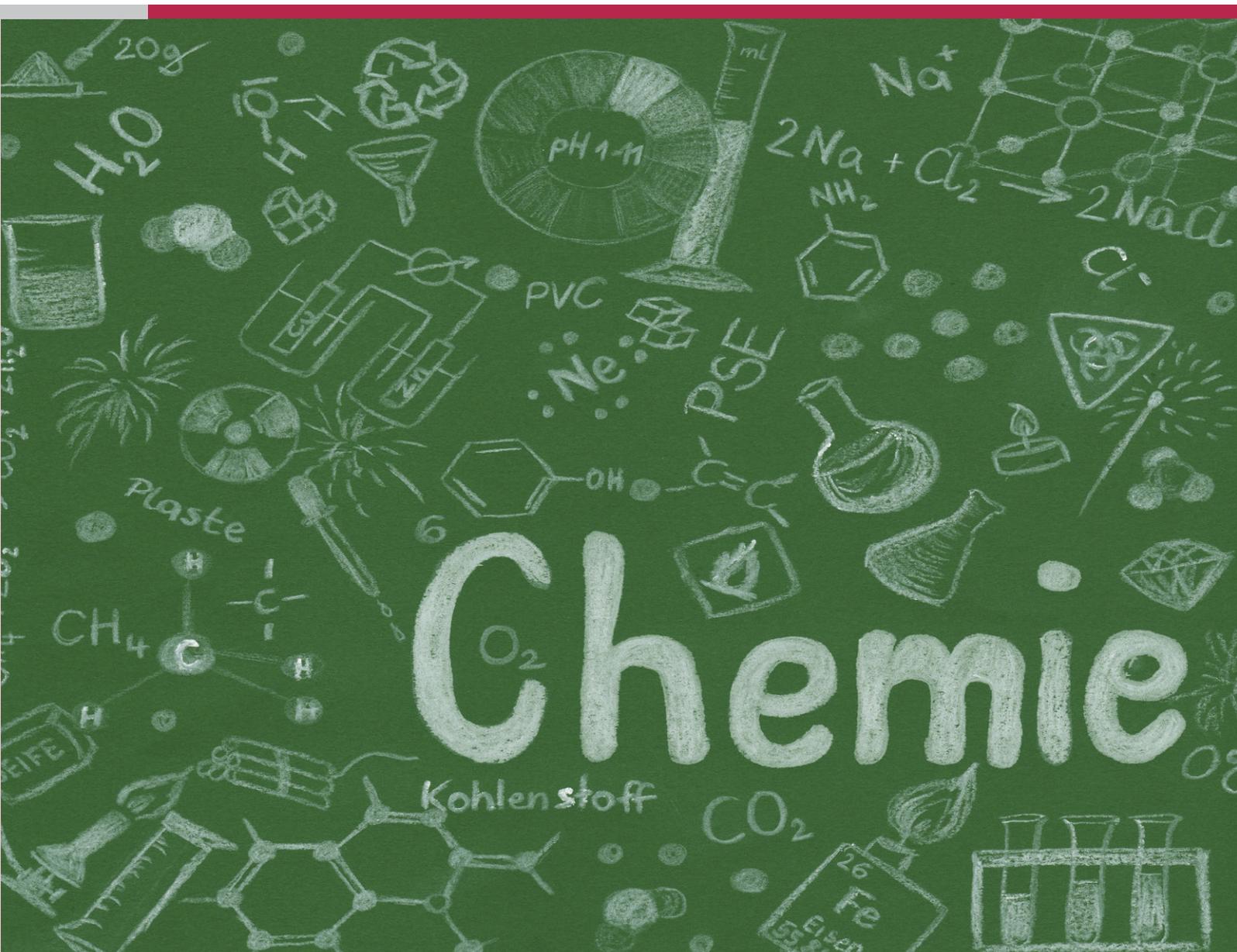




HEIZEN UND ANTREIBEN

Handreichung zur Umsetzung des Lehrplans Chemie – Themenfeld 3



In den PL-Informationen werden Ergebnisse veröffentlicht, die von Lehrerinnen und Lehrern aller Schularten unter Einbeziehung weiterer Experten erarbeitet und auf der Grundlage der aktuellen pädagogischen oder fachdidaktischen Diskussion für den Unterricht oder die Schulentwicklung aufbereitet wurden.

Mit ihnen werden Anregungen gegeben, wie Schulen bildungspolitische Vorgaben und aktuelle Entwicklungen umsetzen können.

Die PL-Informationen erscheinen unregelmäßig. Unser Materialangebot finden Sie im Internet auf dem Landesbildungsserver unter folgender Adresse: <http://bildung-rp.de/pl/publikationen.html>

Die vorliegende Veröffentlichung wird gegen eine Schutzgebühr von 6,00 Euro zzgl. Versandkosten abgegeben. Bestellungen richten Sie bitte an das Pädagogische Landesinstitut:
bestellung@pl.rlp.de

IMPRESSUM

Herausgeber:

Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz
Standort Bad Kreuznach
Röntgenstraße 32
55543 Bad Kreuznach
pl@pl.rlp.de

Redaktion:

Barbara Dolch, Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz

Skriptbearbeitung:

Ute Nagelschmitt, Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz

Titelbild:

Andrea Bürgin, Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz

Erscheinungstermin: Juli 2015

© Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz 2015

ISSN 2190-9148

Soweit die vorliegende Handreichung Nachdrucke enthält, wurden dafür nach bestem Wissen und Gewissen Lizenzen eingeholt. Sollten dennoch in einigen Fällen Urheberrechte nicht berücksichtigt worden sein, wenden Sie sich bitte an das Pädagogische Landesinstitut Rheinland-Pfalz.

INHALT

1	Themenfeld 3: Heizen und Antreiben	3
1.1	Vorüberlegungen	3
1.2	Wechsel zwischen Stoff- und Teilchenebene von Anfang an	4
1.3	Konzept- und Kompetenzentwicklung	5
2	Vom Lehrplan zum kompetenzorientierten Unterricht	7
2.1	Die Stellung des Themenfeldes 3 im Lehrplan	7
2.2	Die Themenfeld-Doppelseite	10
2.3	Von der Themenfeld-Doppelseite zur Unterrichtsplanung	12
2.4	Überblick über Kontexte und Lerneinheiten des Themenfeldes	18
2.5	Differenzierungsmöglichkeiten	20
3	Vorschlag für einen Unterrichtsgang	23
3.1	Lerneinheiten	23
3.2	Kontext: Wasser ist die Kohle der Zukunft	25
3.3	Kontext: Methan zum Heizen und Antreiben	42
3.4	Vernetzen und bewerten	48
4	Zusammenfassung	53
4.1	Ein möglicher Unterrichtsgang im Überblick	54
4.2	Liste der verfügbaren Muster-Gefährdungsbeurteilungen zum TF 3	58
5	Literaturverzeichnis	59
6	Autorinnen und Autoren	60

1 THEMENFELD 3: HEIZEN UND ANTREIBEN

1.1 Vorüberlegungen

Der neue Lehrplan im Fach Chemie für die Klassen 7 bis 9/10 der weiterführenden Schulen des Landes Rheinland-Pfalz schließt konzeptionell an den Lehrplan des Faches Naturwissenschaften in der Orientierungsstufe an.

Die drei Säulen des naturwissenschaftlichen Unterrichtes Kompetenzen, Basiskonzepte und Kontexte bilden auch die Stützpfeiler des Chemieunterrichts und erfordern eine darauf aufbauende unterrichtliche Umsetzung.

Die „Aspekte der Chemie“, die sich aus ihrer Bedeutung für den Menschen ableiten, begründen den bildenden Charakter des Unterrichtsfaches Chemie und sind die Grundlage für die Themenfelder. Sie bieten eine Orientierung für die Auswahl der Kontexte.

In dieser Handreichung geht es um die Ausgestaltung des Unterrichtes zum Themenfeld 3 „Heizen und Antreiben“ gemäß der Intentionen des Lehrplanes. Dazu werden die Themenfeld-Doppelseite vorgestellt und exemplarisch mögliche Lerneinheiten ausgeführt.

Die Leitfragen lauten: „Wie lese ich das Themenfeld?“, „Welche Stellung hat das Themenfeld im Gesamtlehrplan?“ und „Wie kann ich dieses Themenfeld konkret im Unterricht umsetzen?“

Aus ökologischen und ökonomischen Gründen können nicht alle Materialien abgedruckt werden. Die Handreichung weist auf Materialien (z. B. Arbeitsblätter) hin, die über den Link <http://naturwissenschaften.bildung-rp.de/chemie/unterricht/sekundarstufe-i.html> online auf der Bildungsserverseite bereitgestellt sind.

1.2 Wechsel zwischen Stoff- und Teilchenebene von Anfang an

Ein wesentliches Merkmal des Faches Chemie ist der Wechsel zwischen der makroskopischen (Stoffebene) und der submikroskopischen Ebene (Teilchenebene) (vgl. Lehrplan S. 57-58).

Auf der makroskopischen Ebene lernen die Schülerinnen und Schüler wichtige Energieträger kennen. Dabei geht es um den praktischen Umgang, die Beobachtung und Beschreibung ihrer Eigenschaften sowie um die Energiebereitstellung aus ihnen bei Verbrennungsreaktionen. Die entsprechenden Deutungen erfolgen auf submikroskopischer Ebene mithilfe von Modellvorstellungen zur Elektronenpaarbindung.

Dies führt zu einer kontinuierlichen Entwicklung auf beiden Ebenen und durch den permanenten Wechsel wird Vernetzung möglich. Die Deutung von Phänomenen auf der Teilchenebene wird zu einem Prinzip von Chemieunterricht.

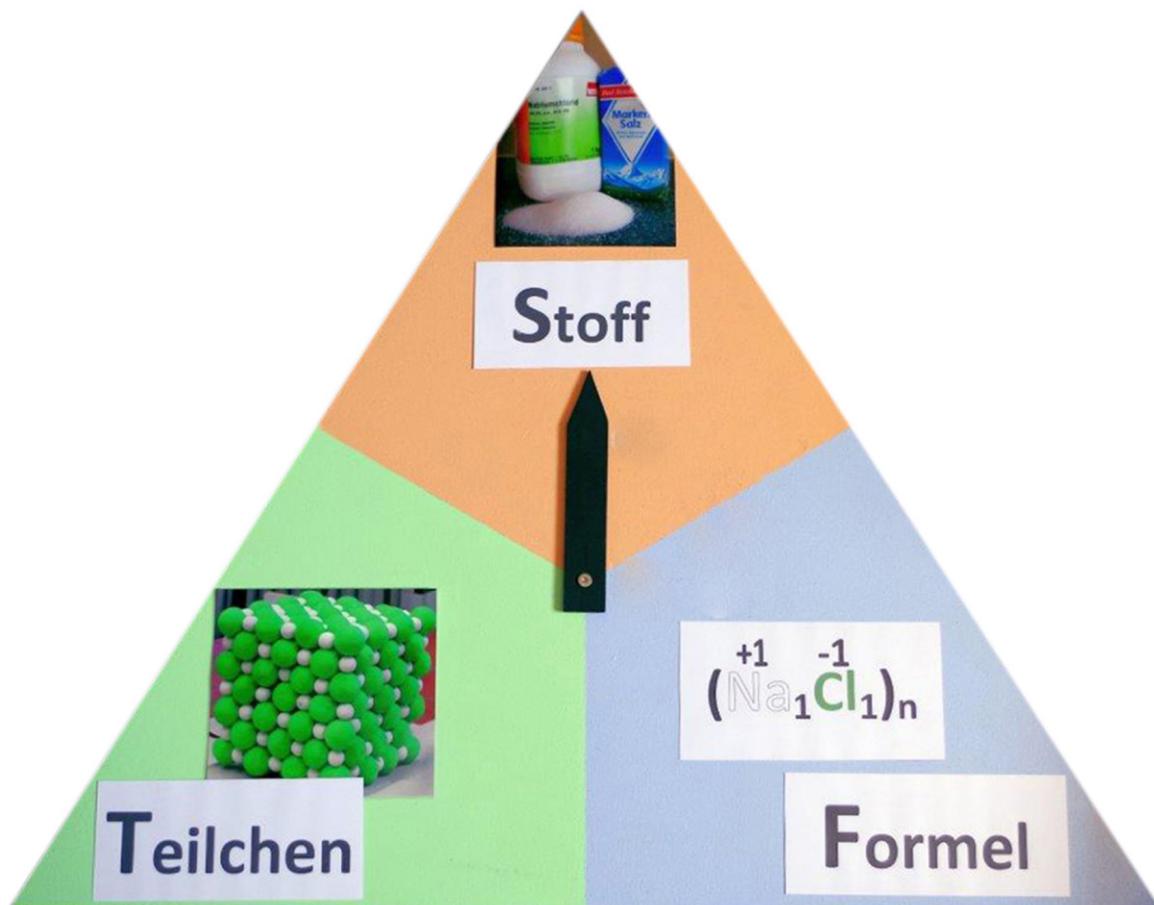


Abb. 1: Johnstone-Dreieck, visualisiert für das Themenfeld 2

1.3 Konzept- und Kompetenzentwicklung

Die thematischen Schwerpunkte im Lehrplan Chemie sind so gewählt, dass parallel die Kompetenzentwicklung und die Entwicklung der Basiskonzepte möglich sind (vgl. Lehrplan Kap. 5.3).

Die im Themenfeld 3 angestrebte Kompetenzentwicklung der Schülerinnen und Schüler ist im Rahmen des Unterrichts **verbindlich** zu ermöglichen.

Alle Schülerinnen und Schüler müssen Gelegenheit bekommen, z. B. einfache Experimente zur Verbrennung von energiereichen Stoffen durchzuführen und auszuwerten, um ihre Kompetenzen auf dem Gebiet der Erkenntnisgewinnung weiter zu entwickeln. Nachweisreaktionen von Edukten bzw. Produkten (CO_2 , O_2 , H_2 , H_2O) erweitern experimentelle Kompetenzen. Im Zusammenhang mit Brandbekämpfung und Brandbedingungen ist es möglich, hypothesengeleitetes Experimentieren in Schülerübungen durchzuführen.

Das in Themenfeld 2 eingeführte differenzierte Atommodell wird weiter entwickelt, damit Schülerinnen und Schüler Verbrennungsreaktionen auf der Teilchenebene mit geeigneten Molekülmodellen darstellen und Reaktionsgleichungen formulieren können. Die Verschränkung zwischen Stoff- und Teilchenebene wird erreicht, wenn Schülerinnen und Schüler mithilfe der Elektronenpaarbindung in Molekülen Erklärungszusammenhänge zu Stoffeigenschaften ableiten können (z. B. Aggregatzustand, Schmelz- und Siedetemperatur). Vertiefend können energetische Effekte bei Verbrennungsreaktionen über Bindungsenergien gedeutet werden.

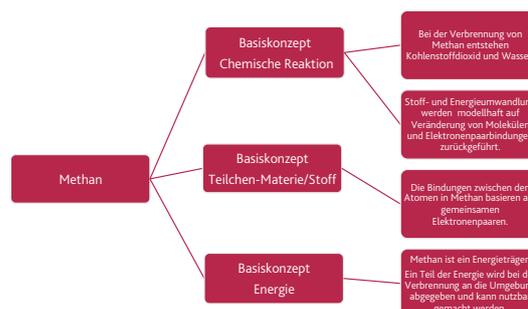
Ihre Kompetenzen im Bereich der Kommunikation entwickeln die Schülerinnen und Schüler in Themenfeld 3 weiter, indem sie Energiediagramme erstellen, um energetische Effekte bei chemischen Reaktionen zu beschreiben. Die Auswertung von Brennwerttabellen gibt den Schülerinnen und Schülern Gelegenheit zu fachbezogener Argumentation und Diskussion über die Eignung von Brennstoffen.

Werden Brennstoffe dabei auch aus ökologischen und ökonomischen Perspektiven bewertet, wird nachhaltiges Denken und verantwortungsbewusster Umgang mit Ressourcen gefördert.

Die beschriebenen Tätigkeiten zum Erwerb dieser Kompetenzen sind eng mit der Anwendung von Fachwissen verbunden.

Beim Erlernen fachlicher Inhalte wird immer wieder auf die Basiskonzepte Bezug genommen. Dies erleichtert es den Lernenden, im fortschreitenden Unterrichtsgang neue Phänomene einzuordnen, chemische Gesetze und Prinzipien wiederzuerkennen und einen Überblick zu gewinnen. Im Themenfeld 3 wird, neben der Erweiterung des Konzepts Teilchen-Materie-Stoff, das Basiskonzept Chemische Reaktion und das Basiskonzept Energie entwickelt. Die nachfolgende Abbildung gibt diese Entwicklung für den Stoff Methan wieder.

Abb. 2: Entwicklung der Basiskonzepte im Themenfeld 3 (siehe Lehrplan S. 173)



Aspekt	Themenfeld	TF	TMS	SEF	CR	E	Stoffebene	Teilchenebene
Was ist Stoff?	Chemikers Vorstellung von den Stoffen	1	■				Vielfalt der Stoffe	Atom, Massenerhaltung
Stoffe gewinnen	Von der Saline zum Kochsalz	2	■	■			Kochsalz (Salze)	Ionen, Ionenbindung
Stoffe nutzen	Heizen und Antreiben	3	■		■	■	Wasserstoff, Methan (u. a. Kohlenstoffverbindungen)	Moleküle, Elektronenpaarbindung
Stoffe gewinnen	Vom Erz zum Metall	4	■	■			Erze, Metalle	Metallbindung
Stoffe nutzen	Sauber und schön	5	■	■			Wasser, Kohlenwasserstoffe, Alkanole	Dipol, Elektronenpaarbindung
	Säuren und Laugen	6	■	■			Säuren und Laugen	Ionen, Donator-Akzeptor
Stoffe neu herstellen	Schöne neue Kunststoffwelt	7	■	■			Polymere	Makromoleküle
	Vom Reagenzglas zum Reaktor	8			■	■	Produkte der chem. Industrie (nach Wahl)	Je nach gewähltem Stoff
Stoffe untersuchen	Den Stoffen auf der Spur	9	■	■	■		Wässrige Lösungen	Ionen
Stoffe verantwortungsvoll handhaben	Gefährliche Stoffe	10		■	■	■	Explosivstoffe, Giftstoffe	Je nach gewähltem Stoff
	Stoffe im Fokus von Umwelt und Klima	11		■	■	■	Kohlenstoffkreislauf	Moleküle, Ionen
Mit Stoffen Zukunft gestalten	Mobile Energieträger	12	■		■	■	Metalle	Ionen, Donator-Akzeptor

Tab.: Entwicklung der Leitlinien im Lehrplan (siehe LP. S. 59)

TF = Themenfeld

Basiskonzepte:

TMS = Teilchen-Materie-Stoff

SEF = Struktur-Eigenschaft-Funktion

CR = Chemische Reaktion

E = Energiekonzept

Gefüllte Felder bedeuten:

Das entsprechende Basiskonzept wird eingeführt bzw. (weiter)entwickelt.

Felder mit Kästchen bedeuten:

Das entsprechende Basiskonzept wird genutzt bzw. angewandt.

2 VOM LEHRPLAN ZUM KOMPETENZORIENTIERTEN UNTERRICHT

2.1 Die Stellung des Themenfeldes 3 im Lehrplan

Auf der Stoffebene:

Wir nutzen ständig und überall Stoffe. Das ist vielleicht der bedeutendste und umfassendste Aspekt, weil er wie kein anderer die Bedeutung der Stoffe für das menschliche Leben, für Alltag und Lebenswelt, Technik und Industrie herausstellt. Im Chemieunterricht geht es u. a. darum, die Breite der Nutzung von Stoffen bewusst zu machen und abzubilden. Dabei wird auch die gesellschaftliche Relevanz der Chemie deutlich und sollte explizit Gegenstand von Unterricht sein. Das ist bewusst ein anderer Ansatz, als Stoffe aus der Systematik der Chemie heraus zum Gegenstand von Unterricht zu machen.

Zwischen der Nutzung der Stoffe und den jeweiligen Eigenschaften der Stoffe wird ein enger Zusammenhang hergestellt (brennt gut, reinigt gut, schmeckt gut, färbt gut usw.). Dabei werden auch spezifische Stoffkenntnisse vermittelt. Grundsätzlich wird zwischen der energetischen und der stofflichen Nutzung unterschieden.

Unter diesem Aspekt begründet sich systematisch das Themenfeld 3: „Heizen und Antreiben“ (die Energie der Stoffe nutzen).

Zum Schwerpunkt „Die Energie der Stoffe nutzen“ werden mehrere Stoffe und deren Verbrennungsreaktionen (z. B. Wasserstoff, Methan, Benzin, Heizöl, Grillkohle, Holz, Kerzenwachs) bearbeitet, um die Vielfalt zu zeigen. Diese Vermittlung findet auf der Stoffebene statt. Sie kann mit Schülerexperimenten, Filmen, Prozessdiagrammen, Brennwerttabellen oder anderen anschaulichen Materialien unterstützt werden.

Dabei spielen auch Fragen der Verfügbarkeit, der sicheren Handhabung und ökologischen Verträglichkeit der Stoffe eine Rolle. Erwünschte Reaktionen, unerwünschte Folgen und auch Brandschutzmaßnahmen werden unter fachwissenschaftlichen Gesichtspunkten betrachtet.

Auf der Teilchenebene:

Im Lehrplan Chemie ist die Reihenfolge und der Inhalt der Themenfelder stark von der Entwicklung des Teilchenkonzepts bestimmt. Die Zuordnung von Stoffgruppen zu diesen Themenfeldern folgt fachdidaktischen Überlegungen.

An das Teilchenmodell aus dem Fach Naturwissenschaften schloss sich im Themenfeld 1 die Vorstellung von Atomen an (einfaches Atommodell).

Das einfache Atommodell kommt mit folgenden Kennzeichen aus:

- Atome sind Bausteine der Elemente.
- Atome haben Kugelgestalt.
- Atome verschiedener Elemente unterscheiden sich in ihrer Masse und ihrer Größe.

Auf dieser Basis wurde im Themenfeld 2 am Beispiel der Salze das „Atomkonzept“ weiter entwickelt. Fragen zu Eigenschaften von Kochsalz führten zum differenzierten Atommodell mit Kern und Hülle.

Die Kernaussagen des differenzierten Atommodells lauten:

- Atome bestehen aus einem Kern aus Protonen und Neutronen sowie einer Hülle aus Elektronen.
- Protonen und Elektronen sind Träger elektrischer Ladung.
- Die Anzahl der Elektronen entspricht der Anzahl der Protonen im Kern.
- Die Atome verschiedener Elemente unterscheiden sich durch die Protonenzahl.

Daraus erschlossen sich die Ionenbindung, die Ionenbildung und der Aufbau von Salzen im Ionengitter.

Im Themenfeld 3 „Heizen und Antreiben“ werden die Molekülverbindungen von Methan und Wasserstoff auf Grund ihrer Verwendung zur Energiegewinnung sowie Sauerstoff und die Verbrennungsprodukte Kohlenstoffdioxid und Wasser thematisiert und eignen sich zur Einführung der Elektronenpaarbindung.

Im Themenfeld 4 „Vom Erz zum Metall“ wird die Metallgewinnung durch chemische Reaktionen mit der Behandlung der Metallbindung verknüpft und rundet die Vorstellung vom Aufbau der Stoffe (auf der Basis geeigneter Modellvorstellungen je nach Lerngruppe) weiter ab. Damit wird ein für alle weiteren Themenfelder tragfähiges Teilchenkonzept komplettiert.

Die Grafik verdeutlicht den Schwerpunkt im Themenfeld, der auf dem Aspekt „Stoffe nutzen“ liegt und weist Möglichkeiten in Bezug auf die übrigen Aspekte aus.

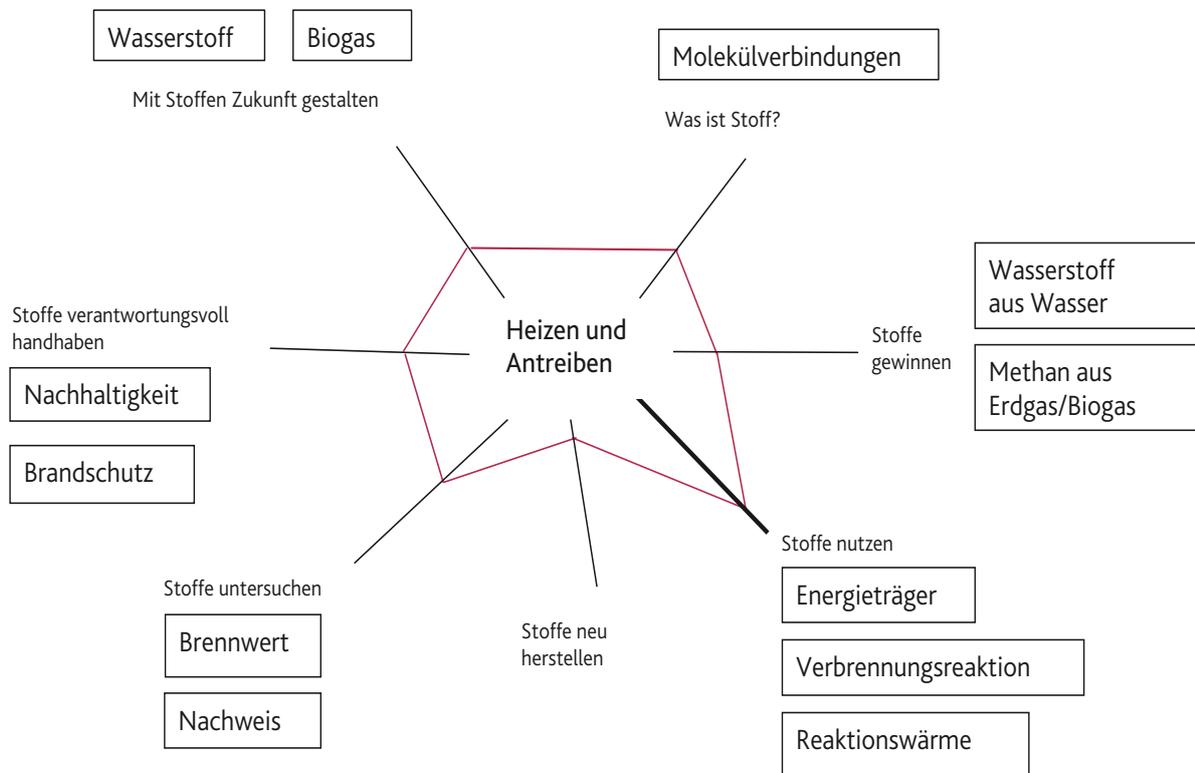
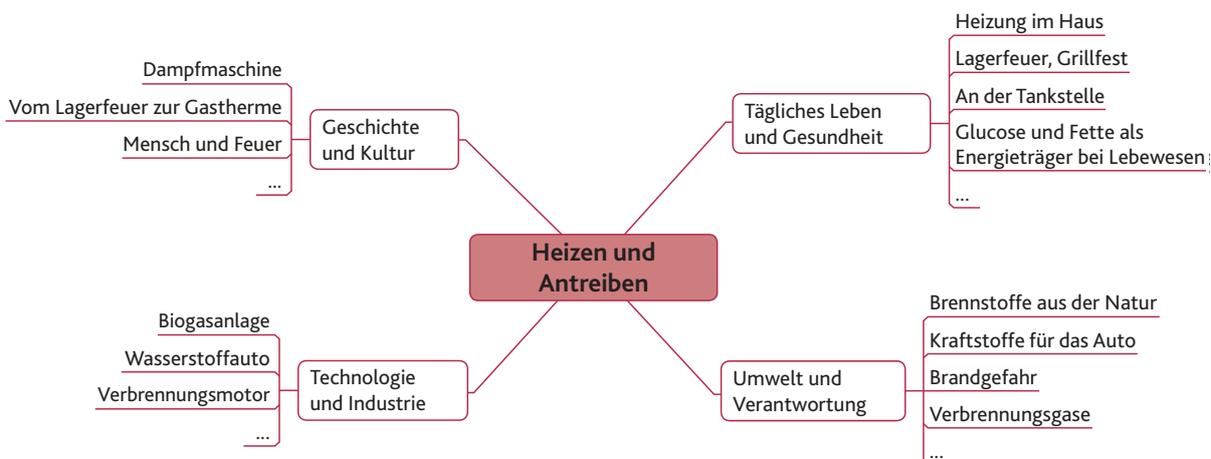


Abb. 3: Aspekte im Themenfeld 3

2.2 Die Themenfeld-Doppelseite

TF 3: Heizen und Antreiben	
<p>Alle Abläufe in Natur und Technik sind mit einem Energieumsatz verbunden. Seit der Entdeckung des Feuers sucht der Mensch nach energiereichen Stoffen. Für Bewegungsvorgänge und zum Erwärmen nutzt er seit jeher eine Vielzahl unterschiedlicher Energieträger. Neben Strahlung und Wind spielen Stoffe mit ihrem jeweils spezifischen Energiegehalt eine bedeutende Rolle. In der Regel sind es Verbrennungsreaktionen, die die chemische Energie der Stoffe nutzbar machen. Bei der Auswahl der Stoffe orientieren sich Menschen gezielt neben dem Energiegehalt auch an der Verfügbarkeit, der sicheren Handhabung und zunehmend der ökologischen Verträglichkeit.</p> <p>In diesem Themenfeld beschäftigen sich die Schülerinnen und Schüler mit der Nutzung der Stoffe zur Energiebereitstellung. Dabei werden erwünschte Reaktionen, unerwünschte Folgen und auch Brandschutzmaßnahmen unter fachwissenschaftlichen Gesichtspunkten betrachtet.</p> <p>Auf der Stoffebene stehen Wasserstoff und Methan, auf der Teilchenebene die Elektronenpaarbindung im Zentrum.</p>	
<p>Kompetenzen: Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ führen einfache qualitative und quantitative Experimente zur Verbrennung durch und werten diese aus, ■ wenden ihr Wissen über Brandfaktoren (Sauerstoff, Temperatur, Brennstoff) zur Brandbekämpfung in Alltagssituationen an, ■ erklären Aktivierungsenergie und Reaktionsenergie unter Verwendung von Energiediagrammen, ■ werten Brennwerttabellen aus und schließen auf die Eignung der betrachteten Stoffe als Brennstoff, ■ bewerten den Einsatz von Treibstoffen aus unterschiedlichen Perspektiven (Ressourcen, Folgen für die Umwelt und Nachhaltigkeit), ■ erstellen Reaktionsgleichungen von Verbrennungsreaktionen und veranschaulichen die submikroskopische Ebene mit geeigneten Molekülmodellen. 	
<p>Beitrag zur Entwicklung der Basiskonzepte:</p> <p>Auf der Stoffebene: Verbrennungen werden mit Reaktionsgleichungen beschrieben. Sie sind (prinzipiell) sowohl stofflich als auch energetisch umkehrbar (Analyse und Synthese von Wasser, endotherm und exotherm). (CR) Wasserstoff und Methan sind Energieträger. Ein Teil der Energie wird bei der Verbrennung an die Umgebung abgegeben und kann nutzbar gemacht werden. Dieser Teil entspricht der Energiedifferenz zwischen der Energie der Produkte und der Edukte. Der Energieträgerwechsel (Energieabgabe) wird bei Verbrennungsreaktionen erkennbar an Erwärmung, Bewegung bzw. Licht. (E)</p> <p>Auf der Teilchenebene: Der Aufenthaltsbereich für Elektronen ist in sich gegliedert. Die Bindungen zwischen den Atomen in Wasserstoff, Sauerstoff, Wasser und Methan (und anderen Kohlenwasserstoffen) basieren auf gemeinsamen Elektronenpaaren. (TMS) Stoff- und Energieumwandlungen werden modellhaft auf Veränderungen von Molekülen und Elektronenpaarbindungen zurückgeführt. (CR)</p>	<p>Fachbegriffe:</p> <p>Verbrennungsreaktion Reaktionsgleichung Analyse und Synthese Brennstoff Brennwert</p> <p>Energieträger Energieform Energiewandlung exotherm, endotherm</p> <p>Elektronenpaarbindung Molekül</p>

Erschließung des Themenfeldes durch Kontextorientierung:



Differenzierungsmöglichkeiten:

G: Zugunsten eines stärkeren Alltagsbezugs kann auf eine Vertiefung des Teilchenkonzepts verzichtet werden. Nachweisreaktionen für Kohlenstoffdioxid, Sauerstoff, Wasserstoff und Wasser sind für die Entwicklung experimenteller Kompetenz ausreichend.

V: Hypothesengeleitete Experimente zur Rolle des Sauerstoffs bei Verbrennungen oder zum Nachweis von Reaktionsprodukten erweitern experimentelle Kompetenzen.

Bei der submikroskopischen Betrachtung der Brennstoffe und Verbrennungsreaktionen kann ein höherer Abstraktionsgrad erreicht werden, wenn das Elektronenpaarabstoßungsmodell (EPA) zur Erklärung der räumlichen Struktur von Wasser und Methan herangezogen wird.

Didaktisch-methodische Hinweise:

Um Stoffkenntnisse zu erweitern, kann hier bereits die homologe Reihe der Alkane eingeführt werden. Ihre Namen sind grundlegend für die Benennung organischer Stoffe.

Bezüge:

NaWi

TF 3 Energieträger
TF 5 Energieumladung

Physik

TF 6 Energiestrom, Energieumladung,
Trägerwechsel von der Elektrizität auf andere Träger
TF 8 thermischer Energiestrom
TF 10 Energieumladung, Wirkungsgrad

Chemie

TF 1 Atom, Chemische Reaktion, Element, Verbindung, PSE
TF 2 Atomkern, Atomhülle, Proton, Elektron
TF 4 Reaktionsgleichung
TF 5 Stoffklassen
TF 8 Energiebilanz
TF 10 Explosionen
TF 11 Klimarelevanz

Biologie

TF 3 Zellatmung, Glukose, Sauerstoff
TF 4 Fotosynthese, Energieträger, Energiediagramm
TF 5 Biomasse, Kohlenstoffkreislauf, Energiefluss
TF 8 ATP, Nährstoffe, Energiebilanz, Energiespeicherung

2.3 Von der Themenfeld-Doppelseite zur Unterrichtsplanung

Das Themenfeld 3 wird, wie jedes Themenfeld des Chemielehrplans, in Form einer Themenfeld-Doppelseite dargestellt. In den einzelnen Rubriken finden sich neben den verbindlichen Teilen auf der linken Seite auch fakultative Elemente rechts.

Themenfeld-Titel		Erschließung des Themenfeldes durch Kontextorientierung
Intention		
Kompetenzen		Differenzierungsmöglichkeit
Beitrag zur Entwicklung der Basiskonzepte	Fachbegriffe	Bezüge

Abb. 4: Themenfeld-Doppelseite

Intention

Die Intention des Themenfeldes bildet den ersten Abschnitt der Themenfeld-Doppelseite und gibt Aufschluss über die Bildungsabsicht. Die energetische Nutzung der Brenn- und Treibstoffe Methan und Wasserstoff wird als didaktischer und inhaltlicher Schwerpunkt festgeschrieben. Wichtig ist dabei insbesondere auch die Weiterentwicklung der Bewertungskompetenz.

Das Themenfeld dient der Einführung:

- Energiekonzept (Energieträger, Energieform, Energiewandlung, exotherm, endotherm, Aktivierungsenergie)

Das Themenfeld dient der Weiterentwicklung:

- Chemische Reaktion (Verbrennungsreaktion, Reaktionsgleichung, Analyse und Synthese)
- Naturwissenschaftliche Arbeitsweisen (Durchführung und Auswertung von Experimenten zu Verbrennungsreaktionen und Nachweisreaktionen)
- Teilchenkonzept (Molekül, Elektronenpaarbindung, Molekülverbindung)

Kompetenzen

Hier wird verbindlich aufgeführt, mit welchen konkreten Aktivitäten die Schülerinnen und Schüler im Rahmen dieses Themenfeldes Kompetenzen entwickeln können. Die Unterrichtsplanung stellt sicher, dass alle Schülerinnen und Schüler nach ihren individuellen Möglichkeiten selbst tätig werden können (vgl. Lehrplan S. 187).

Die Schülerinnen und Schüler können ...		TF 3	Schülerinnen und Schüler ...
... naturwissenschaftliche Konzepte zur Problemlösung nutzen.	Umgang mit Fachwissen	■	... führen einfache qualitative und quantitative Experimente zur Verbrennung durch und werten diese aus.
... mit Geräten, Stoffen, Verfahren umgehen.			
... Fachwissen strukturieren und Erklärungszusammenhänge herstellen.		■	
... naturwissenschaftlich untersuchen, experimentieren.	Erkenntnisgewinnung	■	... erklären Aktivierungsenergie und Reaktionsenergie unter Verwendung von Energiediagrammen.
... modellieren.		■	
... naturwissenschaftliche Erkenntnisse bzw. den naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess reflektieren.	Kommunikation		... werten Brennwerttabellen aus und schließen auf die Eignung der betrachteten Stoffe als Brennstoff.
... Informationen sachgerecht entnehmen.		■	
... sach- und adressatengerecht präsentieren und dokumentieren.		■	
... naturwissenschaftlich argumentieren und diskutieren.	Bewertung	■	... bewerten den Einsatz von Treibstoffen aus unterschiedlichen Perspektiven (Ressourcen, Folgen für die Umwelt und Nachhaltigkeit).
... Bewertungskriterien festlegen und anwenden.		■	
... Handlungsoptionen erkennen und aufzeigen.		■	
... Sachverhalte naturwissenschaftlich einordnen und (multiperspektivisch) bewerten.			... erstellen Reaktionsgleichungen von Verbrennungsreaktionen und veranschaulichen die submikroskopische Ebene mit geeigneten Molekülmodellen.

Tab.: Kompetenzentwicklung im Themenfeld 3

Die in den Themenfeldern 1 und 2 begonnene Kompetenzentwicklung wird im Themenfeld 3 fortgeführt. Kompetenzerwerb geschieht immer im Zusammenhang mit fachlichen Inhalten. Welches Fachwissen im Themenfeld erarbeitet werden soll, wird im folgenden Absatz erläutert.

Beitrag zur Entwicklung der Basiskonzepte sowie Fachbegriffe

Fachinhalte werden im neuen Lehrplan immer in Basiskonzepte eingebunden, um den Schülerinnen und Schülern über die Jahre hinweg einen systematischen Aufbau der Konzepte der Chemie zu ermöglichen.

In den beiden Rubriken „Beitrag zur Entwicklung der Basiskonzepte“ und „Fachbegriffe“ der Themenfeld-Doppelseite werden die Schwerpunkte der Fachinhalte so gesetzt, dass das angestrebte Konzeptverständnis erreicht werden kann. Die verbindlich von den Schülerinnen und Schülern im Unterricht zu verwendenden Fachbegriffe sind explizit aufgeführt.

Schwerpunkt im Themenfeld 3 sind Kenntnisse über energiereiche Stoffe (Energieträger) und deren Verbrennungsreaktionen. Ein Teil der chemischen Energie wird bei der Verbrennung umgewandelt und in Form von elektrischer Energie, Wärmeenergie, Lichtenergie und Bewegungsenergie abgegeben. Er entspricht der Energiedifferenz zwischen Produkten und Edukten, die damit für Heizen und Antreiben genutzt wird.

Am Beispiel von Wasserstoff lernen Schülerinnen und Schüler, dass Verbrennungsreaktionen (prinzipiell) sowohl stofflich als auch energetisch umkehrbar (Analyse und Synthese von Wasser, endotherm und exotherm) sind.

Phänomene auf der Stoffebene (Stoff- und Energieumwandlung) werden auf der Teilchenebene erklärt. Dazu ist es notwendig, das Atommodell (Kern-Hülle-Modell) aus TF 2 weiter auszuscharfen. Der Aufenthaltbereich für Elektronen in der Atomhülle ist gegliedert. Die Auswahl des Atommodells trifft die Lehrkraft jeweils für ihre Lerngruppe (Kern-Hülle-Modell, Schalenmodell, Energiestufenmodell, Kugelwolkenmodell).

Stoffumwandlungen werden auf Veränderungen von Teilchen und Bindungen zurückgeführt und mit Reaktionsgleichungen beschrieben.

Darüber erlangen die Schülerinnen und Schüler ein Verständnis für die Bildung von Molekülen auf der Basis von Elektronenpaarbindungen und Molekülverbindungen (Nichtmetalle, Nichtmetalloxide). Auf der Konzeptebene erweitert sich das Wissen über den Aufbau von Stoffen, hier den Aufbau von Molekülverbindungen.

Teilkonzepte Teilchen-Materie-Stoff (TMS)	Konkretisierung im TF 3
Atome bestehen nach dem Kern-Hülle-Modell aus Protonen und Neutronen im Kern und Elektronen in der Hülle (differenziertes Atommodell).	Der Aufenthaltsbereich für Elektronen ist in sich gegliedert.
Der submikroskopische Bau der Stoffe wird mit Modellen beschrieben.	Stoff- und Energieumwandlungen werden modellhaft auf Veränderungen von Molekülen und Elektronenpaarbindungen zurückgeführt.
Bindungsmodelle dienen zur Interpretation von Teilchenanordnungen (Aggregationen), räumlichen Strukturen und zwischenmolekularen Wechselwirkungen.	Die Bindungen zwischen den Atomen in Wasserstoff, Sauerstoff, Wasser und Methan (und anderen Kohlenwasserstoffen) basieren auf gemeinsamen Elektronenpaaren.
Teilkonzepte Chemische Reaktion (CR)	Konkretisierung im TF 3
Stoffumwandlungen werden modellhaft auf Veränderungen von Teilchen und Bindungen zurückgeführt.	Stoff- und Energieumwandlungen werden modellhaft auf Veränderungen von Molekülen und Elektronenpaarbindungen zurückgeführt.
Chemische Reaktionen werden mit Reaktionsgleichungen beschrieben.	Verbrennungen werden mit Reaktionsgleichungen beschrieben.
Chemische Reaktionen sind umkehrbar.	Verbrennungsreaktionen sind (prinzipiell) sowohl stofflich als auch energetisch umkehrbar (Analyse und Synthese von Wasser, endotherm und exotherm).
Teilkonzepte Energie (E)	Konkretisierung im TF 3
Die Energie wird mit Hilfe von Energieträgern transportiert.	Wasserstoff und Methan sind Energieträger.
Meistens wird bei der Nutzung von Energie der Energieträger gewechselt.	Ein Teil der Energie wird bei der Verbrennung an die Umgebung abgegeben und kann nutzbar gemacht werden.
	Dieser Teil entspricht der Energiedifferenz zwischen der Energie der Produkte und der Edukte.
	Der Energieabgabe (Energieträgerwechsel) wird bei Verbrennungsreaktionen erkennbar an Erwärmung, Bewegung bzw. Licht.

Tab.: Teilkonzepte der Basiskonzepte in der Chemie und ihre Konkretisierung im TF 3 (vgl. Lehrplan S. 174-182)

Erschließung des Themenfeldes durch Kontextorientierung

Chemieunterricht erweitert die Perspektive der Schülerinnen und Schüler auf ihre Lebenswelt, wenn es gelingt, Unterrichtsinhalte in lebensweltliche Zusammenhänge einzubinden. Geeignete Themen werden innerhalb der Themenfeld-Doppelseite als Mindmap dargestellt.

Hauptkategorien der Mindmap sind Geschichte und Kultur, tägliches Leben und Gesundheit, Umwelt und Verantwortung, Technologie und Industrie. In den Unterästen finden sich Anregungen, aus denen sich bildungsrelevante Kontexte ableiten lassen. Die Vorschläge in der Mindmap sind beispielhaft und können ergänzt werden. Sie regen zur weiteren Ideenfindung an. Sie sollen die schulinterne Arbeitsplanung und die Differenzierung unterstützen, insbesondere bieten sie Raum zur Berücksichtigung individueller Präferenzen.

Diese für die Allgemeinbildung übergeordneten lebensweltlichen Bereiche sind in allen drei Lehrplänen der Fächer als Strukturelemente enthalten. Der verantwortliche Umgang mit Ressourcen und Nachhaltigkeit sind fächerverbindende Ziele, die hier besonders berücksichtigt werden.

Kontexte lassen sich aus den Anwendungen der im Themenfeld vorgesehenen Stoffe Wasserstoff und Methan sowie ggf. Alkane in den Bereichen Heizen und Antreiben ableiten. Die folgende Matrix zeigt die Möglichkeiten:

Energieträger	Gewinnung aus (natürlichen) Vorkommen, Quellen	Heizen	Antreiben
Wasserstoff	Wasser, Methan		Raketenantrieb Wasserstoffauto
Methan	Erdgas, Biogas	Gasheizungen im Haus Blockheizkraftwerk Biogasanlage Gasbrenner	Erdgasauto
Kurzkettige Alkane	Erdöl	Campingkocher Gasbrenner	Autogas
Mischung vieler Alkane	Erdöl	Heizöl	Benzin- Dieselfahrzeuge

Tab.: Matrix zur Auswahl eines Kontextes

Die Lehrkraft wählt eine Kombination/ein Feld aus der Matrix aus und sucht nach einem dazu passenden Kontext.

Die Berichterstattung über Smog zum Beispiel kann zur Beschäftigung mit Wasserstoffautos führen. In der Region kann eine geplante oder bereits vorhandene Biogasanlage gesellschaftliche Auseinandersetzungen verursachen und Anknüpfung für den Unterricht bieten.

Bezüge

In dieser Rubrik werden Bezüge des Themenfeldes 3 zu den Themenfeldern der Fächer Naturwissenschaften, Biologie und Physik und auch zu den anderen Themenfeldern des Faches Chemie ausgewiesen. Welche Voraussetzungen in den einzelnen Lerngruppen konkret im Fach Naturwissenschaften gelegt wurden bzw. wie die optimale Anbindung an die späteren Themenfelder in den naturwissenschaftlichen Fächern an der eigenen Schule gestaltet werden kann, ist aufgrund der schuleigenen Arbeitspläne in der Fachkonferenz bzw. fachübergreifend zu koordinieren. Je besser die Vernetzung zwischen den Fächern erfolgt, desto stabiler werden Kompetenzen entwickelt und desto besser gelingt ein kumulativer Aufbau der Basiskonzepte.

Das Themenfeld 3 legt einen Schwerpunkt auf das Basiskonzept Energie. Anknüpfungspunkte sind zum Fach Naturwissenschaften in der Orientierungsstufe möglich. Auch Parallelentwicklungen zu den Nachbardisziplinen Biologie und Physik sind vorhanden.

Ein Austausch zwischen den Fachschaften darüber ist sinnvoll und notwendig.

Dem Lehrplan liegt eine gemeinsame Konzeptformulierung zu Grunde, die den konsistenten Gebrauch der Fachsprache über alle naturwissenschaftlichen Disziplinen hinweg ermöglicht. Das gemeinsame Konzept ist im Lehrplan auf den Seiten 131-134 ausgeführt.

Ein Austausch mit den Fachkollegien kann daher sehr wertvoll sein.

2.4 Überblick über Kontexte und Lerneinheiten des Themenfeldes

Die Umsetzung des Themenfeldes erfolgt mit Kontexten. Jeder Kontext ist spezifisch gegliedert und in der Lage, die Intentionen des Themenfeldes zu erfüllen.

Für den Umgang mit der Handreichung ist besonders hervorzuheben:

Die Vorgaben des Lehrplans im Bereich der Kompetenzen und der Konzepte lassen sich in Lerneinheiten gliedern. Dabei entstehen diese „Einheiten“ insbesondere durch die Zugehörigkeit zu einem fachlichen Konzept bzw. durch eine systematische fachliche Betrachtung.

In der unterrichtlichen Umsetzung ergibt sich, dass die Inhalte der hier vorgestellten Lerneinheiten nicht zwingend zeitlich aufeinanderfolgen. Im Rahmen der Betrachtung verschiedener Kontexte kann es sinnvoll sein, die Inhalte der verschiedenen Lerneinheiten in einer veränderten und in Bezug auf den jeweiligen Kontext sinnvollen Reihenfolge zu unterrichten.

Die Grafik zeigt Zugangsmöglichkeiten zur Planung des Themenfeldes, ausgehend von verschiedenen Kontexten. Der gewählte Kontext beinhaltet, genau wie alle Alternativen, die ausgewiesenen Schwerpunkte der Konzeptentwicklung. Die rechts abzweigenden Felder stellen mögliche Vertiefungen dar.

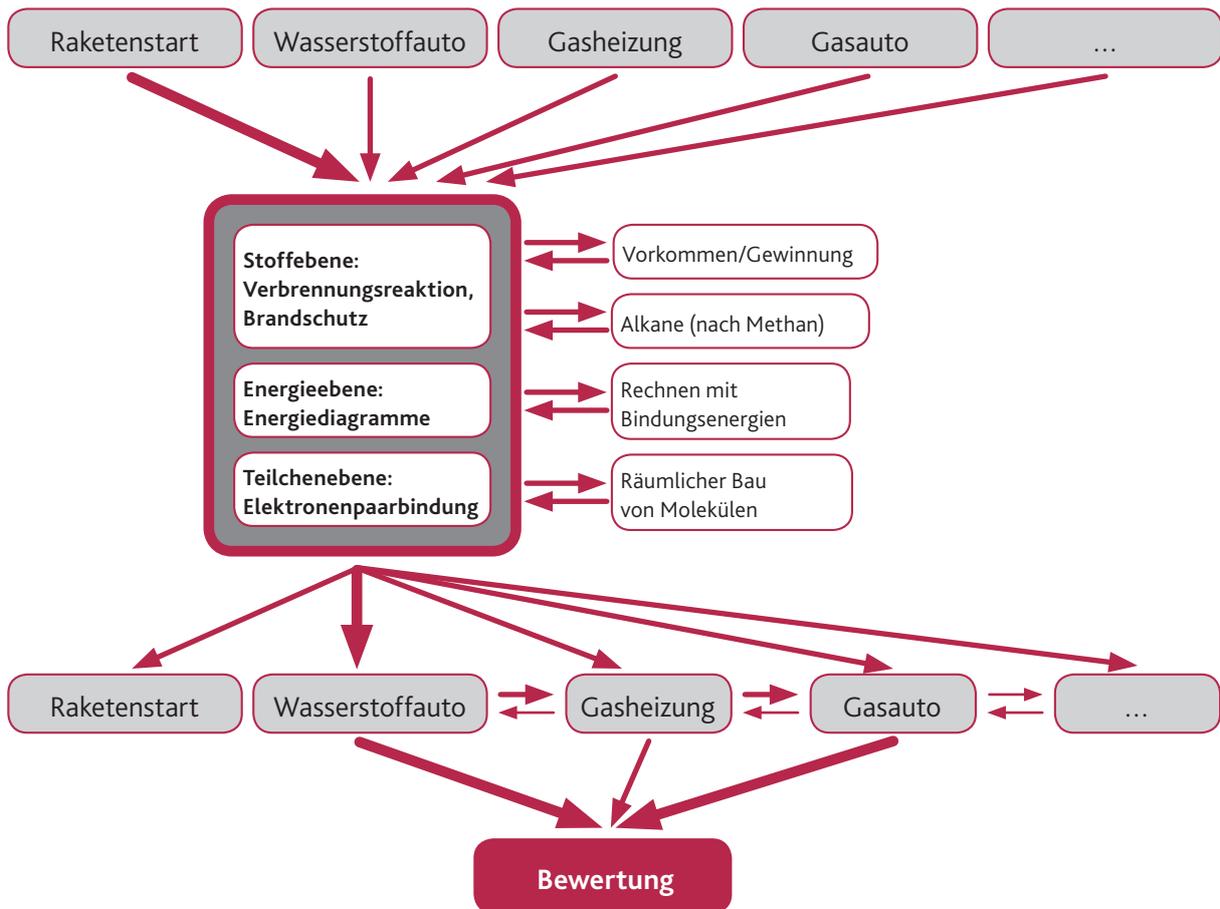


Abb. 5: Struktur des Themenfeldes 3

Da in diesem Themenfeld die beiden Stoffe Wasserstoff und Methan im Zentrum stehen, muss diese Abfolge im Prinzip zweimal durchlaufen werden. Beim zweiten Durchgang mit einem neuen Kontext lassen sich die Konzepte aufgrund des neuen Vorwissens der Schülerinnen und Schüler deutlich schneller bearbeiten. Nach der Bearbeitung von zwei Energieträgern ist eine vergleichende Bewertung möglich.

Ein Themenfeld gliedert sich in mehrere Lerneinheiten. Im Zentrum einer jeden Lerneinheit steht die Konzept- und Kompetenzentwicklung.

	Lerneinheit	Konzepte	Kompetenzen
Kontext 1	LE 1: Verbrennung von Wasserstoff (Stoffebene)	Chemische Reaktion	Erkenntnisgewinnung Kommunikation
	LE 2: Energiediagramm erstellen (Verbrennung von Wasserstoff)	Energie	Kommunikation
	LE 3: Wasserstoff, Sauerstoff und Wasser sind Moleküle (Elektronenpaarbindung)	Teilchen-Materie-Stoff	Erkenntnisgewinnung Kommunikation
Kontext 2	LE 4: Verbrennung von Methan (Stoffebene)	siehe LE 1	siehe LE 1
	LE 5: Energiediagramm erstellen (Verbrennung von Methan)	siehe LE 2	siehe LE 2
	LE 6: Methan, Sauerstoff, Kohlenstoffdioxid und Wasser sind Moleküle (Elektronenpaarbindung)	siehe LE 3	siehe LE 3
Vernetzung	LE 7: Brennstoffe im Vergleich	Struktur-Eigenschaften-Funktion	Umgang mit Fachwissen Bewertung
(integrieren)	LE 8: Brandbedingungen und Brandschutz	Chemische Reaktion	Umgang mit Fachwissen

Tab.: Übersicht über die Lerneinheiten und deren Schwerpunkte

2.5 Differenzierungsmöglichkeiten

Der vorliegende Lehrplan Chemie ist ein Plan für alle Schülerinnen und Schüler der weiterführenden Schulen. Unabhängig von der Schulart ist auch innerhalb der Klassen die Bandbreite individueller Leistungsvoraussetzungen der Lernenden sehr groß. Dem trägt die Rubrik Differenzierungsmöglichkeiten Rechnung. Die Hinweise beziehen sich sowohl auf verschieden leistungsstarke Lerngruppen als auch auf das leistungsdifferenzierte Arbeiten innerhalb einer Lerngruppe.

Die Themenfeld-Doppelseite enthält unter der Rubrik Differenzierungsmöglichkeiten Vorschläge. Der erste Abschnitt reduziert das Themengebiet auf ein grundlegendes Verständnis und ist mit einem „G“ gekennzeichnet. Im zweiten Absatz, gekennzeichnet mit „V“, wird gezeigt, wie man das Thema vertiefen und erweitern kann, um leistungsstärkeren Schülerinnen und Schülern gerecht zu werden.

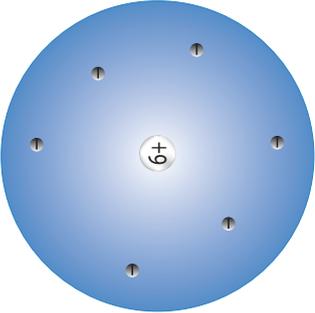
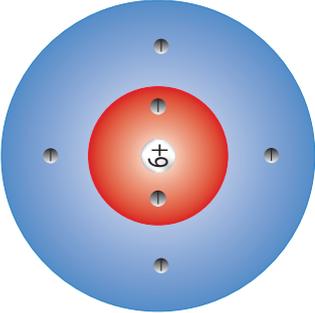
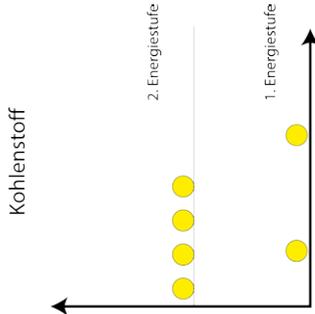
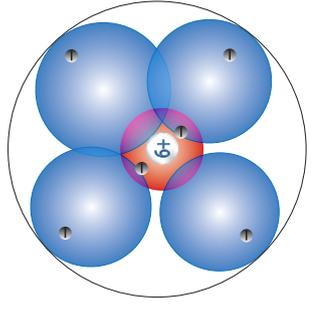
In jedem Kontext zum Themenfeld 3 kann die Lehrkraft den Unterricht in Bezug auf das Verhältnis von Stoff- und Teilchenebene anpassen. Weniger leistungsstarke Schülerinnen und Schüler werden die Nutzung von Energieträgern mehr auf der Ebene der Phänomene (Stoffebene) kennenlernen.

Das Themenfeld 3 schließt bezüglich der Teilchenebene unmittelbar an das in Themenfeld 2 eingeführte differenzierte Atommodell an. Eine Übersicht über die Möglichkeiten gibt die folgende Tabelle, in der auch eine Bewertung der Erklärungstiefe des jeweiligen Atommodells vorgenommen wird.

Auf dieser Basis kann die Lehrkraft hinsichtlich der Einführung der Elektronenpaarbindung in diesem Themenfeld fortfahren. Nähere Ausführungen dazu erfolgen in den Ausführungen der Lerneinheit 3.

Bei vertiefenden Betrachtungen ist darauf zu achten, dass eine Überfrachtung des Unterrichts und eine Überforderung der Lernenden, z. B. bei Veränderungen von Molekülen und Elektronenpaarbindungen bei chemischen Reaktionen oder bei Energiebilanzierungen vermieden wird.

Für besonders leistungsstarke Gruppen ist bei der Bilanzierung von Reaktionsenergien ein Eingehen auf die Bindungsenergien in geeigneter Weise möglich. Mit einer solchen Gruppe lässt sich auch die Funktionsweise einer Brennstoffzelle mit einer geeigneten Modelldarstellung erarbeiten (vgl. Heike Nickel: Die Brennstoffzelle als Modell; Naturwissenschaften im Unterricht Chemie; Heft 146; Januar 2015; 26. Jahrgang; Seiten 45-46).

	Kern-Hülle-Modell	Schalenmodell	Energienstufenmodell	Kugelwolkenmodell
Darstellung (Kohlenstoff-Atom)				
Aussagen des Modells	<p>Atom besteht aus Kern und Hülle. Im Kern befinden sich Protonen und Neutronen, in der Hülle Elektronen.</p>	<p>Atom besteht aus Kern und Hülle. Im Kern befinden sich Protonen und Neutronen, in der Hülle Elektronen. Die Hülle ist in kugelförmige Schalen gegliedert. In den innersten Schalen ist Platz für 2 bzw. 8 Elektronen.</p>	<p>Atom besteht aus Kern und Hülle. Im Kern befinden sich Protonen und Neutronen, in der Hülle Elektronen. Die Elektronen befinden sich auf unterschiedlichen Energieniveaus. Je 2 bzw. 8 Elektronen haben dieselbe Energienstufe.</p>	<p>Atom besteht aus Kern und Hülle. Im Kern befinden sich Protonen und Neutronen, in der Hülle Elektronen. Die Hülle wird von max. 4 kugelförmigen Räumen, den „Wolken“ gebildet, die mit je 1 bzw. 2 Elektronen besetzt sind. Innerhalb einer Periode werden die Wolken zunächst einfach besetzt, dann doppelt.</p>
Ableitung der Ionen	<p>Jedes Teilchen verändert sich so, dass es eine Hülle wie das im PSE nächstgelegene Edelgas hat.</p>	<p>Oktettregel* Betrachtet wird die äußerste Schale. Bei der Bildung eines Ions resultiert eine „volle“ Außenschale.</p>	<p>Oktettregel* Betrachtet wird die höchste Energienstufe. Bei der Bildung eines Ions resultiert eine „volle“ Energienstufe.</p>	<p>Oktettregel* Betrachtet werden die äußersten Kugelwolken. Bei der Bildung eines Ions resultieren 4 doppelt besetzte Wolken.</p>

Vorteile	Einfaches, wenig abstraktes Modell, genügt auch im TF 3 für ein Grundverständnis. Durch Überlappung bis zum Erreichen der Elektronenkonfiguration des nächsten Edelgases wird die Edelgasregel erfüllt. Ladungsart und Anzahl der Ladungen von einfachen Ionen sind aus dem PSE abzuleiten.	Weit verbreitetes Modell, auch in vielen Schulbüchern, gut zeichnerisch darzustellen. Veränderung von Atomradien wird durch „Wegfall“ oder „Auffüllung“ von Schalen plausibel.	Beschränkung auf den energetischen Aspekt, kein Fehlkonzept zur räumlichen Struktur.	Das Modell erklärt gut die räumliche Struktur von Molekülen. Es bereitet die Orbitalvorstellung für die Oberstufe vor. Gemeinsame Nutzung von Elektronenpaaren durch Überlappung der Kugelwolken ist gut darstellbar. Die Lewis-Darstellung ist daraus leicht ableitbar.
Nachteile	Ordnungskriterium Perioden im PSE bleibt ungedeutet.	Räumliche Struktur von Molekülen ist schwer abzuleiten, daher später Modellwechsel notwendig.	Gemeinsame Nutzung von Elektronenpaaren ist schlecht darstellbar, keine Aussage zur räumlichen Struktur.	Zeichnen von Ionen und Molekülen ist schwierig, bei Nutzung der vereinfachten Schemazeichnung geht die räumliche Struktur verloren.

Tab.: Differenzierte Atommodelle – ein Vergleich

* In der Literatur werden häufig Oktettregel oder Edelgasregel im gleichen Zusammenhang verwendet. Die Oktettregel ist ein Spezialfall der Edelgasregel. In dieser Handreichung wird daher nur ein Begriff verwendet.

3 VORSCHLAG FÜR EINEN UNTERRICHTSGANG

Im Folgenden wird ein Unterrichtsgang vorgestellt, der zwei Kontexte (je einen zu Wasserstoff und Methan) sowie die Dekontextualisierung beschreibt. Der Unterrichtsgang beinhaltet die zentralen Konzepte des Themenfeldes.

Die Vorgaben des Lehrplans im Bereich der Kompetenzen und der Konzepte lassen sich in Lerneinheiten gliedern. Dabei entstehen diese „Einheiten“ insbesondere durch die Zugehörigkeit zu einem fachlichen Konzept bzw. durch eine systematische fachliche Betrachtung.

In der unterrichtlichen Umsetzung ergibt sich, dass die Inhalte der hier vorgestellten Lerneinheiten nicht zwingend zeitlich aufeinanderfolgen. Im Rahmen der Betrachtung verschiedener Kontexte kann es sinnvoll sein, die Inhalte der verschiedenen Lerneinheiten in einer veränderten und in Bezug auf den jeweiligen Kontext sinnvollen Reihenfolge zu unterrichten.

3.1 Lerneinheiten

Kontext 1: Wasser ist die Kohle der Zukunft	LE 1: Verbrennung von Wasserstoff (Stoffebene)
	LE 2: Energiediagramm erstellen (Verbrennung von Wasserstoff)
	LE 3: Wasserstoff, Sauerstoff und Wasser sind Moleküle (Elektronenpaarbindung)
Kontext 2: Methan zum Heizen und Antreiben	LE 4: Verbrennung von Methan (Stoffebene)
	LE 5: Energiediagramm erstellen (Verbrennung von Methan)
	LE 6: Methan, Sauerstoff, Kohlenstoffdioxid und Wasser sind Moleküle (Elektronenpaarbindung)
Vernetzung	LE 7: Brennstoffe im Vergleich
(integrieren)	LE 8: Brandbedingungen und Brandschutz

Tab.: Übersicht der Lerneinheiten im Unterrichtsgang

Für die konkrete Unterrichtsgestaltung ist das Durchlaufen beider Kontexte notwendig. Prinzipiell entsprechen sich die Lerneinheiten 1 und 4, 2 und 5, 3 und 6, es geht nur um verschiedene Brennstoffe. Sie sind getrennt ausgeführt, um die Lesbarkeit zu gewährleisten.

Vorstellbar ist es mit Lerneinheit 1 oder Lerneinheit 4 zu beginnen. Sinnvoller erscheint der Zugang über Wasserstoff, weil das Wasserstoff-Molekül einfacher gebaut ist als das Methan-Molekül.

Der jeweils zweite Kontext ermöglicht aufgrund des im Themenfeld bereits erworbenen Wissens der Schülerinnen und Schüler einen zeitlich schnelleren Durchgang.

Es ist sinnvoll, die Lerneinheit 7 erst nach Wasserstoff und Methan zu bearbeiten. Sie eignet sich insbesondere, um die Bewertungskompetenz der Schülerinnen und Schüler zu entwickeln.

Die Lerneinheit 8 kann mit verschiedenen Lerneinheiten verzahnt werden.

Anpassungen an die Lerngruppe hinsichtlich der Tiefe und des Abstraktionsgrades sind insbesondere bei den Lerneinheiten 3 und 6 sinnvoll. Die Lehrkraft kann bei einer vertieften Betrachtung der Teilchenebene hinsichtlich des gewählten Modells differenzieren (Kern-Hülle-Modell, Schalenmodell, Kugelwolkenmodell).

3.2 Kontext: Wasser ist die Kohle der Zukunft

Lerneinheit 1: Verbrennung von Wasserstoff (Stoffebene)			
Kompetenzentwicklung	Schüleraktivität	Fachwissen/ Basiskonzept	Material/Medien
Einführende Lernsituation: Zitat „Wasser ist die Kohle der Zukunft“ (hier ausgeführt für Raketentriebwerk, alternativ: Wasserstoffauto)			
Schülerinnen und Schüler...			
... führen einfache qualitative und quantitative Experimente zur Verbrennung durch und werten diese aus	... erstellen eine Liste von Fragen ... erarbeiten einen Steckbrief von Wasserstoff ... führen die Verbrennung von Wasserstoff in verschiedenen Varianten durch ... führen Nachweisreaktionen durch	Verbrennungsreaktion	Text eines Zitats von J. Verne Link zum Film Raketentriebwerk AB Aufbau und Funktionsweise eines Raketenantriebs Film Plastikflaschenrakete.mp4 LV Eigenschaften Wasserstoff SV Knallgasprobe als Schülerübung
... erstellen Reaktionsgleichungen von Verbrennungsreaktionen	... formulieren die Wortgleichungen für die Verbrennung von Wasserstoff und für die Gewinnung von Wasserstoff aus Wasser	Reaktionsgleichung Synthese von Wasser Analyse von Wasser	AB Bauteile Wasserstoff-Modellauto AB Chemische Reaktion: Drei-Ebenen-Darstellung hier: Stoffebene Vertiefung: AB Gewinnung von Wasserstoff durch Elektrolyse

Einführende Lernsituation:

„Was werden wir später einmal statt Kohle verbrennen?“ fragte der Seemann. „Wasser“, antwortet Smith. Wasserstoff oder Sauerstoff werden für sich oder zusammen zu einer unerschöpflichen Quelle von Wärme und Licht werden, von einer Intensität, die die Kohle überhaupt nicht haben könnte; das Wasser ist die Kohle der Zukunft.“

(J. Verne, Die geheimnisvolle Insel, 1874)

Dieses Zitat von J. Verne führt zur Untersuchung eines Raketentriebwerks oder alternativ zur unterrichtlichen Bearbeitung von Wasserstoffautos.

Beide Untersuchungen liefern einen für den Unterricht geeigneten, Sinn stiftenden Kontext für die Analyse und Synthese von Wasser, sowie deren energetische Betrachtung und Erklärungen auf der Teilchenebene.

Unterrichtsgang Raketentriebwerk:

Die Rakete wird durch den Rückstoß bewegt, der durch die große Menge entstehenden Wasserdampfs hervorgerufen wird. Unterrichtlich gesehen ist dies der „schnellste“ Weg, um sich mit der Verbrennung von Wasserstoff und der energetischen Nutzung dieser Reaktion zu befassen.

Als Modell für die Rakete eignet sich das Experiment vom Knallgas in der Plastikflasche, einer Variante der „Flüsterbüchse“. Ein kurzer Film steht in den Onlinematerialien zur Verfügung.

Bei dieser Unterrichtsvariante dient das Wasserstoff-Modellauto nur zum Vergleich des Antriebs. Beim Wasserstoffauto wird die Energie der exothermen Synthese von Wasser in elektrische Energie umgewandelt, die einen Elektromotor antreibt.

Unterrichtsgang Wasserstoff-Modellauto:

Wasserstoffautos sind etwas näher am Alltag als Raketen, zumal aktuell die technische Entwicklung der Wasserstoffautos (wieder) in den Medien präsent ist und verschiedene Hersteller Wasserstoffautos auf den Markt bringen wollen.

Bei Wasserstoffautos und auch Wasserstoff-Modellautos wird von einer Brennstoffzelle elektrische Energie für einen Elektromotor geliefert. Die Frage nach der Beschaffung von Wasserstoff führt zwanglos zum Elektrolyseur. Bei käuflichen Modellautos findet man häufig Elektrolyseur und Brennstoffzelle kombiniert in einem einzigen Bauteil. Das kann das Verständnis für Schülerinnen und Schüler erschweren. Abhilfe schafft ein zusätzliches Experimentier-Set, das aus Solarplatte, Elektrolyseur, Brennstoffzelle und einer Verbraucher-Box besteht.

Hinweis zur Materialbeschaffung:

Verschiedene Modellautos werden von Lehrmittel-Herstellern zu recht unterschiedlichen Preisen angeboten. Einige Modelle sind im Onlinematerial vorgestellt (siehe „Rezensionen Brennstoffzellen-Sets“).

In diesem Kontext werden Wasserstoff-Modellautos genauer in ihrem Aufbau und in der Funktion der Bauteile betrachtet. Dies kann sowohl am Modellauto als auch am realen Fahrzeug geschehen (AB Bauteile Wasserstoff-Modellauto).

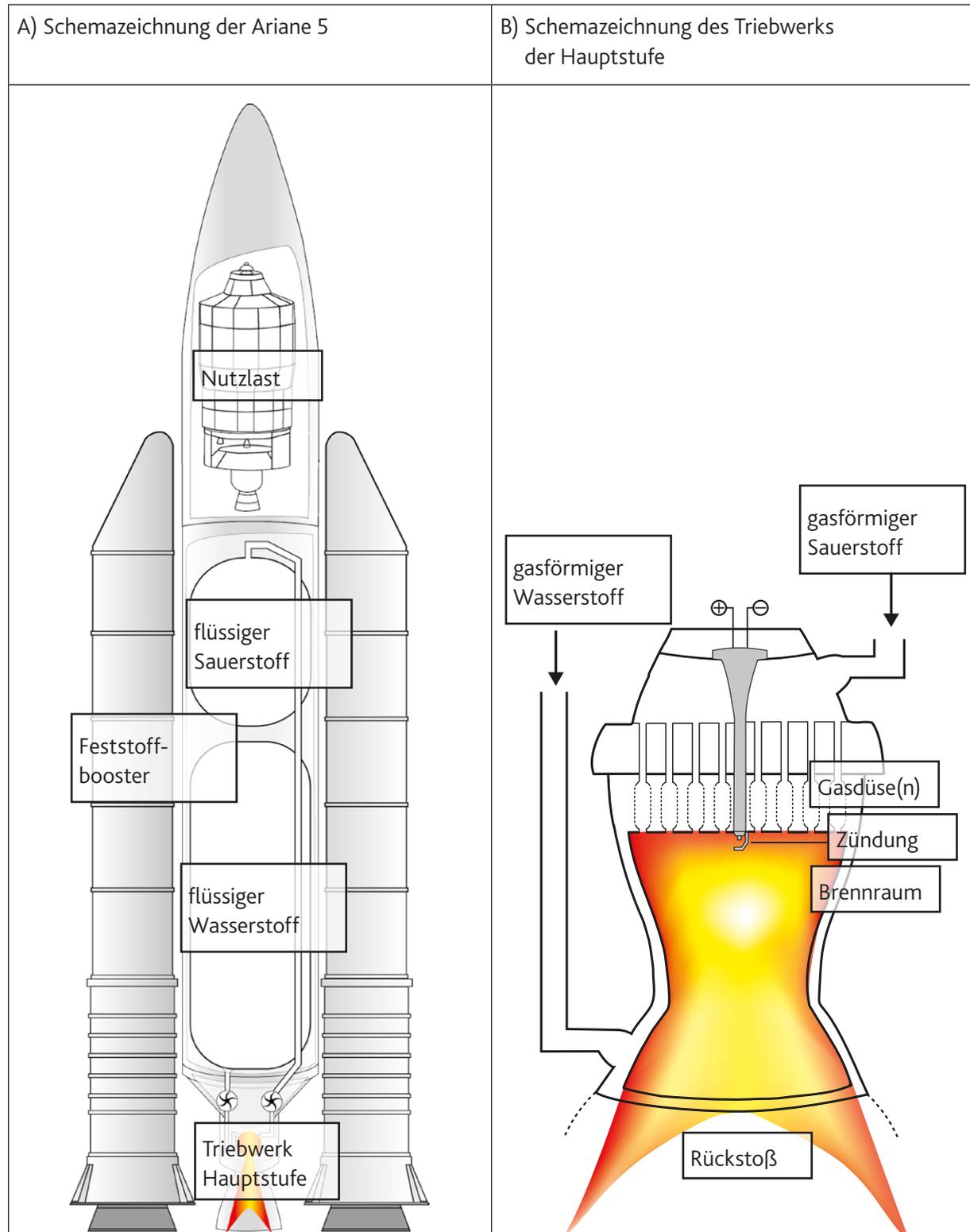
Falls man den Unterrichtsgang mit Fotos von Smog beginnt, wird zunächst ein Bezug zur Luftverschmutzung durch Autos hergestellt. Die Diskussion verschiedener Lösungsideen (Einschränkung des Fahrens, Weiterentwicklung der vorhandenen Technik, Entwicklung neuer Technologien) erfordert etwas Zeit und entwickelt die Bewertungskompetenz.

Exemplarische Materialien zur LE 1:

Link zum Film Raketentriebwerk in der Sendung mit der Maus (Thema: Raketentriebwerk)

<https://www.youtube.com/watch?v=MXi3H-JwSUU>

AB Aufbau und Funktionsweise eines Raketenantriebs (Lösungsblatt)



AB Bauteile eines Wasserstoff-Modellautos und deren Funktion (Lösungsblatt)

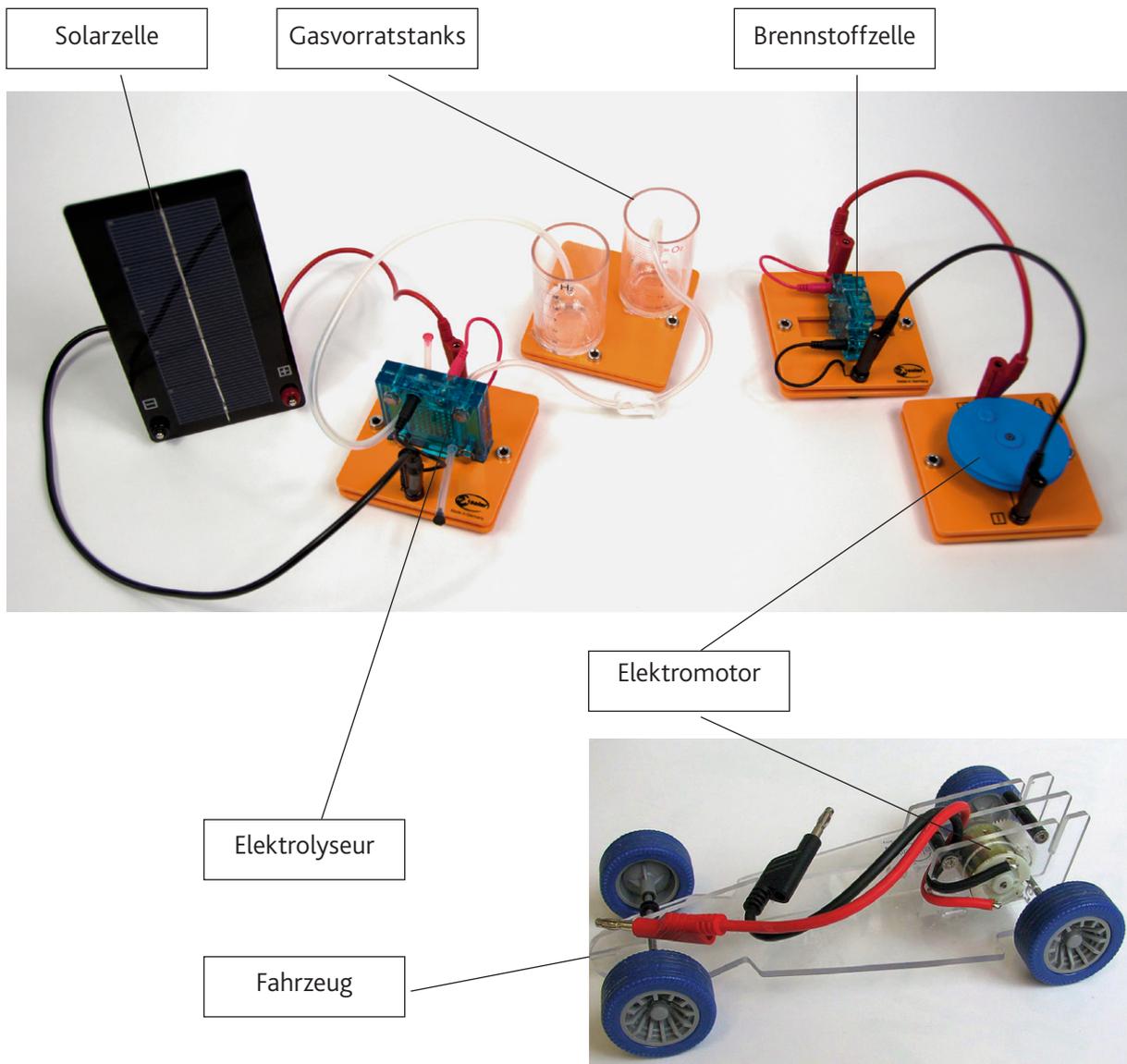
Arbeitsauftrag:

Im Chemieunterricht hast du mit einem Modell eines Brennstoffzellen-Autos gearbeitet.

Beschrifte die folgende Abbildung, die die typischen Bestandteile eines Modells eines Brennstoffzellen-Fahrzeugs zeigt.

Vergleiche die Abbildung mit dem Modell-Fahrzeug in deiner Schule. Sind bei deinem Fahrzeug alle Teile enthalten?

Ordne den Bauteilen passende Funktionen und chemische Fachbegriffe zu. Zerschneide dazu die Tabelle in Schnipsel und bringe die Bauteile des Wasserstoff-Modellautos in eine sinnvolle Reihenfolge.



Bauteil	Funktion/chemischer Fachbegriff
Lampe bzw. Sonne	liefert Energie.
Solarmodul	wandelt Lichtenergie in elektrische Energie um.
Elektrolyseur	zerlegt Wasser mit Hilfe elektrischer Energie in Wasserstoff und Sauerstoff.
	endothermer Vorgang
	Analyse
Brennstoffzelle	führt Wasserstoff und Sauerstoff kontrolliert zusammen und bringt beide Stoffe zur Reaktion.
	Wasser entsteht. Dabei wird Energie in Form von elektrischer Energie frei.
	exothermer Vorgang
	Synthese
Gasvorratstanks	mobile Brennstoffspeicherung
Elektromotor	Im ... wandelt sich elektrische Energie in Bewegungsenergie um.
Fahrzeug	bewegt sich durch drehende Räder.

Durch den Elektrolyseur kann die klassische Hofmann-Apparatur gut ersetzt werden. Die Volumenverhältnisse sind gut abzulesen, die entstehenden Gase lassen sich je nach verwendeter Apparatur entnehmen und nachweisen.

Die Funktionsweise der Brennstoffzelle steht nicht im Zentrum des Themenfeldes. Sie lässt sich reduzieren auf eine „Black-Box“, in der die kontrollierte Reaktion von Wasserstoff mit Sauerstoff stattfindet. Vertiefend können die Vorgänge an der Membran nach der Erarbeitung der Elektronenpaarbindung auf der Teilchenebene thematisiert werden (siehe LE 3).

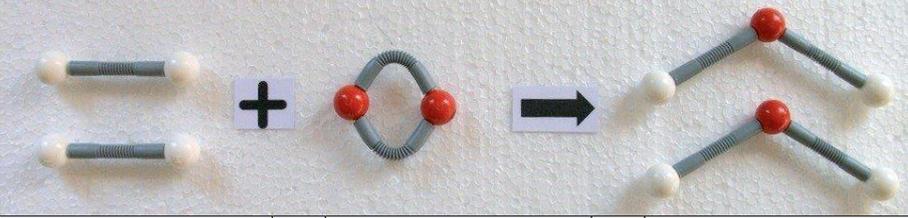
AB Darstellung chemischer Reaktionen auf verschiedenen Ebenen

Dateiname des Onlinematerials: Drei-Ebenen-Darstellung

Ein zentrales Material für dieses Themenfeld ist das Arbeitsblatt „Chemische Reaktion: Drei-Ebenen-Darstellung“. Es entwickelt, aufbauend auf dem Material zur Verbrennung von Kohlenstoff (SQ4_AB_Chemische Reaktion darstellen, in der Handreichung zum Themenfeld 1, S. 55) die Stoff- und die Teilchenebene weiter.

In der ersten Lerneinheit wird die Stoffebene schematisch dargestellt.

Bei der Bearbeitung der weiteren Lerneinheiten werden die Schülerinnen und Schüler befähigt, die Prozesse auf der Teilchenebene und der Energieebene zu erfassen. Dazu nutzen sie Modelle.

Stoffebene Bildschema	 rote Gasflasche	+	 blaue Gasflasche	+	
	Brennbares, unsichtbares Gas		Nicht brennbares, unsichtbares Gas		Farblose Flüssigkeit
Stoffebene Wortschema	Wasserstoff	+	Sauerstoff	→	Wasser
Teilchenebene Kugelschema (ohne erkennbare Bindung)					
Teilchenebene Formelschema (ohne erkennbare Bindungen)	2H_2	+	O_2	→	$2 \text{H}_2\text{O}$
Teilchenebene Kugelschema mit Atombindung (man erkennt bindende Elektronenpaare)					
Teilchenebene Formelschema in Va- lenz (Lewis)-schreib- weise (man erkennt freie und bindende Elektronenpaare)	$2 \cdot$ $\text{H}-\text{H}$	+	$\langle \text{O}=\text{O} \rangle$	→	$2 \cdot$ $\begin{array}{c} \diagup \quad \diagdown \\ \text{O} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$
Energieebene Gesamtenergiebilanz	Energie, die man zum Spalten von zwei Mol (4g) Wasser- stoffmolekülen be- nötigt. $2 \cdot \text{H}-\text{H}$ spalten $2 \cdot 436 \text{ kJ} = +872 \text{ kJ}$ $\Delta H = +872 \text{ kJ}$		Energie, die man zum Spalten von einem Mol (32g) Sauerstoffmolekülen benötigt. $1 \cdot \text{O}=\text{O}$ spalten $+497 \text{ kJ}$ $\Delta H = +497 \text{ kJ}$		Energie, die bei der Bildung von zwei Mol (36g) Wassermole- külen frei wird. $4 \cdot \text{H}-\text{O}$ bilden $4 \cdot -463 \text{ kJ} = -1852 \text{ kJ}$ $\Delta H = -1852 \text{ kJ}$
Reaktionsenthalpie	$2 \cdot 436 \text{ kJ} + 1 \cdot 497 \text{ kJ} - 4 \cdot 463 \text{ kJ} = -483 \text{ kJ}$ $\Delta H_{\text{R}} < 0$, exotherm 483 kJ Energie werden bei der Verbrennung von zwei Mol (4g) Wasserstoff frei.				

Zusätzliche Materialien:

Link zum Spot: Wasserstoff-Tankstelle in Karlsruhe

<http://www.alternativ-fahren.de/videos/790-enbw-video-wasserstoff-tankstelle.html>

Foto zum Versuchsaufbau z. B. unter:

http://www.der-hedinger.de/uploads/tx_t3nav/026408C2-2899-43B1-B29D-46C29473F002.jpg

Filme:

Hofmannscher Zersetzungsapparat: <http://www.youtube.com/watch?v=bf6YYwH6d28>

Glimmspanprobe: http://www.youtube.com/watch?v=laehfq-4_JE

Knallgas-Probe: <http://www.youtube.com/watch?v=m7xQmI4OI5g>

Selbstbau-Hofmann: <http://www.youtube.com/watch?v=vfUNrAcEZBg>

Lerneinheit 2: Energiediagramme erstellen (Verbrennung von Wasserstoff)			
Kompetenzentwicklung	Schüleraktivität	Fachwissen/ Basiskonzept	Material/Medien
Einführende Lernsituationen: Film aus Lerneinheit 1 Schülerfrage: Warum fliegt die Rakete? (Alternative: Warum fährt das Auto?)			
Schülerinnen und Schüler...			
... erklären Aktivierungsenergie und Reaktionsenergie unter Verwendung von Energiediagrammen	<p>... beschreiben die Verbrennung von Wasserstoff unter energetischem Aspekt</p> <p>... erarbeiten (oder beschreiben und erklären oder bauen) je ein Energiediagramm für die Synthese und die Analyse von Wasser.</p> <p>... erklären die energetischen Effekte mit Veränderungen von Molekülen und Elektronenpaarbindungen.</p>	<p>Energieträger Energieform Energiewandlung</p> <p>Aktivierungsenergie Reaktionsenergie exotherm endotherm</p>	<p>Link zum Film „Raketentriebwerk“</p> <p>AB Wasserstoff ist ein Energieträger</p> <p>AB Energiediagramm-differenzierte Aufgaben</p> <p>AB Energiediagramm stecken-Wasserstoff (haptisches Modell)</p> <p>AB Chemische Reaktion: Drei-Ebenen-Darstellung hier: Energieebene</p> <p>Vertiefung: AB Bilanzierung Energieumsatz (mit Kopiervorlage Energiepfeile)</p>

Die Fragen der Schülerinnen und Schüler führen zu Antworten, die einen technischen und einen chemischen Lösungsanteil besitzen. Über die Betrachtung der chemischen Reaktion als Stoffumwandlung hinaus sind die energetischen Effekte entscheidend. Analyse und Synthese von Wasser eignen sich auch, um die Umkehrbarkeit chemischer Reaktionen zu bearbeiten. Beide Reaktionen werden in technischen Prozessen (Elektrolyseur, Brennstoffzelle) durchgeführt.

Qualitative Betrachtungen von Energiediagrammen erfüllen die Lehrplananforderungen ausreichend.

Exemplarische Materialien zur LE 2:

Ein haptisches Modell erleichtert den Zugang zu abstrakten Energiediagrammen.
(AB Energiediagramm stecken – Wasserstoff)

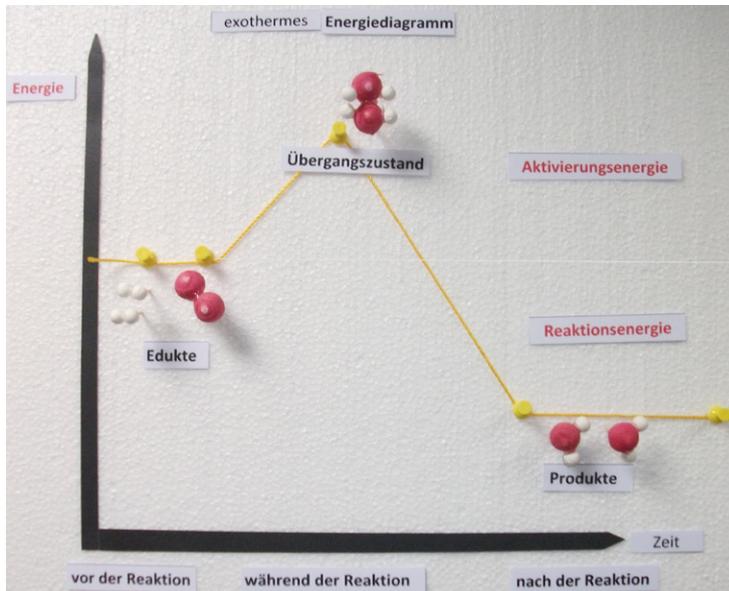


Abb. 6: Energiediagramm zur Verbrennung von Wasserstoff (Lösung)

Vertiefung:

Im Bereich der Vertiefung ist die quantitative Betrachtung der energetischen Effekte angesiedelt. Nach der Bearbeitung der Elektronenpaarbindung (LE 3) kann mit Hilfe der Bindungsenergien die Reaktionsenergie der Wassersynthese bzw. Wasseranalyse ermittelt werden. Im Material wird dies mit Pfeilen passender Länge umgesetzt, die jeweils in zwei Richtungen (mit verschiedenen Vorzeichen) zur Verfügung stehen (AB Bilanzierung des Energieumsatzes bei Verbrennungsreaktionen).

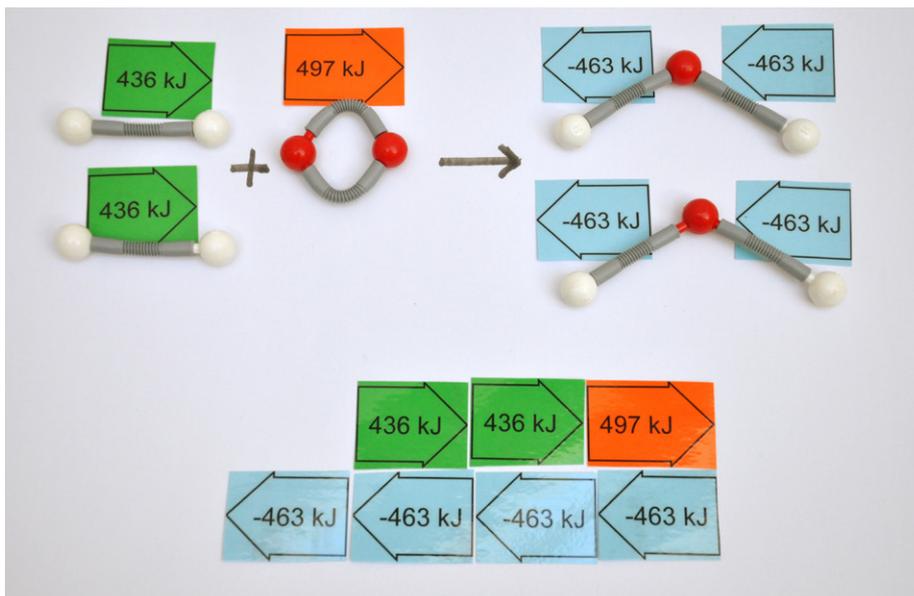


Abb. 7: Bilanzierung Energieumsatz (Lösung)

Lerneinheit 3: Wasserstoff, Sauerstoff und Wasser sind Moleküle (Elektronenpaarbindung)			
Kompetenzentwicklung	Schüleraktivität	Fachwissen/ Basiskonzept	Material/Medien
Einführende Lernsituation sind die Schülerfragen von LE 1: Wo „steckt“ die Energie in den Stoffen? „Funktioniert“ die Verbrennung wie beim Boyle-Versuch?			
Schülerinnen und Schüler...			
... erstellen Reaktionsgleichungen und veranschaulichen die submikroskopische Ebene mit geeigneten Molekülmodellen.	... bauen Molekülmodelle von Wasserstoff, Sauerstoff und Wasser. ... deuten Synthese und Analyse von Wasser auf Teilchenebene.	Elektronenpaarbindung Molekül Reaktionsgleichung	AB Von der Ionen- zur Elektronenpaarbindung (EPB) Molekülbaukasten (z. B. CVK-Molekülbox, Molymod, Toytomics) AB EPB Kugelwolkenmodell Lückentext Kopiervorlagen zur EPB mit den Varianten A, B und D (Erarbeitung, Übersicht, Folien) AB Chemische Reaktion: Drei-Ebenen-Darstellung hier: Teilchenebene Vertiefung: AB Brennstoffzelle Funktionsweise

In dieser Lerneinheit geht es darum, die auf der Stoffebene behandelte Reaktion des Wasserstoffs mit Sauerstoff auch auf der Teilchenebene zu betrachten und zu verstehen. Im Zentrum stehen die Bindungen zwischen den Atomen in den Molekülen.

Die Einführung der Elektronenpaarbindung (EPB) erfolgt auf der Basis des von der Lehrkraft im Themenfeld 2 eingeführten differenzierten Atommodells.

Im Folgenden werden die vier Varianten A bis D aus dem Themenfeld 2 in Bezug auf die Einführung der Elektronenpaarbindung aufgegriffen und die Weiterentwicklungen dargelegt.

Variante A – Kern-Hülle-Modell

Wie kommt man von Atomen zu Molekülen (am Beispiel der Moleküle des Wasserstoffs, Sauerstoffs und Wassers)?

Bei der Bildung einer Elektronenpaarbindung erreichen die Atome die Elektronenkonfiguration des nächstgelegenen Edelgases.

Hat sich die Lehrkraft für die Einführung des Kern-Hülle-Modells in Themenfeld 2 entschieden, so betrachtet man die Elektronenhülle als Aufenthaltsort aller Elektronen, in der es keine weiteren räumlichen Kompartimente gibt.

Führt man auf dieser Basis die EPB ein, so muss es zur Überlappung der Elektronenhüllen kommen, bis die Elektronenkonfiguration der Edelgase erreicht wird. Dafür ist das einfache Kern-Hülle-Modell ausreichend.

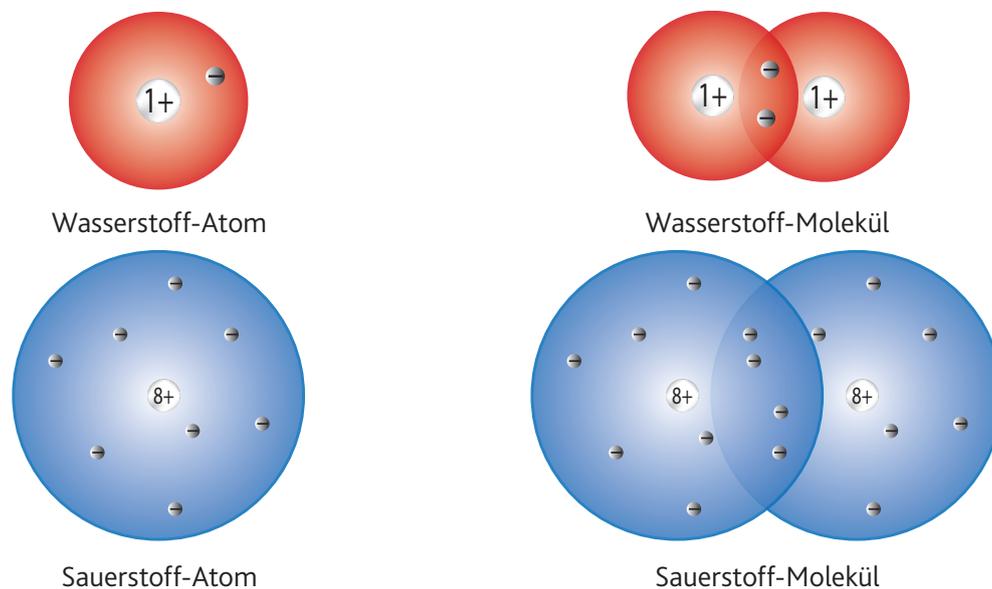


Abb. 8: Atome u. Moleküle im Kern-Hülle- Modell

Erkenntnis: Elektronenpaarbindungen in Molekülen entstehen durch die Annäherung von Atomen, so dass es zur Überlappung von Aufenthaltsbereichen kommt. Der sich überlappende Aufenthaltsbereich enthält so viele Elektronen, wie zum Erreichen der Elektronenkonfiguration der Edelgase notwendig ist.

Dazu ist es nicht zwingend notwendig, dass die Elektronenhülle in Schalen/Kugelwolken differenziert ist.

Eine Darstellung des Moleküls in einer vereinfachten Variante, z. B. in der Lewis-Schreibweise, ist allerdings erst dann möglich, wenn man die Elektronenhülle untergliedert, damit die Lernenden den Sinn der Schreibweise auch nachvollziehen können.

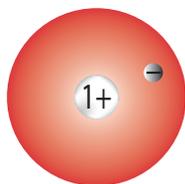
Variante B – Schalenmodell

Wie kommt man von Atomen zu Molekülen (am Beispiel der Moleküle des Wasserstoffs, Sauerstoffs und Wassers)?

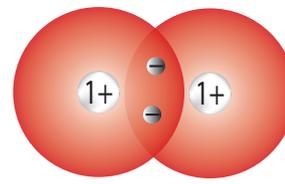
Bei der Bildung einer Elektronenpaarbindung (EPB) erreichen die Atome die Elektronenkonfiguration des nächstgelegenen Edelgases.

Hat sich die Lehrkraft für die Einführung des Schalenmodells in Themenfeld 2 entschieden, so betrachtet man den Aufenthaltsraum aller Elektronen in der Elektronenhülle als in kreisförmige-/kugelförmige Schalen angelegt.

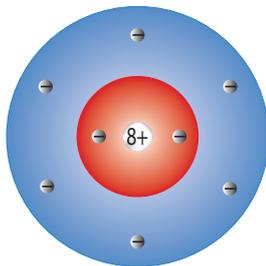
Führt man auf dieser Basis die EPB ein, so muss es zur Überlappung der äußeren Schale der Elektronenhülle kommen, bis die Elektronenkonfiguration eines Edelgases erreicht wird.



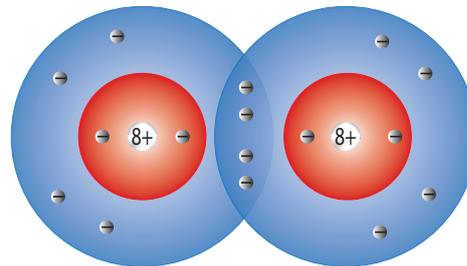
Wasserstoff-Atom



Wasserstoff-Molekül



Sauerstoff-Atom

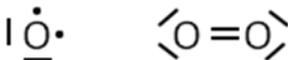


Sauerstoff-Molekül

Abb. 9: Atome im Schalenmodell

Abb. 10: Moleküle im Schalenmodell

Erkenntnis: Elektronenpaarbindungen in Molekülen entstehen durch die Annäherung von Atomen, so dass es zur Überlappung von Schalen kommt. Die sich überlappenden Schalen enthalten jeweils so viele Elektronen, wie zum Erreichen der Elektronenkonfiguration des nächstgelegenen Edelgases notwendig sind.



Die Darstellung des Moleküls in der Lewis-Schreibweise ist gut möglich, wenn die Betrachtung der äußeren Schale vereinbart wird und zwei Elektronen zu einem Elektronenpaar zusammengefasst werden.

Allerdings ist die räumliche Struktur, z. B. die der Wassermoleküle, von den Schülerinnen und Schülern nicht abzuleiten.

Variante C – Energiestufenmodell

Wie kommt man von Atomen zu Molekülen (am Beispiel der Moleküle des Wasserstoffs, Sauerstoffs und Wassers)?

Die grundlegende Notwendigkeit für das Ausbilden der Elektronenpaarbindung (EPB) ist das Erreichen der Elektronenkonfiguration des nächstgelegenen Edelgases.

Hat sich die Lehrkraft für die Einführung des Energiestufenmodells in Themenfeld 2 entschieden, so ergibt sich die Schwierigkeit der visuellen Darstellung der Energiestufenbesetzung von Molekülen, was den Unterricht der Sekundarstufe I übersteigen würde.

Erkenntnis: Diese Darstellung beschränkt sich auf den energetischen Aspekt. Daher ist zu diesem Zeitpunkt das Hinzuziehen des Schalenmodells oder des Kugelwolkenmodells notwendig, um eine geeignete Darstellung der EPB zu ermöglichen.

Variante D – Kugelwolkenmodell

Wie kommt man von Atomen zu Molekülen (am Beispiel der Moleküle des Wasserstoffs, Sauerstoffs und Wassers)?

Bei der Bildung einer Elektronenpaarbindung (EPB) erreichen die Atome die Elektronenkonfiguration des nächstgelegenen Edelgases.

Hat sich die Lehrkraft für die Einführung des Kugelwolkenmodells in Themenfeld 2 entschieden, so betrachtet man die Elektronenverteilung ausschließlich in kugelförmigen Elektronenwolken, die sich derart um den Atomkern samt ihrer inneren Bereiche anordnen, dass ihre gegenseitige Abstoßung minimal wird. Diese Elektronenwolken werden mit maximal zwei Elektronen besetzt.

Führt man auf dieser Basis die EPB ein, so kommt es zur Überlappung jeweils nur einfach besetzter Kugelwolken, bis die Elektronenkonfiguration eines Edelgases erreicht wird.

Die Lernenden erkennen sehr rasch, welche einfach besetzten Kugelwolken durch Überlappung zur Ausbildung von Elektronenpaarbindungen zur Verfügung stehen und wie viele Bindungen sich dadurch ausbilden.

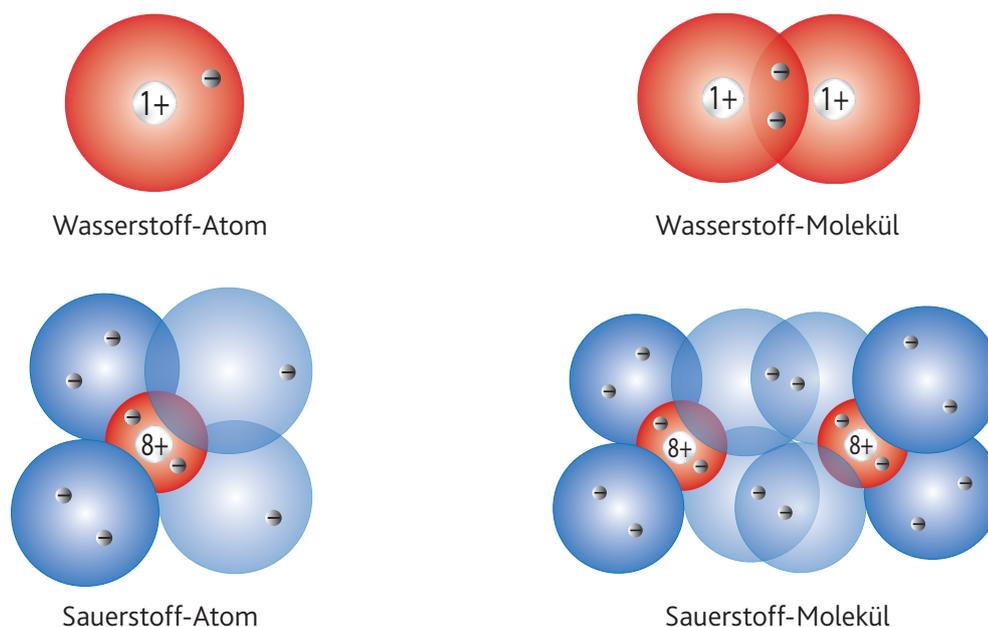


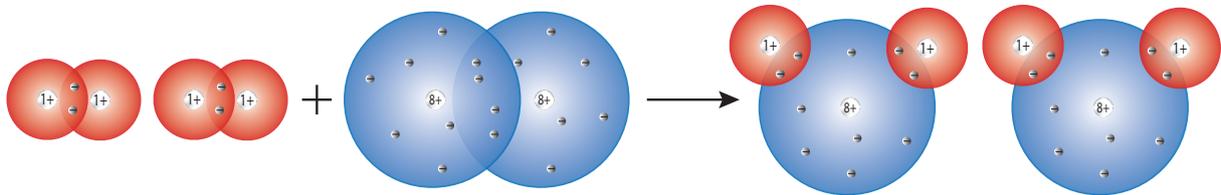
Abb. 11: Atome und Moleküle im Kugelwolkenmodell

Erkenntnis: Elektronenpaarbindungen in Molekülen entstehen durch die Annäherung von Atomen, so dass es zur Überlappung von jeweils nur einfach besetzten Kugelwolken kommt, bis die Elektronenkonfiguration eines Edelgases erreicht wird. Die LEWIS-Darstellung ist daraus leicht ableitbar. Die räumliche Struktur von Molekülen ist für die Schülerinnen und Schüler gut erkennbar und bereitet die Orbitalvorstellung für die Oberstufe vor.

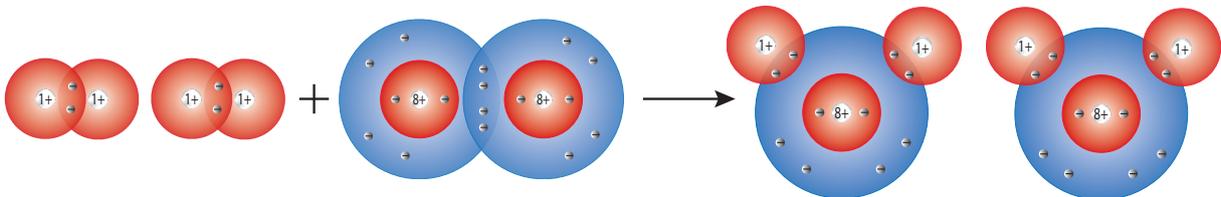
Exemplarische Materialien zur LE 3:

Die Darstellung der Wasserstoffverbrennung kann mit Hilfe des gewählten Atommodells erfolgen.

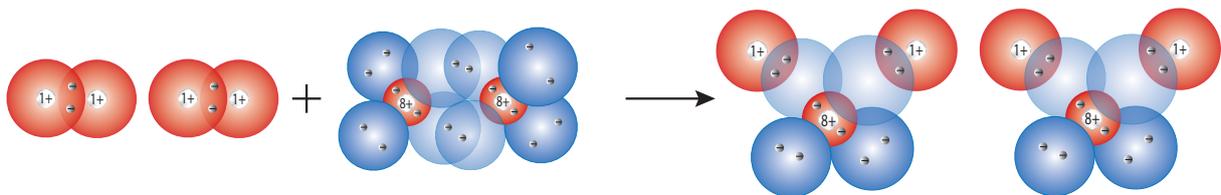
Kern-Hülle-Modell



Schalenmodell



Kugelwolkenmodell



Ergänzend stehen im Onlinematerial Kopiervorlagen zur Verfügung:

- EPB Kern-Hülle-Modell Übersicht
- EPB Schalenmodell Übersicht
- EPB Kugelwolkenmodell Übersicht
- Abbildungen einzelner Atome von Wasserstoff, Sauerstoff und Kohlenstoff (z. B. Kopiervorlage Kern-Hülle-Modell_8H_4O_1C_Folien)

Auch auf der Basis des Materials vom Chemieportal des Landesbildungsservers Baden-Württemberg (www.chemie-bw.de; Maisenbacher) lässt sich die Reaktion von Wasserstoff mit Sauerstoff darstellen (AB EPB Kugelwolkenmodell Lückentext).

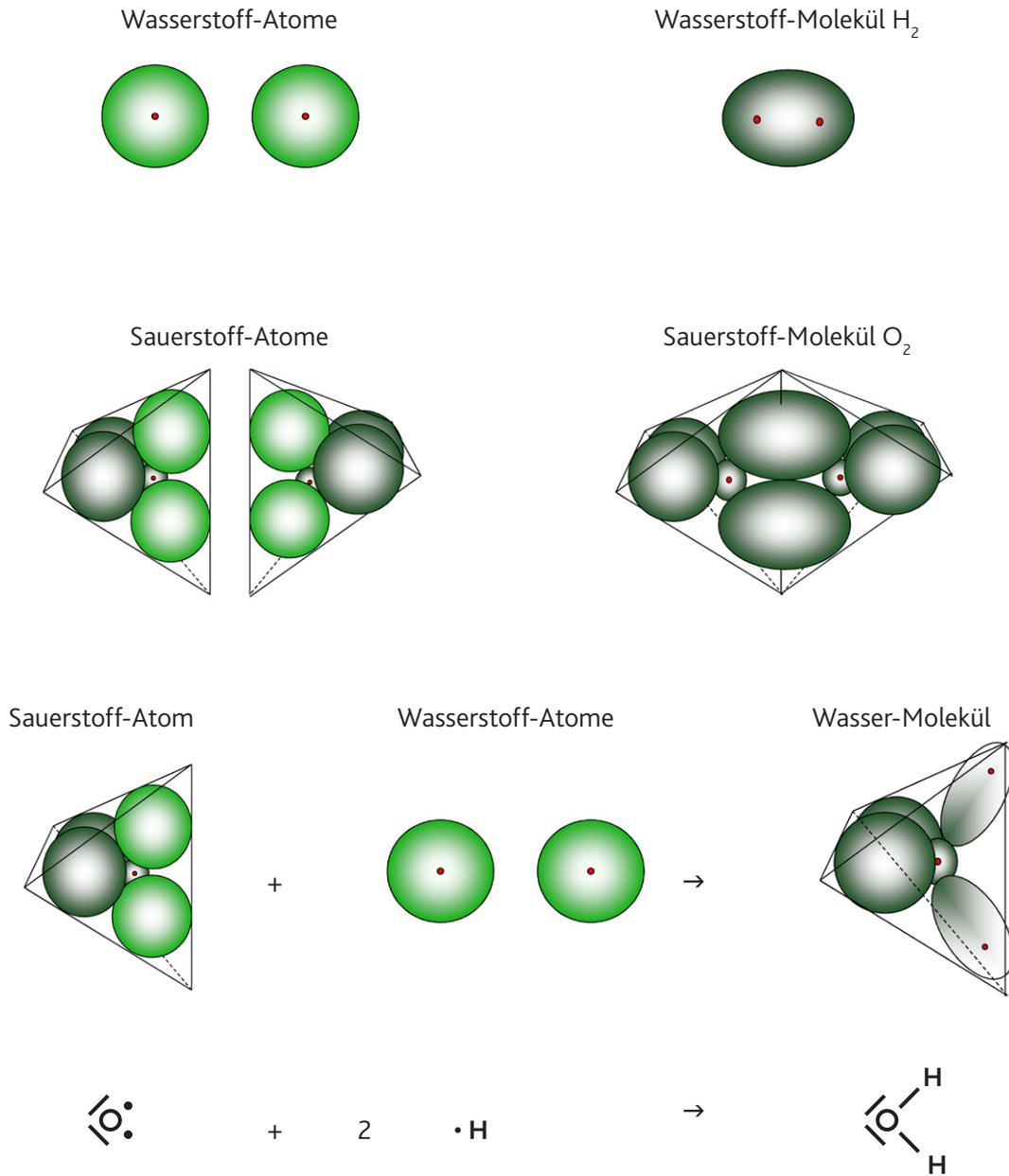


Abb. 12: Kugelwolkenmodell nach Maisenbacher

Räumlicher Bau von Molekülen: Tetraederstruktur

Der besondere Vorzug dieses Modells ist, dass sich der räumliche Bau mit dem Kugelwolkenmodell problemlos ableiten lässt. Allerdings ist die Bearbeitung des räumlichen Baus der Moleküle erst im Themenfeld 5 „Sauber und Schön“ verpflichtend vorgesehen.

Zur Veranschaulichung der Tetraederstruktur sind einfache Modelle gut geeignet:

Luftballons schließen gedanklich an das Kugelwolkenmodell an. Stifte demonstrieren den Tetraederwinkel besonders deutlich. Das Papiermodell zeigt die vier Flächen eines Tetraeders. Die Simulationssoftware visualisiert die Entstehung von Bindungen mit den entsprechenden Winkeln.



Abb. 13: Tetraederstruktur mit Luftballons

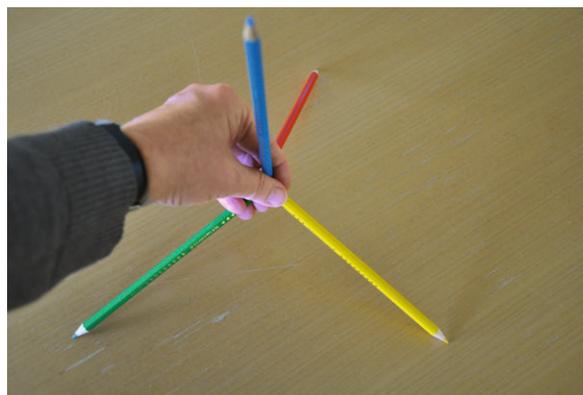


Abb. 14: Tetraederstruktur mit Stiften

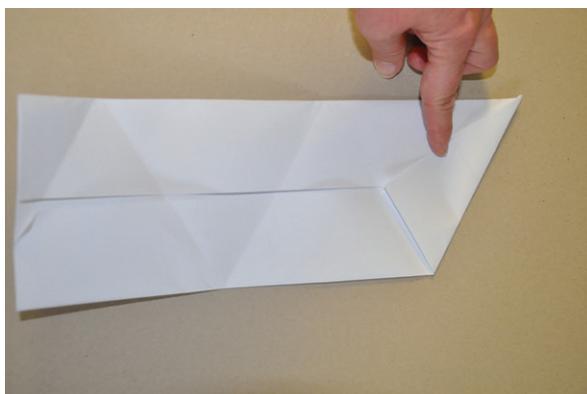


Abb. 15: Papiertetraeder falten aus einem DIN-A4-Blatt

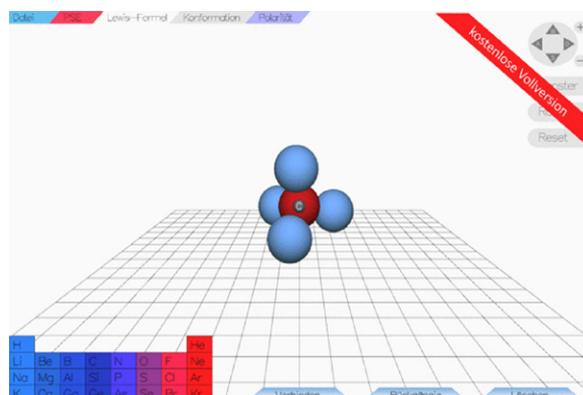


Abb. 16: Simulationssoftware

Die Universität Rostock, Didaktik der Chemie bietet ein interaktives Programm www.kugelwolkenmodell.de, das Kugelwolkenmodelle dreidimensional und interaktiv darstellt.

Seine frühe Einführung im TF 2 erleichtert die Erweiterung des Teilchenkonzepts im TF 3, um die Elektronenpaarbindung und den Molekülbau zu vermitteln.

3.3 Kontext: Methan zum Heizen und Antreiben

Lerneinheit 4: Verbrennung von Methan (Stoffebene)			
Kompetenzentwicklung	Schüleraktivität	Fachwissen/ Basiskonzept	Material/Medien
Mögliche einführende Lernsituationen: Heizungsanlage, Gasauto oder Biogasanlage in unserer Nachbarschaft			
Schülerinnen und Schüler...			
... führen einfache qualitative und quantitative Experimente zur Verbrennung durch und werten diese aus.	... erstellen eine Liste von Fragen ... erstellen oder nutzen einen Steckbrief von Methan. ... verbrennen Methan und weisen die Reaktionsprodukte nach.	Verbrennungsreaktion Stoffeigenschaften Nachweisreaktion	Infotext Methan Infomaterial zu Biogas SV Verbrennung von Methan - Nachweis der Produkte PZ-Information 3/2008: „Naturwissenschaften kompetenzorientiert unterrichten“ Teil 2 – Chemie: „Ein Erdgasauto fahren?“
... erstellen die Reaktionsgleichungen von Verbrennungsreaktionen.	... formulieren die Wort- bzw. Reaktionsgleichung für die Verbrennung von Methan auf der Stoffebene.	Reaktionsgleichung	AB Chemische Reaktion: Drei-Ebenen-Darstellung hier: Stoffebene

Ausgehend von einem Verwendungsbeispiel erschließen Recherchen und Experimente den Stoff Methan. Vertiefend ist die Einführung der Reihe der Alkane möglich.

Die zugehörigen Verbrennungsreaktionen können Anlass zu einer intensiveren Auseinandersetzung mit dem Erstellen von Gleichungen sein.

Zum Kontext „Eine Biogasanlage in unserer Nachbarschaft“ ist in dem Infomaterial enthalten:

- Info: Was ist Biogas?
- Info: Energiepflanzen
- Bau einer Biogas-Modellanlage
- Zusätzliches Material und weitere Links

Weitere Materialien:

Film: „Erdgas aus der Tiefe ins Haus“: <http://www.youtube.com/watch?v=5Wi4Z995Oe0>

Lerneinheit 5: Energiediagramme erstellen (Verbrennung von Methan)			
Kompetenzentwicklung	Schüleraktivität	Fachwissen/ Basiskonzept	Material/Medien
Einführende Lernsituation: siehe Lerneinheit 4			
Schülerinnen und Schüler...			
... erklären Aktivierungsenergie und Reaktionsenergie unter Verwendung von Energiediagrammen.	... beschreiben die Verbrennung von Methan unter energetischem Aspekt. ... erarbeiten oder beschreiben und erklären oder bauen ein Energiediagramm für die Verbrennung von Methan und ggf. anderen Alkanen. ... erklären die energetischen Effekte mit Veränderungen von Molekülen und Elektronenpaarbindungen.	Energieträger Energieform Energiewandlung Reaktionsenergie exotherm endotherm Aktivierungsenergie	AB Chemische Reaktion: Drei-Ebenen-Darstellung Methan hier: Energieebene AB Energiediagramm stecken Methan (haptisches Modell) AB Energiediagramm Verbrennung von Kerzenwachs Vertiefung: AB Bilanzierung Energieumsatz mit Kopiervorlage Energiepfeile (siehe LE 2)

Diese Lerneinheit widmet sich der Verbrennungsreaktion von Methan und ggf. anderen Alkanen unter energetischem Aspekt. Die Materialien sind analog zu denen der Lerneinheit 2 zu betrachten, die sich mit Wasserstoff beschäftigen. Somit gelten die didaktisch-methodischen Hinweise zu diesen Materialien auch hier.

Exemplarische Materialien zur LE 5:

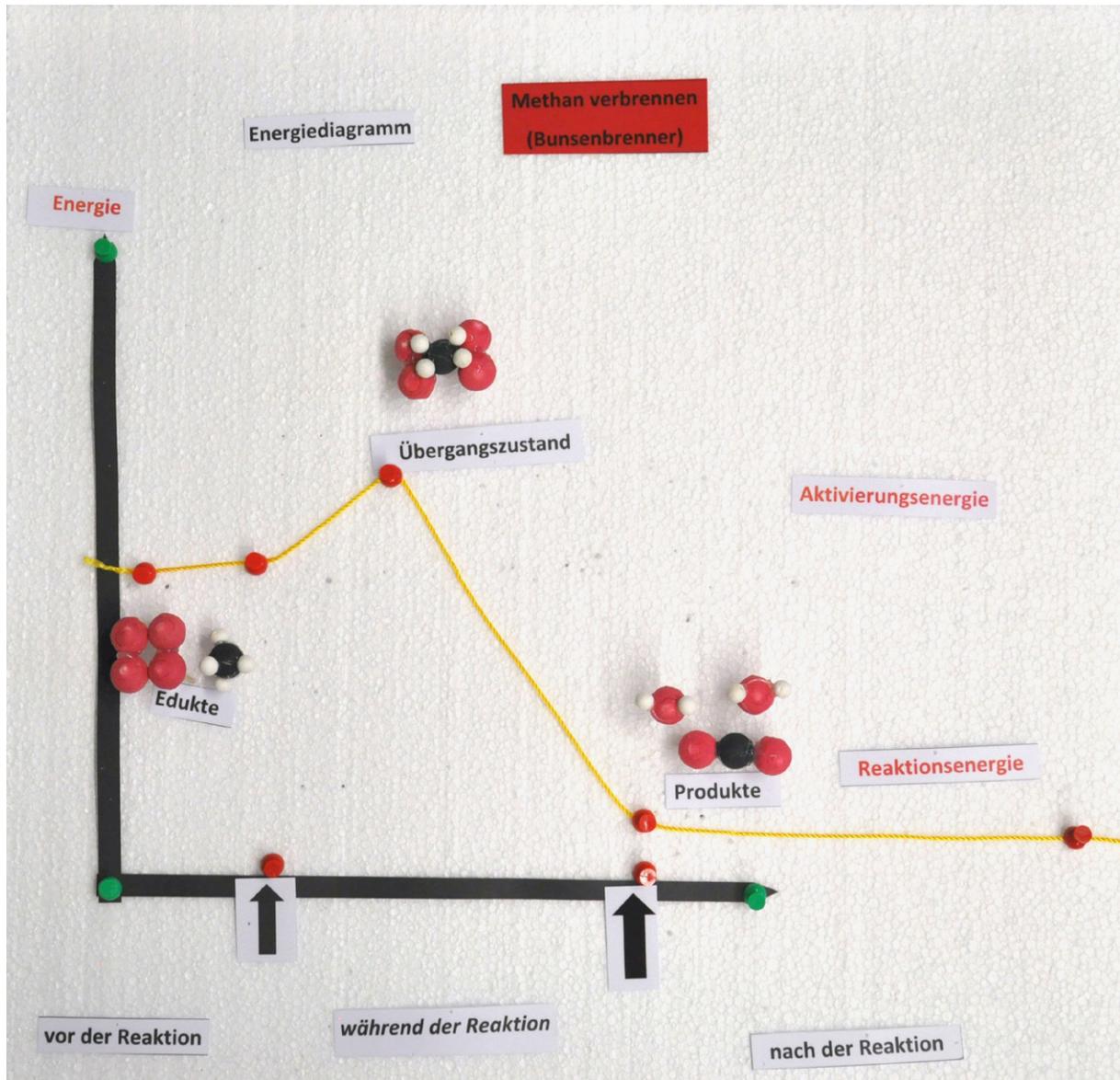


Abb. 17: Energiediagramm zur Verbrennung von Methan (Lösung)

Lerneinheit 6: Methan, Sauerstoff, Kohlenstoffdioxid und Wasser sind Moleküle (Elektronenpaarbindung)			
Kompetenz- entwicklung	Schüleraktivität	Fachwissen/ Basiskonzept	Material/Medien
Einführende Lernsituation: siehe Lerneinheit 4			
Schülerinnen und Schüler...			
<p>... erstellen Reaktionsgleichungen.</p> <p>... veranschaulichen die submikroskopische Ebene mit geeigneten Molekülmodellen.</p>	<p>... bauen Molekülmodelle von Methan, Sauerstoff, Kohlenstoffdioxid und Wasser.</p> <p>... formulieren die Reaktionsgleichung für die Verbrennung von Methan auf der Teilchenebene.</p>	<p>Elektronenpaarbindung</p> <p>Molekül</p> <p>Tetraeder</p>	<p>Molekülbaukasten (z. B. CVK-Molekülbox, Moly-mod, Toytomics)</p> <p>AB EPB Kugelwolkenmodell Lückentext Methan</p> <p>AB Chemische Reaktion: Drei-Ebenen-Darstellung Methan hier: Teilchenebene</p> <p>Kopiervorlagen zur EPB mit den Varianten A, B und D (siehe LE 3)</p> <p>Vertiefung:</p> <p>AB Alkane, Kärtchen Namen und Formeln</p> <p>AB Aufstellen und Einrichten von Gleichungen</p> <p>AB EPB Modell für räumliche Struktur (drei Dateien: Infotext, Tabelle, Ringeldingel)</p>

Am Methan-Molekül lassen sich die Erkenntnisse zur Elektronenpaarbindung anwenden, üben und vertiefen. Auch die Betrachtung weiterer Alkane ist möglich.

Die Materialien sind analog zu den Materialien in der Lerneinheit 3 zu betrachten, die sich mit Wasserstoff beschäftigen. Somit gelten die didaktisch-methodischen Hinweise zu diesen Materialien auch hier. Die Kopiervorlagen zur EPB mit den Varianten A, B und D beziehen sich auf Wasserstoff und Methan und sind nachfolgend abgebildet.

Exemplarische Materialien zur LE 6:

Im Onlinematerial sind Kopiervorlagen der einzelnen Atommodelle von Wasserstoff, Sauerstoff und Kohlenstoff für Schülerinnen und Schüler eingestellt.

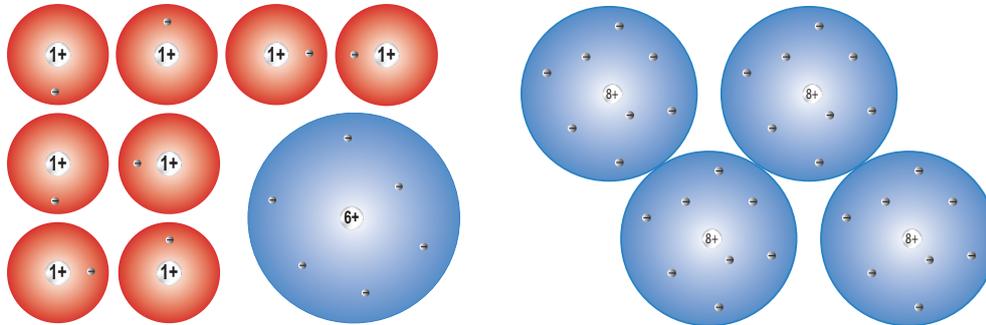
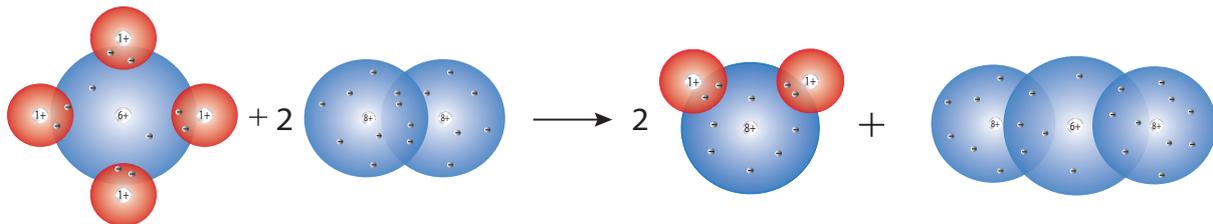


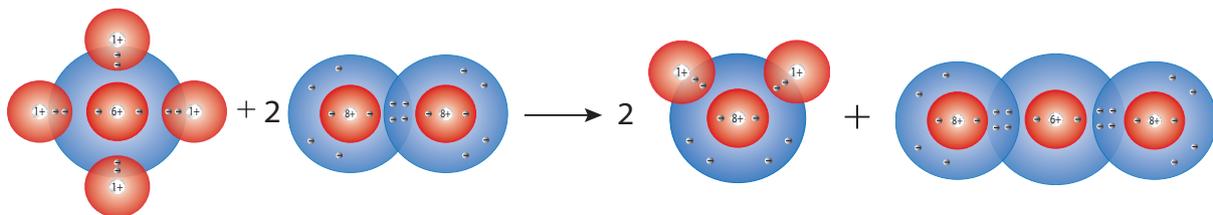
Abb. 18: Kopiervorlage Kern-Hülle-Modell_8H_4O_1C_Folien

Die Lehrkraft oder die Schülerinnen und Schüler können damit Edukte und Produkte der Verbrennung von Methan auf der Teilchenebene darstellen.

Kern-Hülle-Modell



Schalenmodell



Kugelwolkenmodell

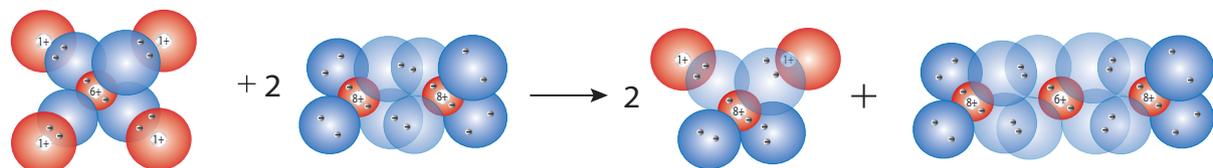


Abb. 19: Kopiervorlage Darstellung der Verbrennung von Methan in verschiedenen Modellen

Bei der vertiefenden Betrachtung der räumlichen Strukturen können die Molekülgeometrien unter Verwendung eines Klappbuchs („Ringeldingels“) geübt werden. Eine entsprechende Kopiervorlage einschließlich Bauanleitung ist in den Onlinematerialien verfügbar.

Die Molekülmodelle sind auf der Basis des Baukastens von Molymod entstanden.

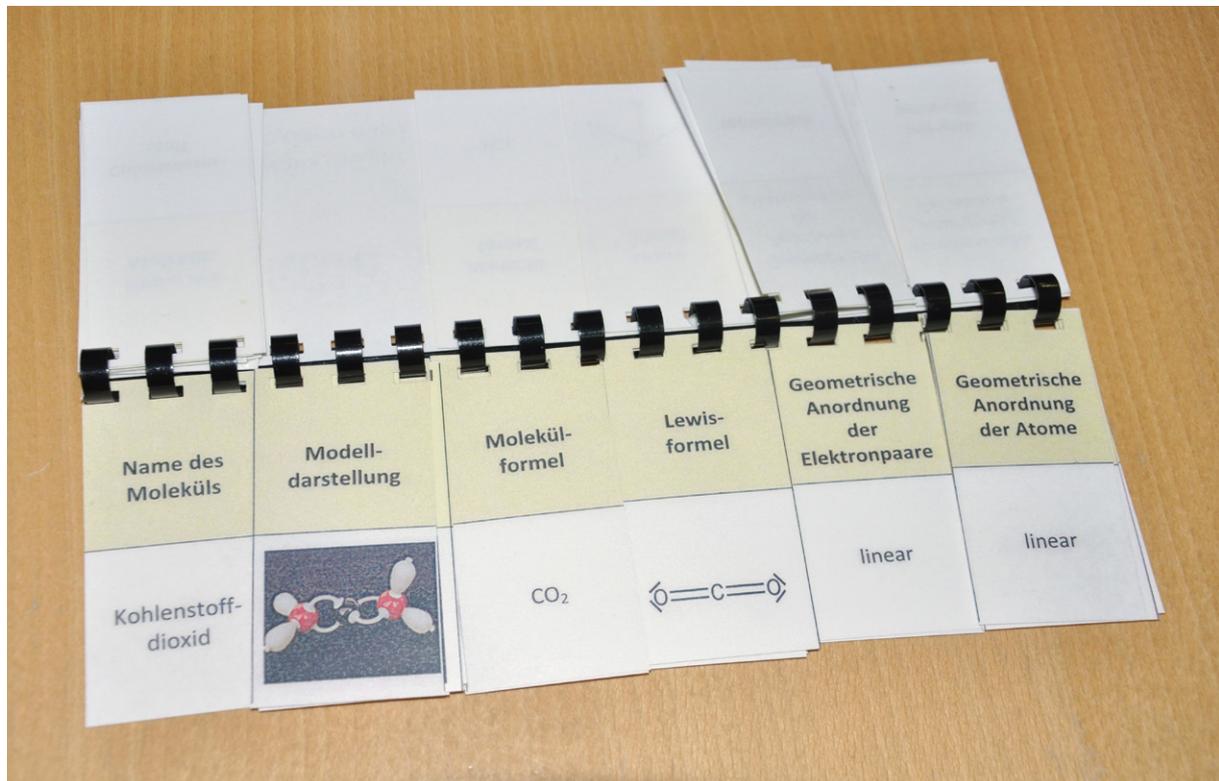


Abb. 20: Ringeldingel

3.4 Vernetzen und bewerten

Lerneinheit 7: Brennstoffe im Vergleich			
Kompetenz-entwicklung	Schüleraktivität	Fachwissen/ Basiskonzept	Material/Medien
Einführende Lernsituation: Medienbericht über ein aktuelles Beispiel (Automesse, Gasexplosion/Brand in einem Wohnhaus, Brand in einer Biogasanlage, geplanter Bau einer Biogasanlage, Grubenunglück)			
Schülerinnen und Schüler...			
<p>... werten Brennwert- tabellen aus und schließen auf die Eignung der be- trachteten Stoffe als Brennstoffe.</p> <p>... bewerten den Einsatz von Treibstoffen, mindestens Wasser- stoff und Methan, aus unterschiedli- chen Perspekti- ven (Ressourcen, Fol- gen für die Umwelt, Nachhaltigkeit).</p>	<p>... wenden ihr Wissen in Alltagssituationen an</p>	<p>Brennstoff</p> <p>Brennwert</p> <p>Energieform</p> <p>Energieträger</p>	<p>AB Brennstoffe Heizwerte</p> <p>AB Medienbericht Wasserstoffauto</p> <p>AB Streitgespräch Wasserstoffauto</p> <p>LINK-Liste zu Fragen Wasserstoffauto</p> <p>Vertiefung: SV Heizwert von Kerzenwachs (Dosenkalorimeter)</p>

Ein Schwerpunkt des Themenfeldes und im Besonderen dieser LE 7 ist die Entwicklung der Bewertungskompetenz.

Bewertungskompetenz meint (vgl. Lehrplan S. 186):

- die Fähigkeit, Fachwissen in persönliche, politische oder gesellschaftliche Entscheidung mit einzubeziehen und eine (eigene) Meinung zu untermauern
- Folgenreflexionen durchzuführen
- die Auseinandersetzung mit verschiedenen Perspektiven (Ressourcen, Folgen für die Umwelt, Nachhaltigkeit, Lebenssituation, Zeitgeist)
- (eigene) Handlungsoptionen abzuleiten
- die Berücksichtigung der unterschiedlichen Gewichtung von Interessen und Kriterien durch verschiedene Personen

Im TF 3 kann dies durch die Beschäftigung mit Materialien gelingen, die einen multiperspektivischen Blick auf die Verwendung verschiedener Energieträger erlauben. Das Ziel ist eine Bewertung ihrer Eignung als Antriebs- oder Heizstoff. Dabei sollen rationale und emotionale Argumente mit ihrer individuellen Gewichtung beachtet werden.

Mögliche Bewertungskriterien sind:

- Chemie (Brennwert, ...)
- Ökologie (Lärmbelästigung, Ausstoß von Treibhausgasen, ...)
- Ökonomie (Preis, Preisbildung, ...)
- Technik (Reichweite, Handling, Gefahrenpotenzial, ...)
- Geographie/Geologie (Ressourcenverbrauch und -verfügbarkeit, Nachhaltigkeit, Infrastruktur, ...)
- Gesellschaft (Zeitgeist, Ästhetik, ...)
- ...

Für die unterrichtliche Umsetzung eignet sich z. B. folgendes Beispiel: Eine Familie möchte ein neues Auto anschaffen.



Abb. 21: Einstiegsfolie Autokauf

Eine solche Einstiegssituation eröffnet einige methodische Varianten. So kann man ein Streitgespräch, einen Expertenkongress, eine Podiumsdiskussion (Familiendiskussion), eine Pro- und Contra-Debatte o. Ä. von den Schülerinnen und Schülern inszenieren lassen. In jedem Fall ist eine fachlich fundierte Vorbereitung der einzunehmenden Rolle notwendig, für die die Lehrperson geeignete, didaktisierte (und fachlich reduzierte) Materialien zur Verfügung stellen sollte. Im Onlinematerial steht eine Link-Liste mit möglichen Quellen zur Verfügung.

Im Laufe des Diskurses kommt es zum Austausch der Argumente, wonach die Schülerinnen und Schüler, quasi auf der Metaebene, herausgelöst aus der vormals eingenommenen Rolle mit Hilfe einer Tabelle die Argumente bewerten sollen.

Die unten folgende Tabelle kann Schülerinnen und Schülern deutlich machen, dass man trotz korrekt recherchierter fachlicher Daten zu unterschiedlicher Bewertung kommen kann.

Es ist nicht intendiert, vollständige, allumfassende Aussagen hinsichtlich der Nachhaltigkeit oder CO₂-Bilanz zu treffen, sondern um die Hinführung zu einem multiperspektivischen Blick und dem Erkennen der persönlichen Gewichtung von Fakten. Dieser Gedanke wird in folgenden Themenfeldern aufgegriffen und weiter entwickelt.

Bewertungskompetenz kann auch an anderer Stelle in der Unterrichtsplanung, z. B. nach der Betrachtung des Energieträgers Methan (bzw. auch weiterer Alkane) entwickelt werden. Hier bietet sich eine vergleichende Betrachtung verschiedener fossiler Energieträger an.

Für vergleichende Betrachtungen verschiedener Fahrzeug-Treibstoffe findet man umfangreiches Material zu Erdgas- bzw. Autogas-Fahrzeugen in der PZ-Information 3/2008:

Naturwissenschaften kompetenzorientiert unterrichten, Teil 2 – Chemie: „Ein Erdgasauto fahren? Kohlenwasserstoffe fächerübergreifend und aktuell unterrichten“

Teil 2 dieser vorgenannten Veröffentlichung wird als Onlinematerial bereitgestellt.

Exemplarische Materialien zur LE 7:**AB Vergleichende Bewertung von Wasserstoff- und Erdgasauto**

	Wasserstoffauto		Erdgasauto	
	Beschreibung	Bewertung +/-	Beschreibung	Bewertung +/-
Preis für ein Auto				
Preis für eine Tankfüllung				
Reichweite je Tankfüllung				
Preis für 100 km				
CO ₂ -Ausstoß beim Fahren				
Sound/Lautstärke/Lärm				
Tankstellennetz				
Handhabung				
Gefahrenpotenzial				
Brennwert				
Ressourcenverbrauch				
Verfügbarkeit				
Zeitgeist				
Zeit von 0 auf 100km/h				
Ausstattung				

Zusätzliche Materialien:

Pilotprojekt zur Speicherung von Energie in Mainz

<http://energiepark-mainz.de/presse/mitteilung/detail/mainz-speichert-zukunftsenergie-1/>

Möglichkeit zur Erkundung eines Betriebes (Biogasanlage bei der örtlichen Kläranlage), z. B. in Birkenfeld

<http://www.biogas-kanns.de/links/Biogas-Atlas/Birkenfeld/447d43/>

Lerneinheit 8: Brandfaktoren und Brandschutz			
Kompetenzentwicklung	Schüleraktivität	Fachwissen/ Basiskonzept	Material/Medien
Einführende Lernsituation: Foto oder Film zum Luftschiff Hindenburg, Hausbrand durch Gasexplosion, Bericht über Waldbrand, Fettexplosion einer Fritteuse usw.			
Schülerinnen und Schüler...			
... wenden ihr Wissen über Brandfaktoren zur Brandbekämpfung in Alltagssituationen an.	... führen (hypothesen-geleitet) Experimente zur Rolle des Sauerstoffs durch. ... führen Versuche zur Entzündungstemperatur und zum Zerteilungsgrad durch.	Brennstoff Brandfaktoren Entzündungstemperatur Zerteilungsgrad	SV Papierkochtopf AB Lernstraße Kerze Link und Erläuterung zum Film „Hindenburg – Die wahre Geschichte“

Die Lerneinheit zum Brandschutz ist flexibel je nach Kontext an verschiedenen Stellen des Unterrichtsganges integrierbar. Es geht darum, die Rolle des Sauerstoffs, der Entzündungstemperatur und des Brennstoffs zu bearbeiten.

Dazu sind z. B. folgende Experimente geeignet: Fettbrand, Kerzentreppe, Staubexplosion und Verbrennung von Eisenpulver (siehe zusätzliches Material).

Für eine aktive Brandbekämpfung ist es notwendig, mindestens einen der Brandfaktoren auszuschließen. Es bietet sich der Bau von Modellfeuerlöschern an.

Zum Themenfeld passende Alltagssituationen können sein:

Grillentzündung mit Spiritus, brennende Fritteuse, umkippende Campinggaskocher, defekte Gasheizung im Haus, Handling von Brennstoffen an Tankstellen, austretende Brennstoffe bei Autounfällen.

Exemplarische Materialien zur LE 8:

ZDF History: „Hindenburg – Die wahre Geschichte“ (Dauer: 40:47)

<https://www.youtube.com/watch?v=5ucpUBE7qN4>

Der Absturz des berühmten Luftschiffs wird in den ersten vier Minuten dieser Dokumentation beschrieben und mit Original-Filmszenen gezeigt. Danach wird die Geschichte der Zeppeline vorgestellt: Die Person des Graf Zeppelin und seine ersten Luftschiffe, die Entdeckung der Luftschiffe für das Militär und den Einsatz im ersten Weltkrieg und die weitere Entwicklung nach dem Tod Zeppelins mit Hugo Eckener als zentraler Person. Die letzten zehn Minuten des Films widmen sich der Bedeutung der Luftschiffe als Prestige-Objekte und dem Lebensgefühl der Passagiere, der parallelen Entwicklung von Flugzeugen und dem endgültigen „Aus“ der Luftschiffe in der Folge des Absturzes der Hindenburg.

An diesem Film können Schülerinnen und Schüler exemplarisch die Verknüpfung zwischen gesellschaftlichen Entwicklungen und Erkenntnissen der Chemie (und der Technik) nachvollziehen.

Ergänzendes Material:

Ein „Dreieck zu den Brandfaktoren“ findet sich in vielen Schulbüchern.

„Experimente zum Löschen“ finden sich dort ebenfalls, z. B. in

- Chemie im Kontext: Erwünschte Verbrennungen – unerwünschte Folgen? Cornelsen-Verlag
- Chemie heute – kontextorientierter Ansatz, Schroedel-Verlag
- Elemente Chemie 7-10, Arbeitsbuch Rheinland-Pfalz, Klett-Verlag

4 ZUSAMMENFASSUNG

Die Übersicht des Unterrichtsgangs stellt dar, wie das Themenfeld 3 des neuen Lehrplans in seiner Gesamtheit umgesetzt werden kann. Der Überblick bildet die verbindlichen Elemente des Themenfeldes gemeinsam mit Differenzierungsmöglichkeiten ab.

Am Ende befindet sich eine Aufstellung aller im TF 3 relevanten Experimente, für die auf dem Bildungsserver eine Mustergefährdungsbeurteilung verfügbar ist.

Im Bewusstsein der Vielfalt von individuellen Lernzugängen und Lernvoraussetzungen sowie schulischen Besonderheiten kann dies nur eine Möglichkeit von Unterrichtsplanung sein. Die Menge der Beispiele soll dies zum Ausdruck bringen. Es ist nicht intendiert, alle vorgestellten Materialien einzusetzen, da dies die zeitliche Vorgabe des Themenfeldes von ca. 20 Stunden weit überschreiten würde.

4.1 Ein möglicher Unterrichtsgang im Überblick

Phase	Fachwissen/ Basiskonzept	Kompetenzentwicklung/ Schüleraktivitäten Die Schülerinnen und Schüler...	Material SV=Schülerversuch LV= Lehrerversuch	Mögliche Vertiefung
Kontext Wasser ist die Kohle der Zukunft				
Einführung/ Problematik- sierung		... erstellen eine Fragenliste, wie z. B. Was meint J. Verne? Hat er Recht? Sind wir schon soweit? Wie funktioniert ein Raketenantrieb? Was ist anders als bei einem Auto?	Zitat von Jules Verne 1874 Link zum Film über einen Raketentriebwerk	
Erarbeitung	LE 1: Stoffebene Chemische Reaktion (Verbrennungsreaktion, Synthese von Wasser)	... erarbeiten einen Steckbrief von Wasserstoff. ... untersuchen die Reaktion mit Sau- erstoff (auf verschiedene Arten durchgeführt) ... formulieren eine Wortgleichung (ana- log zur Verbrennung von Kohlenstoff in TF 1).	Link zum Film Raketentriebwerk AB Aufbau und Funktionsweise eines Raketenantriebs Film „Plastikflaschenrakete“ LV Eigenschaften Wasserstoff SV Knallgasprobe als Schülerübung AB Chemische Reaktion: Drei-Ebe- nen-Darstellung hier: Stoffebene	

	LE 2: Energieebene (chemische Energie, Reaktionsenergie, Aktivierungsenergie, exotherm, endotherm)	... erklären die Aktivierungsenergie und die Energieumwandlung von chemischer Energie in mechanische und thermische Energie.	<p>AB Wasserstoff ist ein Energieträger</p> <p>AB Energiediagramm differenzierte Aufgaben</p> <p>AB Energiediagramm stecken (haptisches Modell)</p> <p>AB Chemische Reaktion: Dreiebenen-Darstellung hier: Energieebene</p>	
	LE 1: Stoffebene (Analyse von Wasser)	... gewinnen Wasserstoff durch Analyse von Wasser.	Wasserstoff-Modellauto (s. Rezension Brennstoffzellen-Kits)	LV: Wasserstoffgewinnung durch Elektrolyse
	LE 3: Teilchenebene (Reaktionsgleichung, Elektronenpaarbindung, Molekül)	<p>... beschreiben Wasserstoff, Sauerstoff, Wasser als Moleküle mit Hilfe der EPB.</p> <p>... deuten Synthese und Analyse von Wasser auf Teilchenebene.</p>	<p>AB Von der Ionenbindung zur Elektronenpaarbindung</p> <p>Molekülbaukasten</p> <p>AB EPB Kugelwolkenmodell</p> <p>Lückentext</p> <p>Kopiervorlagen zur EPB mit den Varianten A, B und D</p> <p>AB Chemische Reaktion: Dreiebenen-Darstellung hier: Teilchenebene</p>	Tetraeder mit Luftballons, Stiften, Papier modellieren
LE 2: Energieebene s.o.		... erklären die energetischen Effekte mit Veränderungen von Molekülen und Elektronenpaarbindungen.	AB Chemische Reaktion: Dreiebenen-Darstellung hier: Energieebene	AB Bilanzierung Energieumsatz (mit Kopiervorlage)

Dekontextualisierung	Anwendung des konzeptbezogenen Fachwissens an einem Beispiel (Üben)	... beschreiben Vorgänge im Wasserstoffauto aus der Sicht der Chemie auf der Stoffebene, der Teilchenebene und unter energetischem Aspekt.	Wasserstoff-Modellauto AB Brennstoffzelle Funktionsweise	https://www.youtube.com/watch?v=-4J-KuBMTM („Wasserstoff statt Benzin“) Heike Nickel: Die Brennstoffzelle als Modell (siehe Literaturverzeichnis)
Kontext	Methan zum Heizen und Antreiben			
Einführung	LE 4: Stoffebene Übertragung auf einen neuen Brennstoff	... vergleichen mit Raketenantrieb.	AB Chemische Reaktion: Drei-Ebenen-Darstellung hier: Stoffebene Infotext Methan SV: Verbrennung von Methan, Nachweis der Reaktionsprodukte	Foto oder Film von einem Gasauto, einer Gasheizung, einem Campinggaskocher, einem Gasgrill (Schulbuch)
Erarbeitung	LE 6: Teilchenebene LE 5: Energieebene	... recherchieren zu Methan. ... beschreiben das Methanmolekül mit der EPB. ... formulieren die Verbrennungsreaktion auf der Stoffebene, auf der Teilchenebene und unter energetischem Aspekt.	Infomaterial Biogas Molekülbaukasten AB EPB Kugelwolkenmodell Lückentext AB Chemische Reaktion: Drei-Ebenen-Darstellung hier: Energie- und Teilchenebene AB Energiediagramm stecken Methan (haptisches Modell)	Kopiervorlage ÜB Alkane AB Aufstellen und Einrichten von Reaktionsgleichungen AB EPB Modell für räumliche Struktur (drei Dateien: Infotext, Tabelle, Ringdiagramm) AB Bilanzierung Energieumsatz mit Kopiervorlage Energiepfeile

	LE 8: Brandfaktoren, Brandbekämpfung und Brandschutz	... erarbeiten Brandbedingungen und Brandschutzmaßnahmen.	Link und Erläuterung zum Film über „Hindenburg – Die wahre Geschichte“ AB Lernstraße Kerze SV Papierkochtopf	Foto, Film oder Bericht zu einer Gasexplosion in einem Haus, einem Grubenunglück
Vernetzung				
	LE 7: Bewertung (Brennstoff, Brennwert, Energieform, Energieträger)	... vergleichen die Eignung von Wasserstoff und Methan (ggf. weitere Alkane) unter verschiedenen Gesichtspunkten (Brennwert, Umweltrelevanz, CO ₂ -Produktion, Verfügbarkeit, sichere Handhabung...)	AB Brennstoffe Heizwerte AB Medienbericht oder Streitgespräch Wasserstoff-Auto	SV Heizwert von Kerzenwachs (Dosenkalorimeter) PZ-Information 3/2008 Teil 2: „Ein Erdgas- oder ein Autogasauto fahren?“

4.2 Liste der verfügbaren Muster-Gefährdungsbeurteilungen zum TF 3

Nachfolgend aufgeführt sind die Experimente zum Themenfeld 3 im Fach Chemie, für die jeweils eine Muster-Gefährdungsbeurteilung unter <http://naturwissenschaften.bildung-rp.de/sicherheit/gefaehr-dungsbeurteilung/sekundarstufe-i-neuer-lehrplan.html> auf dem Bildungsserver verfügbar ist:

Wasserstoff – Nachweis mit der Knallgasprobe

Wasser – Nachweis mit Cobaltchlorid-Papier

Kohlenstoffdioxid – Nachweis mit Kalkwasser

Sauerstoff – Nachweis mit der Glimmspanprobe

Kerzenwachs (Teelicht) – Bestimmung des Heizwertes mit dem Dosenkalorimeter

Wasserstoff verbrennen in einer Blechdose (Flüsterbüchse)

Wasserstoff – Verbrennung zum Antrieb einer Modell-Rakete (Plastikflasche)

Wasserstoff – Untersuchung der Brennbarkeit (Rundkolben mit Sauerstoff)

Wasserstoff – Unterhaltung der Verbrennung (Wasserstoff in Standzylinder)

Wasserstoff – Modellauto

Wasser – Zerlegung mit dem Hofmannschen Wasserzersetzungsapparat

5 LITERATURVERZEICHNIS

Lehrpläne für die naturwissenschaftlichen Fächer für die weiterführenden Schulen in RLP
Biologie/Chemie/Physik Klassenstufen 7 bis 9/10

PZ-Information 3/2008: Naturwissenschaften kompetenzorientiert unterrichten
Teil 2 – Chemie: „Ein Erdgasauto fahren? Kohlenwasserstoffe fächerübergreifend und aktuell unterrichten“

Heike Nickel: Die Brennstoffzelle als Modell; Naturwissenschaften im Unterricht Chemie,
Heft 146, Januar 2015; 26. Jahrgang, Seiten 45-46

Jules Verne: L'île mystérieuse, (Die geheimnisvolle Insel), Band 2, Kap. 11, S. 360 ff, Pierre-Jules Hetzel-Verlag, 1874 und 1875. Privat übersetzt von Dr. Ulrich Schmidtchen, Deutscher Wasserstoff- und Brennstoffzellen-Verband e.V., Berlin

6 AUTORINNEN UND AUTOREN

Dr. Alexander Bender

Gymnasium an der Stadtmauer, Bad Kreuznach

Barbara Dolch

Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz

Monika Kallfelz

Pfalzmuseum für Naturkunde - POLLICHIA-Museum, Bad Dürkheim

Elisabeth Kukula

Frauenlob-Gymnasium Mainz

Dr. Holger Kunz

Max-Planck-Gymnasium Trier

Christian Lauer

Integrierte Gesamtschule und Realschule plus Georg Friedrich Kolb Speyer

Heike Nickel

Kurfürst-Ruprecht-Gymnasium, Neustadt an der Weinstraße

Michaela Ostermann

Regino-Gymnasium Prüm

Maria Reiner

Are-Gymnasium Bad Neuenahr

Cornelia Schäfers

Are-Gymnasium Bad Neuenahr

Karin Scheick

Kopernikus-Gymnasium Wissen

Volker Tschiedel

Gutenberg-Gymnasium Mainz

Laura Wendel

Nelson Mandela Realschule Plus Trier

Wilhelm Willer

Eduard-Spranger-Gymnasium Landau

Alle genannten Links: letzter Zugriff am 05.05.2015



Rheinland-Pfalz

PÄDAGOGISCHES
LANDESINSTITUT

Pädagogisches Landesinstitut
Butenschönstr. 2
67346 Speyer

pl@pl.rlp.de
www.pl.rlp.de