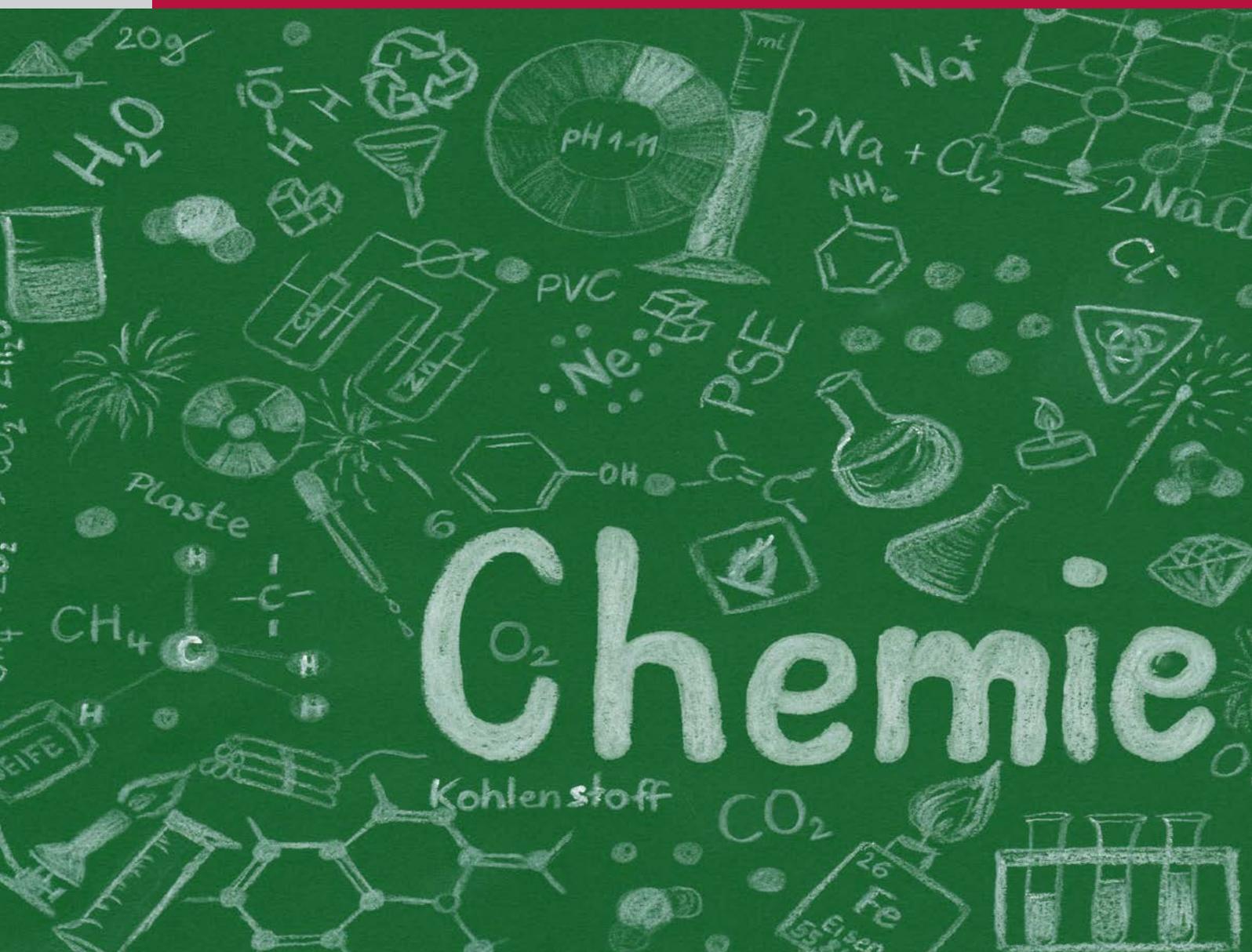




STOFFE IM FOKUS VON UMWELT UND KLIMA

Handreichung zur Umsetzung des Lehrplans Chemie – Themenfeld 11



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:

<https://pl.bildung-rp.de/publikationen>

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 2020

© Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz 2020

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 11: Stoffe im Fokus von Umwelt und Klima	3
1.1	Vorüberlegungen	3
1.2	Wechsel zwischen Stoff- und Teilchenebene	4
1.3	Konzept- und Kompetenzentwicklung	5
2	Vom Lehrplan zum kompetenzorientierten Unterricht	8
2.1	Die Stellung des Themenfeldes 11 im Lehrplan	8
2.2	Die Themenfeld-Doppelseite	10
2.3	Von der Themenfeld-Doppelseite zur Unterrichtsplanung	12
2.4	Überblick über die Kontexte des Themenfeldes	17
2.5	Differenzierungsmöglichkeiten	19
3	Zu den Lerneinheiten	21
3.1	Lerneinheit 1	22
3.2	Lerneinheit 2	28
3.3	Lerneinheit 3	34
3.4	Lerneinheit 4	40
3.5	Lerneinheit 5	45
4	Zusammenfassung	52
4.1	Üben und Vernetzen	52
4.2	Möglicher Unterrichtsgang im Überblick	53
4.3	Liste der verfügbaren Muster-Gefährdungsbeurteilungen zum Themenfeld 11	56

Abbildungsverzeichnis	57
Literaturverzeichnis	58
Autorinnen und Autoren	59

1 THEMENFELD 11: STOFFE IM FOKUS VON UMWELT UND KLIMA

1.1 Vorüberlegungen

Der aktuelle 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 Unterrichts Kompetenzen, Basiskonzepte und Kontexte bilden auch die Stützpfiler 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 Unterrichts zum Themenfeld 11 „Stoffe im Fokus von Umwelt und Klima“ gemäß den Intentionen des Lehrplans. Dazu werden die Themenfeld-Doppelseite vorgestellt und exemplarisch mögliche Kontexte und Lerneinheiten ausgeführt.

Lerngruppen, denen weniger Zeit zur Verfügung steht, integrieren ausgewählte Inhalte bzw. zentrale Elemente des Themenfeldes 11 in andere Themenfelder.

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

Da aus ökologischen und ökonomischen Gründen nur ein kleiner Teil der Materialien abgedruckt wird, gibt es die Möglichkeit, die gesamte Handreichung sowie die Materialien mit möglichen Lösungen über den folgenden Link herunterzuladen:

<https://naturwissenschaften.bildung-rp.de/faecher/chemie/unterricht.html>

1.2 Wechsel zwischen Stoff- und Teilchenebene

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 Stoffebene geht es um Verbindungen des Kohlenstoffs, die in ihrer Bedeutung für den Kohlenstoff-Kreislauf gesehen werden.

Diese Verbindungen werden auf der Teilchenebene mit Modellen und Formeln beschrieben. Die auf der Stoffebene betrachteten Reaktionen werden als Reaktionsgleichungen formuliert.

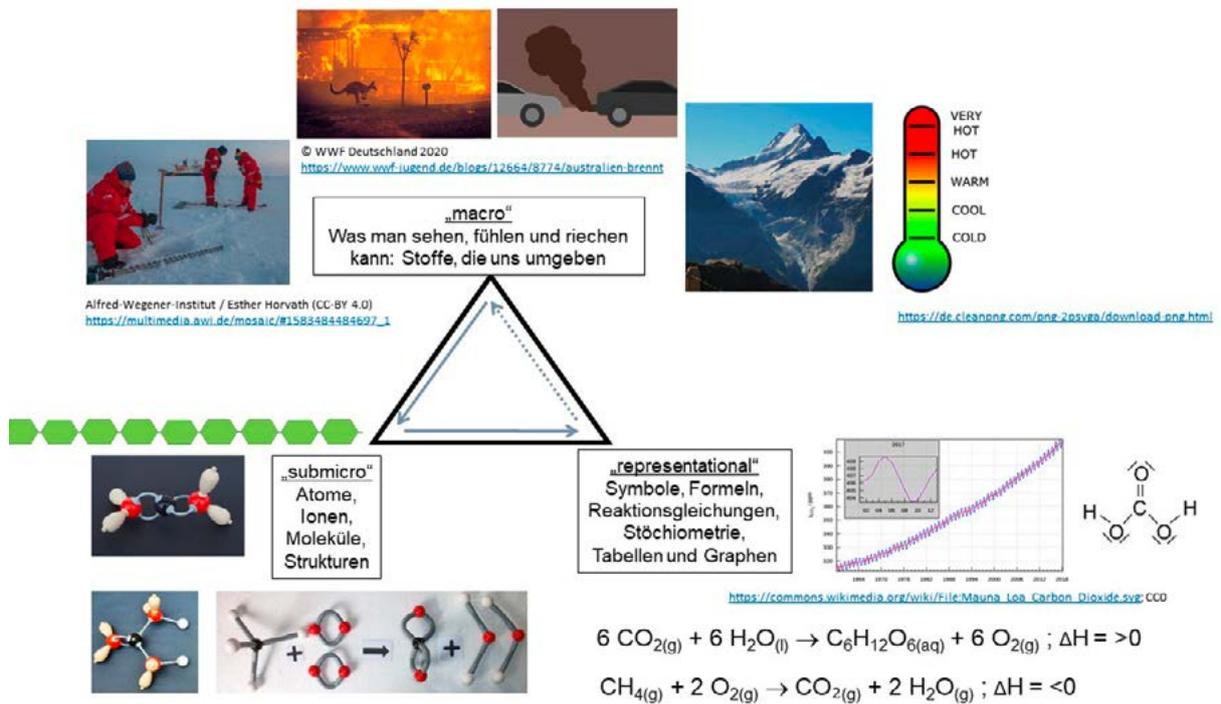


Abb. 1: Johnstone-Dreieck (erweiterte Abbildung)

Aus: Springer-Lehrbuch Chemiedidaktik, Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen; bearbeitet von Hans-Dieter Barke, 1. Auflage 2006, S. 31.

1.3 Konzept- und Kompetenzentwicklung

Die thematischen Schwerpunkte im Lehrplan Chemie sind so gewählt, dass parallel die Kompetenzentwicklung und die Entwicklung oder Nutzung der Basiskonzepte möglich sind (vgl. Lehrplan Kapitel 5.3 „Zur Arbeit mit dem Lehrplan Chemie“). Die im Themenfeld 11 angestrebte Kompetenzentwicklung der Schülerinnen und Schüler ist im Rahmen des Unterrichts verbindlich zu ermöglichen.

Auf der Stoffebene:

Schülerinnen und Schüler lernen Eigenschaften von Gasen, insbesondere Kohlenstoffdioxid und Methan, kennen, die für das Klimageschehen relevant sind. Die Klimawirksamkeit resultiert aus der Wechselwirkung mit Strahlung in der Atmosphäre. Hier gibt es Bezüge zum Fach Physik. Die Wechselwirkung von Kohlenstoffdioxid mit Strahlung trägt zur Erklärung des natürlichen Treibhauseffekts bei.

Die Entstehung von Kohlenstoffdioxid bei verschiedenen Reaktionen wie der Verbrennung von Kohlenstoff (TF 1), Verbrennung von Methan (TF 3) und bei der Atmung und Gärung (TF 8) kennen Schülerinnen und Schüler aus dem vorausgegangenen Chemieunterricht.

Im Themenfeld 11 wird das Konzept der chemischen Reaktion um den **Kreislaufgedanken** erweitert. Schülerinnen und Schüler erarbeiten miteinander verbundene chemische Reaktionen, die im Kontext des Klimas von globaler Bedeutung sind. Daraus leiten sie Folgen natürlicher oder anthropogener Einflüsse ab. Dies können z. B. den Treibhauseffekt fördernde Einflüsse wie die Verbrennung fossiler Energieträger sein. Andererseits lassen sich vor dem Hintergrund des Kreislaufs auch mögliche Maßnahmen zur Verringerung des Kohlenstoffdioxid-Gehalts der Atmosphäre ableiten und diskutieren (regenerative Energieträger, Kohlenstoffsinken, Düngung der Ozeane, Climate Engineering).

Energetische Betrachtungen der Verbrennungsreaktionen sind den Schülerinnen und Schülern aus dem Themenfeld 3 bekannt. Im Themenfeld 11 werden sie wieder aufgegriffen.

Auf der Teilchenebene:

Der zentrale Gedanke des Kreislaufs ermöglicht, auf der Teilchenebene die Erhaltung der Atome bei chemischen Reaktionen in ihrer globalen Bedeutung zu erfassen.

Aspekt	Themenfeld	TF	TMS	SEF	CR	E	Stoffebene	Teilchen-ebene
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

Abb. 2: Entwicklung der Basiskonzepte

TF = Themenfeld

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.

Kompetenzentwicklung

Schülerinnen und Schüler **wenden Fachwissen** im Zusammenhang mit Fragen zur Bedeutung für das Klima **an**. Sie lernen verschiedene Kohlenstoffverbindungen mit ihrem Aufbau und ihren typischen Eigenschaften kennen. Wichtige Reaktionen dieser Stoffe formulieren sie als Reaktionsgleichungen. Dabei erarbeiten sie die Umkehrbarkeit an einigen Reaktionen und beschreiben den Kohlenstoff-Kreislauf als ein System chemischer Reaktionen.

Schülerinnen und Schüler entwickeln ihre Kompetenzen im Bereich **Erkenntnisgewinnung** in diesem Themenfeld weiter, indem sie Fragestellungen erkennen und entwickeln, die mit Hilfe chemischer Untersuchungen zu bearbeiten sind und indem sie diese Untersuchungen durchführen oder geeignete Quellen auswerten.

Dieses Themenfeld eignet sich darüber hinaus, um die Verknüpfung zwischen gesellschaftlichen Entwicklungen und Erkenntnissen der Chemie aufzuzeigen. Die Industrialisierung steht in engem Zusammenhang mit der Möglichkeit der Nutzung fossiler Energieträger als Treibstoff. Möglicherweise werden Erkenntnisse der Chemie im Hinblick auf alternative Antriebe, regenerative Energien und verschiedene Ansätze des Climate Engineering hilfreich sein bei dem gesellschaftlich angestrebten Versuch, den globalen Klimawandel zu bremsen.

Im Zentrum des Interesses von Forschung, Politik und Gesellschaft steht die Vorhersage der Klimaentwicklung in den nächsten Jahrzehnten und Jahrhunderten. Dieser Thematik nähern sich Wissenschaftler mit der Entwicklung von Klimamodellen. Schülerinnen und Schüler beschäftigen sich mit der Modellierung als Methode und lernen Klimamodelle als ein Mittel zur Erkenntnisgewinnung kennen.

Im Kompetenzbereich **Kommunikation** erweitern die Schülerinnen und Schüler ihre Kompetenzen bei der selbständigen Erarbeitung einzelner Bereiche des Kohlenstoffkreislaufs. Sie nutzen unterschiedliche Quellen, wählen Informationen aus, stellen Zusammenhänge zwischen chemischen Sachverhalten und Alltagserscheinungen her (Sprudelflasche und Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid, Verbrennung und Atmung, usw.) und dokumentieren und präsentieren ihre Untersuchungen.

Der Kompetenzbereich **Bewertung** sollte ein unterrichtlicher Schwerpunkt sein. Es wird deutlich, wie bedeutsam chemische Sachverhalte in der Klimaentwicklung und bei möglichen Lösungsstrategien sind. Dabei bieten sich vielfältige Gelegenheiten, Aussagen zum Klima aus unterschiedlichen Perspektiven zu diskutieren und zu bewerten.

2 VOM LEHRPLAN ZUM KOMPETENZORIENTIERTEN UNTERRICHT

2.1 Die Stellung des Themenfeldes 11 im Lehrplan

Ein wichtiges Element des Lehrplans sind die Aspekte von Chemie. Jedes Themenfeld betrachtet unterschiedliche Aspekte. In diesem Themenfeld steht der Aspekt „Stoffe verantwortungsvoll handhaben“ im Mittelpunkt der Betrachtungen. Alle weiteren Aspekte werden je nach gewähltem Kontext unterschiedlich stark berührt.

Unter diesem Aspekt wird die Verantwortung des Menschen für seinen Umgang mit den Stoffen ausdrücklich in den Mittelpunkt gerückt. Diese Fokussierung erlaubt es, diesem wichtigen Bereich die erforderliche Aufmerksamkeit zu widmen. In zwei Schritten soll sich Kompetenz entwickeln, zunächst im Themenfeld 10 mit dem Blick auf den Nahbereich.

Im Themenfeld 11 wird der Blick auf die globale Verantwortung geweitet. Durch die Verwendung natürlicher Ressourcen greift der Mensch in die natürlichen Stoffkreisläufe ein. Daraus ergeben sich Veränderungen von großer Tragweite. So trägt die Nutzung fossiler Energieträger zur aktuellen Klimadebatte bei. Chemieunterricht und daraus erwachsende chemische Kenntnisse schaffen zunächst eine sachliche Grundlage, um ein Bewusstsein für nachhaltiges Handeln zu entwickeln.

Um die komplexen Zusammenhänge verstehen zu können, ist Forschung zum Klimageschehen und zur Klimageschichte unabdingbar. Darauf basierende Modellierungen führen zu Klimaprognosen, die wiederum in politische Entscheidungen einfließen.

Entscheidungen auf der politisch-gesellschaftlichen Ebene müssen neben der Sachkenntnis auch einem grundlegenden Verständnis gegenseitiger Abhängigkeiten folgen. Die Komplexität solcher Fragestellungen kann häufig nicht verringert werden.

Auf der Stoffebene:

In diesem Themenfeld werden verschiedene chemische Reaktionen zunächst einzeln betrachtet, wie auch in früheren Themenfeldern. Darüber hinaus thematisiert der Unterricht die Verknüpfung zwischen verschiedenen Vorgängen. Der Kreislaufgedanke und seine enorme Bedeutung insbesondere für den Bereich des Klimas werden herausgearbeitet.

Auf der Teilchenebene:

Bei den Kohlenstoffverbindungen kommen sowohl Moleküle als auch einfache und zusammengesetzte Ionen vor. Schülerinnen und Schüler formulieren Formeln und Reaktionsgleichungen. Damit vertiefen sie ihre Kenntnisse aus vorausgegangenen Themenfeldern und üben sie ein. Der Kreislaufgedanke ermöglicht die Erhaltung der Atome bei chemischen Reaktionen in ihrer globalen Bedeutung zu erfassen.

An vielen Stellen ergeben sich durch den Bezug zum Kontext Klima zwanglos Anknüpfungspunkte zu quantitativen Betrachtungen auf der Basis von Reaktionsgleichungen.

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

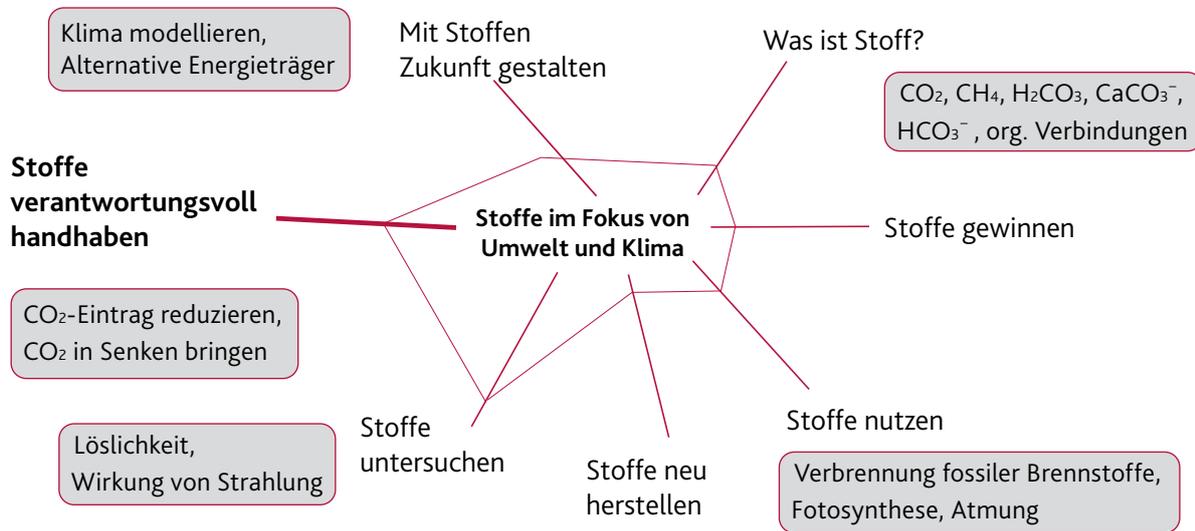
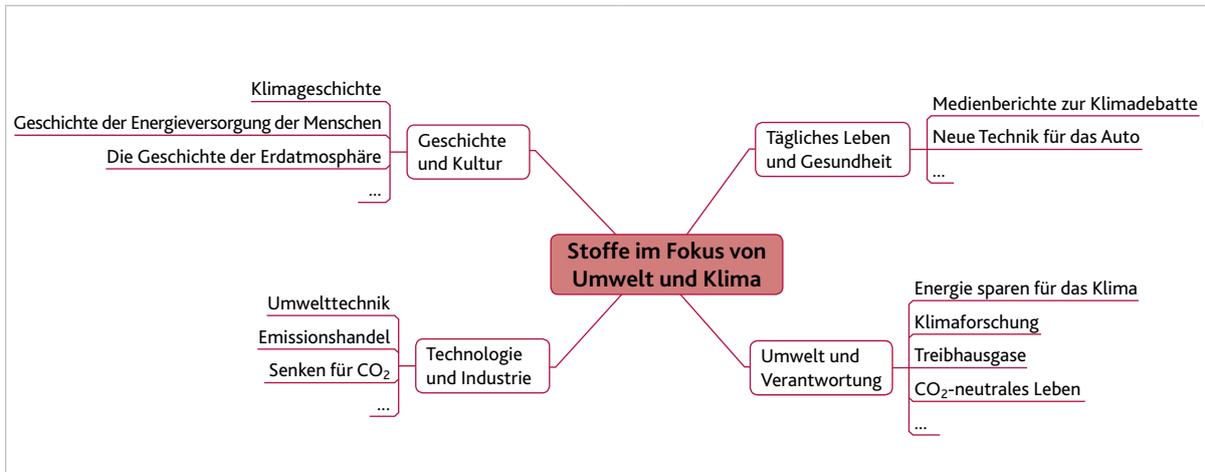


Abb. 3: Aspekte im Themenfeld 11

2.2 Die Themenfeld-Doppelseite

TF 11: Stoffe im Fokus von Umwelt und Klima	
<p>Stoffe sind in Kreisläufe eingebunden und ihre Nutzung kann nicht losgelöst von Prozessen in Natur und Umwelt betrachtet werden. Die Verantwortung des Menschen erstreckt sich auch auf Umwelt und Klima. Er greift durch die Verwendung natürlicher Ressourcen in die natürlichen Stoffkreisläufe ein und die Nutzung fossiler Energieträger trägt zur aktuellen Klimadebatte bei. Um die komplexen Zusammenhänge verstehen zu können, ist Forschung zum Klimageschehen und zur Klimageschichte unabdingbar. Darauf basierende Modellierungen führen zu Klimaprognosen, die wiederum in politische Entscheidungen einfließen. Die Betrachtungen aus der Sicht der Chemie konzentrieren sich in diesem Themenfeld auf die Treibhauseffekt-Problematik und den diesbezüglichen Beitrag der Kohlenstoffverbindungen.</p> <p>Auf der Stoffebene steht der Kohlenstoffkreislauf im Zentrum. Er ermöglicht, auf der Teilchenebene die Erhaltung der Atome bei chemischen Reaktionen in ihrer globalen Bedeutung zu erfassen.</p>	
<p>Kompetenzen:</p> <p>Schülerinnen und Schüler</p> <ul style="list-style-type: none"> • erschließen den Kohlenstoffkreislauf durch Experimente, Auswertung von Daten und unter Nutzung anderer Quellen, • stellen den globalen Kohlenstoffkreislauf als ein System chemischer Reaktionen dar, • erstellen Regelkreisschemata, um Folgen von natürlichen und anthropogenen Einflüssen auf den Kohlenstoffdioxidkreislauf abzuschätzen (Modellierung), • unterscheiden modellierte Daten von Messdaten und beurteilen deren Aussagekraft, • wenden Dimensionen der Nachhaltigkeit (Ökologie, Ökonomie, Soziales) an, um die Einflüsse auf den Kohlenstoffkreislauf zu bewerten. 	
<p>Beitrag zur Entwicklung der Basiskonzepte:</p> <p><i>Auf der Stoffebene:</i></p> <p>Wasserdampf, Kohlenstoffdioxid und Methan sind wichtige klimawirksame Gase, die in der Atmosphäre mit Strahlung wechselwirken. (SEF, WW)</p> <p>Der Kohlenstoffkreislauf ist ein komplexes System chemischer Reaktionen.</p> <p>Dieses System wird durch natürliche und anthropogene Faktoren beeinflusst und stellt sich auf die veränderten Bedingungen neu ein. (CR)</p> <p>Bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe wird Energie an die Umgebung abgegeben.</p> <p>Der Energieträgerwechsel (Energieabgabe) wird erkennbar an Erwärmung, Bewegung bzw. Licht. (E)</p>	<p>Fachbegriffe:</p> <p>Natürlicher und anthropogener Treibhauseffekt</p> <p>Kohlenstoffkreislauf Absorption, Emission Kohlenstoffsенke</p> <p>Fossile und regenerative Energieträger</p> <p>Dynamisches Modell Modellierung</p>

Erschließung des Themenfeldes durch Kontextorientierung:



Differenzierungsmöglichkeiten:

G: Grundlegend ist die Vermittlung des Kreislaufgedankens, der am Beispiel des Kohlenstoffs mit Hilfe einer begrenzten Anzahl an Reaktionen erarbeitet wird.

Einführend genügt es, die Aussagekraft einer Modellierung an einer einfachen Darstellung zu vermitteln.

V: Vertiefend bietet es sich an, Klimaforschung unter dem Aspekt „Forschung“ zu bearbeiten. Dabei können Beteiligte, einzelne Forschungsbereiche und die Forschungsmethoden in den Blick genommen werden.

Auch die Modellierung als Methode kann thematisiert werden.

Bezüge:

<p>NaWi TF 5 Wasserkreislauf</p>	<p>Biologie TF 5 Ökosystem, Nachhaltigkeit, Modellierung TF 12 Biologische Anthropologie</p>
<p>Chemie TF 3 Verbrennungsreaktion TF 5 Kohlenstoffverbindung</p>	<p>Physik TF 2 Absorption TF 6 Energieversorgung TF 10 Wirkungsgrad</p>

Abb. 4: Aus „Lehrpläne für die naturwissenschaftlichen Fächer – Chemie“, S. 86-87

2.3 Von der Themenfeld-Doppelseite zur Unterrichtsplanung

Das Themenfeld 11 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

Die Planung beginnt mit der Auswahl eines den Intentionen des Themenfeldes entsprechend geeigneten Kontextes. Anregungen dazu geben die Rubriken der Themenfeld-Doppelseite, aktuelle Ereignisse, Medienberichte, regionale Gegebenheiten, die Sammlung in der Schule oder besondere Interessen von Lehrkräften und der Lerngruppe. Ein Kontext ist dann geeignet, wenn er

- einen Ausschnitt aus der Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler darstellt,
- die Intentionen des Themenfeldes transportieren kann,
- Anlass bietet, die Basiskonzepte zu bearbeiten,
- Aktivitäten für die vorgesehene Kompetenzentwicklung ermöglicht,
- in einem angemessenen Zeitrahmen zu bearbeiten ist.

Wichtig ist die Gestaltung der einführenden Lernsituation. Sie soll den Unterricht zügig in die Richtung der vorgesehenen fachlichen Inhalte führen, d. h. die Gedanken und Fragen von Schülerinnen und Schülern in diese Richtung lenken. Nicht alle Äußerungen und Fragen lassen sich sinnvoll in den Chemieunterricht integrieren. Hier steuert die Lehrkraft, um die Inhalte in Beziehung zu anderen Naturwissenschaften und zu gesellschaftlichen Belangen zu setzen und gleichzeitig ein Ausufern zu verhindern.

Konkrete einführende Lernsituationen können sein:

- Medienberichte über Ereignisse, die mit der Klimaentwicklung im Zusammenhang stehen,
- Berichte von politischen Vorgaben oder aktuellen Diskussionen,
- Aktuelle Forschung oder/und Forschungsergebnisse zum Klimageschehen, z. B. im Zusammenhang mit der UN-Dekade „Meeresforschung für nachhaltige Entwicklung“ (2021-2030).

Besonders interessant für den Chemieunterricht sind Äußerungen und Fragen, die durch die Anwendung chemischer Konzepte erklärt oder beantwortet werden können. So weit wie möglich, wirken Schülerinnen und Schüler an der Identifizierung der zu bearbeitenden Inhalte mit. Daraus ergibt sich die Motivation, sich mit diesen Inhalten zu beschäftigen, d.h. Informationen zu beschaffen, zu experimentieren, Erklärungszusammenhänge herzustellen usw.

Konkret: Schülerinnen und Schüler können vorschlagen,

- sich mit den Ursachen des natürlichen Treibhauseffektes zu befassen,
- den Begriff des Kreislaufs in der Chemie zu konkretisieren,

- sich über den Unterschied zwischen fossilen und regenerativen Energieträgern und deren Klimarelevanz zu informieren,
- ein Klimamodell kennenzulernen,
- aktuelle Forschungen bzw. Forschungsergebnisse im Unterricht zu nutzen.

Das Ergebnis der Planung kann eine Übersicht sein. Die folgende Tabelle zeigt den Zusammenhang zwischen Schülerfragen einer 10. Klasse zum Thema „Stoffe im Fokus von Umwelt und Klima“ und den fachlichen Inhalten des Themenfeldes.

Kontextfragen zur Erschließung	Fachlicher Inhalt
Was bedeutet „2-Grad-Ziel“?	Klimageschichte, Klimafolgenforschung
Warum erwärmt sich die Erde durch Treibhausgase in der Atmosphäre? Wodurch entsteht das Problem?	Absorption von Strahlung, Emission
Welchen Treibstoff/Heizstoff sollten wir verwenden?	fossile und regenerative Brennstoffe
Was meint man in der Chemie mit dem Begriff Kreislauf?	Kreislauf
Wie nimmt der Mensch Einfluss auf die Kreisläufe?	Einzelreaktionen, technische Kreisläufe, Kreislauf und Rückkopplungen
Warum wird der Ozean saurer, wenn CO ₂ in der Atmosphäre ist?	Vorgänge zum Kreislauf
Was ist ein Klimamodell?	Modellierung
Kommen die Treibhausgase nur aus Autoabgasen? Entstehen sie auch in der Natur?	Ausschnitte aus dem C-Kreislauf
Wie kommt das CO ₂ in die Atmosphäre und wieder raus?	
Verschwinden Treibhausgase auch von selbst wieder?	physikalische und biologische Kohlenstoff-Pumpe, Löslichkeit in Wasser, Fotosynthese
Woher weiß man, wie weit sich das Klima erwärmen wird?	Klimamodell
Was können wir tun?	Klimaforschung, Kohlenstoff-Kreislauf, Climate Engineering

Bei der Gestaltung der Erarbeitungsphasen achtet die Lehrkraft auf den Zusammenhang zum Kontext, auf die Möglichkeiten der Kompetenzentwicklung für alle Schülerinnen und Schüler differenziert über die Anzahl und Komplexität der ausgewählten Beispiele. Absprachen mit anderen Fächern werden durch die Rubrik „Bezüge“ erleichtert.

Kompetenzen

Die folgende Übersicht zeigt einige Zusammenhänge zwischen den unterrichtlichen Aktivitäten und den Kompetenzbereichen.

Die Schülerinnen und Schüler können ...		TF 11		Schülerinnen und Schüler ...
... naturwissenschaftliche Konzepte zur Problemlösung nutzen.	Umgang mit Fachwissen	■		... erschließen den Kohlenstoffkreislauf durch Experimente, Auswertung von Daten und unter Nutzung anderer Quellen.
... mit Geräten, Stoffen, Verfahren umgehen.		■		... stellen den globalen Kohlenstoffkreislauf als ein System chemischer Reaktionen dar.
... Fachwissen strukturieren und Erklärungszusammenhänge herstellen.		■		
... naturwissenschaftlich untersuchen, experimentieren.	Erkenntnisgewinnung	■		... erstellen Regelkreisschemata, um Folgen von natürlichen und anthropogenen Einflüssen auf den Kohlenstoffkreislauf abzuschätzen (Modellierung).
... modellieren.		■		
... naturwissenschaftliche Erkenntnisse bzw. den naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess reflektieren.		■		
... Informationen sachgerecht entnehmen.	Kommunikation	■		... unterscheiden modellierte Daten von Messdaten und beurteilen deren Aussagekraft.
... sach- und adressatengerecht präsentieren und dokumentieren.		■		
... naturwissenschaftlich argumentieren und diskutieren.		■		
... Bewertungskriterien festlegen und anwenden.	Bewertung	■		... wenden Dimensionen der Nachhaltigkeit (Ökologie, Ökonomie, Soziales) an, um die Einflüsse auf den Kohlenstoffkreislauf zu bewerten.
... Handlungsoptionen erkennen und aufzeigen.		■		
... Sachverhalte naturwissenschaftlich einordnen und (multiperspektivisch) bewerten.		■		

Abb. 5: Kompetenzentwicklung im Themenfeld 11

Beitrag zur Entwicklung der Basiskonzepte sowie Fachbegriffe

Kompetenzerwerb geschieht immer im Zusammenhang mit fachlichen Inhalten. Welches Fachwissen im Themenfeld erarbeitet werden soll, wird im folgenden Absatz erläutert.

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.

Die folgende Übersicht weist die konkreten Umsetzungen von Teilkonzepten der Basiskonzepte aus (vgl. Lehrplan S. 174-182).

Teilkonzepte Teilchen-Materie/Stoff (TMS)	Themenfeld 11
Materie/Stoff besteht aus Teilchen, die sich bewegen und miteinander wechselwirken.	
<p>Das Basiskonzept Wechselwirkung wird im Lehrplan Physik wie folgt ausgeführt:</p> <p><i>Die Wechselwirkung von Körpern miteinander bewirkt eine Änderung der Bewegungszustände oder eine Verformung der Körper.</i></p> <p><i>Sich verändernde elektrische und magnetische Felder beeinflussen sich wechselseitig.</i></p> <p><i>Wenn Strahlung oder Schall auf Körper trifft, findet Energieübertragung (Absorption) und/oder eine Änderung der Strahlungsrichtung (Reflexion, Brechung) statt.</i></p> <p><i>Wenn ein Körper schwingt, ändert sich periodisch sein Zustand. Dabei kann er Schall abgeben.</i></p>	Wasserdampf, Kohlenstoffdioxid und Methan sind die wichtigsten klimawirksamen Gase, die in der Atmosphäre mit Strahlung wechselwirken.
Teilkonzepte Chemische Reaktion (CR)	Themenfeld 11
Stoffkreisläufe werden als Systeme chemischer Reaktionen aufgefasst.	
<p>Das Teilkonzept Stoffkreisläufe wird im Lehrplan Biologie unter Basiskonzept System wie folgt ausgeführt:</p> <p><i>Systeme bestehen aus Elementen, die untereinander Materie, Energie und Informationen austauschen und in ihrem Zusammenwirken als Einheit betrachtet werden können.</i></p> <p><i>Systeme im Gleichgewicht befinden sich in einem stabilen Zustand, in dem von außen keine Veränderung wahrnehmbar ist.</i></p> <p><i>Auf Störung reagiert ein System im Gleichgewicht durch Veränderung in Richtung eines neuen Gleichgewichts.</i></p> <p><i>Störungen führen zu Veränderungen (...) und sind Antrieb für Ströme (Flüssigkeitsströme, thermische Ströme, elektrische Ströme).</i></p> <p><i>Ströme können durch Widerstände in ihrer Stärke beeinflusst werden.</i></p>	Der Kohlenstoffkreislauf ist ein komplexes System chemischer Reaktionen. Dieses System wird durch natürliche und anthropogene Faktoren beeinflusst und stellt sich auf die veränderten Bedingungen neu ein.

Teilkonzepte Energie (E)	Themenfeld 11
<p>Die Energie wird mit Hilfe von Energieträgern transportiert. <i>Stoffe sind Energieträger. Bei chemischen Reaktionen entstehen neue Stoffe mit anderem Energiegehalt.</i></p>	<p>Bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe wird Energie an die Umgebung abgegeben.</p>
<p>Meistens wird bei der Nutzung von Energie der Energieträger gewechselt. <i>Chemische Reaktionen werden als Energieträgerwechsel betrachtet. Produkte und Edukte tragen unterschiedlich viel Energie. Die Energiedifferenz kann positiv oder negativ sein. Ist sie negativ (exotherm), wird im Verlauf der Reaktion Energie an die Umgebung abgegeben. Ist sie positiv (endotherm), wird der Umgebung Energie entzogen.</i></p>	

Zusammentragen, Reflektieren, Anwenden

Zum Abschluss der Erarbeitung werden die Ergebnisse zusammengetragen und der Arbeitsprozess reflektiert.

Im Rahmen der Dekontextualisierung wenden die Schülerinnen und Schüler ihr Wissen in neuen Zusammenhängen an und verankern es nachhaltig. Die Anwendung von Wissen erfolgt herausgelöst aus dem ursprünglichen Kontext und wird so zu Konzeptwissen.

Konkret: Schülerinnen und Schüler

- wenden ein anderes Klimamodell an,
- führen ein Planspiel oder eine Pro-Kontra-Diskussion zur aktuellen Klimadebatte durch,
- bewerten Medienberichte fachlich und ziehen persönliche Schlussfolgerungen bezüglich der Auswirkungen auf das Klima daraus. Z. B.
 - zum globalen Fleischkonsum,
 - zur globalen Mobilität,
 - zum Kohlenstoffdioxid-Fußabdruck.

Kontext: Die Reise eines Kohlenstoff-Atoms

In diesem Kontext beginnen die Schülerinnen und Schüler mit einem Spiel zum Kohlenstoff-Kreislauf. Als Kohlenstoffatom begeben sie sich auf eine Reise durch die verschiedenen Kohlenstoff-Reservoirs der Erde. Die Reiseroute wird von einem Würfel bestimmt. Sie erfahren während des Spiels, in welchen Stoffen sie eingebaut sein können und welche Prozesse zu einem Umbau führen. Die Reise wird protokolliert und reflektiert. Dabei wird insbesondere der Kreislaufgedanke hervorgehoben.

Auf dieser Grundlage erstellen Schülerinnen und Schüler einen globalen Kohlenstoff-Kreislauf, der zunächst ausgewählte natürliche Prozesse berücksichtigt. Einige der Übergänge zeigen sie an einfachen Experimenten. Dabei klären sie jeweils den Zusammenhang des Experiments zum Klima der Erde. Es ergibt sich die Betrachtung von Rückkopplungen, die für die zukünftige Temperatur der Erdatmosphäre von großer Bedeutung sein können.

Im nächsten Erarbeitungsschritt ergänzen sie in bisher erstellten Veranschaulichungen des Kohlenstoff-Kreislaufs Einflüsse durch den Menschen, insbesondere die Nutzung fossiler Energieträger. Hierher gehören auch mögliche Maßnahmen zum Klimaschutz.

Um verschiedene Alternativen für Treib- bzw. Heizstoffe zu bewerten, werden Kriterien zusammengetragen, Heizwerte verglichen und erläutert und ggf. ein Kohlenstoffdioxid-Rechner genutzt.

Eine Erklärung für das Zustandekommen des anthropogenen Treibhauseffekts wird an einem Experiment zur Absorption von Strahlung erarbeitet.

Abschließend führen Schülerinnen und Schüler eine einfache Modellierung selbst durch. So gewinnen sie einen Eindruck davon, wie Wissenschaftler zu Vorhersagen über das Klima kommen.

Kontext: Das 2-Grad-Ziel

Als einführendes Material dient ein möglichst aktueller Medienbeitrag zur gewünschten Begrenzung der Erderwärmung. Er fokussiert den Unterricht auf die Frage, wie man die zukünftige Erderwärmung berechnen kann. Der Unterricht thematisiert adressatengerecht Modellierung als Methode in der Forschung. Ein einfaches Klimamodell wird erprobt.

Ein Experiment zur Absorption von Strahlung macht deutlich, warum Kohlenstoffdioxid so sehr im Fokus steht. Folgerichtig sind Überlegungen, welche Vorgänge den Kohlenstoffdioxid-Gehalt der Atmosphäre verändern. Hier gibt ein Spiel zum Kohlenstoff-Kreislauf (s.o.) wichtige Beispiele. Daraus entwickelt sich eine Veranschaulichung des Kohlenstoff-Kreislaufs. Experimente zeigen einige Übergänge und lassen auf Abhängigkeiten und Rückkopplungen im Klimasystem schließen.

Im nächsten Erarbeitungsschritt werden die Einflüsse durch menschliche Aktivitäten in den Fokus gerückt. Dazu zählen unbeabsichtigte Einflüsse, wie sie z. B. durch die Nutzung fossiler Energieträger entstehen als auch gezielte Maßnahmen zum Klimaschutz.

Schließlich bewerten Schülerinnen und Schüler verschiedene Treib- bzw. Heizstoffe, indem sie Kriterien zusammentragen, Heizwerte der Treib- bzw. Heizstoffe vergleichen und erläutern und ggf. einen Kohlenstoffdioxid-Rechner nutzen.

2.5 Differenzierungsmöglichkeiten

Die unter dieser Rubrik in der Lehrplan-Doppelseite gegebenen Hinweise beziehen sich sowohl auf unterschiedlich leistungsstarke Lerngruppen als auch auf das leistungsdifferenzierte Arbeiten innerhalb einer Lerngruppe.

In jedem Kontext zum Themenfeld 11 passt die Lehrkraft den Unterricht in Bezug auf die Eindringtiefe an. Die Differenzierung erfolgt beispielsweise über die Anzahl und die Komplexität der ausgewählten Beispiele. Auch die eingesetzten Materialien und die Aufgabenformulierungen sind wichtige Möglichkeiten zur Differenzierung.

Grundverständnis:

Für leistungsschwächere Gruppen kann der Fokus auf praktischen Demonstrationen oder einfachen, geschlossen formulierten Versuchsanleitungen zu Einzelreaktionen der Kohlenstoffverbindungen und zum Arbeiten mit einem Klimamodell liegen.

Sie kommen mit wenigen Fachbegriffen und einfachen Wortgleichungen aus, um den Kreislaufgedanken zu erfassen.

Vertiefung:

Leistungsstärkere Schülerinnen und Schüler erforschen selbständiger Einzelreaktionen von Kohlenstoffverbindungen und entwickeln den Kreislaufgedanken exemplarisch an natürlichen und technischen Kohlenstoffkreisläufen. Dabei formulieren sie Reaktionsgleichungen.

Sie arbeiten fragengeleitet mit einem Klimamodell und diskutieren die Leistungsfähigkeit und die Grenzen eines Modells. Dabei wird auch die Modellierung als wichtige Methode in vielen Bereichen der Forschung thematisiert.

Anhand aktueller Beispiele aus der Forschung bietet es sich an, Einblicke in die Forschung als Arbeitsgebiet zu gewinnen. Dazu können beteiligte Forscher, Forschungsfragen und Forschungsmethoden in den Blick genommen werden.

Schulspezifische Differenzierung:

Insbesondere für Berufsreife-Klassen ist der Erwerb von Grundkenntnissen über den Kohlenstoffkreislauf unverzichtbar. Gerade dieses Themenfeld enthält durch seine globale Bedeutung und seine Gesellschaftsrelevanz eine wichtige Botschaft für ihr Leben. Aus dem Verständnis von Stoffkreisläufen lassen sich Möglichkeiten für eine nachhaltige Entwicklung ableiten.

Dazu schreibt der Lehrplan (S. 60): „Zu beachten ist, dass die Schülerinnen und Schüler, die mit der Berufsreife die Schule nach der Klasse 9 verlassen, die Themenfelder 9-12 in der Regel so nicht kennen lernen. Daher werden zentrale Elemente aus diesen Themenfeldern in die Themenfelder 1-8 integriert. Die Zeit dafür kann durch eine Reduzierung der Tiefe bei der Behandlung der Teilchenebene in den Themenfeldern 1-8 gewonnen werden (siehe auch Kapitel 5.3 Zur Arbeit mit dem Lehrplan Chemie).“

Möglichkeiten für die Integration ausgewählter Elemente des Themenfeldes 11 bieten sich in mehreren anderen Themenfeldern, wie z. B. in

TF 3 Heizen und Antreiben:

Die Verbrennung fossiler und regenerativer Energieträger wird genutzt, um einen Kohlenstoffkreislauf zu erstellen und die beiden Reaktionen unter dem Blickwinkel des Kohlenstoffkreislaufs zu betrachten.

TF 6 Säuren und Laugen:

Die Ozeanversauerung wird als Ausschnitt des Kohlenstoffkreislaufs betrachtet. Die Begriffe Umkehrbarkeit und Kohlenstoffsенke werden erarbeitet.

TF 8 Vom Reagenzglas zum Reaktor:

Der Kontext „Bioethanol aus Mais“ macht die Komplexität und die Verzahnung verschiedener Bereiche der Lebenswelt deutlich.

3 ZU DEN LERNEINHEITEN

Die im Kapitel 2.4 vorgeschlagenen Kontexte lassen sich in Lerneinheiten gliedern. Sie entstehen 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 aufeinanderfolgend behandelt werden müssen. Es kann sinnvoll sein, die Inhalte der verschiedenen Lerneinheiten in einer veränderten und in Bezug auf den jeweiligen Kontext angepassten Reihenfolge zu unterrichten.

Im Zentrum einer jeden Lerneinheit steht die Entwicklung von Konzepten und Kompetenzen.

Lerneinheiten		Schwerpunkt der Konzeptentwicklung	Schwerpunkt der Kompetenzentwicklung
1	Klimawirksame Gase und ihre Wechselwirkung mit Strahlung in der Atmosphäre	Struktur-Eigenschaft-Funktion Wechselwirkungen	Erkenntnisgewinnung
2	Verbrennung fossiler Brennstoffe - Energieabgabe an die Umgebung (Energieträgerwechsel): Erwärmung, Bewegung und Licht	Energie	Erkenntnisgewinnung Kommunikation
3	Der Kohlenstoffkreislauf - ein komplexes System chemischer Reaktionen	Chemische Reaktion	Erkenntnisgewinnung Kommunikation
4	Natürliche und anthropogene Einflüsse auf den Kohlenstoffkreislauf	Chemische Reaktion	Umgang mit Fachwissen Kommunikation Bewertung
5	Mit dem Blick zurück in die Zukunft schauen	Wechselwirkungen	Erkenntnisgewinnung Kommunikation

3.1 Lerneinheit 1

LE 1: Klimawirksame Gase und ihre Wechselwirkung mit Strahlung in der Atmosphäre		
Kompetenzentwicklung	Schüleraktivität	Fachwissen/Basiskonzept
Einführende Lernsituation: Warum erwärmt sich die Erde durch manche Gase in der Atmosphäre?		
Schülerinnen und Schüler ...		
... erschließen den Treibhauseffekt durch Experimente, Auswertung von Daten und unter Nutzung anderer Quellen.	... führen ein Modell-Experiment durch und werten es aus. ... leiten aus absorbierten Wellenlängenbereichen die Bedeutung verschiedener Gase für den Treibhauseffekt ab.	Absorption Emission
Material/Medien		
LE1_Lehrerinfo Wirkung von Strahlung auf Materie LE1_AB_Was macht ein Gas zum Treibhausgas LE1_V1_Modellversuch zum Treibhauseffekt LE1_V1_G_Modellversuch zum Treibhauseffekt		

Der Schwerpunkt in dieser Lerneinheit ist die Wirkung von Strahlung auf Materie. Diese Wechselwirkungen sind von zentraler Bedeutung für den Zusammenhang zwischen Kohlenstoffverbindungen und dem Klima. Dazu gehören auch die Begriffe Absorption und Emission.

Eine Kooperation mit dem Physikunterricht bietet sich an, da dort verstärkt am Basiskonzept Wechselwirkungen gearbeitet wird.

Wirkung von Strahlung auf Materie

Licht

Licht ist ein komplexes naturwissenschaftliches Phänomen. Seine Natur lässt sich nur durch zwei Modelle beschreiben. Dabei schreibt man Licht einerseits Wellen- und andererseits Teilchencharakter zu, je nachdem, mit welchem Modell die beobachteten Phänomene besser zu erklären sind.

Licht ist in der Wellenbeschreibung als elektromagnetische Welle aufzufassen. Eine bestimmte Lichtstrahlung lässt sich damit durch ihre Wellenlänge und ihre Frequenz beschreiben. Die Frequenz gibt an, wie oft eine Schwingung sich pro Sekunde wiederholt.

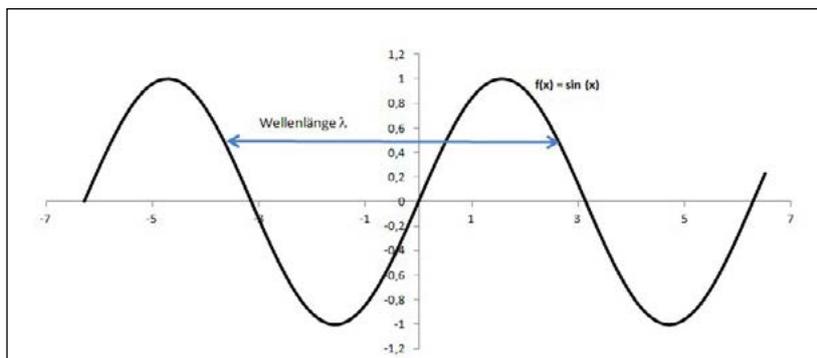


Abb. 7: Licht als elektromagnetische Welle

Unter Licht verstehen wir normalerweise die Art von Strahlung, die im Zusammenspiel zwischen den Sinneszellen des menschlichen Auges und dem Gehirn als farbig interpretiert wird. „Farbe“ ist also keine objektiv vorhandene naturwissenschaftliche Größe, sondern entsteht erst durch das Zusammenspiel von Sinnesorgan und Gehirn. Dies wird leicht deutlich beim Vergleich mit einem Rot-Grün-blinden Menschen. Bei diesen Personen erreicht die gleiche Strahlung das Auge, aber der Sinneseindruck ist ein anderer. Die als Licht wahrgenommene Strahlung stellt aber nur einen kleinen Teil des elektromagnetischen Spektrums dar und reicht von ca. 400 nm bis etwa 700 nm.

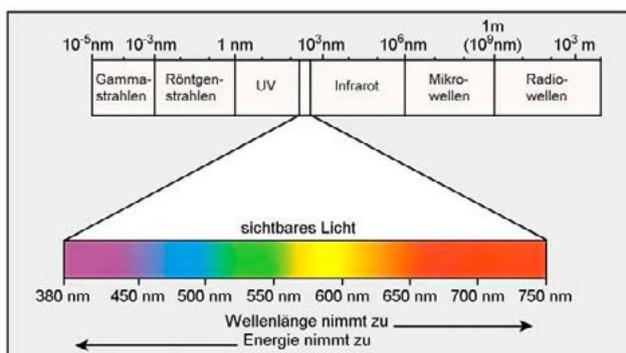


Abb. 8: Spektrum elektromagnetischer Wellen © Karin Kiefer

(aus einem Lernprojekt zur Photosynthese an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf.

https://www3.hhu.de/biodidaktik/Fotosynthese_neu/index.html)

Das Spektrum des Sonnenlichts umfasst Licht verschiedener Wellenlängen zwischen 400 und 700 nm. Das Zusammenspiel zwischen den Sehsinneszellen und dem Gehirn erzeugt beim Menschen den Farbeindruck *weiß*, wenn Licht dieser Wellenlängen zeitgleich das Auge erreicht. Untersucht man diesen Sachverhalt genauer, zeigt sich, dass auch nur bestimmte Ausschnitte des sichtbaren Bereichs der Strahlung den Sinneseindruck *weiß* erzeugen, weil im menschlichen Auge drei Typen von Sinneszellen (Zapfen) für das Farbsehen verantwortlich sind. Siehe dazu auch folgenden Artikel: https://de.wikipedia.org/wiki/Farbwahrnehmung#Sinneszellen_der_Netzhaut.

Strahlt man dieses von uns als weiß wahrgenommene Licht durch ein Glasprisma, so wird es aufgrund der unterschiedlichen Brechung der verschiedenen Wellenlängen in verschiedene Strahlungen aufgespalten, die den unterschiedlichen Farben entsprechen.

Interpretiert man Licht als Teilchen, so besteht dieses aus einem Fluss von Photonen, die eine bestimmte Energieportion enthalten. Über die PLANCKSche Gleichung

$$E = h \times f = h \times \frac{c}{\lambda}$$

wurden beide Vorstellungen miteinander verbunden. Dabei stehen die Größen für

E = Energie [J]

h = PLANCKSche Konstante = $6,626 \cdot 10^{-34}$ J*s

f = Frequenz [1/s]

c = Lichtgeschwindigkeit im Vakuum = $2,998 \cdot 10^8$ m/s

λ = Wellenlänge [m]

Trifft Strahlung auf Materie, so sind verschiedene Wechselwirkungen möglich:

- Die Strahlung wird reflektiert oder gestreut, z. B. an glatten oder rauen Oberflächen. Dies passiert z. B. an einer weißen Wand: das Sonnenlicht trifft auf die Wand und wird davon gestreut. Erreicht diese Strahlung, die aus allen Wellenlängen des Sonnenlichts besteht, das menschliche Auge, entsteht der Sinneseindruck *weiß*.
- Die Strahlung wird vollständig absorbiert. Schwarze Gegenstände nehmen die Strahlung vollständig auf und emittieren im Idealfall keine sichtbare Strahlung. Der Mensch nimmt „keine Strahlung“ wahr und interpretiert dies als den Farbeindruck *schwarz*.
- Lichtenergie bestimmter Wellenlängen wird absorbiert, andere reflektiert oder gestreut. Dies passiert z. B. in einem Blatt eines Baumes. Das gesamte sichtbare Spektrum des Sonnenlichts erreicht das Blatt. Dort wird Lichtenergie der Wellenlängen, die den Farbeindruck rot und blau erzeugen, von fotosynthetisch wirksamen Pigmenten absorbiert und der Rest gestreut. Der Rest ist in diesem Fall Lichtenergie der Wellenlängenbereiche, die den Farbeindruck *grün* bewirken, so dass das Blatt dem Menschen grün erscheint.

Wechselwirkung zwischen Strahlung und Materie

Verschiedene Stoffe absorbieren bestimmte Strahlung, so dass sie unterschiedliche Farben für uns besitzen. Betrachtet man die Absorption von Strahlung durch Atome, so stellt man fest, dass nur Licht ganz bestimmter Wellenlängen absorbiert wird, so dass sich im Spektrum mehr oder weniger eng begrenzte schwarze Linien ergeben.



Abb. 9: Spektrallinien

(Von Stkl; Spectral lines absorption.png. Public domain. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=42405327>)

Die Erklärung liegt im Aufbau der **Atome**. Die Elektronen der Atomhülle nehmen ganz bestimmte Energieniveaus ein, im BOHRschen Atommodell beschrieben durch bestimmte Bahnen. Durch die Aufnahme von Strahlungsenergie können sie angeregt werden und energetisch höhere Energieniveaus einnehmen, allerdings nur, wenn die Energie der Photonen der Strahlung exakt der Energiedifferenz zwischen den beiden Energiezuständen entspricht. Diese Energie kann man mit der oben angeführten PLANCKschen Formel berechnen. **Moleküle** zeigen ein prinzipiell ähnliches Verhalten, allerdings erhält man in ihren Spektren keine scharfen Linien, sondern breitere Bereiche, die man als Banden bezeichnet.

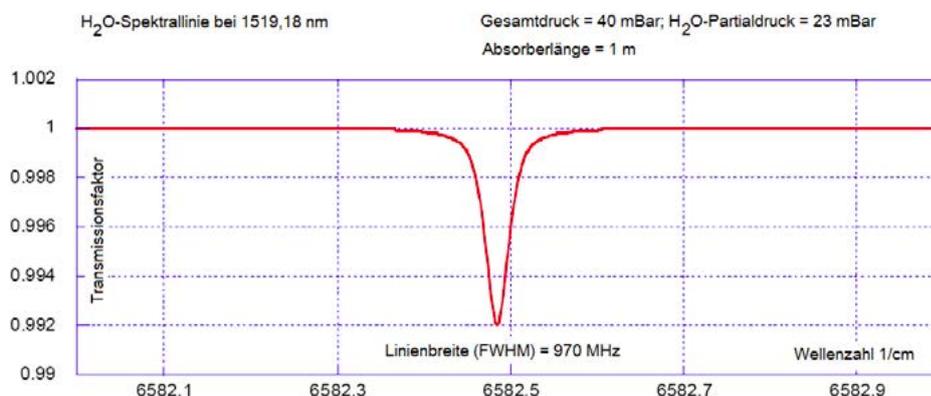


Abb. 10: Resonanzabsorption von H_2O -Gas

(Herbertweidner. Public domain. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10234237>)

Außerdem haben Moleküle verschiedene Energiezustände, die sie einnehmen können, die sich zudem über einen breiten Energiebereich erstrecken.

Sie können die Energie der Strahlung aufnehmen, sich dadurch schneller im Raum bewegen (Translation) bzw. das Molekül rotiert (Rotation). Des Weiteren schwingen die Atome des Moleküls zueinander auf verschiedene Arten (s. a. <https://de.wikipedia.org/wiki/Infrarotspektroskopie>).

Außerdem nehmen Elektronen im Molekül höhere Energiezustände ein. Der Energiebetrag, der für die obigen Wirkungen notwendig ist, nimmt von der Translation zur Anregung für Elektronen zu. All diese Bewegungen sind spürbar und messbar als Temperaturerhöhung.

Die Wirkung der Strahlung im Unterrichtsexperiment

Das hier vorgeschlagene Experiment (LE1_V1_Modellversuch zum Treibhauseffekt – Wärmeabsorption von Gasen) zeigt die stärkere Erwärmung von Kohlenstoffdioxid im Vergleich zu Luft durch die von der Erde reflektierte Strahlung.

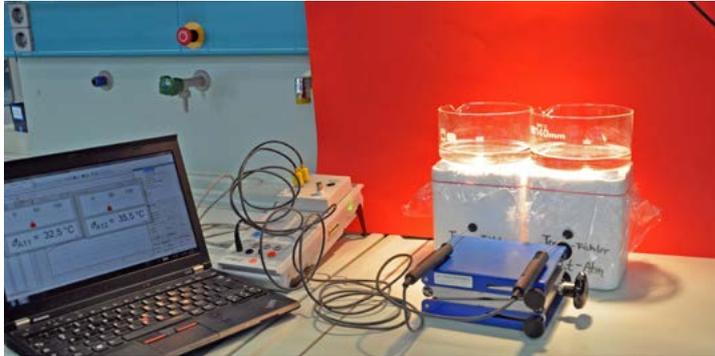


Abb. 11: Modellversuch zum Treibhauseffekt – Wärmeabsorption von Gasen

Im linken der beiden Gefäße befindet sich Luft, im rechten Kohlenstoffdioxid. Beide Gefäße werden von oben mit Licht bestrahlt und sind innen mit schwarzem Papierkarton ausgeschlagen. Diese Pappe stellt den Erdboden dar. Man stellt fest, dass sich in beiden Gefäßen die Temperatur erhöht, wenn man sie von oben mit Licht bestrahlt. Im Gefäß mit Kohlenstoffdioxid ist der Temperaturanstieg stärker als in dem Gefäß mit Luft.

Zur Temperaturmessung sind Alkoholthermometer oder Messfühler nutzbar. Vertiefend ist die Auswertung mit einem Messwerterfassungssystem (z. B. Cassy) sinnvoll.

Erklärung:

Die beiden Schalen über den Gefäßen sind wassergefüllt. So wird verhindert, dass die von der Lampe neben der sichtbaren Strahlung ausgesendete infrarote Strahlung (Infrarotstrahlung = Wärmestrahlung) die Gase erwärmt.

Das Licht der Lampe strahlt ungehindert durch das Wasser (Brechung wird vernachlässigt) und ebenso durch die farblose Luft und das farblose CO_2 und wird am schwarzen Karton absorbiert. Der Karton erwärmt sich dadurch, analog zur Erdoberfläche, und strahlt Infrarotstrahlung in einem breiten Wellenlängenbereich in das Gefäßinnere. Bei der Wärmestrahlung handelt es sich um längerwellige Strahlung im Vergleich zur sichtbaren Strahlung im Bereich von über 700 nm bis zu ca. 30 000 nm.

Diese Strahlung wechselwirkt wenig mit den Molekülen der Luft und erreicht so das Wasser in der mit Wasser gefüllten Schale von unten. Das Wasser absorbiert die Strahlung. Die Wechselwirkung der Infrarotstrahlung mit den Molekülen der Luft sorgt aber für den geringen Anstieg der Temperatur im Gefäß. D. h. der natürliche Treibhauseffekt ist zurückzuführen auf die Wechselwirkung der reflektierten Infrarotstrahlung mit dem Wasser und dem wenigen CO_2 in der Atmosphäre.

Das Gleiche passiert auch im mit CO_2 gefüllten Gefäß, allerdings können hier die CO_2 -Moleküle Infrarotstrahlung stärker absorbieren und die Temperatur steigt stärker an.

In einem neuen Experiment wird CO_2 durch Methan ersetzt. Auch Methanmoleküle absorbieren Infrarotstrahlung deutlich stärker als Luft und die Temperatur steigt deutlich stärker an.

Grundniveau:

Mit einem einfachen Experiment zur Absorption von Infrarotstrahlung kann gezeigt werden, dass es bei Kohlenstoffdioxid im Vergleich mit Luft zu einem größeren Temperaturanstieg kommt. Vereinfacht ist hier, dass direkt mit einer Infrarot-Lampe gearbeitet wird, welche die Abstrahlung der Erde simuliert (LE1_V1_G_Modellversuch_Wärmeabsorption von Gasen_IR-Lampe).

Dazu füllt man Kohlenstoffdioxid in ein Becherglas (500 ml) und verschließt es mit Klarsichtfolie. Ein Kontrollbecherglas mit Luft wird ebenfalls mit Folie verschlossen. In beide Bechergläser stellt man je ein Thermometer und misst die Temperatur während der Beleuchtung mit einer Infrarot-Lampe. Dabei genügen wenige Minuten, um einen deutlichen Unterschied von z. B. 5 K zu messen. Allerdings muss bei der Diskussion berücksichtigt werden, dass die Konzentration von Kohlenstoffdioxid in diesem Versuch um Potenzen höher ist als in unserer Atmosphäre.

Strahlung und Treibhauseffekt

Die Erkenntnisse aus beiden Experimenten werden im Onlinematerial (LE1_AB_Was macht ein Gas zu einem Treibhausgas?) untermauert. Die von der Erde abgestrahlte Energie der Infrarotstrahlung ist in Abhängigkeit von der Wellenlänge aufgetragen. Darüber hinaus stehen die Wellenlängenbereiche der Absorption im Infrarotbereich für verschiedene Gase als Tabelle zur Verfügung.

Schülerinnen und Schüler erarbeiten, dass ein Teil der von der Erde abgestrahlten Infrarotstrahlung die Atmosphäre ungehindert durchstrahlt. Strahlung in diesem Wellenlängenbereich erwärmt die Atmosphäre nicht. Man spricht von einem „Fenster“. Über dieses Fenster gelangen etwa 70% der von der Erde emittierten Strahlung in das Weltall.

Strahlung in anderen Wellenlängenbereichen wird z. B. von Kohlenstoffdioxid oder gasförmigem Wasser absorbiert. Dadurch erwärmt sich die Atmosphäre. Diesen Effekt nennt man den natürlichen Treibhauseffekt. Ohne diesen Effekt läge die Durchschnittstemperatur der Erde nicht bei plus 15°C, sondern bei minus 18°C.

Weitere bekannte Treibhausgase wie Methan, Distickstoffmonoxid und Trichlorfluormethan absorbieren Strahlung im Bereich des „Fensters“ und tragen so zur Erwärmung der Atmosphäre bei.

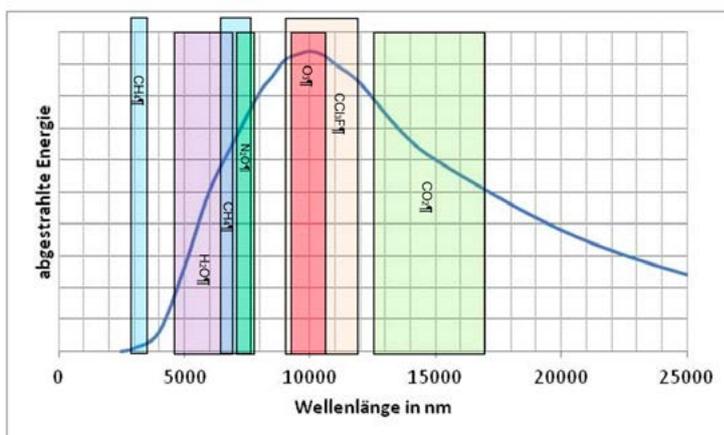


Abb. 12: Absorptionsspektren von Gasen

3.2 Lerneinheit 2

LE 2: Verbrennung fossiler Brennstoffe - Energieabgabe an die Umgebung (Energieträgerwechsel): Erwärmung, Bewegung und Licht		
Kompetenzentwicklung	Schüleraktivität	Fachwissen/Basiskonzept
Einführende Lernsituation: Bildkarten - Welche Energieträger nutzten und nutzen Menschen?		
Schülerinnen und Schüler ...		
... erschließen einen Teil des Kohlenstoff-Kreislaufs.	... übertragen einen Text zu Energieträgern in eine Concept Map. ... stellen den Zusammenhang zwischen der Nutzung verschiedener Energieträger in der Geschichte des Menschen und den gesellschaftlichen Entwicklungen dar. ... vergleichen und begründen Heizwerte verschiedener Energieträger.	fossile und regenerative Energieträger
Material/Medien		
LE2_AB_Energietraeger_Infotext und Karten LE2_ppt_Geschichte der Energieversorgung LE2_AB_Energietraeger_Heizwerte		

In dieser Lerneinheit geht es um

- die Entstehung verschiedener Energieträger und den Zusammenhang zum Kohlenstoffkreislauf.

Ihre Nutzung in der Geschichte zur Energieversorgung des Menschen steht in enger Verbindung

- zu gesellschaftlichen Entwicklungen und
- zum Heizwert, der sich aus dem Aufbau der Stoffe erklärt.

Energieträger und was sie miteinander zu tun haben

Pflanzen nutzen die Energie der Sonnenstrahlung für die Fotosynthese. Dabei wird Kohlenstoffdioxid aus der Umgebung mit Wasser in einer chemischen Reaktion zu Glucose (Traubenzucker) umgesetzt. Glucose enthält viel Energie, die die Pflanzen für ihren Stoffwechsel und zum Wachsen verwenden. So bilden beispielsweise Bäume Holz. Wesentlicher Bestandteil des Holzes ist die Cellulose, die aus Glucose-Molekülen besteht. Energie für die Lebensvorgänge bekommen Pflanzen durch den Vorgang der Zellatmung aus der Glucose. Dabei wird die Glucose durch die Reaktion mit Sauerstoff zu Kohlenstoffdioxid und Wasser zerlegt. Die Zellatmung kann man als langsame Verbrennung bei Normaltemperatur, also ohne Feuer, interpretieren.

Stirbt ein Baum (oder eine andere Pflanze), wird sie normalerweise verrotten. Das heißt, das organische Material, also auch die Cellulose wird von Tieren, Bakterien und Pilzen veratmet, also mit Sauerstoff umgesetzt, um Energie für die Lebensvorgänge zu gewinnen. Übrig bleiben Kohlenstoffdioxid und Wasser.

Geraten abgestorbene Pflanzen unter Sauerstoffabschluss, z. B. in einem Moor, verrotten sie nicht, oder zumindest nicht vollständig. Über einen langen Zeitraum entsteht aus ihnen Torf. In einem Moor wächst die Torfablagerung um 1 mm bis 1 cm pro Jahr. Da Torf noch pflanzliche Substanz (mind. 30%) enthält, ist er in getrocknetem Zustand brennbar. Traditionell wurde Torf als Heizmaterial verwendet. Der Heizwert beträgt 20-22 MJ/kg. Der Abbau von Torf aus intakten Mooren findet in Deutschland nicht mehr statt, da Moore als erhaltenswerte Biotope gelten, besonders wegen der speziellen Hochmoor-Pflanzengesellschaft. Einige moorreiche Länder wie z. B. Finnland betreiben Torfkraftwerke zur Stromerzeugung. Besonders in Nordeuropa werden Torfpellets in Pelletheizungen als Brennstoff eingesetzt (siehe auch <https://www.pelletsbestellung.de/literatur/torfpellets>).

Durch überlagernde Schichten erhöht sich der Druck auf abgelagertes Pflanzenmaterial. Das organische Material wird unter Luftabschluss, hohem Druck und hohen Temperaturen verdichtet, entwässert und chemisch umgewandelt zu Kohlenstoff, Wasser und Asche. Durch diesen Prozess der Karbonisierung der Pflanzenreste (Inkohlung) entsteht zunächst Braunkohle (Ursprung im Tertiär vor 65 – 2 Millionen Jahren), in noch längeren Zeiträumen Steinkohle (Ursprung in den Sumpfwäldern des Karbon und Perm vor 350 – 250 Millionen Jahren).

Rohbraunkohle besteht zu etwa 55% aus Wasser, 5% nicht brennbaren Bestandteilen und 40% Kohlenstoff. Steinkohle besteht zu mehr als 50% des Gewichts aus Kohlenstoff. Der größte Teil der Kohle ist durch die abgelagerten Schichten schwer zugänglich. Der Abbau „unter Tage“ bezeichnet die Gewinnung dieser Rohstoffe in Stollen. Er ist technisch erst seit der Zeit der industriellen Revolution mit Maschinen und in großem Maßstab möglich.

Ähnlich wie Kohle entstanden auch Erdöl und Erdgas aus abgestorbenen Lebewesen. Allerdings geht es bei Erdöl und Erdgas um Meeresorganismen.

Die Geschichte der Energieversorgung

Ein Blick in die Geschichte der Energieversorgung der Menschen lässt interessante Zusammenhänge zur gesellschaftlichen und technischen Entwicklung erkennen. Menschen nutzten zunächst regenerative Energieträger (z. B. Holz oder Torf), später immer ältere und fossile Brennstoffe (z. B. Kohle). Heute geht die Entwicklung wieder hin zu jungen und regenerativen Energieträgern (z. B. Holzpellets) bis hin zur möglichst direkten Nutzung von Sonnenstrahlung oder Wind.

Die Nutzung des Feuers in der Menschheitsgeschichte führte zum Sammeln von Holz. Selbst Feuer machen können Menschen seit ca. 30 000 Jahren. Holz war der einzige genutzte Brennstoff.

In der Jungsteinzeit, ca. 5 500 v.Chr. wurden die Menschen sesshaft. Erste Hinweise auf die Nutzung von Kohle in bescheidenem Umfang gibt es aus der Römerzeit, dort wo sie im „Tagebau“ (mit Schaufeln) zugänglich war.

Ab dem 12. Jahrhundert nutzten in Mitteleuropa frühe gewerbliche Betriebe Wasserräder und Windräder für Getreidemühlen, Hammerschmieden oder Sägereien.

Mit dem Ende des Mittelalters erlebte Europa einen gewaltigen wirtschaftlichen Aufschwung, Holz wurde knapp. Moorreiche Gebiete wurden trockengelegt und der Torf als Energieträger eingesetzt.

Für den Übergang von der Agrar- zur Industriegesellschaft im späten 18. und 19. Jahrhundert wurden einerseits Brennstoffe mit hohem Heizwert für technische Anlagen gebraucht, andererseits wurden die Errungenschaften der industriellen Revolution genutzt zur Erschließung der Kohlelager „unter Tage“ mit Hilfe von technischen Geräten. Auch Torfkohle wurde verbreitet genutzt. Ihr Heizwert ist vergleichbar mit Braunkohle.

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts beschleunigte sich die technische Entwicklung auch durch die Elektrifizierung von Maschinen.

Im 20. Jahrhundert stieg der Energiebedarf durch Bevölkerungswachstum und wirtschaftliche Entwicklung weiter an. In diese Zeit fallen die Stromversorgung von Privathaushalten und der Bau von Großkraftwerken zur Stromerzeugung.

Seit den 1950er Jahren nahm die Motorisierung stark zu und die nach dem Krieg errichteten Wohngebäude wurden zentral beheizt. Für beides wurden große Mengen Erdöl genutzt (Heizöl bzw. Benzin), seit den 1980er Jahren verstärkt auch Erdgas. Ein Umdenken wurde durch die Ölkrise im Jahr 1973 notwendig. Sie machte die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern deutlich und die Begrenztheit der Ressourcen.

Im 21. Jahrhundert stehen Umwelt- und Klimaproblematik im Zentrum der Aufmerksamkeit. Das bei der Verbrennung von Kohle entstehende Kohlenstoffdioxid leistet einen wesentlichen Beitrag zum Treibhauseffekt. Aus diesem und anderen Gründen (z. B. Stickoxide und Schwefeldioxid im Abgas) werden heute alternative Energieträger gesucht (und auch wiederentdeckt) und ihre Nutzbarkeit weiterentwickelt.

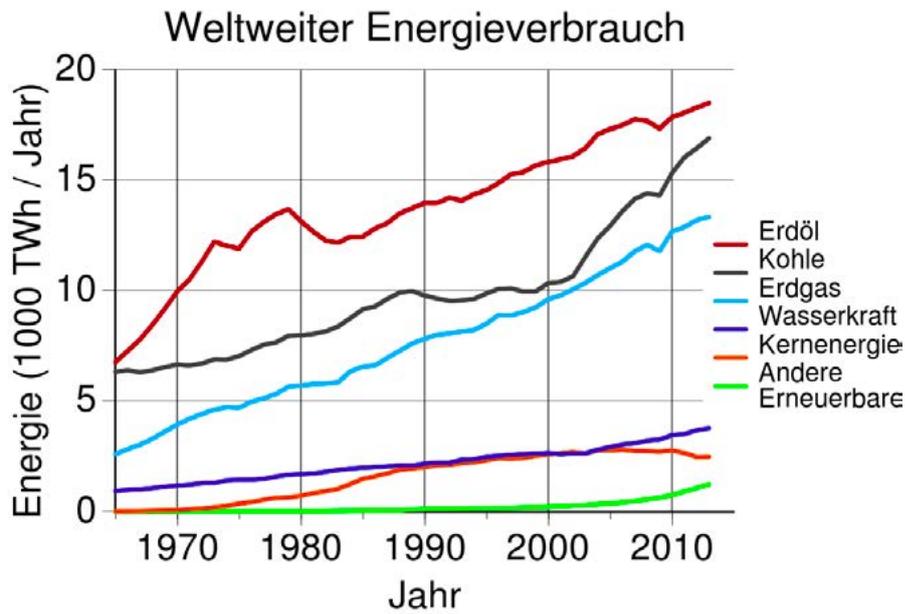


Abb. 13: Weltweiter Energieverbrauch nach Energieträgern
(Delphi234, World energy consumption de, CC0 1.0)

Weitere Grafiken zum Thema über einen größeren Zeitraum sind zu finden unter:

https://www.flickr.com/photos/alec_muc/2457610924/

<https://www.iwr-institut.de/de/presse/presseinfos-energie-ressourcen/energieressourcen-reichen-noch-hunderte-von-jahren>

<https://energie-info.info/2015/09/20/weltweiter-energieverbrauch/>

Heizwerte aus der Sicht der Chemie

Der Heizwert eines Stoffes entspricht der freiwerdenden Wärmemenge, wenn das bei der Verbrennung entstehende Wasser gasförmig ist (im Gegensatz zum Brennwert). Der Heizwert ist eine Größe, die beim Vergleich von Brennstoffen z. B. zum Heizen von Gebäuden verwendet wird. Der Heizwert wird angegeben in kJ/kg, bei flüssigen Brennstoffen auch in kJ/L. In der Haustechnik findet man auch Angaben in kWh/L bzw. kWh/m³.

	Heizwert MJ/kg	Heizwert kWh/Kg	Heizwert MJ/m ³
waldfrisches Holz	6,8	1,9	
luftgetrocknetes Holz	14,4 - 15,8	4 - 4,4	
Holzkohle	28 - 35	7,8 - 9,7	
Holzpellets	18 - 18,7	4,8 - 5	
Torf	20 - 22	5,6 - 6,1	
Rohbraunkohle	8 - 9,3	2,2 - 2,6	
getrocknete Braunkohle	19 - 21,6	5,3 - 6	
Steinkohle	25 - 32,7	7 - 9	
Methanol	19,9	5,5	
Ethanol	26,8	7,4	
Isopropanol	30,5	8,5	
Methan	50,0		35,9
Ethan	47,5		64,4
Propan	46,4		93,2
Butan	45,7		123,8
Paraffinöl	42	11,7	

Tabelle verändert und ergänzt nach: <https://de.wikipedia.org/wiki/Heizwert>

Die Unterschiede der Heizwerte sind teilweise zurückzuführen auf den Wassergehalt. Mit dem Trocknen steigt der Gehalt des Brennstoffs bezogen auf die Masse und damit der Heizwert, z. B. waldfrisches Holz (40%), luftgetrocknetes Holz (8-16%), Holzkohle oder Holzpellets (6%).

Innerhalb der homologen Reihen der Alkane und der Alkohole können die Heizwerte – auf der Teilchenebene - vertiefend betrachtet werden.

Energieträger, Energieversorgung und Heizwerte im Unterricht

Alle C-haltigen Stoffe verbrennen bei vollständiger Verbrennung zu Kohlenstoffdioxid und Wasser. Diese Tatsache haben die Schülerinnen und Schüler im Themenfeld 3 „Heizen und Antreiben“ erarbeitet. Sie wird hier wiederholend betrachtet und darauf aufbauend in den Kontext des Kohlenstoffkreislaufs gestellt, der in diesem Themenfeld 11 in der Lerneinheit 3 weiter ausgebaut wird.

Zur Veranschaulichung der **Energieträger** stehen ein Informationstext und ein Kartenset zur Verfügung. Beides kann methodisch vielfältig genutzt werden. So könnte beispielsweise auf der Grundlage des Infotextes eine Concept Map entstehen. Ziel ist es, die Zusammenhänge zwischen den Begriffen auf den Karten aufzuzeigen. Die Aufgabe ist herausfordernd, bezieht sie doch Kenntnisse aus den Fächern Biologie und Physik aus verschiedenen Klassenstufen mit ein. Differenzierungsmöglichkeiten bieten sich durch die Anzahl und die Auswahl der eingesetzten Kärtchen an oder durch die gewählte Sozialform (Onlinematerial LE2_AB_Energieträger_Infotext und Karten).

Energieträger bieten aktuelle Beispiele für quantitative Betrachtungen. So lässt sich der Kohlenstoffdioxid-Ausstoß eines Autos berechnen, oder die Kohlenstoffdioxid-Belastung durch verschiedene Treibstoffe wie Diesel und Benzin vergleichen.

Im Internet verfügbare Kohlenstoffdioxid-Footprint Rechner stellen für jeden einzelnen Lernenden einen persönlichen Bezug her. Sie bieten Anlass zur Diskussion über die Relevanz und/oder Vollständigkeit der berücksichtigten Faktoren.

Die Geschichte der **Energieversorgung** lässt sich gut an einem Zeitstrahl visualisieren und erläutern. (Onlinematerial LE2_ppt_Geschichte der Energieversorgung)

Für die Zeit seit der Industrialisierung findet man verschiedenste Grafiken. Sie sind eine gute Gelegenheit, das Lesen von Grafiken zu üben. Zu beachten sind insbesondere die Achsenbeschriftung, die Einheiten, der betrachtete Zeitraum und die Legende.

Die Beschäftigung mit verschiedenen Energieträgern führt zu der Frage nach dem **Heizwert** der verschiedenen Brennstoffe. Hier kann der Unterricht an das Themenfeld 3 „Heizen und Antreiben“ anknüpfen. Dort stehen in der Lerneinheit 7 umfangreiche Materialien zum Download bereit (HR TF 3, LE 7 Brennstoffe und Heizwerte).

Je nach Leistungsfähigkeit der Gruppe entnehmen die Schülerinnen und Schüler diese Werte aus Tabellen und nutzen sie für weiterführende Betrachtungen. Ergänzend bzw. vertiefend kann die Lerngruppe den Zusammenhang zwischen dem Aufbau der betrachteten Stoffe und dem Heizwert bearbeiten (Onlinematerial LE2_AB_Energieträger_Heizwerte).

3.3 Lerneinheit 3

LE 3: Der Kohlenstoffkreislauf - ein komplexes System chemischer Reaktionen		
Kompetenzentwicklung	Schüleraktivität	Fachwissen/Basiskonzept
Einführende Lernsituationen: Die Reise eines Kohlenstoffatoms (Spiel), Bericht über Ozeanversauerung		
Schülerinnen und Schüler...		
<p>... erschließen den Kohlenstoff-Kreislauf durch Experimente, Auswertung von Daten und unter Nutzung anderer Quellen.</p> <p>... stellen den globalen Kohlenstoff-Kreislauf als ein System chemischer Reaktionen dar.</p>	<p>... führen ein Spiel zum C-Kreislauf durch.</p> <p>... erstellen eine Veranschaulichung zum C-Kreislauf.</p> <p>... untersuchen Abschnitte des C-Kreislaufs experimentell.</p> <p>... formulieren Reaktionsgleichungen zu einzelnen Übergängen im C-Kreislauf.</p>	<p>Kohlenstoff-Kreislauf</p> <p>Kohlenstoffsенke</p>
Material/Medien		
<p>LE3_Spiel zum Kohlenstoffkreislauf</p> <p>LE3_LE4_ppt_Bausteine_C-Kreislauf</p> <p>LE3_Filme_kommentierte Links</p>		
<p>Sammlung von Experimentieranleitungen zum C-Kreislauf</p> <p>LE3_Loeslichkeit CO2_Faecher</p> <p>LE3_V2_Loeslichkeit von CO2</p> <p>LE3_V3a_Temperatur_CO2_Spritzen</p> <p>LE3_V3b_Temperatur_CO2_PE-Flasche</p> <p>LE3_V4a_Fotosynthese_Zellatmung</p> <p>LE3_V4b_Bohnen_Keimung</p> <p>LE3_V4c_Fotosynthese_Elodea</p> <p>LE3_V5_Physikalische Kohlenstoffpumpe</p> <p>LE3_V6_Wirkung von CO2 auf Kalk</p>		

In dieser Lerneinheit geht es um

- ein angemessen tiefes Verständnis des Kreislaufgedankens und die Darstellung des globalen Kohlenstoff-Kreislaufs als System chemischer Reaktionen,
- die praktisch-technische Kompetenz, einzelne Schritte im Kohlenstoff-Kreislauf experimentell nachzustellen und zu untersuchen.

Zusätzliche Materialien:

Grundniveau:

Kallfelz, M: Die Versauerung der Ozeane – Die Rolle des Meeres in Zeiten des Klimawandels, Bio 5-10, Heft 20, 2017, Seite 34-37.

Vertiefung:

Ozeanversauerung – Das andere CO₂-Problem, 8 Experimente für Schüler und Lehrer. BIOACID/Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel (GEOMAR) (Herausgeber), 2. Auflage, Januar 2012.

Meeresströmungen und Antriebe (Fokus auf Salzgehalt und Wassertemperatur):

Simulation Circulation thermohaline

<https://www.youtube.com/watch?v=EafneRiy1ls>

Circulation thermohaline

<https://www.youtube.com/watch?v=FTXfb5YGE40>

Gronlandspumpen

<https://www.youtube.com/watch?v=vNoQAdgV4KY>

Warm Air Rises - Cold Water Sinks, Warm Water Rises

<https://www.youtube.com/watch?v=bN7E6FCuMby>

Water Density

<https://www.youtube.com/watch?v=Ak9CBB1bTcc>

Ocean Current Salinity Experiment

<https://www.youtube.com/watch?v=t4kJUmt7rjc>

Meeresströmungen global

<http://www.sueddeutsche.de/wissen/film-ueber-meeresstroemungen-globales-foerderband-1.1320656>

Der Kohlenstoff-Kreislauf

Der Begriff Stoffkreislauf ist definiert als „*periodische Umwandlung von chemischen Verbindungen, in deren Verlauf – nach einer Reihe von chemischen Reaktionen – erneut der Ausgangsstoff entsteht*“ (<https://de.wikipedia.org/wiki/Stoffkreislauf>).

In Ökosystemen ist neben dem Stickstoff- oder dem Phosphorkreislauf der Kreislauf des Kohlenstoffs bedeutungsvoll.

Biologische Stoffkreisläufe enthalten Produzenten (Erzeuger), die aus anorganischen Stoffen Biomasse aufbauen. Produzenten sind zumeist Pflanzen.

Destruenten (Zersetzer) mineralisieren die organische Masse wieder zu anorganischen Stoffen. Destruenten sind überwiegend Bakterien und Pilze.

Konsumenten (Verbraucher), nutzen aufgenommene Biomasse zur eigenen Energieversorgung und zum Aufbau körpereigener Substanz. Diese Rolle haben die Tiere.

Der globale Kohlenstoff-Kreislauf umfasst über diese Vorgänge in der Biosphäre hinaus den Austausch mit den abiotischen Reservoiren Atmosphäre, Lithosphäre und Hydrosphäre. Dabei erscheint der Austausch mit dem Erdmantel vergleichsweise gering, er kann aber über geologische Zeiträume hinweg erhebliche Auswirkungen haben.

Im Kontext des Klimawandels bedeutsam sind die Kohlenstoffsinken. Darunter versteht man dynamische Speicher, die Kohlenstoff als Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre aufnehmen und vorübergehend speichern. Beispiele sind neu angepflanzte Wälder oder wachsende Moore. Solange sich die Kohlenstoffvorräte in einem Ökosystem wie dem Wald oder dem Moor erhöhen, ist dieses Ökosystem eine Kohlenstoffsinke.

Der Kreislaufgedanke im Unterricht

Schülerinnen und Schüler kennen den Wasserkreislauf aus früheren Klassenstufen. Dabei bleibt das Wasser als Wasser erhalten, es ändert nur den Aggregatzustand. Insofern handelt es sich um einen Spezialfall.

Dieses Konzept muss beim Kohlenstoff-Kreislauf erweitert werden. Es geht weder nur um den Kohlenstoff als solchen, noch geht es nur um das Kohlenstoffdioxid. Vielmehr befinden sich Kohlenstoff-Atome in verschiedenen „Reservoiren“ eingebunden in chemisch verschiedene Stoffe wie Fette, Kohlenhydrate, Eiweiße, Kohlenstoffdioxid, Hydrogencarbonat, Carbonat und andere Stoffe. Bei chemischen Reaktionen in biologischen oder geologischen Vorgängen entstehen neue Stoffe, so dass Kohlenstoff-Atome danach „nur“ in andere Stoffe eingebaut sind. Die Kohlenstoff-Atome bleiben also immer erhalten.

Um den in diesem Themenfeld zentralen Gedanken des Stoffkreislaufs Schülerinnen und Schüler näher zu bringen, eignet sich das Onlinematerial LE3_Spiel zum Kohlenstoffkreislauf. Sie vollziehen einige Schritte im globalen C-Kreislauf nach, ohne dass das Spiel „fertig“ wäre, auch nicht, wenn ein Stoff „gefressen“ oder „zersetzt“ wurde. Darüber hinaus stellen sie die von ihnen mit Würfeln ermittelte Reise eines C-Atoms schematisch dar, so dass die individuellen „Reise-Wege“ leicht zu erkennen

sind. Auch wird deutlich, dass Kohlenstoffatome in chemisch verschiedenen Stoffen eingebunden von Station zu Station gelangen. Während des Spiels machen etliche Spielerinnen und Spieler die Erfahrung einer langen Verweildauer in einem Reservoir. Dies entspricht langfristigen Kohlenstoff-Speichern (Kohlenstoffsinken) wie Erdöl, Erdgas, Kohle oder Kalkstein.



Abb. 14: Vorbereitung zum „Kreislaufspiel“: In jedem Reservoir entscheidet der Würfel über den weiteren Weg eines Kohlenstoff-Atoms.

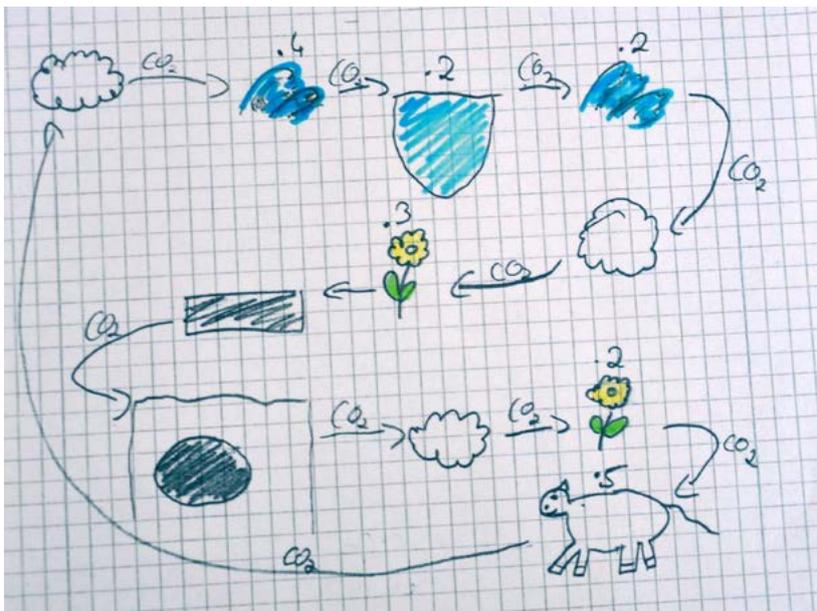


Abb. 15: Exemplarische Schülerlösung – Reisedokumentation nach dem Spiel

Die Schülerlösung ist nicht korrigiert und zeigt die Fehlvorstellung zum Kreislaufbegriff. Hier wird Kohlenstoffdioxid weitergereicht, ohne dass chemische Reaktionen und der Einbau des C-Atoms in verschiedene Stoffe berücksichtigt sind.

Anschließend stellen die Schülerinnen und Schüler den globalen Kohlenstoff-Kreislauf dar. Dieser eignet sich sehr für eine Erarbeitung in kleinen Gruppen. Dafür stellt das Onlinematerial LE3_LE4_ppt_C-Kreislauf verschiedene Varianten mit einer Vielzahl von Bildkarten und Texten, Begriffen und Gleichungen zur Verfügung. Zur Vereinfachung bietet es sich an, zunächst ohne die Reaktionsgleichungen zu arbeiten. Die Lehrkraft differenziert über Anzahl und Auswahl der Karten. Schülerinnen und Schüler sollten ihre „Reise-Etappen“ aus dem Spiel wiederfinden. Leistungsstarke Gruppen beginnen ohne Material und ordnen zunächst die ihnen bekannten Prozesse.

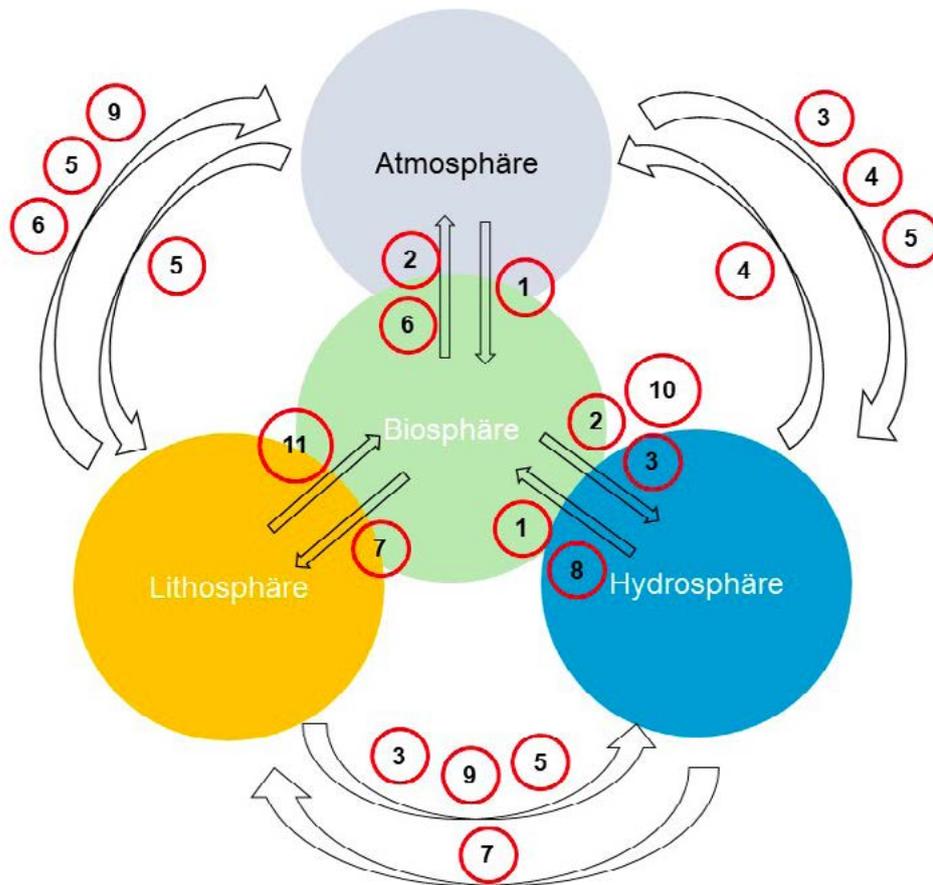


Abb. 16: Möglicher globaler Kohlenstoff-Kreislauf

Legende:

1 - Fotosynthese, 2 - Atmung/Gärung, 3 - Löseprozess, 4 - Diffusion, 5 - Verwitterung,
 6 - Verbrennung, 7 - Sedimentation, 8 - Kalkbildung, 9 - Vulkanismus, 10 - Mineralisation,
 11 - Chemosynthese

Experimente zum globalen Kohlenstoff-Kreislauf

Ein Schwerpunkt in dieser Lerneinheit ist die praktisch-technische Kompetenz, einzelne Phasen im Kohlenstoff-Kreislauf experimentell zu untersuchen.

Sie lassen sich mit einfachen Mitteln experimentell nachstellen. Insofern bietet diese Lerneinheit vielfältige Möglichkeiten zum Experimentieren, z. B. Experimente zur Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid und ihrer Abhängigkeit von der Temperatur und anderen Faktoren. Sie sind bedeutungsvoll im Hinblick auf Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre, das sich im Ozean löst und so zur Ozeanversauerung führt. Auch die Bildung einer Säure beim Lösen von Kohlenstoffdioxid oder das Lösen von Kalk durch Säuren ist experimentell leicht zugänglich (siehe zusätzliche Materialien: Ozeanversauerung). Experimentell anspruchsvoller ist das Modellexperiment zur physikalischen Kohlenstoff-Pumpe.

Das Onlinematerial bietet eine Vielzahl von Versuchsanleitungen, von denen einige möglicherweise aus früheren Themenfeldern bekannt sind. Für leistungsstarke Gruppen bietet es sich an, verschiedene experimentelle Aufgabenstellungen in Expertengruppen zu bearbeiten. Die Lehrkraft trifft eine für ihre Lerngruppe passende Auswahl.

Im Experimentieren geübte Gruppen wählen Labormaterial mithilfe des Onlinematerials LE3_Löslichkeit_CO2_Fächer aus. Im Anschluss vergleichen sie die von ihnen ermittelten Werte mit Literaturwerten und stellen einfache quantitative Betrachtungen an.

Der globale Kohlenstoff-Kreislauf als System chemischer Reaktionen

Das Wissen über den globalen Kohlenstoff-Kreislauf und die durchgeführten Experimente erleichtern die Formulierung von Reaktionsgleichungen. Schülerinnen und Schüler entwickeln selbst Reaktionsgleichungen für ihnen vertraute Umsetzungen oder ordnen Karten mit korrekt formulierten Reaktionsgleichungen verschiedenen Vorgängen zu.

Vertiefend und in Absprache mit der Lehrkraft für Biologie können spezielle Ausprägungen des Kohlenstoff-Kreislaufs für verschiedene Ökosysteme wie z. B. See, Wald, Ozean oder Permafrost-Gebiete betrachtet werden. Dabei geht es nicht um eine ausufernde und vollständige Erfassung aller vorkommenden Reaktionen, sondern um das Wahrnehmen der Komplexität und der wechselseitigen Abhängigkeiten.

Ein Blick auf Kreisläufe anderer Elemente vertieft das Verständnis dafür, dass sich alle Stoffe in Kreisläufen befinden. Inhaltlich geeignet sind Stickstoff und Phosphor.

3.4 Lerneinheit 4

LE 4: Natürliche und anthropogene Einflüsse auf den Kohlenstoffkreislauf		
Kompetenzentwicklung	Schüleraktivität	Fachwissen/Basiskonzept
Einführende Lernsituation: Medienberichte über den steigenden Kohlenstoffdioxid-Gehalt der Atmosphäre oder über die Abholzung von Regenwäldern.		
Schülerinnen und Schüler ...		
<p>... erstellen Regelkreisschemata, um Folgen von natürlichen und anthropogenen Einflüssen auf den Kohlenstoffkreislauf abzuschätzen.</p> <p>... wenden Dimensionen der Nachhaltigkeit (Ökologie, Ökonomie, Soziales) an, um die Einflüsse auf den Kohlenstoffkreislauf zu bewerten.</p>	<p>... erweitern eine Veranschaulichung zum C-Kreislauf um Einflüsse des Menschen.</p> <p>... erstellen ein Pfeildiagramm zu Abhängigkeiten und Rückkopplungen im Klimasystem.</p> <p>... diskutieren Einflüsse des Menschen und Maßnahmen zum Klimaschutz aus verschiedenen Perspektiven.</p> <p>... vergleichen bildhafte Darstellungen, Grafiken und Texte auf „Botschaften zwischen den Zeilen“.</p>	<p>natürlicher und anthropogener Treibhauseffekt</p> <p>Kohlenstoffsенke</p>
Material/Medien		
<p>LE3_LE4_ppt_Bausteine_C-Kreislauf</p> <p>LE4_AB_Rückkopplungen im Klimasystem</p> <p>LE4_AB_Nachhaltigkeit_Tabelle</p> <p>LE4_AB_Botschaften zwischen den Zeilen</p>		

In dieser Lerneinheit geht es um

- den natürlichen und den anthropogenen Treibhauseffekt und die Darstellung von Rückkopplungen auf den Kohlenstoffdioxid-Gehalt der Atmosphäre,
- Überlegungen, gezielt Einfluss auf den Kohlenstoffdioxid-Gehalt der Atmosphäre zu nehmen,
- die Weiterentwicklung der Informationskompetenz, Medienbeiträge kritisch zu lesen oder zu hören und mögliche Maßnahmen aus ökologischer, ökonomischer und sozialer Perspektive zu betrachten oder zu bewerten.

Zusätzliche Materialien: Filme und Animationen zum Treibhauseffekt

Treibhauseffekt (Animation)

<http://www.chf.de/eduthek/Treibhauseffekt/Treibhauseffekt.swf>

Treibhauseffekt

<https://www.youtube.com/watch?v=XMgyokq1jYA>

Klimawandel, Treibhauseffekt und globale Erwärmung in 3 Minuten erklärt

<https://www.youtube.com/watch?v=ZGXVq9obUms>

Harald Lesch – Übrigens zur Klimakatastrophe

<https://www.youtube.com/watch?v=ejl-CwlGltQ>

Harald Lesch über den Klimawandel

<https://www.youtube.com/watch?v=nK01b2kevc0>

Klimawandel und das 2-Grad-Ziel in 3 Minuten erklärt

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

Film zu Eisbohrkernen

<https://www.youtube.com/watch?v=U6N2QeUB5sl>

Film zur Energiegeschichte

<http://www.oekosystem-erde.de/html/energiegeschichte.html>

Der natürliche Treibhauseffekt

Der Treibhauseffekt *„ist die Wirkung von Treibhausgasen in einer Atmosphäre auf die Temperatur der Planetenoberfläche wie die der Erde“*.

Ohne eine Atmosphäre läge die mittlere Temperatur der Erde bei minus 18°C. Die gemessene Temperatur der Erdoberfläche liegt aufgrund des Treibhauseffekts im Mittel bei ca. plus 14°C (verändert nach: <https://de.wikipedia.org/wiki/Treibhauseffekt>).

Der Begriff „Treibhauseffekt“ kann leicht zu einer Fehlvorstellung führen. In einem Treibhaus im Sinn eines Gewächshauses hindert eine Glasscheibe warme Luft daran, sich nach draußen zu bewegen. Die Wirkungsweise in der Atmosphäre ist eine andere. Hier beruht der Effekt auf Wärmestrahlung, die von bestimmten Gasen aufgenommen und erst verzögert wieder abgegeben wird.

Der anthropogene Treibhauseffekt und mögliche Folgen

Mit der industriellen Entwicklung im 19. Jahrhundert stieg der Energiebedarf zum Betrieb von Maschinen stark an. Vorhandenes Holz reichte nicht mehr aus und hatte darüber hinaus einen zu niedrigen Heizwert. In der Folge wurden, auch mithilfe neu entwickelter Maschinen, Kohle- und später auch Erdölvorkommen erschlossen. Die Verbrennung großer Mengen dieser fossilen Brennstoffe in Industriebetrieben, aber auch in Wohnraumheizungen und Fahrzeugen setzte und setzt Treibhausgase, insbesondere Kohlenstoffdioxid, in großen Mengen frei. Damit einher geht seit der Industrialisierung eine bis heute weiter zunehmende globale Erwärmung.

Der Effekt wird verstärkt durch Rückkopplungen, z. B.:

- Durch die Erwärmung der Erde verdunstet mehr Wasser aus dem Ozean. Der Wasserdampf-Anteil in der Atmosphäre steigt. Wasser ist ein wichtiges Treibhausgas und führt zu weiterer Erwärmung der Atmosphäre. Durch die wärmere Atmosphäre steigt die Temperatur des Ozeans.
- CO₂ wird teilweise im Ozean gelöst. Die Löslichkeit von CO₂ fällt mit steigender Temperatur (vgl. Lerneinheit 3). Eine Erwärmung der Atmosphäre führt zu wärmerem Ozeanwasser, das weniger CO₂ binden kann. Es findet sich mehr CO₂ in der Atmosphäre.
- Schnee und Eis absorbieren nur sehr wenig Sonnenenergie, etwa 10%. Offenes Wasser absorbiert ca. 94% der einfallenden Sonnenenergie. Geht also durch die Erwärmung die eisbedeckte Fläche (insbesondere das Meereis der Arktis) zurück, wird zusätzlich mehr Strahlungsenergie von der offenen Wasserfläche absorbiert.

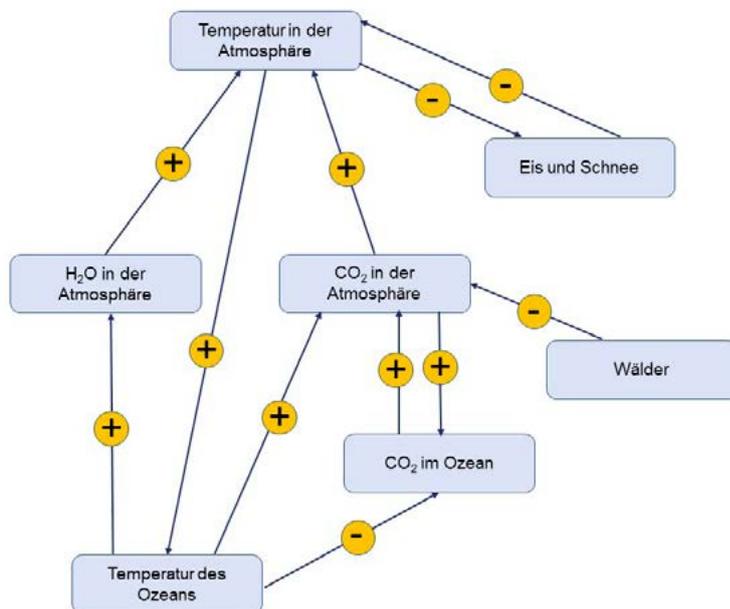


Abb. 17: Einige Abhängigkeiten und Rückkopplungen im Klimasystem

Legende:

+ bedeutet: je mehr/höher ..., umso mehr/höher ...

- bedeutet: je mehr/höher ..., umso weniger/niedriger ...

Möglicherweise können als Folge der Verstärkung durch Rückkopplungen in einigen Bereichen des Erdsystems Kipp-Punkte erreicht werden. Mit dem Erreichen bestimmter Werte würde sich ein neues Gleichgewicht des Klimas entwickeln. Das Bild der Erde würde deutlich verändert. Man erwartet für diesen Fall eine Verschiebung der Klima- und Vegetationszonen, einen deutlichen Anstieg des Meeresspiegels und eine Abnahme der Biodiversität (vgl. auch Lerneinheit 5).

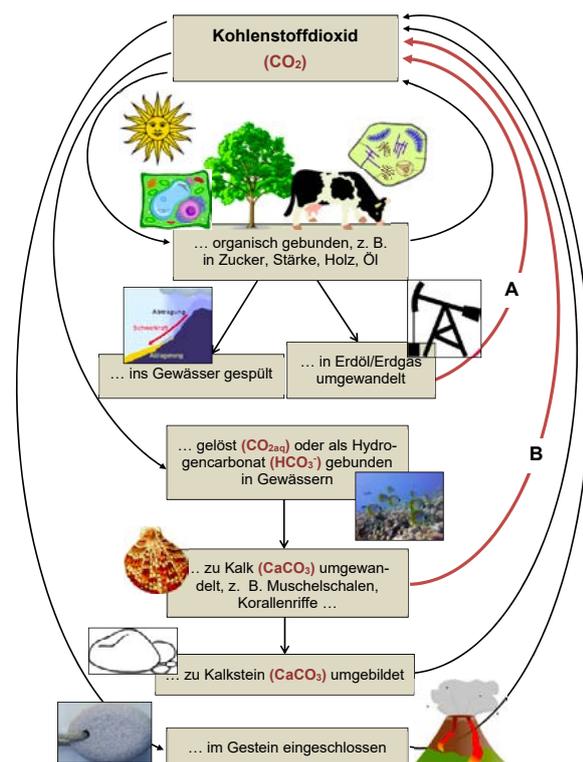
Klimaschutz

Die Menschen machen sich zunehmend Gedanken, wie die Erwärmung der Atmosphäre gebremst werden kann. Menschliche Einflüsse auf den Kohlenstoffkreislauf bewirken häufig einen Anstieg des Kohlenstoffdioxid-Gehalts der Atmosphäre, der zu einer Erwärmung führt. Daher konzentrieren sich die Maßnahmen auf die Senkung des Kohlenstoffdioxid-Gehalts der Atmosphäre.

In diese Richtung wirken sowohl restriktive Maßnahmen (z. B. Fahrverbot) als auch Sparmaßnahmen (Fahrrad statt Auto) oder die Optimierung vorhandener Technik (Autos mit geringerem Benzinverbrauch), um das Entstehen von Kohlenstoffdioxid zu verringern.

Ein anderer Ansatz ist die Entfernung von vorhandenem Kohlenstoffdioxid aus der Atmosphäre durch Aufforstung oder Düngung von Meeresalgen. Aktuell werden unter dem Begriff „Climate Engineering“ technische Verfahren entwickelt, wie z. B. das Verpressen von Kohlenstoffdioxid in unterirdische Hohlräume oder die chemische Bindung von Kohlenstoffdioxid in großen „Filter“-Anlagen.

Der anthropogene Treibhauseffekt im Unterricht



Schülerinnen und Schüler ergänzen Eingriffe des Menschen in den C-Kreislauf aufbauend auf einem vorhandenen oder in Lerneinheit 3 erarbeiteten Schema.

Es empfiehlt sich, die natürlichen von den anthropogen verursachten Vorgängen zu unterscheiden, z. B. durch andersfarbige Pfeile (LE3_LE4_C-Kreislauf_ppt).

Legende:

A – Verbrennung fossiler Energieträger

B – Reaktion mit Säuren

Abb. 18: Mögliche Schülerlösung für anthropogene Einflüsse des Menschen

Die Darstellung von Rückkopplungen im Pfeildiagramm (LE4_AB_Abhängigkeiten und Rückkopplungen im Klimasystem) bereitet quantitative Betrachtungen vor und führt zu Klimasimulationen/Modellierungen in der Lerneinheit 5.

Schülerinnen und Schüler nutzen vorhandene oder in der Lerneinheit 3 selbst erstellte Schemata zum C-Kreislauf und/oder die Darstellung von Rückkopplungen im Klimasystem, um vielfältige mögliche Maßnahmen zum Klimaschutz in diese Schemata einzubauen und zu diskutieren.

Dabei unterscheiden sie die Kategorien Restriktion, Optimierung und Innovation. Diese Kategorien sind relevant im Hinblick auf die Geschwindigkeit der Umsetzbarkeit und Wirksamkeit und im Hinblick auf die Nachhaltigkeit der Problemlösung.

Bei der Erarbeitung des Kohlenstoffkreislaufs mit Bildkarten, Texten, Gleichungen u. a. geht es nicht um Vollständigkeit, sondern um exemplarisches Arbeiten. Auch die betrachteten Rückkopplungen im Klimasystem sollen überschaubar bleiben.

Schülerinnen und Schülern ist auch eine Bewertung möglicher Maßnahmen im Hinblick auf das Nachhaltigkeitsdreieck möglich.

Das Onlinematerial LE4_AB Einflüsse des Menschen und Nachhaltigkeit regt Schülerinnen und Schüler an, (ungewollte) Einflüsse des Menschen und Klimaschutz-Maßnahmen aus ökonomischer, ökologischer und sozialer Perspektive zu betrachten.

Informationskompetenz

Darstellungen der Medien und auch Gespräche in kleinerem Kreis enthalten oft nicht einfach nur Informationen, sondern sie transportieren eine Botschaft „zwischen den Zeilen“. Diese Botschaften können in der sprachlichen Formulierung „versteckt“ sein. Häufig verbergen sie sich auch hinter graphischen Darstellungen, in der Achseneinteilung, der Farbwahl oder der Größe von Markierungen.

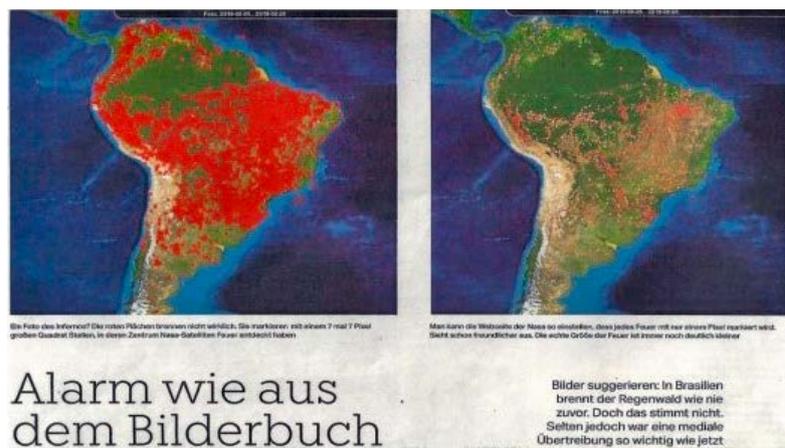


Abb. 19: Die Situation der Feuer in Südamerika (TAZ am 28.8.2019, online: <https://taz.de/Waldbraende-in-Brasilien/!5618016/>)

Diese medialen „Übertreibungen“ werden im Allgemeinen bewusst und gezielt von allen Interessengruppen eingesetzt, die eine bestimmte (emotionale) Botschaft transportieren wollen.

Dadurch kann die Information harmlos oder dramatisch wirken, fachlich nicht versierte Konsumenten gelangen so häufig zu einer (emotionalen) Einstellung gegenüber Ereignissen oder Tatsachen, die sie selbst für ihre eigene, auf Fakten basierende Meinung halten.

Das Onlinematerial LE4_AB_Botschaften zwischen den Zeilen enthält drei Beispiele für die Bearbeitung durch Schülerinnen und Schüler.

3.5 Lerneinheit 5

LE 5: Mit dem Blick zurück in die Zukunft schauen		
Kompetenzentwicklung	Schüleraktivität	Fachwissen/Basiskonzept
Einführende Lernsituationen: Medienberichte zum Klimawandel oder zu aktueller Klimaforschung, z. B. Abbildungen zu Klimaprognosen aus einem IPCC-Report		
Schülerinnen und Schüler ...		
... unterscheiden modellierte Daten von Messdaten und beurteilen deren Aussagekraft.	<p>... nutzen ein einfaches Klimamodell.</p> <p>... recherchieren angeleitet zu einigen Kippelementen und den Auswirkungen beim Erreichen von Kipppunkten.</p> <p>... recherchieren und präsentieren zu einem aktuellen Forschungsprojekt.</p>	<p>Dynamisches Modell</p> <p>Modellierung</p> <p>Klimafolgenforschung</p>
Material/Medien		
<p>LE5_AB_Klimamodellierung_Monash</p> <p>LE5_Lehrerinfo_Anleitung_Monash</p> <p>LE5_AB_Kippelemente_Kipppunkt</p>		

In dieser Lerneinheit geht es um

- die Klärung des Begriffs „Klimamodell“ und
- die Nutzung einfacher Klimamodelle zur Erkenntnisgewinnung.

Dazu gehört z. B. die Nutzung von Klimamodellierungen zur Ermittlung von Kipppunkten.

Zusätzliche Materialien:

Buchal, Christoph; Schönwiese, Christian-Dietrich. KLIMA – Die Erde und ihre Atmosphäre im Wandel der Zeit, MIC Verlag Köln, 3. Auflage 2016.

https://www.boensel-ess-darmstadt.de/files/Ph_Q3/klima_2011-heraeus.pdf

Die Publikation liefert Informationen über die Veränderungen der Atmosphäre und deren Kohlenstoffdioxid-Gehalt in geologischen Zeiträumen und die Vorgänge, die zu diesen Veränderungen geführt haben.

C-Roads – Simulator für Klimapolitik

<https://www.climateinteractive.org/tools/c-roads/>

Eisbohrkerne als Klimaarchiv.

https://naturwissenschaften.bildung-rp.de/fileadmin/_migrated/content_uploads/vortrag_oerter_speyer_2012.pdf

Einfache Animation zum Treibhauseffekt von Dr. Flad.

<https://www.chf.de/eduthek/Treibhauseffekt/Treibhauseffekt.swf>

Kasang, D.: Lost in Space - ein einfaches Klimamodell. Biologie im naturwissenschaftlichen Unterricht, Bio 5-10, Heft 17. 2017. Friedrich-Verlag GmbH.

Little Shop of Physics (LSOP) at Colorado State University, Atmosphärenmodell – Gleichgewicht, Tag/Nacht-Zyklus, 3 Umdrehungen.

<https://scied.ucar.edu/movie-lsop-atmosphere-model-equilibrium-day-night-3-turns>

Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, Kippelemente – Achillesfersen im Erdsystem.

<https://www.pik-potsdam.de/services/infothek/kippelemente/kippelemente>

Umwelt Journal Rheinland-Pfalz: Energiewende. Heft 60, Dezember 2018, Herausgeber: Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten, Redaktion: Landeszentrale für Umweltaufklärung Rheinland-Pfalz. https://umdenken.rlp.de/fileadmin/um_denken/sonstige_Projekte/Umweltjournal_-_Taetigkeitsberichte/Umweltjournal_60_web.pdf

Meeresatlas – Daten und Fakten über unseren Umgang mit dem Ozean, 2017. Heinrich-Böll-Stiftung Schleswig-Holstein, Heinrich-Böll-Stiftung (Bundesstiftung), Kieler Exzellenzcluster „Ozean der Zukunft“. <https://www.boell.de/de/2017/04/25/meeresatlas-daten-und-fakten-ueber-unseren-umgang-mit-dem-ozean>

Der Modellbegriff

Der Begriff Modell wird in den Naturwissenschaften in unterschiedlichen Ausprägungen und damit Bedeutungen verwendet:

Ein **strukturelles Modell** ist der Nachbau eines Objektes, z. B. ein Modellauto, ein Blütenmodell oder das Modell eines Knallkörpers. Das Modell ist verkleinert oder vergrößert, vereinfacht, abstrahiert, modifiziert. Wichtig ist, der originale Aufbau des Objekts ist bekannt (Whitebox-Modell).

Bei einem **pragmatischen Modell** sind Aufbau und Eigenschaften des Objekts oder Prozesses zunächst nicht bekannt, sondern werden aus Beobachtungen erschlossen. Die Hintergründe werden gar nicht oder nur teilweise verstanden (Blackbox-Modell).

So entwickelte sich im Laufe der Zeit z. B. ein Teilchenmodell/Atommodell, über dessen Aufbau zunächst wenig bekannt war. Aus Beobachtungen entwickelten Wissenschaftler Vorstellungen über deren Aufbau, mit denen sie ihre Beobachtungen einfach und anschaulich erklären konnten. So führte der Rutherford'sche Streuversuch zu der Vorstellung, dass ein Gold-Atom eine fast masselose Hülle um den Kern hat.

Modellierung

Die Modellierung ist ein etablierter und unverzichtbarer Arbeitsschritt in vielen Forschungsbereichen. In der Gesellschaft und den Medien sind aktuell besonders Klimamodelle sehr präsent. Klimamodelle gehören zum Typ pragmatische Modelle.

Um ein Klimamodell zu entwickeln, versuchen Klimaforscher zunächst, die wesentlichen Faktoren zu identifizieren: Kohlenstoffdioxid-Gehalt der Atmosphäre, Wolken, Ozean, Eis und Schnee usw. Dann müssen Teilbereiche mathematisch beschrieben werden. Das ist eine Herausforderung, denn dazu müssen die vielen beteiligten Prozesse möglichst gut verstanden und auch quantitativ erfasst sein.

Anschließend arbeiten ganze Gruppen von Wissenschaftlern daran, die Teilbereiche zu verknüpfen, z. B. die Vorgänge in der Atmosphäre mit den Vorgängen im Eis in EINEM Modell zusammen zu bringen.

Schließlich wird ein Modell geprüft, indem Simulationen und Vorhersagen mit den im natürlichen System gemessenen Werten verglichen werden. Ein Modell wird „gut“ bewertet, wenn die Übereinstimmung groß ist. Klimamodelle sind sehr komplex und laufen auf den größten Rechnern der Welt.

Ein wesentliches Ziel eines Klimamodells ist es, begründete Vorhersagen zur Entwicklung des Klimas zu ermöglichen. Dazu ist es unvermeidlich, bestimmte Annahmen über veränderliche Faktoren für die Zukunft zu machen. Ein Szenario ist es, weltweit keine neuen, gezielten Maßnahmen zum Klimaschutz anzunehmen („so weiter machen wie bisher“). Ein anderes Szenario könnte eine veränderte Bevölkerungsentwicklung annehmen oder den Verzicht auf fossile Energieträger. Diese Annahmen führen zu großen Unterschieden der Vorhersagen bis zum Ende des Jahrhunderts. Außerdem gibt es für das gleiche Szenario sich unterscheidende Prognosen von verschiedenen Forschergruppen, die weltweit an mehreren solcher Modelle arbeiten.

Klimafolgenforschung am Beispiel Kippelemente

Kippelemente sind Bestandteile des Erdsystems, die sich ab einem bestimmten Schwellenwert bereits durch kleine Einflüsse stark und unumkehrbar verändern. Der Übergang kann sprunghaft (schnell), aber auch schleichend (langsam) erfolgen. Seine Auswirkungen auf die Umwelt sind weitreichend und können die Lebensgrundlage vieler Menschen gefährden.

Solche Kippelemente für das Klima der Erde sind beispielsweise das arktische Meereis, die Eisschilde Grönlands und der Antarktis, die Meeresströmungen im Atlantik, die tropischen Korallenriffe oder der Amazonas-Regenwald (siehe nachfolgende Karte).

Kippunkte nennt man die Schwellenwerte, die solche Veränderungen auslösen. Oft liegen diesen Veränderungen selbstverstärkende Prozesse zugrunde. Einmal angestoßen laufen sie auch ohne zusätzliche Einflüsse weiter.

Beispiel: Das Kippelement Eiskörper

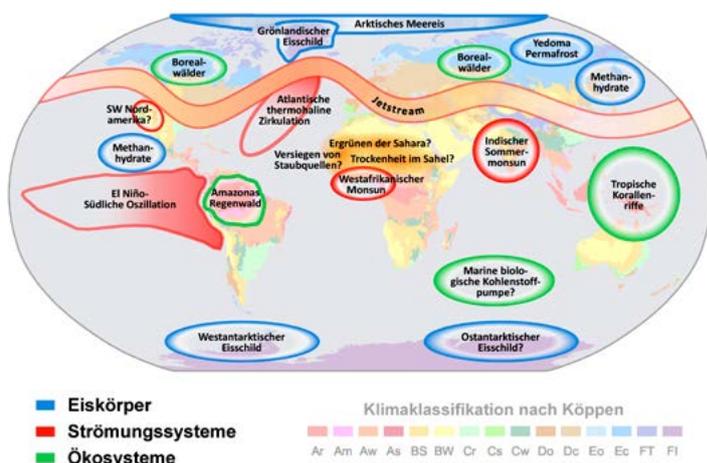
Die helle Oberfläche von Meereis oder Gletschern reflektiert einen Großteil des eingestrahnten Sonnenlichts (Albedo). Wo das Eis schmilzt, wird die Oberfläche dunkler, z. B. Wasser oder auch

Fels. Diese dunklere Oberfläche nimmt mehr Strahlung auf, die den Schwund des verbliebenen Eises beschleunigt.

Die Eis-Albedo-Rückkopplung ist ein klassisches Beispiel für einen selbstverstärkenden Prozess. Der Eisverlust ist sowohl Folge als auch Teil der Ursache der Erwärmung insbesondere in der Arktis.

(verändert nach:

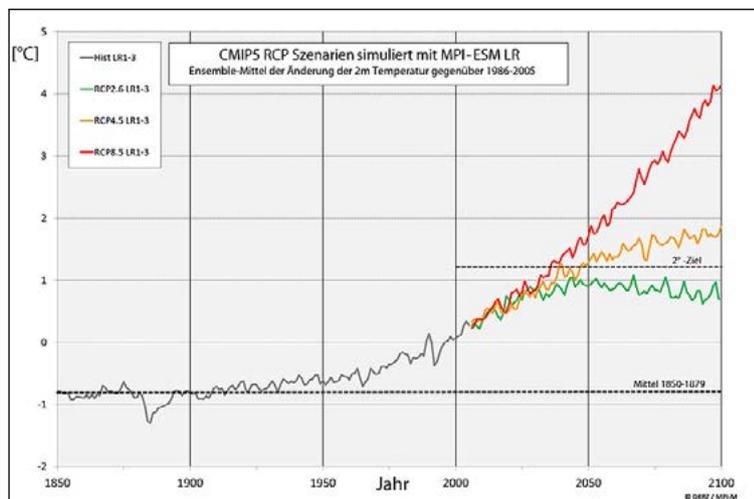
<https://www.pik-potsdam.de/services/infothek/kippelemente/kippelemente>)



Die Kippelemente lassen sich in drei Klassen einteilen: Eiskörper, sich verändernde Strömungs- bzw. Zirkulationssysteme der Ozeane und der Atmosphäre, und bedrohte Ökosysteme von überregionaler Bedeutung. Fragezeichen kennzeichnen Systeme, deren Status als Kippelement wissenschaftlich noch nicht gesichert ist.

Abb. 20: Geografische Einordnung der wichtigsten Kippelemente im Erdsystem mit Angabe der Klimazonen nach Köppen. (Quelle: PIK, 2017. <https://www.pik-potsdam.de/services/infothek/kippelemente/kippelemente>, Creative Commons BY-ND 3.0 DE)

Klimamodelle im Unterricht



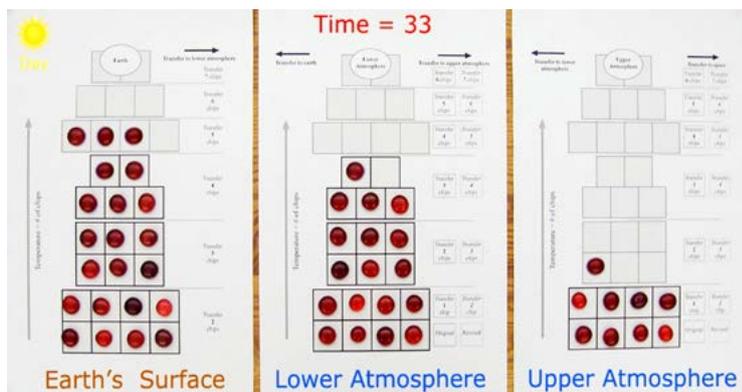
Dargestellt sind die Ergebnisse des vom Hamburger Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M) entwickelten Erdsystemmodells. Die Modellierungen wurden im Rahmen des internationalen Modellvergleichsprojekts CMIP5 und im Hinblick auf den IPCC Bericht durchgeführt.

Abb. 21: Globale Temperaturerhöhungen, Vorhersage für drei verschiedene IPCC-Klimaszenarien. (Quelle: Technical Summary der Arbeitsgruppe 1: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/technical-summary/>)

Sie zeigt die Vorhersagen für die Temperatur bei verschiedenen Szenarien. In der Öffentlichkeit und bei Schülerinnen und Schülern führte diese Grafik zu Aussagen wie: „Die Wissenschaftler sind sich auch nicht einig.“ „Das ist aber sehr ungenau.“ „Die Grafik beruht nicht auf gemessenen Daten.“ Die Bandbreite der vorhergesagten Temperaturerhöhung reicht von gut 1 Grad bis fast 6 Grad Erwärmung bis zum Jahr 2100.

Um ein generelles Verständnis für solche Darstellungen zu entwickeln, ist es wichtig, den Schülerinnen und Schülern Grundlagen zur Entstehung einer solchen Grafik zu vermitteln. Je nach Lerngruppe kann das auf verschiedenen Niveaus erfolgen. Drei verschiedene Angebote werden kurz vorgestellt.

1. Little Shop of Physics – Eine analoge Aktivität zum Grundprinzip einer Modellierung



Eine vom „Little Shop of Physics“ der Colorado State University vorgeschlagene analoge Aktivität zeigt motivierend, einfach und gut verständlich die grundsätzliche Arbeitsweise eines Modells, mit der Annahme bestimmter Werte und der Verrechnung der berücksichtigten Vorgänge. Auch allererste Schritte einer Verfeinerung des Modells sind eingebaut.

Abb. 22: Aktivität zur Verdeutlichung der Funktionsweise einer Klimamodellierung.

(Screenshot <https://scied.ucar.edu/movie-lsop-atmosphere-model-equilibrium-day-night-3-turns>)

Das erforderliche Material ist mit einer Spielanleitung und einer Information für Lehrkräfte downloadbar. Die Texte sind in leichter englischer Sprache verfasst.

Die Abbildung zeigt den 33. Schritt eines Zeitraffervideos.

In der Aktivität bewegen die Schülerinnen und Schüler rote Markierungen – die Sonnenlicht, Wärme und langwellige Infrarotstrahlung darstellen – zwischen drei Spielbrettern, die die Erdoberfläche und den unteren und oberen Teil der Erdatmosphäre darstellen.

Die „Regeln“ des Modells geben an, wie viele der roten Markierungen sich in jeder Runde bewegen sollen und wohin. Während das Modell läuft, zeigt es, wie Wärme durch das Erdsystem fließt.

Das Modell zeigt auch, wie der Treibhauseffekt die Erdoberfläche erwärmt und wie die Erdatmosphäre in höheren Lagen kühler ist.

2. Monash Simple Climate Model (MSCM)

Das MSCM wurde an der Monash University in Melbourne für den Unterricht an Universitäten entwickelt und am Deutschen Klimarechenzentrum (DKRZ) für Schulen aufbereitet. Die Materialien liegen auf dem Hamburger Bildungsserver (<http://bildungsserver.hamburg.de/mscm-klimamodell/>).

Das Modell simuliert vereinfacht grundlegende physikalische Prozesse im Klimasystem. Dadurch werden schnelle Simulationen auf einem normalen PC möglich. Indem Elemente oder Prozesse im Klimasystem aktiviert oder deaktiviert werden, können die Wechselwirkungen zwischen den physikalischen Prozessen im Klimasystem untersucht und gezeigt werden. Außerdem gibt es Tutorials, Rätsel und Einführungsvideos, auch zur wissenschaftlichen Basis und den Gleichungssystemen.

Onlinematerial:

LE5_AB_Klimamodellierung am Beispiel des „Monash simple climate modell“ (MSCM) und
LE5_Lehrerinformation_Arbeitsanleitung für MSCM

Ergänzender Materialhinweis:

Kasang, D.: Lost in Space - ein einfaches Klimamodell. Biologie 5-10, Heft 17, 2017, Friedrich-Verlag GmbH. (Unterricht zum Monash-Modell wird vorgestellt.)

3. C-ROADS (Climate Rapid Overview and Decision Support) - Ein Simulator für die Klimapolitik

„C-ROADS ist ein preisgekrönter Computersimulator, mit dem Menschen die langfristigen Klimaauswirkungen nationaler und regionaler Reduzierungen der Treibhausgasemissionen auf globaler Ebene verstehen können. C-ROADS hat der Welt geholfen, die Auswirkungen der Emissionsreduktionsversprechen zu verstehen, die die Länder den Vereinten Nationen vorgeschlagen haben. Diese Vorschläge haben unterschiedliche Formen mit unterschiedlichen Referenz- und Zieljahren. Mit C-ROADS können wir diese Richtlinien jedoch schnell testen, um festzustellen, ob sie zusammen ausreichen, um die Temperatur unter 2 ° C zu stabilisieren. C-ROADS World Climate wird kostenlos zur Verfügung gestellt, um Einblicke in die Möglichkeiten des Klimawandels zu erhalten. Wir empfehlen Ihnen, C-ROADS als Teil einer Weltklimasimulation zu verwenden, bei der eine Gruppe von Menschen die Rolle von UN-Klimaverhandlern spielt, die daran arbeiten, ein Abkommen zur Begrenzung der globalen Erwärmung zu schaffen. (...)“

Aus: <https://www.climateinteractive.org/tools/c-roads/> (übersetzt)

Klimafolgenforschung im Unterricht

Kippelemente

Die Erforschung der Klimageschichte und die Messung aktueller Daten sind notwendige Voraussetzungen zur Entwicklung von Klimamodellen. Dabei ermöglichen die Daten ein tieferes Verständnis der wesentlichen Prozesse.

Weiterführend ist eine Interpretation der zu erwartenden Entwicklung notwendig. Welche Temperaturerhöhung ist in welchem Zeitraum zu erwarten und was bedeutet diese Temperaturerhöhung für unseren Planeten?

Diesen Fragen zu den Folgen der Klimaerwärmung widmet sich in Deutschland besonders das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung.

Die Betrachtung der Kippelemente im Unterricht lässt die zukünftige Entwicklung des Klimas für die Lernenden konkret werden. Sie recherchieren angeleitet und auf vorgegebenen Seiten zu einigen Kippelementen und beschäftigen sich mit konkreten Kippunkten und deren Auswirkungen.

Für das Onlinematerial LE5_AB_Kippelemente und Kippunkte wurden die Internetseite des PIK und eine Internetseite von Planet-Schule ausgewählt. Schülerinnen und Schüler können je nach Leistungsfähigkeit und zur Verfügung stehender Zeit auch umfänglicher recherchieren oder Präsentationen anfertigen.

Aktuelle Forschung zum Klimageschehen im Unterricht

Die Anknüpfung des Unterrichts an aktuelle Forschungsprojekte ist für Schülerinnen und Schüler überaus motivierend. Durch möglichst authentische Situationen sind Schülerinnen und Schüler „hautnah“ dabei. Medienarbeit bedeutender Projekte richtet sich verstärkt auch an die Schulen.

Exemplarisch sei hier das Projekt MOSAiC genannt. Es handelt sich um die größte Arktis-Expedition aller Zeiten. Im Oktober 2019 hatte der Forschungsseisbrecher Polarstern eine geeignete Eisscholle gefunden, um daran festzufrieren und mit dieser durch die Arktis zu driften. Ziel ist die Erfassung vieler und vielfältiger Messdaten, um die Genauigkeit von Klimaprognosen für die nächsten Jahrzehnte zu verbessern.

Schülerinnen und Schüler könnten dem täglichen Blog die Route des Schiffes, aktuelle Wetterdaten und Informationen zum Forscheralltag entnehmen. Dort gibt es auch kurz gefasste Informationen zu Forschungszielen, Forschungsfragen, Untersuchungsmethoden und ggf. Ergebnisse. Die Mediathek zum Projekt liefert zahlreiche Fotos und Videos.

Speziell an Lehrkräfte richtet sich ein Bereich „Education“, der zahlreiche, gut ausgearbeitete Aktivitäten für Schülerinnen und Schüler vorstellt. Verschiedene Institutionen weltweit arbeiten an der Erstellung von entsprechendem Material.

Wege zum MOSAiC-Projekt:

https://www.youtube.com/watch?v=I4JULQ9klqM&feature=youtube_gdata_player

<https://follow.mosaic-expedition.org/>

<https://mosaic-expedition.org/>

<https://www.awi.de/im-fokus/mosaic-expedition.html>

https://multimedia.awi.de/mosaic/#1582715661842_0

4 ZUSAMMENFASSUNG

4.1 Üben und Vernetzen

Betrachtungen zum Kohlenstoff-Kreislauf können mit Inhalten früherer Themenfelder vernetzt werden. So wurden Ausschnitte aus dem C-Kreislauf im TF 3 (Heizen und Antreiben) thematisiert. Ausgehend von der Verbrennung von Methan könnte dessen Rolle im C-Kreislauf beleuchtet werden. Dabei könnte auch die Rolle der Permafrostgebiete im Zusammenhang mit der globalen Erderwärmung einbezogen werden.

Auch die Ozeanversauerung ist ein geeigneter kleiner Kontext, um die Experimente zur Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid unter einem neuen Blickwinkel zu betrachten.

Als sehr lernwirksam gilt das Konzept „ältere Schülerinnen und Schüler vermitteln Inhalte an jüngere Schülerinnen und Schüler“. Dazu gibt es ein gut ausgearbeitetes Angebot der VRD-Stiftung. Das Projekt heißt: „Zukunft gestalten – Mit Kindern (erneuerbare) Energie und Nachhaltigkeit entdecken“. Das zugehörige Material ist über das Pädagogische Landesinstitut in Speyer und Bad Kreuznach ausleihbar. Die Stationen passen teilweise inhaltlich gut zum Themenfeld 11.

<https://vrd-stiftung.org/projekte/bildung/forschungs-und-entwicklungsprojekt-zukunft-gestalten-mit-kindern-erneuerbare-energie-entdecken/>

Um den Fokus auf das **Kreislaufkonzept** generell zu lenken, wird man andere Stoffkreisläufe thematisieren, evtl. nur mit einer Abbildung, die versprachlicht werden soll und in der Elemente aus früherem Unterricht wiedererkannt werden, z. B. Stickstoffkreislauf und Ammoniak-Synthese (TF 8) oder die aktuelle Nitratproblematik in Böden (TF 9).

Um den **Umgang mit den Reaktionsgleichungen** zum C-Kreislauf zu üben, bietet sich die Betrachtung weiterer Phänomene an, die aus einem anderen Bereich als dem globalen C-Kreislauf vor dem Hintergrund des Klimas stammen, aber mit (fast) denselben Gleichungen zu beschreiben sind:

- Die Bildung von Tropfsteinhöhlen und die Bildung von Tropfsteinen
- Die Herstellung von Kunststoffen und die Verbrennung von Kunststoffmüll
- Das Entkalken einer Kaffeemaschine und das Verkalken von Haushaltsgeräten
- Die Nutzung von Brausepulver, einem Feuerlöscher oder Backpulver

Die Bedeutung von **Modellierungen** ist an tagesaktuellen Beispielen leicht zu vermitteln und gilt nicht nur für die Klimaprognosen. So wird deutlich, dass es sich um einen generell in der Forschung wichtigen Arbeitsschritt handelt.

Auch die für die **Bewertung einer Information** so wichtigen „Botschaften zwischen den Zeilen“ lassen sich in anderen Kontexten und in anderen Unterrichtsfächern wiederfinden und einüben.

4.2 Möglicher Unterrichtsgang im Überblick

Kontext: Die Reise eines Kohlenstoffatoms				
Phase/ Stunde	Fachwissen/ Basiskonzept	Kompetenzentwicklung/ Schüleraktivitäten Schülerinnen und Schüler ...	Materialien	Mögliche Vertiefung und zusätzliche Materialien
Einführende Lernsituation: Spiel zum Kohlenstoff-Kreislauf				
LE 3	C-Kreislauf	... führen ein Spiel zum C-Kreislauf durch.	LE3_Spiel zum Kohlenstoffkreislauf	
Erarbeitung: Der Kohlenstoff-Kreislauf ist ein komplexes System chemischer Reaktionen.				
LE 3	C-Kreislauf Kohlenstoffsenke	... erstellen eine Veranschaulichung zum C-Kreislauf. ... untersuchen Abschnitte des C-Kreislaufs experimentell. ... formulieren Reaktionsgleichungen zu einzelnen Übergängen im C-Kreislauf.	LE3_LE4_ppt_Bausteine_C-Kreislauf LE3_V2_Loeslichkeit_CO2 LE3_V3a_Temperatur_CO2_Spritzen LE3_V3b_Temperatur_CO2_PE-Flasche LE3_V4a_Fotosynthese_Zellatmung LE3_V4b_Bohnen_Keimung LE3_V4c_Fotosynthese_Elodea	LE3_Filme_kommentierte Links LE3_V5_Physikalische Kohlenstoffpumpe LE3_Loeslichkeit_CO2_Faecher LE3_V6_Wirkung von CO2 auf Kalk

Erarbeitung: Wie nimmt der Mensch Einfluss auf die Kreisläufe?			
LE 4	<p>Natürlicher und anthropogener Treibhauseffekt</p> <p>Kohlenstoffsenke</p>	<p>... erweitern eine Veranschaulichung zum C-Kreislauf um Einflüsse des Menschen.</p> <p>... erstellen ein Pfeildiagramm zu Abhängigkeiten und Rückkopplungen im Klimasystem.</p> <p>... diskutieren Einflüsse des Menschen und Maßnahmen zum Klimaschutz aus verschiedenen Perspektiven.</p> <p>... vergleichen bildhafte Darstellungen, Grafiken und Texte auf „Botschaften zwischen den Zeilen“.</p>	<p>LE3_LE4_ppt_Bausteine_C-Kreislauf</p> <p>LE4_AB_Rückkopplungen im Klimasystem</p> <p>LE4_AB_Nachhaltigkeit_Tabelle</p> <p>LE4_AB_Botschaften zwischen den Zeilen</p>
		<p>Treibhauseffekt (Animation) http://www.chf.de/eduthek/Treibhauseffekt/Treibhauseffekt.swf</p> <p>und weitere: Kapitel 3.4, Lerninheit 4</p>	
Erarbeitung: Welchen Heizstoff/Treibstoff „sollten“ wir verwenden?			
LE 2	<p>Fossile und regenerative Energieträger</p>	<p>... stellen den Zusammenhang zwischen der Nutzung verschiedener Energieträger in der Geschichte des Menschen und den gesellschaftlichen Entwicklungen dar.</p> <p>... vergleichen und begründen Heizwerte verschiedener Energieträger.</p>	<p>LE2_AB_Energietraeger_Infotext und Karten</p> <p>LE2_ppt_Geschichte der Energieversorgung</p> <p>LE2_AB_Energietraeger_Heizwerte</p>
			<p>CO₂-Footprint-Rechner</p>

Erarbeitung: Warum erwärmt sich die Erde durch Treibhausgase in der Atmosphäre?			
LE 1	Absorption Emission	... führen Experimente durch und werten sie aus. ... leiten aus absorbierten Wellenlängenbereiche die Bedeutung verschiedener Gase für den Treibhauseffekt ab.	LE1_Lehrerinfo Wirkung von Strahlung auf Materie LE1_AB_Was macht ein Gas zum Treibhausgas LE1_V1_Modellversuch zum Treibhauseffekt LE1_V1_G_Modellversuch zum Treibhauseffekt
Erarbeitung: Wie ändert sich das Klima in der Zukunft?			
LE 5	Modellierung Dynamisches Modell Klimafolgenforschung	... nutzen ein einfaches Klimamodell. ... recherchieren angeleitet zu einigen Kippelementen und den Auswirkungen beim Erreichen von Kippunkten. ... recherchieren und präsentieren zu einem aktuellen Forschungsprojekt.	LE5_AB_Klimamodellierung_Monash LE5_Lehrerinfo_Anleitung_Monash LE5_AB_Kippelemente und Kippunkt Kasang, D.: Lost in Space - ein einfaches Klimamodell. Biologie 5-10, Heft 17, 2017, Friedrich-Verlag. Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, Kippelemente – Achillesfersen im Erdsystem https://www.pik-potsdam.de/services/infothek/kippelemente/kippelemente

4.3 Liste der verfügbaren Muster-Gefährdungsbeurteilungen zum Themenfeld 11

Die für Rheinland-Pfalz erstellten Gefährdungsbeurteilungen für Chemie-Standardversuche der Sekundarstufen „wurden Ende 2017 allen rheinland-pfälzischen Schulen kostenlos im Rahmen der Schullizenz D-GISS 2017/2018 zur Verfügung gestellt. D-GISS 2017/18 enthält ein Modul GefBU, mit dem die enthaltenen Gefährdungsbeurteilungen genutzt, individuell angepasst und ergänzt werden können.“

Sollte Ihre Schule die D-GISS-CD-ROM bislang nicht erhalten haben, so wenden Sie sich bitte per E-Mail an Volker.Tschiedel@bm.rlp.de (siehe auch unter <https://naturwissenschaften.bildung-rp.de/sicherheit/gefaehrdungsbeurteilungen/im-chemie-unterricht.html>).

Auf das Themenfeld 11 beziehen sich folgende Gefährdungsbeurteilungen:

- Kohlenstoffdioxid und Methan-Wärmeabsorption von Gasen
- Kohlenstoffdioxid-Löslichkeit in Abhängigkeit von der Temperatur (Flaschen)
- Kohlenstoffdioxid-Modellexperiment zur physikalischen Kohlenstoffpumpe
- Kohlenstoffdioxid-Entstehung und Nachweis bei der Atmung von Bohnen
- Biogas herstellen
- Biogas untersuchen

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Johnstone-Dreieck (erweiterte Abbildung). Aus: Springer-Lehrbuch Chemiedidaktik, Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen; bearbeitet von Hans-Dieter Barke, 1. Auflage 2006, S. 31.

Abbildung 2: Entwicklung der Basiskonzepte. Aus: Lehrpläne für die drei naturwissenschaftlichen Fächer. Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Weiterbildung und Kultur, Rheinland-Pfalz. 2014.

Abbildung 3: Aspekte im Themenfeld 11. © PL RLP.

Abbildung 4: Aus „Lehrpläne für die naturwissenschaftlichen Fächer – Chemie“, S. 86-87. Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Weiterbildung und Kultur, Rheinland-Pfalz. 2014.

Abbildung 5: Kompetenzentwicklung im Themenfeld 11. Aus „Lehrpläne für die naturwissenschaftlichen Fächer – Chemie“. Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Weiterbildung und Kultur, Rheinland-Pfalz. 2014.

Abbildung 6: Struktur des Themenfeldes 11. © PL RLP.

Abbildung 7: Licht als elektromagnetische Welle. © PL RLP.

Abbildung 8: Spektrum elektromagnetischer Wellen. © Karin Kiefer, aus einem Lernprojekt zur Photosynthese an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf.

https://www3.hhu.de/biodidaktik/Fotosynthese_neu/index.html

Abbildung 9: Spektrallinien. Von Stkl; Spectral lines absorption.png. Public domain.

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=42405327>

Abbildung 10: Resonanzabsorption von H₂O-Gas. Herbertweidner. Public domain.

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=10234237>

Abbildung 11: Modellversuch zum Treibhauseffekt – Wärmeabsorption von Gasen. © PL RLP.

Abbildung 12: Absorptionsspektren von Gasen. © PL RLP.

Abb. 13: Weltweiter Energieverbrauch nach Energieträgern (Delphi234, World energy consumption de, CC0 1.0)

Abbildung 14: Vorbereitung zum „Kreislaufspiel“: In jedem Reservoir entscheidet der Würfel über den weiteren Weg eines Kohlenstoff-Atoms. © PL RLP.

Abbildung 15: Exemplarische Schülerlösung - Reisedokumentation nach dem Spiel. © PL RLP.

Abbildung 16: Möglicher globaler Kohlenstoff-Kreislauf. © PL RLP.

Abbildung 17: Einige Abhängigkeiten und Rückkopplungen im Klimasystem. © PL RLP.

Abbildung 18: Mögliche Schülerlösung für anthropogene Einflüsse des Menschen. © PL RLP.

Abbildung 19: Die Situation der Feuer in Südamerika. TAZ am 28.8.2019.

Online: <https://taz.de/Waldbraende-in-Brasilien/!5618016/>

Abbildung 20: Geografische Einordnung der wichtigsten Kippelemente im Erdsystem mit Angabe der Klimazonen nach Köppen. Quelle: PIK, 2017. <https://www.pik-potsdam.de/services/infothek/kippelemente/kippelemente>. Creative Commons BY-ND 3.0 DE.

Abbildung 21: Globale Temperaturerhöhungen, Vorhersage für drei verschiedene IPCC-Klimaszenarien. Quelle: Technical Summary der Arbeitsgruppe 1: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/technical-summary/>

Abbildung 22: Screenshot „Little Shop of Physics“ der Colorado State University, University Corporation for Atmospheric Research (UCAR), Center for Science Education (UCAR SciEd). <https://scied.ucar.edu/movie-lsop-atmosphere-model-equilibrium-day-night-3-turns>

LITERATURVERZEICHNIS

Buchal, Christoph; Schönwiese, Christian-Dietrich. KLIMA - Die Erde und ihre Atmosphäre im Wandel der Zeit, MIC Verlag Köln, 3. Auflage 2016.

https://www.boensel-ess-darmstadt.de/files/Ph_Q3/klima_2011-heraeus.pdf

Eisbohrkerne als Klimaarchiv

https://naturwissenschaften.bildung-rp.de/fileadmin/_migrated/content_uploads/vortrag_oerter_speyer_2012.pdf

Hamburger Bildungsserver. Das Monash Simple Climate Modell (MSCM).

<http://bildungsserver.hamburg.de/mscm-klimamodell/>

Kasang, D.: Lost in Space - ein einfaches Klimamodell. Biologie 5-10, Heft 17, 2017, Friedrich-Verlag.

Paeger, J. (2006-2019), Eine kleine Geschichte des menschlichen Energieverbrauchs, in: Hintergrundinformation, Das Zeitalter der Industrie, Ökosystem Erde.

<http://www.oekosystem-erde.de/html/energiegeschichte.html>

Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK), Kippelemente – Achillesfersen im Erdsystem, Potsdam. <https://www.pik-potsdam.de/services/infothek/kippelemente/kippelemente>

Planet Schule.de, gemeinsames Internetangebot des Schulfernsehens von SWR und WDR.

www.planet-schule.de

Salters Chemie. Chemical Storylines, Kontexte. © 2012 Bildungshaus Schulbuchverlage, Westermann Schroedel Diesterweg Schöningh Winklers GmbH, S. 101, Abb. 31.

Südwestrundfunk (SWR), Anstalt des öffentlichen Rechts, Stuttgart.

Westdeutscher Rundfunk, Anstalt des öffentlichen Rechts, Köln.

<https://www.planet-schule.de/mm/kippelemente/#/details/indian-summer-monsoon?k=shnf3k>

Umwelt Journal Rheinland-Pfalz: Energiewende, Heft 60, Dezember 2018. Herausgeber: Ministerium für Umwelt, Energie, Ernährung und Forsten, Redaktion: Landeszentrale für Umweltaufklärung Rheinland-Pfalz. https://umdenken.rlp.de/fileadmin/um_denken/sonstige_Projekte/Umweltjournal_-_Tae-tigkeitsberichte/Umweltjournal_60_web.pdf

AUTORINNEN UND AUTOREN

Dr. Alexander Bender

Gymnasium an der Stadtmauer, Bad Kreuznach

Helmuth Biernoth

Integrierte Gesamtschule Kandel, Kandel

Barbara Dolch

Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz

Monika Kallfelz

Görres-Gymnasium, Koblenz

Kathrin Klose

Wilhelm-Remy-Gymnasium, Bendorf

Elisabeth Kukula

Frauenlob-Gymnasium Mainz, Mainz

Dr. Holger Kunz

Max-Planck-Gymnasium Trier, Trier

Christian Lauer

Integrierte Gesamtschule und Realschule plus Georg Friedrich Kolb, Speyer

Yvonne Lesiak

Justus-von-Liebig-Realschule plus, Maxdorf-Lamsheim

Heike Nickel

Kurfürst-Ruprecht-Gymnasium, Neustadt an der Weinstraße

Michaela Ostermann

Regino-Gymnasium Prüm, Prüm

Dr. Susanne Pleus

Maria-Ward-Schule, Landau

Maria Reiner

Are-Gymnasium Bad Neuenahr, Bad Neuenahr

Dr. Myriam Replinger

Regino-Gymnasium Prüm, Prüm

Karsten Rodigast

Konrad-Adenauer-Schule, RS+ und FOS, Asbach

Cornelia Schäfers

Are-Gymnasium Bad Neuenahr, Bad Neuenahr

Karin Scheick

Kopernikus-Gymnasium Wissen, Wissen

Thomas Schemer

Max-Planck-Gymnasium Trier, Trier

Wilhelm Willer

Eduard-Spranger-Gymnasium Landau, Landau

Sofern in der Bildunterschrift nicht anders deklariert, liegen die Urheberrechte beim Pädagogischen Landesinstitut Rheinland-Pfalz oder bei den mitwirkenden Autorinnen und Autoren selbst.

BITTE UM EVALUATION

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

wir freuen uns sehr, dass Sie uns dabei helfen, unsere Reihe der PL-Informationen – Handreichungen für Lehrkräfte zu evaluieren. Sie geben uns damit wertvolle Hinweise für die weitere qualitätsorientierte Weiterentwicklung.

Die Befragung wird anonym durchgeführt. Bis Sie die digitale Befragung abschließen, können Sie im Fragebogen vor- und zurückblättern. Die Beantwortung der Fragen wird voraussichtlich zwischen 5 und 10 Minuten dauern.

Vielen Dank für Ihre Mitwirkung!

Mit freundlichen Grüßen
Im Auftrag

Claudia Nittl
Öffentlichkeitsarbeit und Mediendesign, Stabsstelle Steuerung
Pädagogisches Landesinstitut Rheinland-Pfalz

Link zur Onlinebefragung:
<https://evaluation.bildung-rp.de/befragung.aspx?Code=yppj>

Beziehungsweise:
<https://evaluation.bildung-rp.de/> aufrufen und den Zugangscode eingeben: yppi





Rheinland-Pfalz

PÄDAGOGISCHES
LANDESINSTITUT

Butenschönstr. 2
67346 Speyer

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