstoff gewonnen?Versuch: Elektrolyse von Wasser z. B. [9]Energetische und stoffliche Betrachtung der Elektrolyse von Wasser [15-17] Mögliche Differenzierung: Einfluss des Katalysator auf die Effizienz der Wasserelektrolyse [17] |
| *Welche Vor- und Nachteile hat die Verwendung der verschiedenen Energieträger?*ca. 3 Ustd. | * bewerten die Verbrennung fossiler Energieträger und elektrochemischer Energiewandler hinsichtlich der Effizienz und Nachhaltigkeit auch mithilfe von recherchierten thermodynamischen Daten (B2, B4, E8, K3, K12), (VB D Z1, Z3)
 | Internetrecherche mit festgelegter Linkliste, die auch eine Beurteilung der Quellen möglich macht [18-24] und Berechnung zu verschiedenen Antriebstechniken (u. a. Berechnung des Energiewirkungsgrads [15]) auch unter Einbeziehung der Ergebnisse des Elektroantriebs aus dem vorangegangenen UV [5,7,18-21]. Podiumsdiskussion zum Einsatz der verschiedenen Energieträger im Auto mit Blick auf eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität mit festgelegten Positionen / Verfassen eines Beratungstextes (Blogeintrag) für den Autokauf mit Blick auf eine ressourcenschonende Treibhausgasneutralität. |

**Angegebenes und weiterführendes Material:**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Nr**. | **URL / Quellenangabe** | **Kurzbeschreibung des Inhalts / der Quelle** |
| 1 | <https://www1.wdr.de/mediathek/video-die-zukunft-der-autos--aufbruch-ins-elektrozeitalter-100.html> | Dieser Film von Planet Wissen (24.09.2020) gibt ausgehend von einem historischen Rückblick zur Automobilentwicklung einen Überblick über Perspektiven der Antriebsentwicklung der Zukunft: Plug-in-Hybrid, Brennstoffzelle, Elektroantrieb, synthetische Kraftstoffe. Die 60minütige Sendung integriert vier Dokumentationen: „Die Zukunft der Autos – Aufbruch ins Elektrozeitalter?“, „Ein neues Auto – aber welches?“, „E-Mobil – Ökobilanz“ und „CO2-neutrale Treibstoffe – Ersatz für Diesel und Benzin“.  |
| 2 | <https://www.alternativ-mobil.info/alternative-antriebe/vergleich-alternative-antriebe> | Mit dem Tool *Vergleich alternative Antriebe* der DENA kann man spielerisch Reichweite, anfallende Emissionen sowie zu erwartende Kosten von alternativen Antrieben und konventionellen Antrieben miteinander vergleichen. |
| 3 | <https://www.experimentas.de/> | Experimentas ist eine Sammlung von Experimenten für den schulischen Chemieunterricht. Detailliertere Informationen zum jeweiligen Experiment können über einen Klick auf dessen Namen eingesehen werden. Mit dem PDF-Icon ganz links kann direkt eine Vorlage für die eigene Gefährdungsbeurteilung als PDF-Datei geöffnet und heruntergeladen werden. In dieser Sammlung finden sich mehrere Experimente zum Nachweis der Verbrennungsprodukte und zur Elektrolyse von Wasser.  |
| 4 | <https://www.chemieunterricht.de/dc2/energie/enthal-verbr.htm> | Diese Internetseiten bieten viele Informationen zur energetischen Betrachtung von chemischen Reaktionen. Besonders relevant ist hier die Unterscheidung von Reaktions- und Verbrennungsenthalpien und die Anwendung des Satzes von Hess.  |
| 5 | T. Grofe & I. Rubner. (2018). Die Energieträger Wasserstoff, Erdgas und Autogas im Vergleich Teil 1. CHEMKON 8. 317-323. | In diesem Artikel wird eine vergleichende Untersuchung der drei Energieträger Wasserstoff, Erdgas und Autogas hinsichtlich ihrer Verbrennungsenthalpie mit einfachen Schülerexperimenten vorgestellt. Dabei werden die massenbezogene und die volumenbezogene bzw. stoffmengenbezogene Energiedichte in den Blick genommen, die sich jeweils unterscheiden. Die Experimente sind mit sehr einfachen Mitteln durchführbar und eignen sich als Schülerübung sowie als Demonstrationsversuche. |
| 6 | <https://www.magmed.de/.cm4all/uproc.php/0/PDF_Dokumente/Experimente/Ergaenzung%20zum%20CHEMKON-Artikel.pdf?cdp=a&_=1694917755> | Diese Internetseite beinhaltet die online-Ergänzung zum CHEMKON-Artikel [5]. Die im Artikel beschriebenen Versuche werden hier durch Fotos und Diagramme ergänzt.  |
| 7 | T. Grofe & I. Rubner. (2020). Die Energieträger Wasserstoff, Erdgas und Autogas im Vergleich Teil II. CHEMKON 7. 276-281. | In diesem Artikel werden die Energieträger Wasserstoff, Erdgas und Autogas anhand von einfachen Schulexperimenten hinsichtlich ihrer Verbrennungsenthalpie untersucht. |
|  8 | <https://www.magmed.de/.cm4all/uproc.php/0/PDF_Dokumente/Experimente/Online-Ergaenzungen%20zum%20Chemkon-Artikel%20II.pdf?cdp=a&_=1722c1c32a8><https://www.magmed.de/.cm4all/uproc.php/0/PDF_Dokumente/Experimente/Bilderbuch%20der%20Versuchsaufbauten%20und%20Messergebnisse%20CHEMKON%207-2021.pdf?cdp=a&_=17cf5014a78> | Diese Internetseite beinhaltet die online-Ergänzung zum CHEMKON-Artikel [7]. Die im Artikel beschriebenen Versuche werden hier durch Fotos, weitere Hinweise und Diagramme ergänzt. |
| 9 | <https://chemie.osz-biv.de/2012-13/ch22013/katalyse.html> | Versuchsbeschreibung und Filme der Versuche zur Katalyse der Knallgasreaktion.  |
| 10 | <https://static.klett.de/software/shockwave/prisma_chemie_ol/pc_pc02an310/index.html> | Hier findet sich eine interaktives Experiment und eine Modellanimation zur Katalyse am Beispiel der mit Platin katalysierten Knallgasreaktion.  |
| 11 | <https://www.youtube.com/watch?v=izTLbwKGDcw> | Ein Erklärfilm des Deutschen Museums zur Katalyse im Döbereiner Feuerzeug. Hier wird in 180 Minuten der Aufbau und die Funktion des Döbereiner Feuerzeugs erklärt.  |
| 12 | <https://www.vci.de/fonds/downloads-fonds/unterrichtsmaterialien/2020-09-unterrichtsmaterial-chemie-energie-textheft.pdf> | Informationsserie des Fonds der chemischen Industrie „Chemie – Schlüssel zur Energie von morgen“; Grundlagen chemischer Energetik mit Arbeitsblättern, Experimenten und Unterrichtshinweisen |
| 13 | <https://www.planet-schule.de/sf/multimedia-interaktive-animationen-detail.php?projekt=brennstoffzelle> | Diese Internetseite beinhaltet eine interaktive Animation zur Funktion der Brennstoffzelle. Weitere Informationen und Veranschaulichungen zu dem Aufbau, der Funktion, der Thermodynamik und der Leistung einer PEM-Brennstoffzelle lassen sich auch auf der Internetseite [www.pemfc.de/pemfc.html](http://www.pemfc.de/pemfc.html) finden. Urheber des Angebots ist Dr. Alexander Kabza, am Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW) in Ulm verantwortlich für das Fachgebiet Brennstoffzellen-Systeme ist. |
| 14 | <https://www.max-wissen.de/max-hefte/techmax-16-brennstoffzelle/> | In diesem Techmax-Heft zur Brennstoffzelle wird die Entwicklung der Brennstoffzelle, vorrangig der PEM-Zelle vom 18. Jhd. 6 bis heute dargestellt. Dabei wird auch auf die Nafion-Membran eingegangen. Des Weiteren finden sich Links zu Aufgabensammlungen, dem Vergleich zwischen verschiedener Antriebe, Experimente zu Brennstoffzellen und weitere Materialien der Wasserstofftechnologie, sowie Links zu mehreren Erklärfilmen.  |
| 15 | <https://www.hydrogeit-verlag.de/wp-content/uploads/2019/04/9783937863139.pdf> | Hier finden sich Schüler- und Demonstrationsexperimente zur Funktion der Brennstoffzelle und zum Messen des energetischen Wirkungsgrads von Elektrolyseur und PEM-Brennstoffzelle. |
| 16 | <https://www.max-wissen.de/max-media/brennstoffzelle-und-elektrolyse-max-planck-cinema/> | Erklärvideo zur Funktion der Brennstoffzelle und zum Ablauf der Elektrolyse von Wasser. |
| 17 | <https://www.edu.sot.tum.de/fileadmin/w00bed/edu/Schule/Science_Labs/Versuchsanleitungen/Brennstoffzelle_Schueler_09-2013.pdf> | Skript des TUM Science Labs in München zum Schülerpraktikum Brennstoffzellen unter Berücksichtigung der elektrischen Wirkungsgradberechnung.  |
| 18 | <https://www.tum.de/die-tum/aktuelles/pressemitteilungen/details/32998> | Bericht der technischen Universität München über Forschungsergebnisse der Steigerung der Effizienz der Brennstoffzelle durch eine Kupferschicht unter der Oberfläche von Platin-Elektroden |
| 19 | <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/kraftstoffe/wasserstoff-im-verkehr-haeufig-gestellte-fragen> | Auf der Website des Umweltbundesamt findet man aktuelle Informationen zum Einsatz von Wasserstoff im Verkehrssektor. |
| 20 | <https://energy-charts.info/?l=de&c=DE> | Diese interaktive Seite eignet sich für die Recherche zu den verschiedenen Energieträgern. Hier wird sowohl die Stromproduktion aus verschiedenen Energieträgern als auch die Börsenstrompreise dargestellt. Die passende Darstellung der Grafiken kann selbst konfiguriert werden, indem ein oder mehrere Energieträger ausgewählt, zwischen absoluter und prozentualer Darstellung gewechselt und Zahlenwerte in einem eingeblendeten Fenster abgelesen werden können. Außerdem kann der Anzeigezeitraum für die Grafiken ausgewählt werden. |
| 21 | <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgas-emissionen-in-deutschland> | Auf der Website des Umweltbundesamt findet man diverse Daten zu Treibhausgasemissionen einschließlich der deutschland- und europaweiten Entwicklung der Kohlenstoffdioxidemission.  |
| 22 | <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Dossier/wasserstoff.html> | Diese Website beinhaltet Informationen zur direkten Energiewende und zum Ausbau der Wasserstofftechnologie. |
| 23 | <https://www.swr3.de/aktuell/fake-news-check/faktencheck-sind-e-autos-doch-klima-killer-co2-bei-herstellung-problematisch-100.html> | Die Website analysiert im Faktencheck verschiedene Aussagen zur Ökobilanz von Elektroautos.  |
| 24 | <https://www.youtube.com/watch?v=q6gCdCC-HWo> | Die ARTE-Dokumentation „Umweltsünder E-Auto“ setzt sich kritisch, aber auch sehr einseitig mit dem Elektroauto auseinander.  |

Letzter Zugriff auf die URL 18.07.2022

*[Diese Liste/Diese Veröffentlichung/Dieses Angebot enthält Links zu externen Websites Dritter, auf deren Inhalte QUA-LiS NRW keinen Einfluss hat. Dementsprechend obliegt die Einhaltung der datenschutzrechtlichen Regelungen dem jeweiligen Anbieter bzw. Betreiber. Im Sinne der gesetzlichen Gesamtverantwortung für den Datenschutz an Schulen prüfen Schulleitungen daher vor einem Einsatz der genannten Quellen eigenverantwortlich, inwieweit und unter welchen Bedingungen die Nutzung der genannten Quellen für den beabsichtigten Zweck datenschutzrechtskonform möglich ist. Ggf. resultiert aus einer solchen Prüfung im konkreten Fall, dass die allgemeine Nutzung weitestgehend nur auf freiwilliger Basis möglich ist, d.h. Schülerinnen und Schüler (oder deren Erziehungsberechtige) bzw. Lehrerinnen und Lehrer nicht oder nur eingeschränkt zur Nutzung verpflichtet werden können.]*