**Beispiel für ein konkretisiertes Unterrichtsvorhaben**

**Einfürhungsphase – UNterrichtsvorhaben iV**

| **EF UV IV: Kohlenstoffkreislauf und Klima**  **Inhaltsfeld: Reaktionsgeschwindigkeit und chemisches Gleichgewicht**  **Zeitbedarf:** ca. 20 Unterrichtsstunden à 45 Minuten | **Fachschaftsinterne Absprachen:**  **Schwerpunkte:**   * Beurteilung von Quellen auch in Hinblick auf die Urheberschaft * Bewertung der gesellschaftlichen Relevanz und ökologischen Bedeutung der angewandten Chemie * Präsentation im Rahmen der Schulprojektwoche   **Vernetzung**   * EF UV II (Reaktionsgeschwindigkeit und deren Beeinflussung) * EF UV III (Chemisches Gleichgewicht) * Q1 UV IV (Wasserstoff – Brennstoff der Zukunft? |  |
| --- | --- | --- |
| **Inhaltliche Schwerpunkte:**   * Gleichgewichtsreaktionen: Prinzip von Le Chatelier; Massenwirkungsgesetz (Kc) * natürlicher Stoffkreislauf * technisches Verfahren * Steuerung chemischer Reaktionen: Oberfläche, Konzentration, Temperatur und Druck * Katalyse | **Ausgewählte Beiträge zu den Basiskonzepten:**  [Auszug aus KLP Chemie (2022)]  Chemische Reaktion:  […] Das Prinzip des Stoffkreislaufes als Abfolge von chemischen Reaktionen berücksichtigt auch chemische Gleichgewichtsreaktionen.  Energie:  Die Wirkungsweise eines Katalysators wird im Zusammenhang mit der Beeinflussung der Reaktionsgeschwindigkeit präzisiert |  |
| **Übergeordnete Kompetenzerwartungen:**  Eine vollständige Auflistung der übergeordneten Kompetenzerwartungen befindet sich im KLP Chemie (2022).   * S3, S5, S7, S8, S9, S15 * E12 * K1, K2, K3, K4, K10, K12, K13 * B2, B3, B4, B10, B12, B13, B14 |  |

| **Sequenzierung:**  ***Fragestellungen*** | **Kompetenzerwartungen des Kernlehrplans**  Die Schülerinnen und Schüler | **Didaktisch-methodische Anmerkungen und Empfehlungen** |
| --- | --- | --- |
| *Welche Auswirkungen hat ein Anstieg der Emission an Kohlenstoffdioxid auf die Versauerung der Meere?*  ca. 12 Ustd. | * beschreiben die Merkmale eines chemischen Gleichgewichtes anhand ausgewählter Reaktionen (S7, S15, K10), * erklären anhand ausgewählter Reaktionen die Beeinflussung des chemischen Gleichgewichts nach dem Prinzip von Le Chatelier auch im Zusammenhang mit einem technischen Verfahren (S8, S15, K10), * analysieren und beurteilen im Zusammenhang mit der jeweiligen Intention der Urheberschaft verschiedene Quellen und Darstellungsformen zu den Folgen anthropogener Einflüsse in einem natürlichen Stoffkreislauf (B2, B4, S5, K1, K2, K3, K4, K12), (MKR 2.3, 5.2) * bewerten die Folgen eines Eingriffs in einen Stoffkreislauf mit Blick auf Gleichgewichtsprozesse in aktuell-gesellschaftlichen Zusammenhängen (B12, B13, B14, S5, E12, K13). (VB D Z3) | Diagnose zum chemischen Gleichgewicht und zur Reaktionsgeschwindigkeit; Wiederholung der Reaktion von Säuren mit Kalk  **Kontext: Die Versauerung der Meere**  Einstieg: Video „Saure Meere durch CO2?“ oder Artikel „Versauerung der Ozeane – Geochemisch unmöglich!“ des „Europäischen Instituts für Klima und Energie e. V. (EIKE) [1,2]   * Zusammenfassung der Fakten des Artikels oder Videos * Sammlung von Fragen für einen Faktenscheck z. B. zur Bedeutung der Ozeane für den Kohlenstoffkreislauf, zur Auswirkung von Kohlenstoffdioxid auf die Versauerung der Meere, zu Einflüssen gelöster Mineralstoffe auf den pH-Wert   Bedeutung der Ozeane für den Kohlenstoffkreislauf [3]   * Materialgestützte Erarbeitung des natürlichen Kohlenstoffkreislaufs * Einfluss der Kohlenstoffdioxidemissionen auf den natürlichen Kohlenstoffkreislauf   Fokussierung auf die Bedeutung der Ozeane als Kohlenstoffdioxidspeicher - Untersuchung der Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser [3, 4, 5]   * Erklärung der guten Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser anhand der Molekülstrukturen * Erarbeitung des Kohlenstoffdioxidgleichgewichts am Beispiel von Mineralwasser (physikalisches Löslichkeitsgleichgewicht von Kohlenstoffdioxid, chemisches Gleichgewicht der Reaktion Kohlenstoffdioxid und Wasser, chemisches Gleichgewicht der Reaktion Hydrogencarbonat-Ionen zu Carbonat-Ionen)   Erarbeitung der Verschiebung des Gleichgewichts in Abhängigkeit von Druck, Temperatur und Konzentration (Prinzip von Le Chatelier) am Beispiel der Mineralwasserflasche  Übertragung des Gelernten auf die Ozeane [3, 5]   * Physikalische Kohlenstoffdioxidpumpe * Fakultativ: Einfluss des Salzgehaltes auf die Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid * Einfluss des pH-Wertes auf die Gleichgewichtslage der Kohlenstoffdioxid/Hydrogencarbonat/Carbonat-Gleichgewichte * Folgen der Versauerung der Meere (z. B. Zerstörung der Korallenriffe) [5,6]   Rückbezug zum Eingangsartikel   * Faktenscheck: Welche Aussagen des Videos bzw. des Artikels sind fachlich korrekt, welche nicht? (Einfluss gelöster Alkali- und Erdalkali-Ionen auf den pH-Wert)   Kriteriengeleitete Beurteilung der Internetpräsenz des Europäischen Instituts für Klima und Energie (EIKE) [7] |
| *Welchen Beitrag kann die chemische Industrie durch die Produktion eines synthetischen Kraftstoffes zur Bewältigung der Klimakrise leisten?*  *ca. 8 Ustd.* | * beurteilen den ökologischen wie ökonomischen Nutzen und die Grenzen der Beeinflussbarkeit chemischer Gleichgewichtslagen in einem technischen Verfahren (B3, B10, B12, E12), * erklären anhand ausgewählter Reaktionen die Beeinflussung des chemischen Gleichgewichts nach dem Prinzip von Le Chatelier auch im Zusammenhang mit einem technischen Verfahren (S8, S15, K10), * erklären den Einfluss eines Katalysators auf die Reaktionsgeschwindigkeit auch anhand grafischer Darstellungen (S3, S8, S9), * bewerten die Folgen eines Eingriffs in einen Stoffkreislauf mit Blick auf Gleichgewichtsprozesse in aktuell-gesellschaftlichen Zusammenhängen (B12, B13, B14, S5, E12, K13). (VB D Z3) | **Kontext: Die internationale Schifffahrt: - Einer der größten CO2-Emittenten**  Einstieg: „Der Mythos angeblich klimafreundlicher Containerschiffe“ [8, 9]: Arbeitsteilige Identifizierung von Problemen zum Antrieb der Containerschiffe mit Schweröl und Diesel sowie entsprechender Lösungsvorschläge auf Grundlage der ausgewiesenen Materialien führt zu Vorschlägen im Bereich der Schifffahrt auf nachhaltige Kraftstoffe wie *Wasserstoff, Ammoniak* oder *Methanol* zur Verbesserung der Klimabilanz umzusteigen.  Ableitung der Problemstellung: Wie wird Methanol herkömmlich und wie klimafreundlich hergestellt? [10, 11]  Materialgestützte Erarbeitung der herkömmlichen Methanolsynthese („graues Methanol“) [12, 13, 14, 15] durch Herstellung des Methanols auf der Basis von Synthesegas (CO/H2) und einem fossilen Brennstoff:   * Thematisierung der Präferenz für Erdgasals Syntheserohstoff aus ökonomischen Gründen und ggf. damit zusammenhängend auch Problematisierung der Ressourcenknappheit und -abhängigkeit in aktuellen Zusammenhängen. * Optionale Thematisierung der Umsetzung des Erdgases zum Synthesegas [14] * Thematisierung der katalytischen Herstellung von Methanol aus Synthesegas über exotherme Gleichgewichtsreaktionen [15]:   Arbeitsgleiche Gruppenarbeit:Diskussion der Gleichgewichtsreaktionen in „Forschergruppen“ zwecks Erarbeitung eines Vorschlags für die technische Umsetzung auf Grundlage einer differenzierten Betrachtung der Gleichgewichtslagen und möglicher Einflüsse auf die Gleichgewichtslagen  Präsentation und Diskussion erarbeiteter Lösungsvorschläge im Plenum und anschließender Abgleich durch materialgestützte Erarbeitung der tatsächlichen Prozessführung  Angeleitete Internetrecherche zur Herstellung von „Green Meth“ [9, 16, 11] nach Aufwurf der Problemstellung: Wie kann Methanol klimafreundlich hergestellt werden?   1. Nutzung des klimaschädlichen Gases CO2 aus anderen laufenden Prozessen oder aus der Luft als C1-Baustein (also Kohlenstoffquelle der organischen Chemie) und 2. aus erneuerbaren Energien gewonnener Wasserstoff („Grüner Strom“ aus Windkraft, Solaranlagen oder Wasserkraftwerken)   Sicherung grundsätzlicher Vor- und Nachteile zum Einsatz von Methanol in der Schifffahrtstechnik auf der Grundlage eines ausgewählten Quellenmaterials [16, 19 – 25]  Möglicher Transfer: Anwendung des Gelernten auf die Ammoniaksynthese und das Haber-Bosch-Verfahren; der Transfer kann optional in die nachfolgende Bewertung einbezogen werden (Vor- und Nachteile von Ammoniak als Alternativvorschlag zu Methanol)  Die abschließende Bewertung umfasst den Ansatz von „green meth“ ebenso wie den konkreten Einsatz als Treibstoff in der Schifffahrt [24, 25]: Arbeitsteiliges Anfertigen eines „Ausstellerstandes“ mit dem Titel „Ein möglicher Beitrag der chemischen Industrie zum Vorantreiben des Klimaschutzes“ für einen Schulprojekttag zum Klimawandel auf der Grundlage des durchgeführten Unterrichtsvorhabens. |

**Angegebenes und weiterführendes Material:**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Nr**. | **URL / Quellenangabe** | **Kurzbeschreibung des Inhalts / der Quelle** |
| 1 | <https://www.youtube.com/watch?v=DGxAzna4LNs> | Video des Europäischen Instituts für Klima und Energie (Homepage einer Gruppe von Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftlern, die die Klimakrise abstreiten); belegt angeblich, dass es keine Versauerung der Meere gibt; erweckt den Eindruck von Fachkompetenz |
| 2 | <https://eike-klima-energie.eu/2014/11/30/versauerung-der-ozeane-geo-chemisch-unmoeglich/> | Artikel des Europäischen Instituts für Klima und Energie (Homepage einer Gruppe von Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftlern, die die Klimakrise abstreiten), der angeblich wissenschaftlich belegt, dass eine Versauerung der Meere unmöglich sei; sehr gut für einen Einstieg und zur Beurteilung der Quelle geeignet |
| 3 | <https://www.ipn.uni-kiel.de/de/das-ipn/abteilungen/didaktik-der-biologie/materialien-1/09_Begleittext_oL.pdf> | Umfangreiches Material der Universität Kiel (IPN) mit einem Begleittext für Lehrkräfte zum Kohlenstoffkreislauf einschließlich Arbeitsblätter und Experimente z. B. zur Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser, zur Beeinflussung der verschiedenen chemischen Gleichgewichte (Kohlenstoffdioxid/Hydrogencarbonat/Carbonat), |
| 4 | <https://www.lncu.de/index.php?cmd=courseManager&mod=course&action=learn&courseId=25> | Verschiedene Experimente zum chemischen Gleichgewicht u. a. zur Druck-, Temperatur- und pH-Wert-Abhängigkeit der Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid in Wasser einschließlich der Auswertung der Beobachtungen auf Teilchenebene |
| 5 | <https://www.tu-braunschweig.de/agnes-pockels-labor/themen-experimente/experimente-zum-klimawandel> | Unterrichtsmaterial des Agnes-Pockels-Schülerlabor der Uni Braunschweig zum Klimawandel, darunter Experimente zur Auswirkung der Versauerung der Meere auf die kalkbildenden Meeresorganismen |
| 6 | <https://www.awi.de/im-fokus/ozeanversauerung/ozeanversauerung-der-boese-zwilling-der-klimaerwaermung.html> | Information des Alfred-Wegener-Instituts zur Auswirkung der Versauerung der Meere auf kalkbildende Meeresbewohner |
| 7 | <https://eike-klima-energie.eu/ueber-uns/> | Homepage des Europäischen Instituts für Klima und Energie; Zusammenschluss von Personen aus verschiedenen Bereichen (u. a. Naturwissenschaften, Wirtschaftswissenschaften, Politik), die die Behauptung eines „menschengemachten Klimawandels“ als naturwissenschaftlich nicht begründbar und daher als Schwindel gegenüber der Bevölkerung ansehen |
| 8 | <https://www.nabu.de/umwelt-und-ressourcen/verkehr/schifffahrt/containerschifffahrt/16646.html> | Dieser Artikel des NABU entlarvt die angebliche Klimafreundlichkeit der internationalen Schifffahrt und beleuchtet deren Beitrag zur Klimakrise unter verschiedenen Aspekten. Über die Problematisierung der Verwendung von Schweröl und dessen möglicher Ersatz durch Diesel oder LNG werden technische und politische Lösungen thematisiert und die zeitnahe Herstellung und Verwendung alternativer Treibstoffe wie bspw. Methanol fokussiert. |
| 9 | <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/unternehmen/schifffahrt-klimaziele-co2-ausstoss-101.html> | Dieser Beitrag problematisiert ebenfalls den recht hohen Eintrag von Kohlenstoffdioxid über die Schifffahrt: wäre die internationale Schifffahrt ein Land, käme sie im Ranking der größten CO2-Emittenten auf Platz 6. Damit eignet sich dieser Artikel ebenfalls als möglicher Einstieg für das vorliegende Unterrichtsvorhaben. |
| 10 | <https://www.essen.de/meldungen/pressemeldung_1104623.de.html> | Bericht *Zukunft ahoi! Grüne Hauptstadt-Schiff schippert mit Methanolantrieb über den Baldeneysee* über ein Ausflugsschiff auf dem Baldeneysee, das mit Methanol-Brennstoffzelle angetrieben wird. Mit diesem Artikel lässt sich zur Problemstellung „graues“ oder „grünes“ Methanol überleiten. |
| 11 | <https://www.vivis.de/wp-content/uploads/EaA17/2020_EaA_421-440_Lehner.pdf> | Veröffentlichung enthält neben der Information über den aktuellen und prognostizierten Bedarf an Methanol ein ausführliches Kapitel zur Herstellung von „grünem“ Methanol. Hilfreich sind auch anschauliche Fließschemata zur Darstellung der Prozessketten. |
| 12 | <https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Methanolherstellung> | Ausführliche Beschreibung der Herstellung von Methanol aus Synthesegas einschließlich verschiedener Herstellungsverfahren für das Synthesegas aus Erdgas oder Holz; |
| 13 | Arpe, Weissermel: Industrielle Organische Chemie. Bedeutende Vor- und Zwischenprodukte. 5., vollst. Überarbeitete Aufl. Weinheim u.a.: Wiley-VCH 1998, S.15 ff und S.31-34. | Im Fachbuch finden sich Darlegungen zur Auswahl des einzusetzenden Rohstoffes, im gegebenen Fall zur Präferenz für Erdgas, sowie Ausführungen zur Synthesegasherstellung, deren Thematisierung optional möglich ist. Die Erarbeitung der Prozessschritte vom Erdgas zum Methanol kann bezüglich der Synthesegasherstellung und Methanolsynthese auf der Grundlage von Auszügen aus den Lehrwerken [5 und 6] dann auch arbeitsteilig erfolgen. |
| 14 | Baerns, Behr, Brehm et al.: Technische Chemie, zweite, erweiterte Auflage, Weinheim u.a.: Wiley-VCH 2013, S.581-585. | Darstellung der Methanolsynthese, die auf den angegebenen Seiten verständlich aufbereitet und somit auch einer Bearbeitung durch Schülerinnen und Schüler zugänglich ist. Dort aufgeführte Informationen zu möglichen Nebenreaktionen können je nach angestrebter Tiefe der Behandlung im Unterricht berücksichtigt werden. |
| 15 | Pfeifer, Schaffer und Wlotzka: Vom Holzgeist zum nachhaltigen Energieträger. Synthese, Eigenschaften und Verwendung von Methanol. In: NiUCh 175 (2020) 31, S.37-42. | Der Artikel beleuchtet die Bedeutsamkeit des Methanols als nachhaltigen Energieträger, da er nicht nur aus fossilen Brennstoffen, sondern alternativ aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt werden kann. Neben Experimenten zum Nachweis und der Verbrennung von Methanol enthält der Artikel ein übersichtliches Fließschema zur Methanolsynthese über Synthesegas ausgehend von Biomasse sowie ein Arbeitsblatt zum Einsatz von Methanol in Brennstoffzellen. |
| 16 | <https://greenshipping-niedersachsen.de/wp-content/uploads/2021/02/Methanol-Uebersicht_V2_final.pdf> | Diese Quelle legt dar, dass grünes Methanol im Grundsatz eine klimaneutrale und nahezu emissionsfreie Schifffahrt ermöglichen kann und aufgrund der technisch weniger aufwendigen Umrüstung der Schiffe auf LNG oder Wasserstoff sowie der möglichen Nutzung einer bereits vorhandenen Infrastruktur gegenüber diesen Alternativen von Vorteil ist. |
| 17 | <https://www.spiegel.de/wissenschaft/technik/das-erste-deutsche-seeschiff-das-mit-methanol-faehrt-a-6a714fc5-7552-46f3-a4e2-45acd8fc9ba4> | Artikel über den Forschungskutter Uthörn, der bereits mit Methanol betrieben wird. Hier wird u. a. auf den Vorteil hingewiesen, dass im Falle einer Havarie im Meer vorhandene Bakterien das dann auslaufende Methanol zersetzen würden. |
| 18 | <https://www.maritimes-cluster.de/fileadmin/user_upload/Dokumente/Studie-Potenzialanalyse-Methanol-Schifffahrt-2018.pdf> | Dieses Strategiepapier liefert Lehrenden Hinweise zu aktuellen Überlegungen bezüglich der Umsetzung einer emissionsfreien Schifffahrt unter Nutzung von Methanol, die didaktisch aufbereitet werden können. |
| 19 | <https://www.ndr.de/nachrichten/info/Methanol-statt-Diesel-So-faehrt-ein-Schiff-klimafreundlich,methanolschiffe100.html> | Artikel zu den aktuellen Entwicklungen im Bereich Weiterentwicklung der Schifffahrt anhand des Beispiels Uthörn II. |
| 20 | <https://www.basf.com/global/de/media/news-releases/2019/05/p-19-218.html> | Informationsflyer von BASF, die maßgeblich auch an der Weiterentwicklung der Herstellung von klimafreundlichem Methanol beteiligt sind. |
| 21 | <https://www.vci.de/fonds/downloads-fonds/unterrichtsmaterialien/2020-09-unterrichtsmaterial-chemie-energie-textheft.pdf> | In diesem Heft wird die Wechselbeziehung von Chemie und Energie behandelt. Die Grundlagen der chemischen Energetik werden erklärt und durch Arbeitsblätter und Unterrichtshinweise ergänzt. Der Artikel zu POWER to X beleuchtet noch einmal grundlegend die Idee, sich vom Einsatz fossiler Brennstoffe für Treibstoffe zugunsten synthetisch hergestellter Treibstoffe zu verabschieden. |
| 22 | <https://www.konstruktion-entwicklung.de/geschafft-methanol-aus-wasserstoff-und-kohlendioxid> | Die Seite verweist auf neueste Entwicklungen und die Forschung der Hochschule Stralsund zur „One-Step-Conversion“ von Methanol aus Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid. |
| 23 | <https://www.cleanthinking.de/methanol-energietraeger-fuer-die-dritte-industrielle-revolution/> | Dieser Artikel beleuchtet die Vorteile von „erneuerbarem Methanol“ gegenüber grünem Wasserstoff. |
| 24 | <https://www.schulentwicklung.nrw.de/materialdatenbank/material/view/6094> | Folien mit übersichtlichen Abbildungen zur Gewinnung von Methanol aus regenerativen Quellen. In Auszügen nutzbar als Vorlage der Erstellung eines Advanced Organizers durch die Lehrkraft. |
| 24 | <https://www.dlr.de/content/de/downloads/publikationen/broschueren/2022/kurzstudie-maritime-treibstoffe.pdf?__blob=publicationFile&v=4> | Zur Diskussion von Vor- und Nachteilen des Einsatzes von Methanol im Bereich der Schifffahrt. |

Letzter Zugriff auf die URL 23.01.2023

*[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.]*