

Freie Universität Berlin
Dahlem School of Education

**Fliegen als Socio-scientific Issue –
Konzeption einer Unterrichtseinheit zur
Förderung des naturwissenschaftlichen
Erklärens, Argumentierens und Bewertens im
Rahmen einer Student Agency**

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades

Master of Education

im Studiengang für das Lehramt an Integrierten Sekundarschulen und
Gymnasien mit dem Hauptfach Physik und dem Nebenfach Mathematik

vorgelegt von

Caio Basílio Janke

Erstgutachter: Prof. Dr. Marcus Kubsch

Zweitgutachter: Dr. Jürgen Kirstein

Abgabedatum: 29.04.2024

SELBSTSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG

Ich erkläre ausdrücklich, dass es sich bei der von mir eingereichten schriftlichen Arbeit mit dem Titel

**Fliegen als Socio-scientific Issue –
Konzeption einer Unterrichtseinheit zur Förderung des
naturwissenschaftlichen Erklärens, Argumentierens und Bewertens
im Rahmen einer Student Agency**

um eine von mir selbst und ohne unerlaubte Beihilfe verfasste Originalarbeit handelt.

Ich bestätige überdies, dass die Arbeit als Ganze oder in Teilen nicht zur Abgeltung anderer Studienleistungen eingereicht worden ist.

Ich erkläre ausdrücklich, dass ich sämtliche in der oben genannten Arbeit enthaltenen Bezüge auf fremde Quellen (einschließlich Tabellen, Grafiken u. Ä.) als solche kenntlich gemacht habe. Insbesondere bestätige ich, dass ich nach bestem Wissen sowohl bei wörtlich übernommenen Aussagen (Zitaten) als auch bei in eigenen Worten wiedergegebenen Aussagen anderer Autorinnen oder Autoren (Paraphrasen) die Urheberschaft angegeben habe.

Ich nehme zur Kenntnis, dass Arbeiten, welche die Grundsätze der Selbständigkeitserklärung verletzen – insbesondere solche, die Zitate oder Paraphrasen ohne Herkunftsangaben enthalten –, als Plagiat betrachtet werden können.

Ich bestätige mit meiner Unterschrift die Richtigkeit dieser Angaben.

Berlin, den 29.04.2024

Caio Basílio Janke

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung, Motivation und Zielsetzung	5
2. Bildungsstandards und Kompetenzen	6
3. OECD-Lernkompass und Agency	9
4. Fachdidaktische Grundlagen zur Förderung von Agency	13
4.1 Erklären und Argumentieren.....	13
4.1.1 Erklären und Argumentieren als naturwissenschaftliche Arbeitsweise	13
4.1.2 Erklären und Argumentieren in den Bildungsstandards	13
4.1.3 Klassifikation und Qualität von Argumenten	14
4.1.4 BBB-Modell für Erklärungen und Argumentationen	17
4.1.5 Empfehlungen zur Förderung des naturwissenschaftlichen Erklärens und Argumentierens im Unterricht	19
4.2 Bewerten	23
4.2.1 Bewerten, Urteilen und Entscheiden	23
4.2.2 Bewertungskompetenz in den Bildungsstandards	29
4.2.3 Socio-scientific decision making und Socio-scientific reasoning	32
4.2.4 Kompetenzstrukturmodelle für Bewertungskompetenz.....	34
4.2.5 Empfehlungen zur Förderung der Bewertungskompetenz im Unterricht	41
4.4 Wertebildung	45
4.4.1 Normen, Werte und Einstellungen	45
4.4.2 Schulische Wertebildung	46
4.4.3 Förderung schulischer Wertebildung	47
4.3 Handeln.....	48
4.3.1 Handlungs- und Gestaltungskompetenz.....	48
4.3.2 Bildung nachhaltiger Entwicklung, Transformatives Lernen, Service-Learning.....	50
4.3.4 (Energy-) Agency-Modell.....	53

5. Unterrichtskonzeption	55
5.1 Theoretische Ableitung	55
5.2 Physikalische Grundlagen	56
5.2.1 Physikalische Grundlagen des Fliegens	56
5.2.2 Physikalische Grundlagen der Klimawirkung der Luftfahrt ..	58
5.2.3 Zukunftsvisionen der Luftfahrt	62
5.3 Curriculare Verortung	67
5.4 Unterrichtseinheit	71
6.3.1 Unterrichtsstunde I	73
6.3.2 Unterrichtsstunde II	79
6.3.3 Unterrichtsstunde III	85
6.3.4 Unterrichtsstunde IV	91
6.3.5 Unterrichtsstunde V	97
6.3.6 Unterrichtsstunde VI	103
6.3.7 Unterrichtsstunde VII	109
6.3.8 Unterrichtsstunde VIII	115
6. Fazit.....	120
7. Literaturverzeichnis	123
8. Anhang.....	148
8.1 Lehrkräftehandbuch.....	149
8.1.0 Allgemeine Informationen	149
8.1.1 Unterrichtsstunde I	152
8.1.2 Unterrichtsstunde II	182
8.1.3 Unterrichtsstunde III	215
8.1.4 Unterrichtsstunde IV	247
8.1.5 Unterrichtsstunde V	291
8.1.6 Unterrichtsstunde VI	313
6.3.7 Unterrichtsstunde VII	348
6.3.8 Unterrichtsstunde VIII	381

1. EINLEITUNG, MOTIVATION UND ZIELSETZUNG

Menschen sind schon seit mehreren Jahrhunderten an der Physik des Fliegens interessiert, die entsprechende Technik hat sich seit dem ersten Motorflug 1903 stark weiterentwickelt. Heutzutage ist Fliegen alltäglich geworden und in unserer globalisierten Welt nicht mehr wegzudenken. Während das Fliegen im Rahmen der Globalisierung an Bedeutung und Umfang gewonnen hat, wird das kommerzielle Fliegen aufgrund des Klimawandels stark kritisiert. Zwar entwickelt die Luftfahrtindustrie fortlaufend Technologien, um z.B. die Treibhausgasemission von Luftfahrzeugen zu reduzieren, trotzdem ist hier ein politisches und gesellschaftliches Spannungsfeld entstanden (Laage, 2019).

Socio-scientific issues (SSI) sind Kontexte, die sowohl Aspekte der Naturwissenschaften als auch Aspekte der Gesellschaftswissenschaften tangieren. Die Behandlung von SSI und der damit verbundenen Bewertungskompetenz ist für das Unterrichtsfach Physik kaum erforscht, die meisten Studien und Modelle in diesem Bereich stammen aus der Biologiedidaktik (Sakschewski, 2013, S. 22ff.).

Zielsetzung dieser Masterarbeit ist deshalb die Konzeption einer Unterrichtseinheit zum Thema Fliegen als SSI, die das naturwissenschaftliche Erklären, Argumentieren und Bewerten im Rahmen einer sogenannten Agency fördern soll. Es handelt sich hierbei um eine Art verantwortungsbewusste Handlungs- und Gestaltungskompetenz die Schülerinnen und Schüler (SuS) dazu befähigen soll, sich in der immer komplexer werdenden Gesellschaft des 21. Jahrhunderts zurechtzufinden, in dieser als mündige Bürger verantwortungsbewusste Entscheidungen zu treffen, diese in ihre Handlungen zu implementieren und sich aktiv für deren Umsetzung engagieren zu können (OECD, 2020). Um die verwendeten Unterrichtsmaterialien, Unterrichtsmethoden und Abläufe literaturbasiert zu erläutern, gliedert sich diese Masterarbeit im Wesentlichen in zwei Teile. Im ersten Teil wird die Agency, ausgehend von den Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz (KMK) und dem OECD-Lernkompass, abgeleitet und es werden ihre fachdidaktischen Grundlagen einschließlich dem Erklären und Argumentieren, Bewerten, Handeln und Wertebildung sowie deren Förderungen im Unterricht literaturbasiert erläutert. Im zweiten Teil findet die eigentliche Vorstellung der Unterrichtskonzeption statt, in der die verwendeten Materialien, Methoden und Abläufe mit der Fachliteraturrecherche aus dem ersten Teil begründet werden.

Da ich selbst früher Pilot werden wollte, interessiere ich mich persönlich sehr für das Thema Fliegen. Als Lehramtsstudent finde ich es besonders sinnvoll eine Unterrichtseinheit zu konzipieren, die dann im Unterricht konkret verwendet werden kann. Zudem erachte ich es als sehr sinnvoll mit der Unterrichtseinheit nicht nur fachliche, sondern auch überfachliche Kompetenzen zu fördern.

2. BILDUNGSSTANDARDS UND KOMPETENZEN

Internationale Vergleichsstudien wie PISA und TIMSS lieferten um die Jahrtausendwende vergleichsweise schlechte Ergebnisse über die Fähigkeiten und Leistungen von SuS in Deutschland. Deutsche SuS waren im internationalen Vergleich nur im Mittelfeld, insbesondere war bei vielen SuS keine solide naturwissenschaftliche Grundbildung (*scientific literacy*) ausgeprägt (Duit, 2020, S. 359). Aufgrund dieser Ergebnisse, die oftmals als „PISA-Schock“ bezeichnet werden, kam es in der Bildungspolitik Deutschlands zu einer Abwendung der bis dahin vorherrschenden Lernzielorientierung hin zu einer Zuwendung einer Kompetenzzielorientierung bei SuS (Kircher et al., 2020, S. 97f.).

Nach Weinert (2001) sind Kompetenzen „die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernten kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können“ (Weinert, 2001, S. 27f.). Diese Kompetenzdefinition wird regelmäßig und im Rahmen der Lehrkräftebildung als Grundlage für kompetenzorientierten Unterricht zitiert. Aus der Definition von Weinert (2001) geht insbesondere im letzten Teil hervor, dass die SuS die erworbenen Kompetenzen auch in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen können. Weinert (2001) fordert somit auch zum (verantwortungsvollen) Handeln auf.

In den Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz (KMK) im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss werden die von den SuS zu erwerbenden Kompetenzen in die vier Kompetenzbereiche *Fachwissen*, *Erkenntnisgewinnung*, *Kommunikation* und *Bewerten* eingeteilt (KMK, 2004c, S. 7).

Eine Kurzbeschreibung der Kompetenzbereiche ist in Tabelle 1 dargestellt:

Tabelle 1: *Fachwissen, Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung sind die vier in den Bildungsstandards der KMK im Fach Physik für den mittleren Schulabschluss festgelegten Kompetenzbereiche (aus KMK, 2004c, S. 7).*

Kompetenzbereiche im Fach Physik	
Fachwissen	Physikalische Phänomene, Begriffe, Prinzipien, Fakten, Gesetzmäßigkeiten kennen und Basiskonzepten zuordnen
Erkenntnisgewinnung	Experimentelle und andere Untersuchungsmethoden sowie Modelle nutzen
Kommunikation	Informationen sach- und fachbezogen erschließen und austauschen
Bewertung	Physikalische Sachverhalte in verschiedenen Kontexten erkennen und bewerten

Der Kompetenzbereich *Fachwissen* bildet die Grundlage für die anderen Kompetenzbereiche. Die Kompetenzen in diesem Kompetenzbereich lassen sich in die vier übergeordneten Basiskonzepte *Materie, Wechselwirkung, System* und *Energie* einteilen. Hierdurch soll SuS kumulatives und kontextorientiertes Lernen sowie der Aufbau eines vernetzten Wissens ermöglicht werden, zudem bilden die Basiskonzepte die inhaltliche Dimension der Naturwissenschaft Physik ab (KMK, 2004c, S. 7). Neben der inhaltlichen Dimension gibt es auch die Handlungsdimensionen, welche sich auf die Kompetenzbereiche Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung beziehen. Inhaltsbezogene und Handlungsbezogene Kompetenzen sollten gemeinsam in physikalischen Kontexten erworben werden (KMK, 2004c, S. 8). Die Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife bauen auf den Bildungsstandards des Mittleren Schulabschluss auf. Dies spiegelt sich auch im sogenannten *Modell naturwissenschaftlicher Kompetenz* und den vier vorkommenden Kompetenzbereichen der Sach-, Erkenntnisgewinnungs-, Kommunikations- und Bewertungskompetenz wider. Alle Kompetenzbereiche erfordern Fachwissen und bilden gemeinsam die sogenannte Fachkompetenz (KMK, 2020c, S. 10).

Durch Festlegung von Kompetenzbereichen in den Bildungsstandards der KMK für das Fach Physik (KMK, 2004c, KMK, 2020c) wurde der Kompetenzbegriff curricular manifestiert und konkretisiert. Der Fokus liegt jedoch auf dem Zuwachs von Fertigkeiten und Fähigkeiten und weniger auf der konkreten Umsetzung bzw. dem konkreten Handeln. In den Bildungsstandards für den Mittleren

Schulabschluss findet sich keine Handlungsaufforderung und keine explizite Handlungs- und Gestaltungskompetenz (KMK, 2004c).

In den Bildungsstandards für die Allgemeine Hochschulreife findet sich lediglich: „Für ein harmonisches und konstruktives Miteinander sind Rücksichtnahme und Kompromissbereitschaft einerseits und engagiertes Handeln andererseits notwendig“ (KMK, 2020c, S. 11). Im Rahmen der Bewertungskompetenz wird davon gesprochen, dass Handlungsoptionen entwickelt und abgewogen werden sollen (KMK, 2020c), eine konkrete Umsetzung wird jedoch nicht gefordert. Dies spiegelt sich auch im aktuellen Physikunterricht wider: Nach Wyrwich et al. (2023) taucht das explizite, von Weinert (2001) geforderte verantwortungsvolle Handeln im Physikunterricht kaum auf.

Der Ausschuss für Bildungspolitik der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) startete 2015 das Projekt *Future of Education and Skills 2030* mit diversen Experten aus verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen, aus dem im Jahr 2019 der *Learning Compass 2030* hervorging und 2020 eine deutsche Übersetzung stattgefunden hat (Schraml, 2021). Bei dem Lernkompass 2030 handelt es sich um ein internationales Rahmenkonzept, wie Bildung zukünftig den Herausforderungen des 21. Jahrhunderts gerecht werden kann. Hier werden die zukünftigen Anforderungen an SuS und somit auch an Schulen und Lehrkräfte formuliert. Eine zentrale Forderung ist die Bildung von einer Handlungs- und Gestaltungskompetenz, die als Agency bezeichnet wird (Schraml, 2021). Auch im PISA Science Framework 2025 wird beschrieben, welche Anforderungen SuS künftig erfüllen sollen: So sollen SuS neben naturwissenschaftlichen Kompetenzen (Phänomene naturwissenschaftlich erklären, recherchierte naturwissenschaftliche Informationen bewerten und für Entscheidungen und Handlungen nutzen, naturwissenschaftliche Untersuchungen planen, bewerten und erhobene Daten kritisch interpretieren) auch umweltwissenschaftliche Kompetenzen (Auswirkungen des Menschen auf das System Erde erklären, Multiperspektivität auf Krisen und Problematiken entwickeln, evidenzbasierte nachhaltige Entscheidungen treffen) besitzen, zu denen auch Agency gehört. (PISA, 2023, S. 9ff., S. 47ff.).

3. OECD-LERNKOMPASS UND AGENCY

Aus dem OECD-Lernkompass 2030 wird deutlich, dass das Erlernen von Fachwissen für SuS künftig an Bedeutung verliert, da die SuS dieses z.B. durch das Internet leicht abrufen können. Durch die künftige Digitalisierung, Zunahme an Künstlicher Intelligenz und deren Einfluss auf verschiedene Gesellschaftsbereiche wird es zu ständigen Änderungen der Umwelt der SuS kommen. Dadurch ergibt sich die Notwendigkeit, dass die SuS lernen eigenständig zu denken, nach ethischen Maßstäben verantwortungsvoll zu handeln und Entscheidungen zu treffen. So können sie aktiv an der Änderung ihrer Umwelt mitwirken, ohne dieser passiv ausgesetzt zu sein (OECD, S. 6, S. 20). Aufgrund der steigenden Komplexität des zukünftigen Lebens werden in Zukunft die Anforderungen an die Kompetenzen der SuS steigen. Zudem werden SuS zukünftig damit konfrontiert sein unterschiedliche und immer komplexere Meinungen, Interessen und Sichtweisen miteinander in Verbindung zu setzen (OECD, 2020, S. 6). Neben dem Fachwissen soll es daher bei SuS zu einer „Entwicklung von Identität, Handlungsfähigkeit und Sinnhaftigkeit [kommen]“ (OECD, 2020, S. 6).

Damit die SuS in der Lage sind den zukünftigen Anforderungen gerecht zu werden, formuliert der OECD-Lernkompass 2030 neben den drei *Schlüsselkompetenzen* Interaktive Anwendung von Medien und Mitteln, Interagieren in interaktiven Gruppen und eigenständiges Handeln die drei *Transformationskompetenzen* Schaffung neuer Werte, Ausgleich von Spannungen und Dilemmata sowie Verantwortungsübernahme (OECD, 2020, S. 18ff.). Insbesondere soll u.a. durch die Transformationskompetenzen eine sogenannte (Student) Agency entwickelt werden, in der die SuS ihr eigenes Leben und ihr Umfeld positiv und verantwortungsvoll gestalten und selbst zu handelnden Akteuren werden (OECD, 2020, S. 33).

Die OECD definiert Student Agency „als die Überzeugung, dass Schülerinnen und Schüler den Willen und die Fähigkeit haben, ihr eigenes Leben und die Welt um sie herum positiv zu beeinflussen, sowie die Kapazität, sich ein Ziel zu setzen, zu reflektieren und verantwortlich zu handeln, um Veränderungen herbeizuführen“ (OECD, 2020, S. 20). Es handelt sich bei Student Agency also um eine selbstbestimmte Handlungs- und Gestaltungskompetenz der SuS. Wyrwich et al. (2023) konkretisieren, dass SuS „nicht nur Wissen erwerben und anwenden können sollen, sondern auch befähigt werden sollen das gesellschaftliche Zusammenleben vor dem Hintergrund der Herausforderungen des 21.

Jahrhunderts aktiv zu gestalten“ (S. 1). Es geht also in Zukunft nicht nur darum, dass SuS Kompetenzen und Handlungsmöglichkeiten erlernen und ggf. abwägen, sondern auch konkret handeln und ihre Umwelt durch die Handlungen verantwortungsvoll mitgestalten. Die Student Agency fordert eine aktive Zusammenarbeit von SuS mit deren Umfeld (z.B. mit Lehrkräften und Eltern), was im Konzept der sogenannten Co-Agency beschrieben wird (OECD, 2020, S. 34f.). Die Schlüsselkompetenzen, das Fachwissen sowie Haltungen und Werte der SuS sind sogenannte *Lerngrundlagen* und dienen als Voraussetzung zur Erlangung von Agency und Transformationskompetenzen (OECD, 2020, S. 20). Mit Haltungen und Werten sind eigene Überzeugungen der SuS gemeint, auf deren Grundlage sie ihre verantwortungsvollen Entscheidungen treffen und Handlungen durchführen sollen (OECD, 2020, S. 20f.). Wichtig sind zudem das Wissen, welches in die vier Arten disziplinäres, interdisziplinäres, epistemisches und prozedurales Wissen differenziert wird und die sogenannten Skills, damit sind Kompetenzen gemeint, die es ermöglichen mit dem Wissen Aufgaben zu bewältigen und es verantwortungsvoll zu nutzen. Die Skills werden in die drei Arten kognitive und metakognitive Skills (z.B. kritisches Denken und Selbstregulierung), soziale und emotionale Skills (z.B. Selbstwirksamkeit, Verantwortungsbewusstsein und Zusammenarbeit) sowie praktische und physische Skills (z.B. der Umgang mit Informations- und Kommunikationstechnologien) differenziert (Schraml, 2021). Zur Förderung von Agency ist die Entwicklung eines Growth-Mindsets bei SuS wichtig (OECD, 2020, S. 35).

Ein weiteres Element des OECD-Lernkompasses 2030 ist ein iterativer Lernprozess, der sogenannte Antizipations-Aktions-Reflexionszyklus, kurz AAR-Zyklus: „In der Phase der Antizipation nutzen die Lernenden ihre Fähigkeiten, um die kurz- und langfristigen Folgen von Handlungen zu antizipieren, die eigenen wie auch die Absichten und Perspektiven anderer zu verstehen beziehungsweise zu erweitern. In der Phase der Aktion ergreifen die Lernenden Maßnahmen, um spezifische, zum Wohlbefinden beitragende Ziele zu erreichen. [...] In der Phase der Reflexion schulen die Lernenden ihr Denken, vertiefen ihr Verständnis und befähigen sich dadurch, Handlungen immer genauer an gemeinsamen Werten und Absichten auszurichten und erfolgreich an veränderte Bedingungen anzupassen“ (OECD, 2020, S. 93). Beim AAR-Zyklus entwickeln sich die Denkfähigkeiten der SuS fortlaufend weiter und sorgen verantwortungsvoll für ihr eigenes und ein kollektives Wohlergehen (OECD, 2020, S. 27).

In Abbildung 1 ist eine Illustration des Lernkompass 2030 dargestellt. Man erkennt hier u.a. den AAR-Zyklus als Modell für Student Agency.

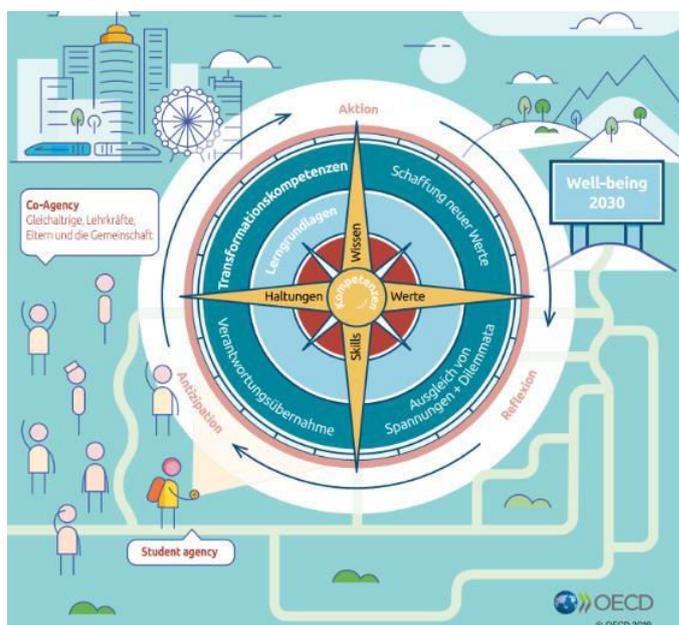


Abbildung 1 – Lernkompass 2030 der OECD. Man erkennt u.a. den AAR-Zyklus, ein Modell zum Aufbau von Student Agency (entnommen aus OECD, 2020, S. 25).

Agency wird in verschiedenen Kulturen unterschiedlich interpretiert und kann in unterschiedlichen Kontexten ausgeübt werden (OECD, 2020). Der Lernkompass 2030 fasst die wichtigsten vier wesentliche Arten von Agency als moralische, soziale, ökonomische und kreative Agency zusammen (OECD, 2020, S. 35).

Um moralische Agency zu entwickeln, müssen SuS lernen, unter Berücksichtigung von Rechten und Bedürfnissen anderer, Entscheidungen treffen zu können. Hierzu ist die Förderung von kritischem Denken erforderlich. Um soziale Agency zu entwickeln, müssen SuS ein Verständnis ihrer sozialen und gesellschaftlichen Rechte und Pflichten aufbauen. Um ökonomische Agency zu fördern, sollen SuS Möglichkeiten identifizieren, um am wirtschaftlichen Leben teilzunehmen. Um kreative Agency zu fördern, sollen SuS mit ihrer Innovationskraft neues erschaffen (OECD, 2020, S. 35).

Zusammenfassend ist nach dem OECD-Lernkompass 2030 das Ziel von künftiger Bildung der Aufbau und die Erweiterung von notwendigen Kompetenzen zur verantwortungsbewussten Lösung immer komplexerer Probleme. Zudem sollen in diesem Zusammenhang den Handlungen und Entscheidungen zugrunde liegenden Haltungen und Werte reflektiert werden. Zusätzlich soll durch Agency eine Handlungs- und Gestaltungscompetenz im Rahmen nachhaltiger und (verantwortungsvoller) Entwicklung entwickelt werden.

Um dies zu erreichen, muss Bildung und somit Unterricht den Anforderungen der Entwicklung einer Bewertungskompetenz der SuS gerecht werden, welche die SuS befähigt nach eigenen Bewertungskriterien verantwortungsvolle Entscheidungen zu treffen. Zudem sollen die SuS nach einem reflektierten Bewertungsprozess und einem Abwägen und Auswählen geeigneter Handlungsoptionen insbesondere auch durch den Unterricht die Möglichkeit haben selbst verantwortungsvoll zu handeln, wodurch der Unterricht hierdurch ein Raum zur Entwicklung der geforderten Agency geben soll. Hierzu ist ein Bewusstsein über das Bewerten und die Bewertungskriterien selbst und die ihnen zugrundeliegenden Werte und Normen notwendig.

Die Vereinten Nationen (UN) haben 2016 die in Abbildung 2 dargestellten Sustainable Development Goals (SDGs) formuliert, die bis 2030 erreicht werden sollen. Diese stellen das Leitbild der Agenda 2030 dar, zu der sich die Weltgemeinschaft verpflichtet hat. Durch deren gesellschaftspolitische und individuelle Umsetzung soll unter Achtung von soziologischen, ökonomischen und ökologischen Aspekten ein nachhaltiges und menschenwürdiges Leben für alle Menschen ermöglicht werden (Bundesregierung, o.D.).

Durch die konzipierte Unterrichtskonzeption soll zum einen das Ziel *Hochwertige Bildung* unterstützt werden, in dem das naturwissenschaftliche Erklären, Argumentieren und Bewerten im Rahmen einer Agency Entwicklung gefördert wird. Zum anderen sollen durch die kritische Auseinandersetzung mit dem Thema Fliegen als SSI die Ziele *Nachhaltiger Konsum und Produktion* sowie *Maßnahmen zum Klimaschutz* unterstützt werden.



Abbildung 2 – Die 17 Nachhaltigkeitsziele (Sustainable Development Goals, kurz SDGs) der Vereinten Nationen (nach Bundesregierung, o.D.).

Grundlage der Agency bildet das Erklären und Argumentieren sowie das Bewerten einer Thematik. Dabei findet außerdem die Wertebildung grundlegende Berücksichtigung. Aspekte des Handelns führen schließlich zur Agency.

4. FACHDIDAKTISCHE GRUNDLAGEN ZUR FÖRDERUNG VON AGENCY

Diese vier fachdidaktischen Grundlagen der Agency werden in diesem Kapitel z.B. durch Modelle erläutert und Empfehlungen zur Förderung im Unterricht vorgestellt.

4.1 Erklären und Argumentieren

4.1.1 Erklären und Argumentieren als naturwissenschaftliche Arbeitsweise

In den Naturwissenschaften sind Erklärungen und Argumentationen grundlegende Arbeitsweisen, da Naturwissenschaftler oftmals Phänomene erklären, Fragestellungen durch Formulierungen von Erklärungen beantworten und über die Angemessenheit der Erklärungen argumentieren (Kubsch & Sorge, 2021, S. 274).

Im naturwissenschaftlichen Unterricht werden Erklärungen meistens durch Lehrkräfte an SuS durchgeführt um Phänomene didaktisch-reduziert und angemessen zu erläutern. Eine Erklärung ist abgeschlossen, wenn Lernende den Lerninhalt verstanden und durchdrungen haben (Kubsch & Sorge, 2021, S. 74f.).

„Beim physikalischen Argumentieren geht es darum, jemanden von der Richtigkeit eines physikalischen Gedankengangs oder von der Stimmigkeit einer Interpretation experimenteller Daten zu überzeugen; der Adressat soll die Schlussfolgerungen akzeptieren. Beim Erklären soll ein fachlich akzeptierter Sachverhalt erläutert werden; der Adressat soll den Sachverhalt besser verstehen“ (Schecker & Höttecke, 2021, S. 497). Eine Argumentation stellt eine Erweiterung einer Erklärung dar, da Bezüge zwischen diversen Erklärungsansätzen hergestellt und andere Personen von Erklärungen überzeugt werden müssen. Hierzu gehört auch das Kritisieren von Erklärungsansätzen (Kubsch & Sorge, 2021, S. 274). Argumentieren ist nach Sandoval & Millwood (2005) ein rhetorischer Akt, bei dem SuS Daten und Fakten als Beweise für aufgestellte Behauptungen verwenden, um somit in einem Diskurs mit anderen SuS eine klare Position zu vertreten (S. 27). Das Argumentieren stellt aus entwicklungspsychologischer Sicht einen Prozess dar, bei dem ein konzeptuelles Verständnis und das kritische Denken gefördert werden kann (Nussbaum, 2011, S. 84).

4.1.2 Erklären und Argumentieren in den Bildungsstandards

Erklärungen und Argumentationen sind nicht explizit in den Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss im Fach Physik aufgeführt (KMK, 2004c), nach Kubsch & Sorge (2021) sind Erklärungen jedoch im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung und Argumentation im Kompetenzbereich Kommunikation zu verorten. Erklärungen und Argumentationen finden sich zudem explizit in den

Bildungsstandards für die Allgemeine Hochschulreife im Fach Physik wieder. In diesen wird nämlich im Rahmen der Sachkompetenz darauf verwiesen, dass SuS Phänomene mit ihnen bekannten Modellen erklären können. Zudem wird im Rahmen der Erkenntnisgewinnungskompetenz darauf verwiesen, dass SuS in Daten gefundene Beziehungen mit Modellen und Theorien erklären können (KMK, 2020c; Kubsch & Sorge, 2021).

4.1.3 Klassifikation und Qualität von Argumenten

Eine bekannte strukturbezogene Klassifikation einer Argumentation stammt vom britischen Philosophen Stephan Toulmin (Nussbaum, 2011). Demnach kann eine Argumentation die Elemente *Behauptung*, *Gegenbehauptung*, *Fakten*, *Erläuterungen*, *Einwand*, *Stützung* und *Einschränkung* enthalten, wobei sie mindestens eine Behauptung ein Faktum enthalten muss. Oftmals werden diese Elemente als *Toulmin's Argument Pattern* bezeichnet (von Aufschnaiter & Prechtl, 2018, S. 92ff., nach Toulmin, 1996). Nach dem Modell sind die Konklusionen von Argumenten grundsätzlich vorläufig und deshalb anzweifelbar, weshalb in Argumentationen oftmals auch Einwände und Einschränkungen vorkommen (Nussbaum, 2011). In Tabelle 2 sind die Elemente einer Argumentation nach Toulmin beschrieben.

Tabelle 2: *Toulmins Strukturbezogene Klassifikation von Argumenten (zitiert und ergänzt nach von Aufschnaiter & Prechtl 2018, S. 93f., nach Toulmin, 1996).*

Toulmins Strukturbezogene Klassifikation von Argumenten	
Behauptung	Kennzeichnet die Positionseinnahme einer Person, aus der eine Überzeugungsabsicht deutlich wird.
Gegenbehauptung	Kennzeichnet die Einnahme einer widersprechenden oder alternativen Position.
Fakten	Fakten sind empirische Daten, als geteilt angenommene theoretische Überlegungen oder normative Aussagen und bilden die Voraussetzung für abgeleitete Schlussfolgerungen.
Erläuterung	Eine Erläuterung liefert einen über die Behauptung und das Faktum hinausgehenden inhaltlichen Aspekt, der Behauptung und Faktum miteinander verknüpft: Faktum und Erläuterung bilden eine Evidenz, die das Faktum allein nicht bilden kann.
Einwand	Einwände stellen Elemente einer Argumentation infrage und können damit auch den Startpunkt einer neuen Argumentation markieren, in dem das Element, gegen den der Einwand vorgebracht wird, wie eine Behauptung behandelt wird.
Stützung	Im Sinn der Konstruktion einer möglichst überzeugenden Argumentation können zuvor genannte Fakten, Erläuterungen oder Einwände durch inhaltlich stärkende Aussagen gestützt werden. Ähnlich der Erläuterung liefern Stützungen über das gestützte Element hinaus einen inhaltlichen Aspekt, der plausibel macht, warum das Element gültig ist.
Einschränkung	Einschränkungen bilden eine Art abgeschwächten Einwand, der sich auf alle Elemente beziehen kann und eine Aussage darüber trifft, unter welchen Randbedingungen das Element nur gültig sein kann.

Mit dem Toulmin-Modell kann die Qualität von Argumenten nicht bewertet werden, dies kann nur im Rahmen des Modells anhand von domänenspezifischen Standards geschehen (Nussbaum, 2011).

Für die Qualität von Argumenten ist neben der strukturellen Perspektive auch eine inhaltliche notwendig (von Aufschnaiter & Prechtel, 2018, S. 95). Kienpointer geht von einem kontextunabhängigen und formalen dreigliedrigen System einer Argumentation aus. Dieses besteht aus Argumentationsmustern von einem oder mehreren Argumenten (Grund für die Konklusion), einer Konklusion sowie einer plausiblen Schlussregel, mit der vom Argument auf die Konklusion geschlossen werden kann. Es geht bei der Qualität eines Arguments darum, wie plausibel die Schlussregel ist (Basel, 2015, S. 43f., nach Kienpointer 1996, S. 75), wie in Abbildung 3 dargestellt.

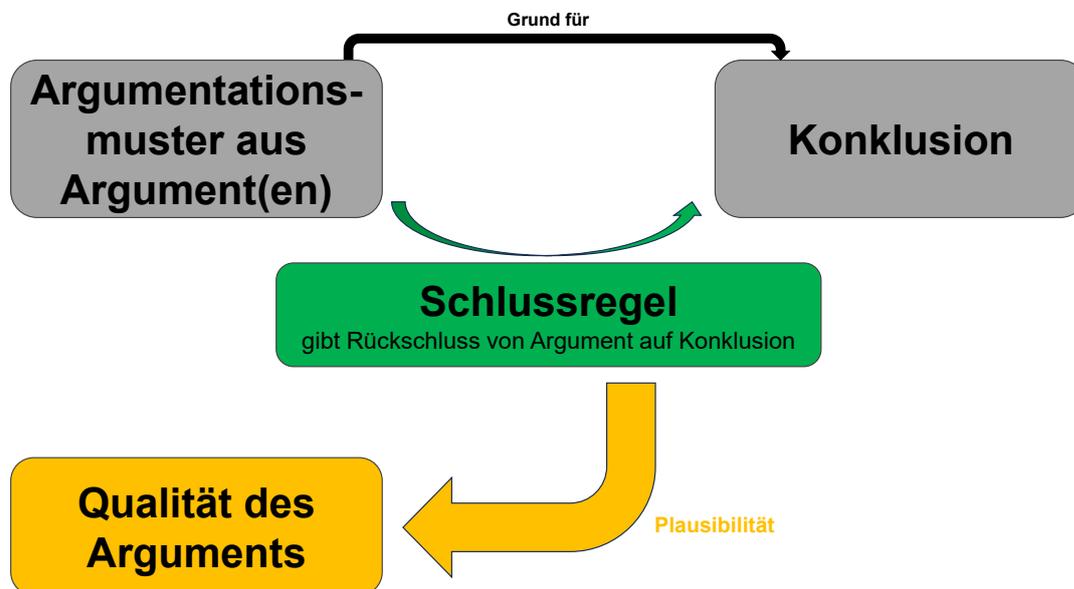


Abbildung 3 – Kienpointers formales, kontextunabhängiges System einer Argumentation, deren Qualität sich an der Plausibilität bemisst (nach Basel, 2015, S. 44, nach Kienpointer, 1992).

Die Argumentationsmuster ordnet Kienpointer (1992) in drei Großklassen ein, die feldunspezifisch anwendbar sind. Hierdurch ist eine fachspezifische Charakterisierung und ein fachspezifischer Vergleich von Argumenten möglich (von Aufschnaiter & Prechtel, 2018, S. 95ff.), siehe Tabelle 3.

Tabelle 3: Argumentationsmuster von Kienpointer (aus Basel, 2015, S. 47, nach Kienpointer, 1992)

GK	Argumentationsmuster	Definition in Anlehnung an Kienpointer (1992)
I	Einordnungsmuster	Zusammenfassung von Mustern, die auf einer Einordnung von Einheiten, durch <i>Definitionen</i> , <i>Genus-Spezies-</i> oder <i>Ganzes-Teil-Relationen</i> beruhen.
	Vergleichsmuster	Argumentationsmuster bei denen ein Vergleich von <i>Größen</i> vorgenommen wird. Beruhen auf <i>Gleichheits-, Ähnlichkeits-Unterschieds-</i> , bzw. <i>A maiore</i> und <i>A minore</i> – <i>Relationen</i> .
	Gegensatzmuster	Argumentationen beruhen auf <i>Gegensätzen</i> , die z. B. <i>konvers</i> oder <i>inkompatibel</i> geartet sein können und damit vor allem für Einwände dienen.
	Ursache-Wirkungs-Muster	Zusammenfassung von kausalen Mustern, die auf dem Schluss von einer <i>Ursache auf eine Wirkung</i> bzw. umgekehrt von einer eingetretenen <i>Wirkung auf eine Ursache</i> beruhen.
	Handlung-Folge-Muster	Im Gegensatz zu Ursache-Wirkungs-Mustern wird hier von einer <i>Handlung auf eine Folge</i> (bzw. umgekehrt) geschlossen. Dies umfasst u.a. teleologische Erklärungen, die u. a. Motive als Ursachen darstellen.
II	Induktives Beispielmuster	<i>Beispiele</i> werden dazu genutzt, um auf einen allgemeinen Satz (eine Schlussregel) zu schließen und damit <i>induktiv</i> vorzugehen.
III	Illustratives Beispielmuster	Im Gegensatz zum induktiven Beispielmuster wird kein allgemeiner Satz hergeleitet, sondern eine Konklusion mit <i>einem</i> zutreffenden <i>Beispiel illustriert</i> .
	Analogiemuster	Bei <i>Analogien</i> wird eine Gleichheit von zwei Fällen vorausgesetzt, wobei diese unterschiedlichen Realitätsbereichen entspringen (z. B. menschlich vs. nicht-menschlich).
	Autoritätsmuster	Zur Stützung der Konklusion werden unterschiedliche Arten von Autoritäten eingesetzt (z. B. Lehrer, Informationsmedien).

Aus dieser fachspezifischen und inhaltsbezogenen Analyse kann jedoch die inhaltliche Qualität der Argumentation noch nicht bewertet werden. Um diese zu bewerten, wird oftmals das Kriterium der *Plausibilität* herangezogen (von Aufschnaiter & Prechtel, 2018, S. 97). „In der Betrachtung von Alltagsargumentation richtet sich die Plausibilität eines Argumentationsmusters danach, ob die für die Konklusion angeführten Argumente haltbar, d.h. wahr bzw. wahrscheinlich sind und ob sie für die Konklusion relevant sind, d. h. in inhaltlich passender Weise mit der jeweiligen Konklusion zusammenhängen und eine Schlussregel gefunden werden kann, die inhaltlich relevant auf die Konklusion schließen lässt“ (Basel, 2015, S. 78, nach Kienpointer, 1992, S.17).

Nach Walton (1996) werden kritische Fragen zu den Argumentationsmustern nach Kienpointer vorgeschlagen, um die Plausibilität der jeweiligen Muster zu überprüfen: „So kann z. B. hinterfragt werden, wie groß das Maß der tatsächlichen Expertise eines Experten (Autorität) für einen bestimmten Sachverhalt ist, wie gut sich ein angeführtes Beispiel für eine bestimmte Argumentation eignet, wie ausgeprägt und wie generalisierbar ein herangezogener Kausalzusammenhang ist

oder wie wahrscheinlich die vermuteten Folgen einer Handlung sind“ (von Aufschnaiter & Prechtel, 2018, S. 97, nach Walton, 1996). Die Plausibilität ist nach Walton als eine Funktion der Zuverlässigkeit der Quelle der Aussage. Eine Aussage (z.B. ein Argumentationsschema) ist dann plausibel, wenn es vernünftig ist, die Behauptung zu akzeptieren (Nussbaum, 2011, S. 90).

Ein weiteres Merkmal für die (hohe) Qualität einer Argumentation ist die Fähigkeit der Verwendung und des Umgangs mit Gegenargumenten sowie der kritischen Reflexion des eigenen Standpunkts. Hierzu zählt z.B. Gegenargumente abzulehnen, einen Kompromiss zwischen Argument und Gegenargument zu finden oder/und abzuwägen sowie zu einer Beurteilung zu kommen und diese dann kritisch zu reflektieren (Basel, 2015, S. 79, nach Eggert & Bögeholz, 2006, Nussbaum & Edwards, 2011).

Zusammenfassend sind Qualitätsmerkmale von Argumenten und Argumentieren:

- *Struktur* (formal nach den *Toulmin's Argument Pattern*, inhaltlich z.B. nach Kienpointers Argumentationsmustern),
- *Plausibilität* (z.B. nach Walton (1996)),
- *Antizipation von Gegenargumenten einschließlich einer kritischen Reflexion* (nach Basel, 2015).

Durch die Betrachtung der strukturellen und inhaltlichen Ebene liegt „ein mehrdimensionales Instrumentarium zur Bestimmung der Qualität von Argumentationen vor“ (von Aufschnaiter & Prechtel, 2018, S. 97).

4.1.4 BBB-Modell für Erklärungen und Argumentationen

Ein Modell zur Beschreibung von naturwissenschaftlichen Erklärungen und Argumentationen ist nach Kubsch & Sorge (2021) das auf Toulmins Argumentationstheorie basierende Behauptung-Begründung-Beleg (BBB)-Modell. Kubsch & Sorge (2021) empfehlen eine fachunspezifische, an Alltagskontexten orientierte unterrichtliche Einführung des Modells, um so eine Zugänglichkeit der Struktur von Erklärungen und Argumentationen auch für leistungsschwächere SuS zu ermöglichen.

Eine naturwissenschaftliche Erklärung besteht demnach aus einer Behauptung, einer Begründung und aus Belegen, die sich grundsätzlich auf naturwissenschaftliche Evidenz beziehen. Die Begründung stellt das Bindeglied zwischen Behauptung und Beleg dar, da mit der Begründung evidenzbasiert erläutert wird, *warum* der Beleg die Behauptung stützt (Kubsch & Sorge, 2021, S. 275).

In Abbildung 4 ist die Beziehung zwischen Behauptung, Begründung und Belegen im BBB-Modell für eine naturwissenschaftliche Erklärung dargestellt.

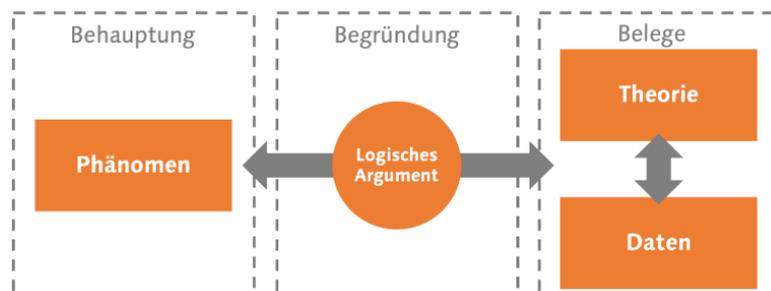


Abbildung 4 – Beziehung zwischen Behauptung, Begründung und Belegen im BBB-Modell für das naturwissenschaftliche Erklären (aus Kubsch & Sorge, 2021, S. 275, adaptiert nach Zembal-Saul et al., 2012, Toulmin, 2003, Yao et al., 2016).

Das naturwissenschaftliche Argumentieren stellt nach dem BBB-Modell einen komplexeren Prozess als Erklären dar, bei dem neben dem Begründen für eine Behauptung auch Begründung gegen eine andere konkurrierende Behauptung stattfinden muss, um eine fachlich angemessene Erklärung darzulegen (Kubsch & Sorge, 2021, S. 276). In Abbildung 5 ist die Beziehung zwischen Behauptung, Begründung und Belegen im BBB-Modell für eine naturwissenschaftliche Argumentation dargestellt.

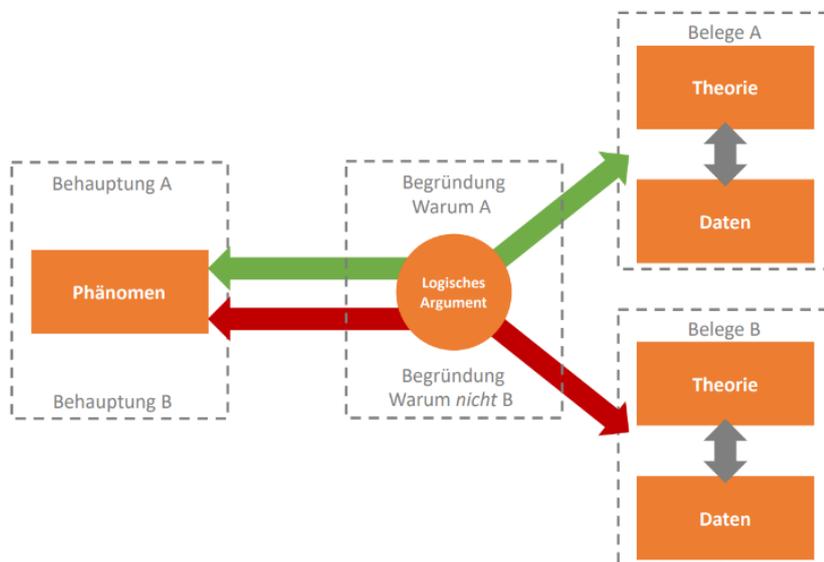


Abbildung 5 – Beziehung zwischen Behauptung, Begründung und Belegen im BBB-Modell für das naturwissenschaftliche Argumentieren (aus Kubsch & Sorge, 2021, S. 276, adaptiert nach Zembal-Saul et al., 2012, Toulmin, 2003, Yao et al., 2016).

Das BBB-Modell bietet auch Differenzierungsmöglichkeiten: So können strukturierte Hilfestellungen, z.B. durch die Angabe oder die zusätzliche Beschreibung der Elemente Behauptung, Belege und Begründung, in Aufgabenstellungen beigefügt werden (Kubsch & Sorge, 2021, S. 277ff.).

4.1.5 Empfehlungen zur Förderung des naturwissenschaftlichen Erklärens und Argumentierens im Unterricht

Für den Schulunterricht lassen sich nach von Aufschnaiter & Precht (2018) aus dem Toulmin-Modell folgende Empfehlungen ableiten:

- SuS sollten die Elemente einer Argumentation kennen und beschreiben, um dafür sensibilisiert zu werden, wie eine Argumentation aufgebaut ist (S. 95).
- SuS sollten erkennen, dass sich die Qualität einer Argumentation z.B. mit den *Toulmin's Argument Pattern* messen lässt.
- SuS sollten zudem darauf hingewiesen werden, wenn (sinnvolle) Elemente in ihrer Argumentation fehlen (S. 95).

Nach von Aufschnaiter & Precht (2018) lassen sich nach Kienpointers Argumentationsmuster folgende Empfehlungen ableiten:

- SuS sollten mit kritischen Fragen konfrontiert werden, um die Plausibilität von Argumentationsmuster zu überprüfen, um so die inhaltliche Qualität der Argumentation zu messen (S. 97).
- Diese kritischen Fragen sollen nicht nur beantwortet, sondern sollen im Argumentationsprozess auch von anderen SuS gestellt werden (S. 97).

Der Diskurs über moralische Fragen ist zudem wertvoll, da dies zu einem tiefgründigeren Verständnis des Themas und der eigenen Position führen kann (Nussbaum, 2011, S. 91, nach Walton, 2003). Es ist daher wichtig, dass SuS das Wesen einer moralischen Argumentation verstehen, insbesondere wenn sie im Unterricht moralische oder politische Fragen diskutieren (Nussbaum, 2011, S. 91).

Um SuS an das naturwissenschaftliche Erklären und Argumentieren heranzuführen und die hiermit verbundenen fachkommunikativen und prozessbezogenen Kompetenzen zu fördern, empfehlen Schecker & Höttecke (2021) und Kraus (2008c) die drei Methodenwerkzeuge *Konzept-Cartoons*, *Teilargumentationen* und *Erklärketten*.

Konzept-Cartoons als strukturierte Argumentationsanlässe:

Konzept-Cartoons präsentieren (möglichst kontroverse) Beschreibungen und Erklärungen eines physikalischen Sachverhalts ikonisch (durch Sprechblasen in den Cartoons), schaffen hierdurch Anlässe einer sachbezogenen Argumentation bei SuS und stellen sprachliche Angebote für SuS dar, sich in einem Gruppen- oder Klassengespräch zu beteiligen (Schecker & Höttecke, 2021, S. 498f.).

Nach Schecker & Höttecke (2021) sollten die Texte in den Sprechblasen typische Schülervorstellungen beinhalten, damit SuS mit unterschiedlichen Beschreibungen und Erklärungen eines physikalischen Sachverhalts konfrontiert sind und hierdurch Argumentationsanlässe geschaffen werden (S. 498).

Durch Konzept-Cartoons wird Argumentationsfähigkeit bei SuS gefordert, jedoch nicht automatisch durch das Kommunizieren gefördert. Hierzu müssen die Elemente von Argumentationen explizit im Unterricht behandelt werden (Schecker & Höttecke, 2021, S. 499, nach Kraus, 2008b, S. 9). Kraus (2008a) empfiehlt zur Förderung einer Argumentationsfähigkeit eine Zusammenarbeit mit der Deutschlehrkraft der SuS und die Übung folgender Kompetenzen:

- Unterscheidung von Behauptung und Begründung
- Angabe von Gründen, d.h. Fakten, Grundätze, Beispiele und Erläuterungen
- Wertung und Gewichtung von einzelnen Argumenten
- Sprachliche Darstellung logischer Zusammenhänge, beispielsweise, wann welche Konjunktion angemessen ist (S. 9).

Konzept-Cartoons führen nicht immer unmittelbar zu einem Wissenszuwachs oder einem konzeptuellen Verständnis, selbst wenn im Anschluss die Fehlvorstellungen benannt und korrigiert werden (Kraus, 2008b, S. 8). In der Unterrichtspraxis hat sich nach Kraus (2008b) bewährt, Konzept-Cartoons nicht mehr als fünfmal pro Schulhalbjahr durchzuführen, da SuS sonst Routinebearbeitungsmethoden wie z.B. die Suche per Ausschlussprinzip entwickeln.

Qualitätskriterien von Konzept-Cartoons im naturwissenschaftlichen und somit insbesondere im Physikunterricht sind nach Feige & Lembens (2020):

- Sprechblasentexte
- Darstellung der Charaktere
- Darstellung der Konzept-Cartoon-Situation
- Formulierung des begleitenden Arbeitsauftrags.

Um sich vertieft mit eigenen Vorstellungen auseinander zu setzen, können die SuS auch selbst Konzept-Cartoons im Unterricht entwickeln. Voraussetzung ist jedoch, dass die SuS mit der Methode vertraut sind (Kraus, 2008a, S. 5, S. 9).

Neben der Förderung der (Fach-)Kommunikation sollen Konzept-Cartoons nach Kraus (2008a) insbesondere zur Entwicklung einer Fehlerkultur im Unterricht beitragen (S. 9).

Teilargumentation als strukturierter Argumentationsanlass

Teilargumentationen stellen nach Kraus (2008a) eine weitere Methode zur Förderung von Argumentationskompetenz im Physikunterricht bei SuS dar, insbesondere „wenn man komplexe Prozesse in zeitliche Phasen unterteilt“ (S. 5). Es werden hierbei Aussagen und Antwortvarianten vorgegeben, aus welchen die SuS die richtige auswählen und ihre Antworten „zugunsten eines Argumentationsstrangs“ (S. 5) begründen müssen.

Sachgerechtes Erklären mit Erklärketten:

Das Methodenwerkzeug *Erklärkette* wurde von Tschentscher & Berger (2016) als Strukturierungshilfe entwickelt. Die lineare, insbesondere für kausale Zusammenhänge geeignete, Grundstruktur einer solchen Erklärkette ist *Wenn ..., dann ..., weil ...* und ist in Abbildung 6 konzeptionell dargestellt.



Abbildung 6 – Methodenwerkzeug *Erklärkette* mit der Grundstruktur „Wenn..., dann..., weil...“ zur Förderung von sachgerechtem Erklären (adaptiert nach Schecker & Höttecke, 2021, S. 500).

Hier werden Aussagen mit Begründungen verknüpft (Schecker & Höttecke, 2021, S. 500, Tschentscher & Berger, 2016). Nach Schecker & Höttecke (2021) soll SuS verdeutlicht werden, „dass zu einer Erklärung immer die Angabe der Gründe („weil“) zählt, warum man zu einer bestimmten Schlussfolgerung („dann“) kommt [...] und dass Erklärungen oftmals aus einer Kette solcher Elemente zusammengesetzt sind“ (S. 501).

Die Verwendung von Erklärketten hat sich in der gymnasialen Oberstufe empirisch bewährt: So konnte gezeigt werden, dass sich die inhaltliche Qualität von Begründungen bei Erklärungen der SuS durch Verwendung von Erklärketten steigerte (Schecker & Höttecke, 2021, S. 500, Helms, 2016).

Argumente entwickeln und ordnen mit der Argumente-Kommode

Die SuS stehen oftmals vor einer großen und unübersichtlichen Anzahl von Argumenten: „Argumente können sachhaltig sein und z.B. auf wissenschaftlichen oder empirischen Informationen beruhen. Sie können auch auf ethische Kategorien wie Normen und Werte basieren oder von Interessen bestimmt sein. Unterschiedliche Interessengruppen vertreten in der Regel stark unterschiedliche Wertpräferenzen“ (Höttecke, 2013b, S. 18).

Die *Argumente-Kommode* stellt eine Methode dar, mit der SuS Argumente entwickeln und diese in die Kategorien *Sachwissen*, *Normen & Werte* und *Interessen* einordnen können. Zur Förderung der Unterscheidung von Argumenten ist wichtig, dass die SuS den Unterschied zwischen den Kategorien, die als Metapher Schubladen einer Wäschekommode sind, verstehen (Höttecke, 2013b, S. 17f.). In Tabelle 4 sind die drei Kategorien beschrieben.

Tabelle 4: *Typen von Argumenten (zitiert und verändert nach Höttecke , 2013b, S. 18, zitiert nach Höttecke & Mrochen, 2011).*

Typen von Argumenten		
<i>Sachwissen</i>	<i>Werte & Normen</i>	<i>Interessen</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Oft von Naturwissenschaftlern bereitgestellt • Empirischer Charakter • Wird oft in Form von Statistiken, Messdaten und ihren Interpretationen angeboten 	<ul style="list-style-type: none"> • Maßstäbe, die bestimmen, was wir für gut, richtig und erstrebenswert halten, und da denen wir uns orientieren • Beispiel für Werte: Vertrauen, Gerechtigkeit, Freundschaft, Gesundheit, Glück, Liebe, Wohlergehen • Beispiel für Normen: Man sollte... die Umwelt nicht verschmutzen, den Müll trennen, sich so verhalten, dass auch nachfolgende Generationen noch gut leben können. 	<ul style="list-style-type: none"> • Wenn einzelne Menschen oder Gruppen bestimmte, ihnen eigene Ziele verfolgen, werden sie von ihren Interessen angetrieben. • Beispiel für Interessen: Der Vertreter einer Schulmensa möchte möglichst billig einkaufen. Die Eltern der Schülerinnen und Schüler möchten, dass ihre Kinder gesund, aber auch kostengünstig in der Mensa essen können.

Da bei der *Argumente-Kommode* eine Unterscheidung und somit eine Entscheidung getroffen werden muss, wird auch der Bezug zur im nächsten Kapitel vorgestellten Bewertungskompetenz der SuS ersichtlich. Die *Argumente-Kommode* kann nämlich die Argumentationsfähigkeit der SuS, und durch die Auswahl und Kategorisierung auch die Bewertungskompetenz stärken (Schecker & Höttecke, 2021, S.494ff.).

4.2 Bewerten

4.2.1 Bewerten, Urteilen und Entscheiden

Alltäglich treffen Menschen Entscheidungen und fällen in diesem Prozess (bewusst und unbewusst) oftmals moralische Urteile zu diversen Sachverhalten, in denen häufig Bewertungen getroffen werden müssen. In diesem Zusammenhang steht eine sogenannte Bewertungskompetenz, die SuS in ihrer Schullaufbahn erwerben sollen und die sogar curricular in den Bildungsstandards der naturwissenschaftlichen Fächer und somit insbesondere für das Fach Physik festgelegt ist (Sander, 2017).

Sander (2017) definiert Bewertungskompetenz als „eine individuelle Disposition, die Schülerinnen und Schülern das Treffen eigener Urteile und Entscheidungen in Fragen der persönlichen Lebensführung sowie in gesellschaftlich bedeutsamen Fragestellungen ermöglicht, die jeweils auch naturwissenschaftliches Wissen berühren. Gleichzeitig ermöglicht sie die Reflexion eigener und fremder bereits getroffener Urteile. Begriffe wie Urteilskompetenz oder Urteilsfähigkeit werden hierzu synonym verstanden“ (S. 24). Bewertungskompetenz ist ein Ziel des naturwissenschaftlichen Unterrichts zur Erlangung von *Scientific Literacy*, einer naturwissenschaftlichen Grundbildung, die alle SuS in der Schule erlangen sollten. Besonders wichtig ist die Urteilsfähigkeit im Kontext (von Problemen) nachhaltiger Entwicklung, denen sich SuS individuell und gesellschaftlich stellen müssen (Sander, 2017, S. 25).

Man kann Bewertungskompetenz unter mehreren Perspektiven betrachten, nach Bögeholz et al. (2018) sind dies eine psychologische, eine moralphilosophische und soziologische. Anhand von psychologischen, moralphilosophischen und soziologischen Theorien können sogenannte Kompetenzstrukturmodelle der Bewertungskompetenz in den naturwissenschaftlichen Fachdidaktiken entwickelt und empirisch erprobt werden (Bögeholz et al., 2018, S. 262). Im Folgenden werden diese theoretischen Rahmungen und Betrachtungsweisen auf die Bewertungskompetenz ausgeführt.

Psychologische Rahmung von Bewertungskompetenz:

Für das Bewerten, Urteilen und Entscheiden sind nach Bögeholz et al. (2018) vor allem die Entscheidungs-, Moral- und Entwicklungspsychologie relevant. Man unterscheidet hier vor allem zwischen präskriptiven und deskriptiven Modellen: „Deskriptive Modelle befassen sich damit, Prozesse der Entscheidungs- und

Urteilsfindung zu beschreiben und gegebenenfalls zu analysieren. Präskriptive Modelle basieren auf normativen Regeln und liefern Strategien und Techniken, wie Personen unter spezifischen Bedingungen entscheiden sollen“ (Bögeholz et al., 2018, S. 262, nach Betsch et al., 2011, Jungermann et al., 2010).

Gegenstand der sogenannten Entscheidungspsychologie sind nach Sander (2017) die von Menschen getroffenen Urteile und Entscheidungen. Während die klassische Entscheidungspsychologie eher die Entscheidung selbst untersucht, fokussieren sich neuere Stränge der Entscheidungspsychologie auf den psychischen Prozess beim Entscheiden (S. 26). Beim Entscheiden wählt im Rahmen einer Entscheidungssituation ein Entscheider zwischen mehreren möglichen Handlungsmöglichkeiten, den sogenannten Optionen und trifft hierbei häufig, implizit oder explizit, ein Urteil. Urteile sind somit ein Bestandteil von Entscheidungsprozessen, gehen der endgültigen Entscheidung oftmals voraus und können moralischer Natur sein (S. 27). Urteile und Entscheidungen können in Hinblick auf Ziele des Entscheiders erfolgen oder auf Gründen des Entscheiders beruhen (intrapersonale Komponente der Entscheidungssituation). Zudem kann die Entscheidung auch von den Konsequenzen bzw. Folgen der Entscheidung abhängen, insbesondere bei Entscheidungen im Kontext nachhaltiger Entwicklung. Hier kann dann einzelnen Optionen ein Attribut (extrapersonale Komponente der Entscheidungssituation), z.B. der Preis eines Autos beim Autokauf, zugeordnet werden (S. 27). Attribute und Kriterien werden hierbei häufig als synonym verwendet (Eggert & Bögeholz, 2006, S.178).

Deskriptive Modelle von Entscheidungsprozessen gliedern sich in der Entscheidungspsychologie oftmals nach einem *Dreiphasen-Meta-Modell* von Betsch & Haberstroh (2005), bestehend aus *präselektionaler*, *selektionaler* und *postselektionaler* Phase (Bögeholz et al., 2018, nach Betsch & Haberstroh, 2005).

In Abbildung 7 ist das Drei-Phasen-Metamodell dargestellt.

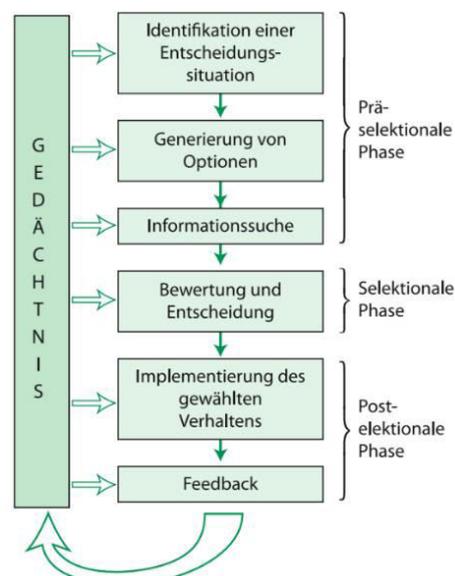


Abbildung 7 – Drei-Phasen-Metamodell bei Entscheidungsprozessen (aus Betsch et al., 2011, S. 75).

In der präselektionalen Phase wird eine Entscheidungssituation identifiziert, mögliche Handlungsoptionen kriterienorientiert generiert, woraufhin eine Informationssuche folgt, die in der Aufbereitung einer Entscheidungssituation mündet. In der selektionalen Phase findet der eigentliche Bewertungsprozess statt, indem Handlungsoptionen kriterienorientiert mit Entscheidungsstrategien oder Heuristiken verglichen werden (Eggert & Bögeholz, 2006, S. 178). Die klassische Entwicklungspsychologie verwendet normative Entscheidungsmodelle, die auf rationalen, d.h. nach normativ definierten Regeln getroffenen, Urteilen gründen. Zwei solcher Entscheidungsregeln, die auch Entscheidungsstrategien genannt werden, sind die kompensatorische und die non-kompensatorische (Sander, 2017, S. 28). Kompensatorische Entscheidungsstrategien kennzeichnen sich durch ein *trade-off*, d.h. einem Abwägen der Bedeutung von verschiedenen Kriterien (Eggert & Bögeholz, 2006, S. 178). So können schlechte und gute Ausprägungen eines Attributs ausgeglichen werden. Bei nicht-kompensatorischen Entscheidungsstrategien findet kein *trade-off* statt, sondern es werden Schwellenwerte, oft als *Cutt-off-Kriterien* bezeichnet, festgelegt (Sander, 2017, S. 28f.). Entscheidungsstrategien können implizit oder explizit sein: „Bei einer impliziten Entscheidung ist nur das Endergebnis der Entscheidung sichtbar. Bei der expliziten Entscheidung wird die Option, die für den Betrachter differenziert dargestellt ist, anhand verschiedener Kriterien (evtl. partiell) bewertet“ (Hostenbach et al., 2011, S. 268, nach Jungermann et al., 2005). Neben Entscheidungsstrategien haben sich auch einfache Heuristiken wie z.B. die *Take-the-best-Regel* (Wahl des subjektiv validesten), die *Satisficer-Regel* (Wahl der ersten Option, die ein Anspruchsniveau erfüllt) oder die *Rekognitionsheuristik* (Wahl der Option mit Wiedererkennung) empirisch bewährt (Bögeholz et al., 2018, S. 263, Pfister et al., 2017, S.140ff.). Die selektionale Phase schließt mit der Formulierung von Handlungsintentionen zur Entscheidungsumsetzung ab. In der postselektionalen Phase geht es um die volitionalen Aspekte, d.h. um die reale Umsetzung und Einschätzung der Umsetzungsmöglichkeiten der Handlungsintentionen (Eggert & Bögeholz, 2006, S. 180) sowie die an die Umsetzung anschließende Evaluierung und Reflexion der gewählten Handlungsoptionen (Sakschewski, 2013, S. S. 6).

Ein Prozessmodell der Entscheidungsfindung ist das Modell von Kortland (2003), welches als *normatives Modell* bezeichnet wird (Menthe, 2006, S. 24f.). Zuerst wird ein Problem identifiziert, woraufhin Kriterien entwickelt und Handlungsoptionen generiert werden. Diese Optionen werden dann nach den entwickelten Kriterien

(mit Entscheidungsstrategien oder Heuristiken) evaluiert, d.h. die Kriterien werden gewichtet und bewertet, woraufhin eine Entscheidung für eine Handlungsoption getroffen und diese Handlung ausgeführt wird (Hostenbach et al., 266f.). In Abbildung 8 ist das Entscheidungsmodell nach Kortland (2003) dargestellt.

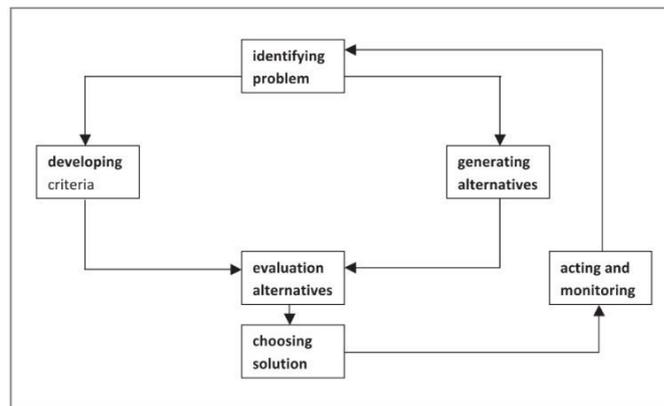


Abbildung 8 – Entscheidungsfindungsprozess nach dem normativen Modell nach Kortland (aus Hostenbach et al., 2011, nach Kortland, 2003).

Sogenannte *Nutzen-Wert-Theorien* wie die Multi-Attribute-Utility (MAU)-Theorie und Subjective-Expected-Utility (SEU)-Theorie sind bedeutsame Entscheidungstheorien. Nach der MAU-Theorie, die vollständige Informationskenntnis über Optionen und deren Folgen voraussetzt, kann die beste Entscheidungsoption dadurch bestimmt werden, in dem der Gesamtnutzenwert jeder einzelnen Entscheidungsoptionen ermittelt wird. Die SAU-Theorie berücksichtigt Unsicherheiten bei Entscheidungsfindung und setzt keine vollständige Informationskenntnis voraus. Zudem wird die beste Entscheidungsoption durch das Produkt aus dem Nutzen einer Entscheidungsoption deren subjektiven Eintretenswahrscheinlichkeit ermittelt (Bögeholz et al., 2018, S. 262f.). In der aktuellen Entwicklungspsychologie gibt es sogenannte *Zwei-Prozess-Theorien* des Urteilens. Diese gehen von zwei Systemen im Gehirn aus, die bei einem Urteil aktiv sind: Zuerst wird ein intuitives Urteil im intuitiv arbeitenden System gefällt, welches im Anschluss vom rational arbeitenden System gerechtfertigt wird (Sander, 2017, S. 45). Im Unterricht ist neben dem Erwerb von Kompetenzen zum Bewerten an sich auch eine Förderung metatheoretischer Kompetenz in dem Sinne wichtig, dass die SuS lernen, in welchen Situationen intuitive Urteile und in welchen Situationen rationale Urteile sinnvoll und angemessen sind (Höttecke, 2013a, S. 8).

Aus der Sicht der Umweltpsychologie sind die räumliche und zeitliche Entfernung der Folgen wichtig (Sander, 2017, S. 45).

Moralphilosophische Rahmung von Bewertungskompetenz:

Moralphilosophische Theorien der Bewertungskompetenz setzen einen Schwerpunkt auf das Argumentieren und untersuchen, auf welcher ethischen Grundlage Argumentationen durchgeführt werden und welche gesellschaftlichen Konsequenzen diese haben. Argumente, Urteile und Handlungen sollen auf normative Grundlagen zurückgeführt und daran bewertet werden, ob sie moralisch richtig begründet sind (Bögeholz et al., 2018, S. 264).

Soziologische Rahmung von Bewertungskompetenz:

Nach Bögeholz et al. (2018) beschreiben Soziologische Theorien Bewertungskompetenz, anhand von Urteilen und Entscheidungen, als eine spezielle Form sozialen Handelns. Demnach folgen Menschen bei Entscheidungen oftmals „einem nicht unmittelbar sichtbaren, aber dennoch wirksamen sozialen Regelwerk“ (S. 265), welches z.B. durch Bourdieu (1993) mit den zentralen Begriffen *Habitus* und *Feld* beschrieben werden kann. Innerhalb eines sogenannten Feldes, das sich in sozialen Strukturen (Gruppe, Klasse, soziales Milieu) bildet, verfügen die Mitglieder über ähnliche soziale Erfahrungen und zeigen deshalb oftmals ein vergleichbares Sozialverhalten. Durch diesen Habitus werden sie sozial geprägt und bauen ähnliche Weltansichten und Handlungsweisen auf (Bögeholz et al, 2018, S. 265, nach Bourdieu, 1993). Der Habitus wirkt also unbewusst als ein strukturierendes Prinzip (Sander, 2017, S. 60). Dies ist in Abbildung 9 dargestellt.

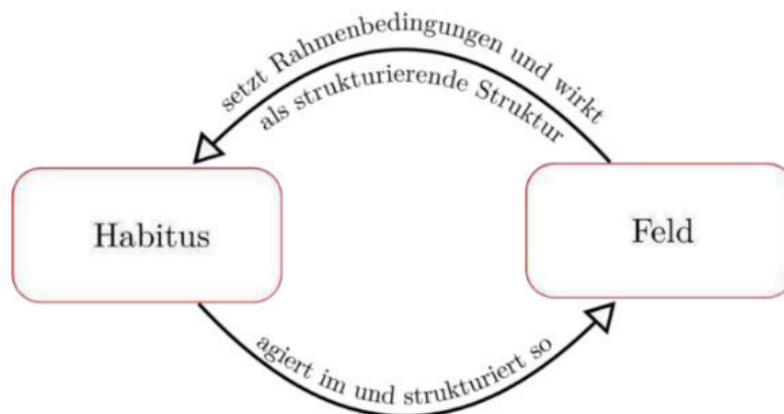


Abbildung 9 – Wechselwirkung von Habitus und Feld nach Bourdieu (aus Sander, 2017, S. 57).

Somit sind nach Bourdieu die von Menschen getroffenen Entscheidungen nicht selbstbestimmt, sondern werden durch die Wechselwirkung aus ihrem sozialen Feld und dem Habitus, fremdbestimmt (Bögeholz et al., 2018, S. 265, nach Sander, 2017, Rieger-Ladich, 2002).

Innerfachliches und überfachliches Bewerten

Bewertungen können innerfachlich oder außerfachlich geschehen, wobei im Physikunterricht oftmals eher innerfachlich bewertet wird (Höttecke, 2013a). Bei der innerfachlichen Bewertung liegt der Fokus vorrangig auf Fachwissen, z.B. werden wissenschaftliche Aussagen, Physikalische Begriffe, Theorien und Modelle und ihre Grenzen, wissenschaftliche Darstellungen und Darstellungsformen mit Fachwissen beurteilt und physikalisches Fachwissen zur Beurteilung von Alltagskontexten genutzt. Innerfachliches Bewerten ist nur für einfach strukturierte Bewertungen geeignet. Beim überfachlichen Bewerten, welches zur Bewertung realer komplex strukturierte Probleme herangezogen werden muss, sind neben dem physikalischen Fachwissen auch die den Entscheidungen zugrundeliegenden Normen und Werte sowie weitere Wissensarten bedeutsam (Höttecke, 2013a, S. 4ff.). Abbildung 10 illustriert das Konzept des inner- und außerfachlichen Bewertens.

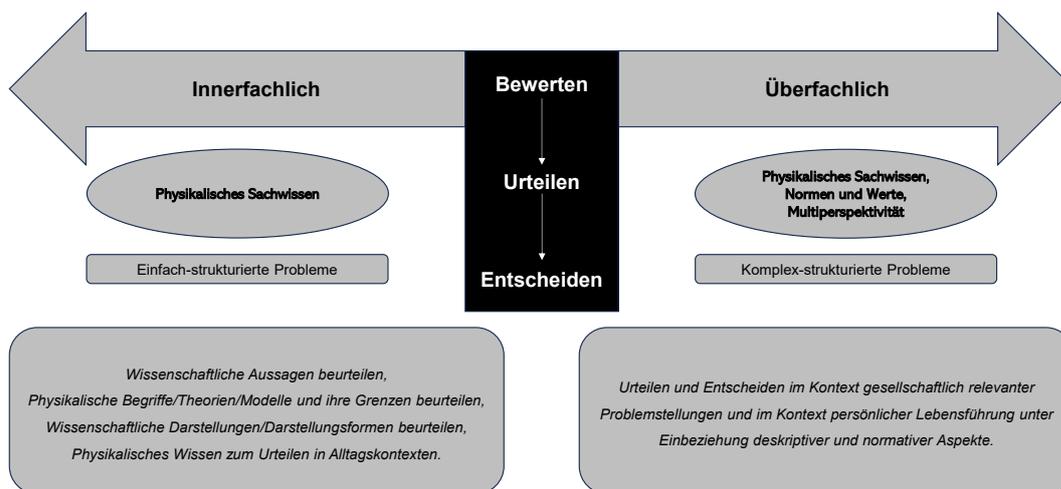


Abbildung 10 – Innerfachliches und außerfachliches Bewerten
(adaptiert nach Höttecke, 2013a, S. 6).

Notwendigkeit des Erwerbs von Strukturwissen über Urteilen und Entscheiden

Physikalisches Fachwissen bildet zwar oftmals die Basis fundierter Urteile, SuS neigen jedoch dazu, ihre Urteile intuitiv nach Werten und Normen sowie von Vorurteilen geprägt und nicht auf Grundlage naturwissenschaftlicher Evidenz zu treffen. Solche intuitiven Urteile haben durchaus ihre Daseinsberechtigung, z.B. um kognitiver Überlastung entgegenzuwirken. Wichtig ist für SuS jedoch, dass sie lernen zwischen evidenzbasierten und ethischen Aspekten zu unterscheiden und wissen, wann welche Form des Urteilens angemessen ist (Höttecke, 2013a, S. 7).

4.2.2 Bewertungskompetenz in den Bildungsstandards

Dem Bewerten, Urteilen und Entscheiden wird in den Bildungsstandards für den mittleren Schulabschluss der Naturwissenschaften ein eigener Kompetenzbereich, der Kompetenzbereich Bewerten, gewidmet. Es handelt sich um den am schwierigsten zu interpretierenden Kompetenzbereich (Schecker & Höttecke, 2007, S. 29).

Nach Höttecke (2013a) steht Bewertungskompetenz in einem engen Verhältnis zur Kommunikations- und Argumentationskompetenz im Kompetenzbereich Kommunikation. Insbesondere ist die Bewertungskompetenz eng mit dem Argumentieren verknüpft und beide haben eine wechselwirkende Funktion: „Die Schnittmenge mit Bewertungskompetenz besteht [...] darin, Argumente zu generieren und zur Entwicklung und zur Rechtfertigung eines Urteils zu gebrauchen. Umgekehrt ist auch Bewertungskompetenz ein Teilaspekt von Argumentationskompetenz in dem Sinne, dass beim Argumentieren die Positionen eines Gegenübers eingeschätzt und beurteilt werden müssen“ (S. 7). Zudem stellt das Argumentieren eine didaktische Funktion bei überfachlichen Bewertungen dar. So hilft das Argumentieren bei dem Bewusstwerden und Reflektieren von SuS-Vorstellungen. Bewerten und Argumentieren haben zwar eine wechselwirkende Funktion, sind jedoch nicht gleichzusetzen (S. 7).

Der Kompetenzbereich Bewerten wird in den Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss wie folgt beschrieben: „Das Heranziehen physikalischer Denkmethoden und Erkenntnisse zur Erläuterung, zum Verständnis und zur Bewertung physikalisch-technischer und gesellschaftlicher Entscheidungen ist Teil einer zeitgemäßen Allgemeinbildung. Hierzu ist es wichtig, zwischen physikalischen, gesellschaftlichen und politischen Komponenten einer Bewertung zu unterscheiden. Neben der Fähigkeit zur Differenzierung nach physikalisch belegten, hypothetischen oder nicht naturwissenschaftlichen Aussagen in Texten und Darstellungen ist es auch notwendig, die Grenzen naturwissenschaftlicher Sichtweisen zu kennen“ (KMK, 2004c, S. 10).

In den Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss im Fach Physik wurden die in Tabelle 5 dargestellten Regelstandards formuliert.

Tabelle 5: Bewertungskompetenz in den Bildungsstandards im Fach Physik für den mittleren Schulabschluss (zitiert aus KMK, 2004c, S. 12)

Bewertungskompetenz (Mittlerer Schulabschluss)	
Die Lernenden . . .	
B1	zeigen an einfachen Beispielen die Chancen und Grenzen physikalischer Sichtweisen bei inner- und außerfachlichen Kontexten auf.
B2	vergleichen und bewerten alternative technische Lösungen auch unter Berücksichtigung physikalischer, ökonomischer, sozialer und ökologischer Aspekte.
B3	nutzen physikalisches Wissen zum Bewerten von Risiken und Sicherheitsmaßnahmen bei Experimenten, im Alltag und bei modernen Technologien.
B4	benennen Auswirkungen physikalischer Erkenntnisse in historischen und gesellschaftlichen Zusammenhängen.

Zusammenfassend sollen physikalische Kompetenzen zur Entscheidungsfindung herangezogen und bei der Meinungsbildung berücksichtigt werden (Schecker & Höttecke, 2007, S. 29).

Der Kompetenzbereich Bewerten wird in den Bildungsstandards im Fach Physik für die allgemeine Hochschulreife folgendermaßen beschrieben: „Die Bewertungskompetenz der Lernenden zeigt sich in der Kenntnis von fachlichen und überfachlichen Perspektiven und Bewertungsverfahren und in der Fähigkeit, diese zu nutzen, um Aussagen bzw. Daten anhand verschiedener Kriterien zu beurteilen, sich dazu begründet Meinungen zu bilden, Entscheidungen auch auf ethischer Grundlage zu treffen und Entscheidungsprozesse und deren Folgen zu reflektieren“ (KMK, 2020c, S. 17). Hier wird also eine Multiperspektivität, eine kriteriengeleitete Meinungsbildung und eine reflektierte Folgenreflexion gefordert. Es ist zudem wichtig, dass SuS zwischen normativen (wertebasiert und oftmals interessengeleitet) und naturwissenschaftlich-deskriptiven sowie zwischen wissenschaftlichen und unwissenschaftlichen Aussagen und Quellen differenzieren können und auch den Bewertungsprozess an sich reflektieren (KMK, 2020c, S. 17, Borowski et al., o.D.). Insgesamt wird in den Bildungsstandards für die Allgemeine Hochschulreife der Fokus auf außerfachliches Bewerten gelegt (KMK, 2020c), während der Fokus in den Bildungsstandards für den mittleren Schulabschluss auf dem innerfachlichen Bewerten liegt (Schecker & Höttecke, 2007, KMK, 2004c). Der Kompetenzbereich Bewerten gliedert sich in die drei Teilbereiche *Sachverhalte und Informationen multiperspektivisch betrachten, Kriteriengeleitet Meinungen bilden und Entscheidungen treffen sowie Entscheidungsprozesse und Folgen reflektieren*.

Die Kompetenzteilbereiche werden durch die in der Tabelle 6 dargestellten Standards B1-B8 konkretisiert (KMK, 2020c).

Tabelle 6: *Bewertungskompetenz in den Bildungsstandards im Fach Physik für die allgemeine Hochschulreife (zitiert aus KMK, 2020c, S. 18)*

Bewertungskompetenz (Allgemeine Hochschulreife)	
Die Lernenden...	
Teilkompetenz I: <i>Sachverhalte und Informationen multiperspektivisch betrachten</i>	
B1	erläutern aus verschiedenen Perspektiven Eigenschaften einer schlüssigen und überzeugenden Argumentation.
B2	beurteilen Informationen und deren Darstellung aus Quellen unterschiedlicher Art hinsichtlich Vertrauenswürdigkeit und Relevanz.
Teilkompetenz II: <i>Kriteriengeleitet Meinungen bilden und Entscheidungen</i>	
B3	entwickeln anhand relevanter Bewertungskriterien Handlungsoptionen in gesellschaftlich- oder alltagsrelevanten Entscheidungssituationen mit fachlichem Bezug und wägen sie gegeneinander ab.
B4	bilden sich reflektiert und rational in außerfachlichen Kontexten ein eigenes Urteil.
Teilkompetenz III: <i>Entscheidungsprozesse und Folgen reflektieren</i>	
B5	reflektieren Bewertungen von Technologien und Sicherheitsmaßnahmen oder Risikoeinschätzungen hinsichtlich der Güte des durchgeführten Bewertungsprozesses.
B6	beurteilen Technologien und Sicherheitsmaßnahmen hinsichtlich ihrer Eignung und Konsequenzen und schätzen Risiken, auch in Alltagssituationen, ein.
B7	reflektieren kurz- und langfristige, lokale und globale Folgen eigener und gesellschaftlicher Entscheidungen.
B8	reflektieren Auswirkungen physikalischer Weltbetrachtung sowie die Bedeutung physikalischer Kompetenzen in historischen, gesellschaftlichen oder alltäglichen Zusammenhängen.

Vergleicht man die Bildungsstandards mit dem Dreiphasen-Metamodell von Betsch & Haberstroh (2005) für Entscheidungsprozesse so fällt meiner Meinung nach auf, dass die in den Bildungsstandards ausgeführten Standards lediglich die präselektionale (Standards B1-B3) und die selektionale Phase (Standards B4-B8) widerspiegeln. Die postselektionale Phase findet sich in den Bildungsstandards meines Erachtens nicht. Curricular soll es zu einer verantwortungsbewussten Handlungsentscheidung kommen, es fehlt jedoch eine konkrete Handlungsaufforderung im Sinne einer Student Agency.

Verglichen mit den Bildungsstandards in den Naturwissenschaften Chemie und Biologie, fällt auf, dass das Fach Physik die wenigsten Standards im Bereich der Bewertungskompetenz aufweist (KMK, 2004a, KMK, 2020a, KMK, 2004b, KMK, 2020b, KMK, 2004c, KMK, 2020c). Die ausdifferenzierteste Bewertungskompetenz weist das Fach Biologie auf (Sakschewski, 2013, S. 22).

4.2.3 Socio-scientific decision-making und Socio-scientific reasoning

Ein zur Bewertungskompetenz konzeptuell ähnliches Pendant auf internationaler Ebene ist das *Socio-scientific decision-making* (SSD). Hier werden *Socio-scientific issues* (SSI) untersucht, das sind Sachverhalte und Problematiken in der Schnittstelle von Naturwissenschaften und Gesellschaft mit offenen Problemstellungen und mehreren möglichen (kontroversen) Handlungsoptionen (Sakschweski, 2013, S. 24), die durch folgende Merkmale gekennzeichnet sind:

- SSI sind umstrittene bzw. streitbare Sachverhalte mit Verbindungen zwischen Naturwissenschaft und Gesellschaft
- SSI sind offene Probleme ohne eindeutig vorgezeichnete Lösungen
- SSI werden von mehreren Faktoren (sozial, politisch, ökonomisch, ökologisch, ethisch) beeinflusst
- Bei SSI sind Entscheidungen nicht endgültig und die Datenlage kann sich ändern
- Bei SSI müssen Quellen hinterfragt werden
- SSI können lokaler oder globaler Art sein (Sakschewski, 2013, S. 24, nach Sadler, 2004, Sadler, 2011).

Eine besondere Gruppe von SSI sind diejenigen nachhaltiger Entwicklung, da diese grundsätzlich eine Multiperspektivität aus fachlicher und aus gesellschaftlicher Sicht erfordern (Sander, 2017, S. 11). SuS sollten sich mit SSI auseinandersetzen, da dies z.B. dazu beiträgt, dass die SuS nicht nur zu Wissenschaftler*innen, sondern auch zu mündigen Bürger*innen gebildet werden, d.h. auf ihre verantwortungsbewusste Rolle als Teil der demokratischen Gesellschaft vorbereitet sind (Ben-Horin et al., 2023, S. 3).

Auch das in der konzipierten Unterrichtseinheit behandelte Thema des Fliegens stellt nach einigen der o.g. Kriterien ein SSI dar. So kann Fliegen in der heutigen Gesellschaft z.B. aufgrund der Globalisierung nicht einfach verboten werden, obwohl Fliegen der Umwelt schadet (Anthropogener Treibhauseffekt). Es ist somit eine multiperspektive Betrachtung notwendig.

Die bei der Auseinandersetzung mit SSI auftretenden Denk-, Argumentations- und Bewertungsprozesse werden als reasoning oder als socio-scientific reasoning (SSR) bezeichnet. Es wird zwischen *formal reasoning* und *informal reasoning* unterschieden: *Formal reasoning* beschreibt einen Denkprozess der im Rahmen von Induktion oder Deduktion (formal) entsteht, wie es in naturwissenschaftlichen Denkprozessen üblich ist. *Informal reasoning* bezieht auch andere (gesellschaftliche) Denkprozesse ein, weshalb informal reasoning bei SSI angewendet werden muss (Sander, 2017, S. 11). SSR umfasst mehrere Aspekte,

die ein epistemisches Wissen über die Merkmale der SSI erfordern. Dazu gehören das Verständnis für die Komplexität dieser Themen und die Fähigkeit, sie multiperspektiv zu betrachten sowie Informationen von verschiedenen Interessengruppen zu diesen Themen kritisch zu betrachten (Ben-Horin et al., 2023, S. 2, nach Sadler et al., 2007). So gliedert sich der Prozess des SSR nach Sadler et al. (2007) in 4 Schritte:

- (1) Erkennen der inhärenten Komplexität des/der SSI als offene Problemstellungen ohne eindeutige Antwort
- (2) Analysieren und Betrachten der SSI aus verschiedenen Perspektiven
- (3) Verständnis darüber erwerben, dass SSI kontinuierlich kontroversen Diskussionen unterliegen und es grundsätzlich Unsicherheiten in der Wissenschaft gibt, die nur durch kontinuierliche Erforschung minimiert werden kann
- (4) Kritik gegenüber potenziell voreingenommenen/interessengeleiteten Informationen üben.

Die Urteilsbildung und Handlungsauswahl wird als *decision-making* oder als *socio-scientific decision-making* (SSD) bezeichnet. Hier geht es um die Beurteilung und die Wahl (Entscheidung) von Handlungsoptionen im Rahmen einer Bewertungskompetenz, die sich auf Urteils- und Entscheidungsfragen bezieht (Sander, 2017, S. 11f.).

Die Begriffe SSR und SSD sind in der Fachliteratur nicht trennscharf (Sander, 2017, S. 11). Das SSR beschreibt eher die Lösungsfindung, das SSD eher die Lösungsumsetzung von SSI (Sadler et al., 2007). Hierdurch enthält das SSD im Vergleich zum SSR nicht nur die Handlungswahl, sondern auch deren Umsetzung. Die Behandlung von SSI stellt einen Ansatz zur Förderung von Bewertungskompetenz dar, wodurch wiederum eine Bildung nachhaltiger Entwicklung gefördert werden kann (Sander, 2017, S. 12ff.). Empirisch haben viele Studien die Behandlung von SSI erst ab der 6. Klasse als sinnvoll herausgestellt (Sakschewski, 2013, S. 25), wobei die Behandlung von SSI in der Grundschule auch Bewertungskompetenz fördern kann (siehe z.B. Wodzinski & Werkmeister, 2013). Unterrichtseinheiten zu SSI sollten zudem länger sein, da kurze Interventionen empirisch keine signifikanten Zuwächse des SSR gezeigt haben (Ben-Horin et al., 2023, S. 4).

Die Behandlung von SSI stellt jedoch eine kognitive Herausforderung für SuS dar, bei der die Gefahr einer (kognitiven) Überlastung besteht. Um dem entgegenzuwirken, ist es als Lehrkraft wichtig sie dabei zu unterstützen. Eine

Möglichkeit besteht darin, den Lernprozess und den Unterricht kollaborativ, d.h. im Sinne eines kollaborativen Lernens zu gestalten (Ben-Horin et al., 2023, S. 5f.). Kollaboratives Lernen fordert explizit die Interaktion der SuS bei der Bearbeitung einer Aufgabe und der Lernprozess steht im Vordergrund, und nicht wie beim kooperativen Lernen das Lernprodukt (Konrad, 2014, S. 80f.).

Ben-Horin et al. (2023) stellen zur Unterstützung durch kollaboratives Lernen das sogenannte KCI (*Knowledge Community of Inquiry*)-Modell, d.h. ein Modell einer Wissensgemeinschaft, vor. In diesem Modell führt die gesamte Klasse gemeinsam eine kontinuierliche und angeleitete Untersuchung eines SSI durch, das in direktem Zusammenhang mit den Lernzielen steht. Ben-Horin et al. (2023) zeigten empirisch, dass das kollaborative Forschen und Entscheiden in einer Wissensgemeinschaft das SSR fördern konnte. Damit die SuS die verschiedenen Komponenten in Entscheidungsprozessen in Bezug auf SSI erfassen können, empfehlen Ben-Horin et al. (2023) fünf Vorschläge:

- Mit anderen zusammenarbeiten, um dadurch Argumentieren zu stärken und komplexe Entscheidungsprozesse zu erleichtern
- Die eigene Meinung äußern, begründen und verteidigen, um so aktiv zu einem verantwortungsvollen Gespräch in einer Gemeinschaft beizutragen
- Die Meinung anderer berücksichtigen und aufgeschlossen gegenüber anderen Sichtweisen sein
- Kompromissbereitschaft aufbauen
- Bereitschaft, eine Änderung der eigenen Entscheidung (durch neue Informationen oder durch gut begründete Standpunkte der anderen in der Wissensgemeinschaft) in Betracht zu ziehen.

Zudem schlagen Ben-Horin et al. (2023) vor, ein Skript zur kollaborativen Untersuchung (*collaborative inquiry script*) in den Unterricht einzubauen, welches die SuS dazu bringt zu einer kollektiven Wissensbasis (*collective knowledge base*) beizutragen. Diskutieren die SuS, so sollen sie im Rahmen eines kollaborativen Entscheidungsfindungsprozess (*collaborative decision-making processes*) ihre Behauptungen mit Beweisen aus der kollektiven Wissensbasis stützen.

4.2.4 Kompetenzstrukturmodelle für Bewertungskompetenz

Durch Anwendung der theoretischen Rahmungen (psychologische, moralphilosophische und soziale) von Bewertungskompetenz ist die Entwicklung von Kompetenzstrukturmodellen der Bewertungskompetenz möglich (Bögeholz et al, 2018, S. 266).

Göttinger Modell der Bewertungskompetenz

Das *Göttinger Modell der Bewertungskompetenz im Kontext nachhaltiger Entwicklung* „ist für kognitiv anspruchsvolle Fragestellungen angewandter Naturwissenschaften von persönlicher Relevanz und gesellschaftlicher Tragweite konzipiert“ (Bögeholz et al., 2018, S. 266).

Die SuS sollen nachhaltige Handlungsoptionen beschreiben und entwickeln, verschiedene Perspektiven zur Fragestellung einnehmen und nachvollziehen und die nachhaltigen Handlungsoptionen qualitativ und quantitativ bewerten, um Bewertungskompetenz im Kontext nachhaltiger Entwicklung zu entwickeln (Bögeholz et al., 2018, S. 266ff.).

Empirische Untersuchungen haben gezeigt, dass das Göttinger Modell zur Analyse von Bewertungskompetenz auch auf das Fach Physik anwendbar ist (Sander, 2017, S. 92, nach Knittel, 2013, Sakschewski et al., 2014).

Die Bewertungskompetenz setzt sich nach dem Göttinger Modell, welches an das Dreiphasen-Meta-Modell des Entscheidens von Betsch und Haberstroh (2005) anknüpft, aus vier Teilkompetenzen zusammen (Bögeholz et al., 2018, S. 267).

Im Rahmen der ersten Teilkompetenz (*Kennen und Verstehen von nachhaltiger Entwicklung*) sollen SuS das Konzept der nachhaltigen Entwicklung und kennenlernen, um dadurch nachhaltige Handlungsoptionen zu identifizieren (Eggert & Bögeholz, 2006, S. 191). Die SuS sollen begreifen, „dass eine Nachhaltige Entwicklung unserer Umwelt nur durch eine zusammenhängende Betrachtung drei Sphären Ökologie, Ökonomie und Soziales, sowie der Berücksichtigung der Bedürfnisse der heutigen und zukünftiger Generationen möglich ist. Dazu gehört auch die Erkenntnis, dass unterschiedliche Zielvorstellungen zu Konflikten führen können“ (Eggert & Bögeholz, 2006, S. 191). Die zweite Teilkompetenz (*Kennen und Verstehen von Werten und Normen*) beschreibt die Identifikation, das Nachvollziehen und Reflektieren von verwendeten Werten und Normen (einschließlich der Unterscheidung zwischen Werten und Normen) und die Unterscheidung zwischen faktischen und ethischen Aussagen. Hierzu gehört auch, dass SuS ethische Aspekte einer Aussage identifizieren und reflektieren. So sollen sie Werte und Normen in Entscheidungen erkennen und selbst bewusst nutzen, aber zu gleich auch erkennen, dass auf Normen und Werten basierte Regelungen nur so lange legitim sind, wie sie in der Gesellschaft legitim sind (Eggert & Bögeholz, 2006, S. 190f., Sander, 2017, S.

89ff.). Die dritte Teilkompetenz (*Generieren und Reflektieren von Sachinformationen*) beschreibt das Identifizieren und Beschreiben von Entscheidungsoptionen einer Gestaltungsaufgabe und das Abschätzen derer Konsequenzen. Hierbei sollen die SuS den Nutzen und die Grenzen von Modellbildung erkennen (Eggert & Bögeholz, 2006, S. 189f.). Die SuS sollen in der Lage sein, naturwissenschaftliche Fakten wie Daten und Informationen zu sammeln und ihre Qualität zu beurteilen. Daraufhin sollen Handlungsoptionen generiert und ihre Folgen analysiert werden (Sander, 2017, S. 90). Im Dreiphasen-Metamodell von Betsch und Haberstroh (2005) entspricht diese Teilkompetenz der präselektionalen Phase (Sander, 2017, S. 90, Eggert & Bögeholz, 2006, S. 189). Die vierte Teilkompetenz (*Bewerten, Entscheiden und Reflektieren*) beschreibt das systematische Vergleichen und das Abwägen der zuvor aufgestellten Handlungsoptionen anhand von Entscheidungsstrategien. Die SuS müssen hierfür Entscheidungsstrategien kennen und ein Metastrategiewissen über Bewertungen und Entscheidungen aufbauen (Eggert & Bögeholz, 2006, S. 190). Im Dreiphasen-Metamodell von Betsch und Haberstroh (2005) entspricht diese Teilkompetenz der selektionalen Phase (Sander, 2017, S. 90, Eggert & Bögeholz, 2006, S. 190).

In Abbildung 11 sind die Teilkompetenzen des Göttinger Modells der Bewertungskompetenz im Kontext nachhaltiger Entwicklung dargestellt.

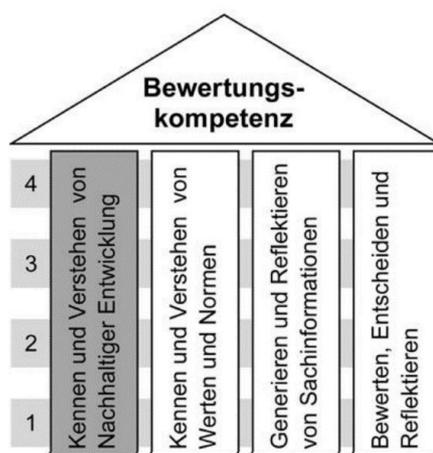


Abbildung 11 – Göttinger Modell der Bewertungskompetenz im Kontext nachhaltiger Entwicklung. Die Bewertungskompetenz setzt sich aus den vier dargestellten Teilkompetenzen zusammen, die Graduierung der Bewertungskompetenz findet durch eine Einordnung in die Kompetenzniveaustufen 1,2,3 und 4 statt (aus Eggert & Bögeholz, 2006, S. 189).

Man erkennt in Abbildung 11 zudem die Kompetenzniveaustufen (1,2,3 und 4) anhand derer sich die jeweiligen Teilkompetenzen im Göttinger Modell graduieren lassen. Die Zuordnung zu einer Kompetenzniveaustufe ist dabei u.a. von den verwendeten Entscheidungsstrategien abhängig. Die unterste Niveaustufe ist

dabei die Verwendung einer intuitiven und spontane Entscheidungsstrategie, worauf die non-kompensatorische Entscheidungsstrategie folgt. Dann folgt die Mischstrategie aus non-kompensatorisch und kompensatorisch, woraufhin die höchste Niveaustufe bei der Verwendung von kompensatorischen Strategien erreicht ist (Sakschweski, 2013, S. 28f., nach Eggert & Bögeholz, 2010, S. 234f.). Diese Graduierungsüberlegungen bei Entscheidungsstrategien sind in Abbildung 12 dargestellt.

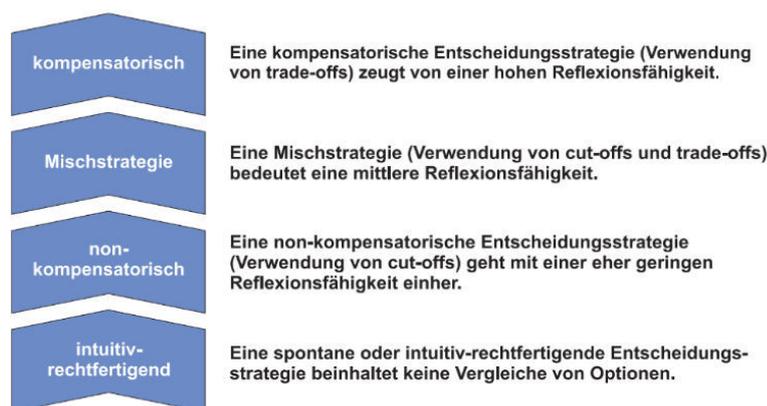


Abbildung 12 – Graduierungsüberlegungen bei Entscheidungsstrategien zur Teilkompetenz „Bewerten, Entscheiden und Reflektieren“ des Göttinger Modells der Bewertungskompetenz im Kontext nachhaltiger Entwicklung (aus Sakschewski, 2013, S. 29, nach Eggert & Bögeholz, 2010).

Da die Qualität der Teilkompetenzen beim Göttinger Modell auch anhand Kompetenzniveaustufen graduiert wird, handelt es sich nicht nur um ein *Kompetenzstrukturmodell*, sondern zugleich auch um ein *Kompetenzniveaumodell* (Sander, 2017, S. 89). Die einzelnen Niveaus sind in Tabelle 7 erläutert, wobei Niveau 1 das niedrigste Kompetenzniveau und Niveau 4 das höchste Kompetenzniveau ist.

Tabelle 7: Kompetenzniveaustufen der Teilkompetenz „Bewerten, Entscheiden und Reflektieren“ des Göttinger Modell der Bewertungskompetenz (aus Sander, 2017, S. 92, nach Bögeholz, 2007, S. 216)

Niveau	Die Schülerinnen und Schüler. ...
1	... bewerten und entscheiden intuitiv, ohne Anwendung von Entscheidungsstrategien. Sie wählen eine Option auf Basis von Alltagsvorstellungen aus und/oder berücksichtigen dabei maximal 1 Kriterium.
2	... berücksichtigen mindestens 2 relevante Kriterien und vergleichen gegebene Optionen teilweise kriteriengeleitet. Die Entscheidung wird unvollständig dokumentiert, die Entscheidung erfolgt v.a. non-kompensatorisch.
3	... berücksichtigen mindestens 3 relevante Kriterien und vergleichen gegebene Optionen vollständig kriteriengeleitet. Die Entscheidung wird vollständig dokumentiert, entscheiden situationsangemessen kompensatorisch bzw. kombiniert non-kompensatorisch / kompensatorisch.
4	... können zusätzlich zu Niveau 3 die Grenzen der Anwendung von Entscheidungsstrategien erkennen.

Modell zur ethischen Urteilskompetenz für bio- und medizinische Fragen

Das Modell zur ethischen Urteilskompetenz für bio- und medizinische Fragen bezieht sich insbesondere auf ethische Fragestellungen aus Biologie und Medizin. Das Modell umfasst acht, über Niveaustufen konkretisierte, Teilkompetenzen (siehe Abbildung 13). Argumentieren und Perspektivwechsel nehmen eine zentrale Rolle beim Urteilsprozess ein, weshalb diese Teilkompetenzen während aller anderen Teilkompetenzen stattfinden (Bögeholz et al., 2018, S. 268).

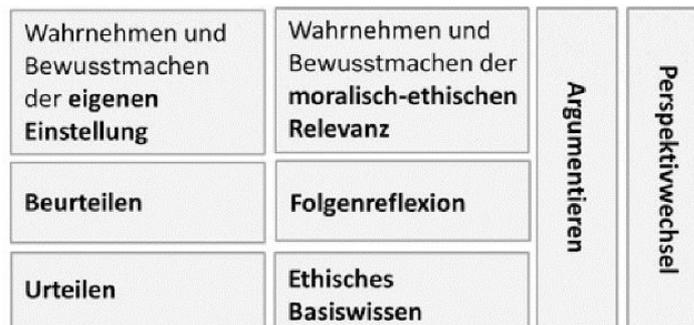


Abbildung 13 – Modell zur ethischen Urteilskompetenz für bio- und medizinische Fragen (nach Bögeholz et al., 2018, S. 268).

Auf dieses Modell wird nicht näher eingegangen, da es weniger für Kontexte nachhaltiger Bildung wie SSI ausgelegt ist. Da im gesamten Bewertungsprozess das Argumentieren und der Perspektivwechsel eine zentrale Rolle spielen, sollten diese zur Förderung der Bewertungskompetenz angeregt werden.

ESNaS-Modell

Zur Evaluation der Bildungsstandards von 2004 wurde im Rahmen des *Projekts zur Evaluation der Standards in den Naturwissenschaften für die Sekundarstufe I* (ESNaS) ein Gesamtmodell für alle Kompetenzbereiche des Bildungsstandards in den Naturwissenschaften entwickelt. 2012 wurden die Kompetenzbereiche Fachwissen und Erkenntnisgewinnung evaluiert, 2018 die Kompetenzbereiche Kommunikation und Bewerten (Sakschweski, 2013, S. 22f.). Das ESNaS-Modell für die Bewertungskompetenz ist nach Bögeholz et al. (2018) ein dreidimensionales Modell, nach denen die Anforderungen an Testaufgaben zur Evaluation entwickelt werden können. Diese Anforderungen müssen zwei Dimensionen, Komplexität und kognitiven Anforderungen, genügen, wobei sich die Komplexität auf die „unterschiedliche Anzahl zu berücksichtigender Fakten und deren Verknüpfung bezieht [und die kognitiven Anforderungen] mit ansteigendem Schwierigkeitsgrad das Reproduzieren, Selektieren, Organisieren und Integrieren von Informationen“ (S. 269) aufgreifen.

Die Abbildung 14 illustriert das ESNaS-Modell für Bewertungskompetenz.

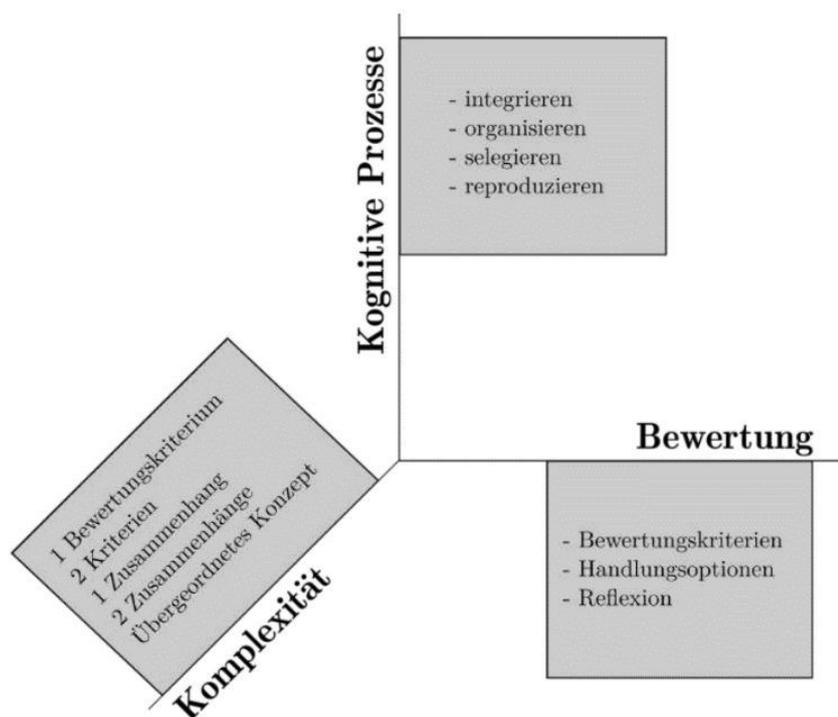


Abbildung 14 – Domänenunspezifisches ESNaS-Modell für Bewertungskompetenz (nach Sander, 2017, S. 94, angelehnt an Hostenbach et al., 2011).

Die dritte Dimension ist die eigentliche Bewertungskompetenz, welche sich inhaltlich in die drei, in Tabelle 8 erläuterten, Teilkompetenzen gliedert (Sander, 2017, S. 93).

Tabelle 8: Teilkompetenzen von Bewertungskompetenz im ESNaS-Modell (zitiert nach Sander, 2017, S. 93, nach Hostenbach et al., 2011)

Teilkompetenzen Bewertungskompetenz	
Bewertungskriterien	Es geht um die kognitive Erschließung der Entscheidungssituation, die Entwicklung passender Bewertungskriterien, das Zusammentragen relevanten Fachwissens und von durch die Entscheidung tangierten Normen und Werten.
Handlungsoptionen	Hier geht es um das Entwickeln von Handlungsoptionen sowie den Entscheidungsprozess selbst, wobei auf verschiedene Entscheidungsstrategien zurückgegriffen wird. Zentral ist dabei auch die Antizipation von Konsequenzen und der Einbezug verschiedener Perspektiven in den Entscheidungsprozess.
Reflexion	Eigene oder fremde Entscheidungsprozesse werden reflexiv analysiert. Diese Teilkompetenz bezieht sich auf bereits getroffene Entscheidungen.

In Tabelle 9 sind die Komplexitätsstufen dieser Teilkompetenzen dargestellt.

Tabelle 9: Komplexitätsstufen der drei Teilkompetenzen der Bewertungskompetenz im ESNaS-Modell (zitiert nach Hostenbach et al., 2011, S. 281)

	Bewertungskriterien	Handlungsoptionen	Reflexion	
Komplexität	Metaverstehen, z.B.	Metaverstehen, z.B.	Metaverstehen, z.B.	
	• Differenzierung von deskriptiven und normativen Aussagen	• Verständnis der Mehrperspektivität von Handlungen (inkl. Perspektivübernahme)	• Reflexion bzw. Evaluation eines Bewertungsprozesses unter Berücksichtigung von Zweck, Wirkung und Grenzen	
	• Wert-Norm-Relation	• Konzept der Folgenabschätzung	• Einsicht in Begründungsstrukturen sowie Gütekriterien von Begründungen	
	• Explizites Verständnis von Dilemmata	• Folgen von Handlungen auf unterschiedlichen Ebenen (Individuum, Gesellschaft)		
	V	• Zwei Beziehungen zwischen drei (alternativen, additiven, gegensätzlichen) Bewertungskriterien oder Werten r/s/o/i	• Zwei Beziehungen von Handlungsoptionen (und ihren Folgen/) r/s/o/i	• Zwei Beziehungen von Begründung und Handlungsoption (Pro- und Kontraargumente) r/s/o/i unter Bezugnahme auf
			• in Bezug auf un- oder mittelbar betroffene Personen und in Bezug auf die Gesellschaft	• zugrunde liegende Bewertungskriterien
			• kurzfristig und langfristig	• mögliche Folgen
				• unterschiedliche Perspektiven
	IV	• Eine Beziehung zwischen zwei Bewertungskriterien bzw. Sachlage und Bewertungskriterium r/s/o/i	• Eine Beziehung von zwei Handlungsoptionen (und ihren Folgen/) r/s/o/i	• Eine Beziehung von Begründung und Handlungsoption r/s/o/i unter Bezugnahme auf
			• in Bezug auf un- oder mittelbar betroffene Personen	• zugrunde liegende Bewertungskriterien
			• kurzfristig und langfristig	• mögliche Folgen
				• unterschiedliche Perspektiven
	III	• Zwei Bewertungskriterien für einen Sachverhalt r/s/o	• Zwei Handlungsoptionen für eine Situation r/s/o	• Zwei Begründungen für eine Bewertung/Alternative/Folge r/s/o
		• Ein Bewertungskriterium für einen Sachverhalt r/s	• Eine Handlungsoption für eine Situation r/s	• Eine Begründung/Alternative/Folge für eine Bewertung r/s
II				
I				

r = reproduzieren, s = selektieren, o = organisieren, i = integrieren

Das ESNaS-Modell ist nach Bögeholz et al. (2018) ein allgemeines und, im Vergleich zum Göttinger Modell und Modell für bio- und medizinethische Urteilskompetenz, ein nicht domänenspezifisches Modell und „widmet sich dem Spektrum bewertungsrelevanter Fragen von alltäglichen Entscheidungen bis hin zu komplexen „socio-scientific issues““ (Bögeholz et al., 2018, S. 269).

Eine Ähnlichkeit zum Göttinger Modell ist, dass der Fokus auf der Untersuchung von Entscheidungsstrategien liegt (Sander, 2017, S. 93) und die Anzahl der verwendeten Bewertungskriterien in einer solchen Situation einen Rückschluss auf die Qualität des Entscheidungsprozesses zulässt (Sakschweski, 2013, S. 23). Das Argumentieren wird im allgemeinen ESNaS-Modell nicht dem Bewerten zugeordnet (Sander, 2017, S. 93), sondern (bis aus dem Begründen) dem Kommunizieren (Hostenbach et al., 2011, S. 275). Ob Bewertungskompetenz, wie im ESNaS-Modell angenommen, domänenunspezifisch ist, ist empirisch umstritten (Sander, 2017, S. 95, Hostenbach & Walpuski, 2013).

4.2.5 Empfehlungen zur Förderung der Bewertungskompetenz im Unterricht

Um Bewertungskompetenz im Unterricht zu fördern, muss zuerst eine geeignete Themenstellung gefunden werden. Nach Höttecke (2013a) sind die in Tabelle 10 dargestellten Kriterien hierfür maßgebend.

Tabelle 10: Kriterien für Themenstellungen zur Förderung der Bewertungskompetenz (nach Höttecke, 2013a, S. 12).

Kriterien für Themenstellungen zur Förderung der Bewertungskompetenz
Fachlich eingrenzbar Sinnhaft Interessant Bezüge zum Handeln der SuS Eindeutige Bezüge von Fachinhalten zu Urteilsfragen Offene Urteile und Entscheidungen Ausgewogenes Verhältnis von Fachinhalt und Urteilsfrage

Diese Kriterien ähneln den Kriterien für SSI, weshalb sich SSI als Themenstellungen zur Förderung der Bewertungskompetenz eignen. Um Bewertungskompetenz in Aufgabenstellungen zu fördern, sollte man nach Wodzinski (2013b) kontextorientierte Aufgaben wählen und somit den physikalischen Inhalt in einen Alltagskontext einbetten (S. 18).

Wodzinski (2013b) formuliert die in Tabelle 11 dargestellten Anregungen zur Konstruktion von Aufgaben zur Förderung von Bewertungskompetenz im Unterricht, die sich in drei Klassen gliedern lassen.

Tabelle 11: Anregungen zur Konstruktion von Aufgaben zur Förderung der Bewertungskompetenz (zitiert aus Wodzinski, 2013b, S. 18).

Anregungen zur Konstruktion von Aufgaben zur Förderung der Bewertungskompetenz	
Aufgabenart	Inhalt
Fremde Bewertungen analysieren	<ul style="list-style-type: none"> • Aussagen in „naturwissenschaftlich- nicht naturwissenschaftlich sortieren • Aussagen auf fachliche Substanz prüfen • Aussagen in „sachbezogen – werte- und normbezogen – interessenbezogen“ sortieren • Argumente in pro und contra unterscheiden • Bedeutung von naturwissenschaftlichen Argumenten beurteilen Materialbeispiele: öffentliche Medien, Leserbriefe, Internetforen
Eigene Bewertungen vorbereiten	<ul style="list-style-type: none"> • Unterschiedliche Perspektiven benennen • Argumente recherchieren • Alternative Lösungen vergleichen • Mögliche Folgen bedenken • Kriterienliste für Bewertungen erstellen • Argumente vorgegebener Kriterien zuordnen
Bewertungen formulieren	<ul style="list-style-type: none"> • Argumente abwägen • Entscheidungen rechtfertigen • Entscheidungen adressatengerecht mitteilen

Zur Förderung der Bewertungskompetenz haben sich die Unterrichtsmethoden *Planspiel* und *Pro- und Contra-Diskussion* und die Methodenwerkzeuge *Argumente-Kommode* und der *Urteilskreislauf* empirisch bewährt (Wodzinski, 2013b, Schecker & Höttecke, 2021, Wodzinski & Werkmeister, 2013, Knittel & Mikelskis-Seifert, 2013).

Unterrichtsmethode: Planspiel

Eine komplexe und herausfordernde Unterrichtsmethode zur Förderung vieler Aspekte der Bewertungskompetenz von SuS ist die Methode *Planspiel*. Planspiele zeigen nach Wodzinski (2013b) die Bedeutung und die Grenzen von naturwissenschaftlichen Kenntnissen, Methoden und Betrachtungsweisen bei der Untersuchung realer, komplexer Problemstellungen auf, wodurch sich ihre Daseinsberechtigung im Physikunterricht ergibt. SuS betrachten reale Problemstellungen multiperspektivisch, in dem sie verschiedene Rollen (z.B. von Institutionen, Interessengruppen oder Entscheidungsträgern in Politik, Wirtschaft oder Wissenschaft) simuliert einnehmen, hierdurch einen gesellschaftlichen Entscheidungsfindungsprozess erleben und diesen auf einer Metaebene reflektieren können: „Gegenstand eines Planspiels ist eine Situation, in der verschiedene Interessengruppen miteinander kooperieren müssen, um eine für alle Beteiligten akzeptable Entscheidung zu treffen. [...] Ist der Gegenstand des Planspiels an komplexeren gesellschaftlichen Fragestellungen orientiert, bietet sich für die Durchführung eine Kooperation mit Lehrkräften anderer Fächer an“ (S. 13). Die Zielsetzung in einem Planspiel ist also, unter Berücksichtigung und Einbeziehung verschiedener, kontroverser Interessen, einen Konsens zu finden.

Planspiele können auch dazu dienen Quellen, durch digitale Medien insbesondere Internetquellen, anhand von Bewertungskriterien zu bewerten (Wodzinski, 2013b, S. 13), um so die Plausibilität der verwendeten Argumentation abzuschätzen. In Tabelle 12 sind Bewertungskriterien für Internetquellen dargestellt.

Eine weitere Möglichkeit ein Rollen- bzw. Planspiel vorzubereiten und es zu reflektieren, stellt das bereits vorgestellte Methodenwerkzeug *Argumente-Kommode* dar (Schecker & Höttecke, 2021, S. 494ff.).

In der Reflektionssphase eines Planspiels sollten nach Höttecke & Hartmann-Mrochen (2013) die in Tabelle 13 dargestellten zentrale Aspekte thematisiert werden.

Tabelle 12: Bewertungskriterien für Internetquellen (zitiert aus Wodzinski, 2013b, S. 14, nach Onlinekurslabor, o.J.).

Bewertungskriterien für Internetquellen	
Kriterium	Fragen zum Kriterium
Autor	<ul style="list-style-type: none"> Ist der Autor des Textes angegeben? Sind die Interessen des Seitenbetreibers erkennbar die die Auswahl oder Betonung bestimmter Sachverhalte nahelegen?
Adresse der Seite	<ul style="list-style-type: none"> Von wem wurde die Internetseite veröffentlicht? Handelt es sich um die offizielle Publikation einer anerkannten Organisation? Sind die Kontaktdaten (Adresse, Telefonnummer) angegeben? Lässt der Servername auf den Namen einer Behörde, Firma oder öffentlichen Institution schließen?
Veröffentlichungszweck	<ul style="list-style-type: none"> Mit welchem Zweck/aus welchem Anlass wurde die Information veröffentlicht? Welche Zielgruppe soll angesprochen werden?
Äußere Aufmachung	<ul style="list-style-type: none"> Ist die Aufmachung der Seite seriös (Farbe, Layout, Gestaltung)? Ist auf der Seite Werbung zu finden? Welche? Ist Sie deutlich vom Inhalt der Seite getrennt?
Aktualität und Kontinuität	<ul style="list-style-type: none"> Wann wurde die Seite zuletzt inhaltlich überarbeitet? Welchen Stand haben die Informationen? Ist die Internetseite längerfristig verfügbar?
Schreibstil	<ul style="list-style-type: none"> Ist das Dokument sachlich, neutral und objektiv geschrieben? Werden sprachliche Mittel benutzt, um den Leser zu beeinflussen? Ist die Seite sprachlich korrekt?
Inhalt/ sachliche Richtigkeit	<ul style="list-style-type: none"> Lassen sich Aussagen überprüfen? Ist die Information plausibel? Stimmt sie mit Informationen aus anderen Quellen überein? Auf welche Quellen wird verwiesen, welche werden zitiert? Wohin führen die Links?
Referenzen	<ul style="list-style-type: none"> Gibt es andere Dokumente, die sich auf das gefundene Dokument beziehen? Von welchen Seiten wird auf die gefundene Seite verlinkt? Verweist das Dokument auf andere Quellen? Funktionieren die Links und sind sie aktuell? Gibt es Kommentare von Nutzern (bzgl. Qualität, Zuverlässigkeit, ...)?

Tabelle 13: Zentrale Aspekte in der Reflexionsphase eines Planspiels (zitiert aus Höttecke & Hartmann-Mrochen, 2013, S. 33).

Zentrale Aspekte in der Reflexionsphase eines Planspiels	
Aspekt	Fragen, die die SuS beantworten sollen
Rolle von Einigkeit und Uneinigkeit	<ul style="list-style-type: none"> Wurde das Ergebnis so ausgehandelt, dass Konsens erzielt wurde?
Rolle von Interessen und Macht	<ul style="list-style-type: none"> Hat sich jemand durchgesetzt? Wenn ja, wie? Mit Argumentieren, oder weil die Rolle mit Macht und Reputation ausgestattet war?
Handlungsoptionen erkennen und erweitern	<ul style="list-style-type: none"> Sind Handlungsoptionen von allen Rollen wahrgenommen und eventuell auch erweitert worden? Ist man also auf neue Möglichkeiten gekommen?
Fähigkeit und Bereitschaft zur Perspektivübernahme	<ul style="list-style-type: none"> Haben die Rollenspieler nur ihre eigene Rolle und deren Argumente wahrgenommen oder haben sie sich auch auf andere Rollen ein oder sogar in die hineinversetzen können?
Rolle von hinter Argumenten wirkendem Sachwissen, Normen & Werte, Interessen	<ul style="list-style-type: none"> Welche Hauptargumente wurden verwendet und was hat sie stark gemacht?
Bewertungsstrategie	<ul style="list-style-type: none"> Haben die Rollenspieler ihre Positionen ad hoc/intuitiv oder eher auf kritisches Nachdenken und Entscheidungs-Finden gegründet?

Methodenwerkzeug: Urteilskreislauf

Knittel & Mikelskis-Seifert (2013) entwickelten und erprobten den in Abbildung 15 dargestellten sechsstufigen Urteilskreislauf für den Physikunterricht, mit dem SuS ein Hilfsmittel für kompensatorische Bewertungen haben. Der Urteilskreislauf macht Strukturen von Entscheidungsprozessen für SuS sichtbar und gibt ihnen zugleich eine Strukturierungshilfe (Höttecke, 2013a, S. 9).

Urteilskreislauf für kompensatorische Bewertungen im Physikunterricht

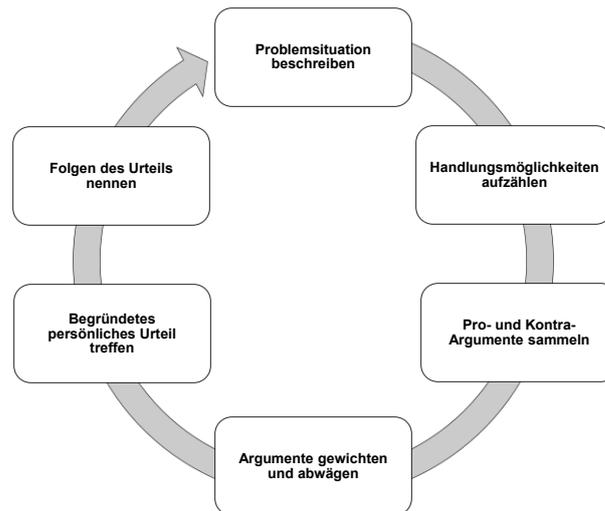


Abbildung 15 – Urteilskreislauf für kompensatorische Bewertungen im Physikunterricht (adaptiert nach Knittel & Mikelskis-Seifert, 2013, S. 24).

Unterrichtsmethode: Pro-und-Contra-Diskussion

Eine Pro-und-Contra-Diskussion ist eine weitere Unterrichtsmethode zur Förderung der Bewertungskompetenz. Diese kann z.B. in oder im Anschluss an ein Rollenspiel stattfinden (Wodzinski, 2013b, S. 15). Bei einer Pro-und-Contra-Diskussion werden Argumente für und Argumente gegen eine Maßnahme oder einen Sachverhalt benannt und diskutiert. Während es bei einem Planspiel darum geht kontroverse Interessen simultan zu berücksichtigen und demokratisch zu einem Konsens zu kommen, geht es bei einer Pro-und-Contra-Diskussion eher darum die anderen Teilnehmer der Diskussion von der eigenen Position und den damit verbundenen Argumenten zu überzeugen (Wodzinski, 2013b, S. 15).

Je nach Komplexität des diskutierten Sachverhalts können Pro-und-Contra-Diskussionen methodisch variabel im Unterricht umgesetzt werden: „Ist das Thema überschaubar, können sich Schülerinnen und Schüler das Fachwissen weitgehend selbstständig erarbeiten und entsprechende Argumente (fachbezogen oder darüber hinaus) formulieren. Alternativ kann man [Argumente] vorgeben, die nur noch sortiert und gewichtet werden müssen“ (Wodzinski, 2013b, S. 15).

Für die Förderung der Bewertungskompetenz ist nicht nur die Durchführung einer Pro-und-Contra-Diskussion wichtig, sondern insbesondere eine Reflexion der Diskussion auf einer Metaebene (Wodzinski, 2013b, S. 15). Nach Wodzinski (2013b) empfehlen sich dafür die in Tabelle 14 dargestellten Leitfragen.

Tabelle 14: Leitfragen für die Reflexion einer Pro-und-Contra-Diskussion (nach Wodzinski, 2013b, S. 15).

Leitfragen für die Reflexion einer Pro-und-Contra-Diskussion
<ol style="list-style-type: none"> 1. Wer hat sich in der Diskussion durchgesetzt und aus welchem Grund? 2. Welche Rolle haben sachliche Argumente gespielt? 3. Wie könnte man für die eigene Position noch überzeugender werben? 4. Inwieweit war die Diskussion realistisch?

Die SuS sollen somit neben dem inhaltlichen Argumentieren auch eine beobachtende Rolle einnehmen und nach der Diskussion den kommunikativen Argumentationsprozess auf einer Metaebene reflektieren.

4.3 Wertebildung

4.3.1 Normen, Werte, Einstellungen

Eine *Norm* ist nach Thome (2019) eine „formal explizierte oder informal vorliegende, mit Sanktionspotenzial versehende Regel, die, bezogen auf einen bestimmten situativen oder institutionellen Kontext, ein spezifisches Handeln vorschreib[t] oder untersag[t]“ (S. 57) und somit zu einer gesellschaftlich-stabilen Ordnung beiträgt. Es handelt sich also um konkrete Handlungsvorschriften. In der Soziologie sind nach Thome (2019) zwei Definitionen des Begriffs *Wert* bekannt. Zum einen werden Werte „ausgelegt im Sinne einer Werthaftigkeit, die empirisch zugänglichen „Objekten“ direkt zugeordnet werden kann“ (S. 48) und zum anderen als erstrebenswerte Zielvorstellungen für etwas Wünschenswertes, wobei sich letztere durchgesetzt hat (Thome, 2019, Wurthmann, 2021). Werte sind von *Einstellungen* abzugrenzen: Werte sind stabiler und unterliegen im Gegensatz zu Einstellungen nicht so vielen Schwankungen (Wurthmann, 2021). Zudem besitzen Werte einen normativen Anspruch und beziehen sich nicht nur auf einzelne Individuen, sondern auf eine Wertegemeinschaft (Thome, 2019, S. 57). Werte dienen nach Thome (2019) dazu eine Norm, ohne das in ihr enthaltende Sanktionspotenzial zu nutzen, zu legitimieren. Stattdessen sollen Menschen motiviert werden ihr Handeln an den Werten aufgrund deren „inspirierende[r] Kraft der Werthaftigkeit selbst“ (S. 57) zu orientieren.

Normen und Werte sind für den Zusammenhalt von Gesellschaften und den hierin befindlichen politischen und sozialen Systemen unerlässlich (Wurthmann, 2021). Normen werden zur Aufrechterhaltung einer Ordnung in einer Gesellschaft mit partikularistischen Wertpluralismus benötigt (Thome, 2019, S. 57f.). Normen und Werte bilden sich in einem Menschen fortlaufend und lebenslang (Thome, 2019), wobei Hirnforschungen gezeigt haben, dass sich bei Menschen der für das Werteverhalten zuständige Gehirnteil erst in der Pubertät ausbildet (Hackl, 2011).

4.3.2 Schulische Wertebildung

Wertebildung ist nach Schubarth (2019) ein zentraler Bestandteil und Zielsetzung des schulischen Bildungs- und Erziehungsauftrags, woraus sich das Konzept der schulischen Wertebildung abgeleitet hat: „Unter *schulischer Wertebildung* verstehen wir die Gesamtheit der pädagogisch initiierten Auseinandersetzung mit und Reflexion von Werten sowie das subjektive Erleben und Aneignen von Werten innerhalb der Institution Schule“ (S. 80, nach Schubarth, 2010).

Die Zielsetzung schulischer Wertebildung umfasst nach Schubarth (2019) neben der Vermittlung von Werten auch die Entwicklung von moralischer Urteils- und Entscheidungsfähigkeit, der sogenannten *Wertekompetenz*. Diese ist in der heutigen und einer zukünftigen wertpluralistischen Gesellschaft unabdingbar, SuS müssen hierzu folgende Fähigkeiten erwerben: „Anerkennung von Wertpluralismus auf der Basis allgemeingültiger Werte des friedlichen Zusammenlebens von Menschen, Erkennen von Gemeinsamkeiten in unterschiedlichen Wertetraditionen und Empathiefähigkeit zur Überwindung des eigenen, begrenzten Horizontes und zum Verständnis für das Leben und die Wertvorstellungen anderer Menschen“ (S. 80).

Schule ist nach Schubarth (2019) kein wertefreier Raum und hat eine Integrations- und Sozialisationsfunktion durch die sie zur „Reproduktion von Werten und Normen zur Stabilität des politischen Systems“ (S. 82) beitragen soll. Die Förderung von Wertekompetenz ist eine domänenunspezifische „Querschnittsaufgabe“ (S. 81) für alle Unterrichtsfächer und somit auch für das Fach Physik.

Grundmodell schulischer Wertebildung

Der Bedarf an schulischer Wertebildung ist nach Schubarth (2019) gestiegen, während zugleich viele Lehrkräfte mit dieser Aufgabe überfordert sind. Trotzdem bietet die Schule als „pädagogisch zu gestaltender Lern- und Erfahrungsraum mit

einem klaren Erziehungsauftrag“ (S. 83) Potenziale zur Wertebildung, die man in direkte und indirekte Wertebildung differenziert: „Während indirekte Formen den wertebildenden sozial-kommunikativen Erfahrungsraum von Schule hervorheben, stellen direkte Formen gezielte wertebildende Maßnahmen dar“ (S. 83). Erst auf Basis der Schule als „Werte- und Erfahrungsraum [...] können gezielt direkte Förderansätze [...] ihre Wirkung entfalten“ (S. 84). Diese Differenzierung bildet das in Abbildung 16 dargestellte Grundmodell schulischer Wertebildung.

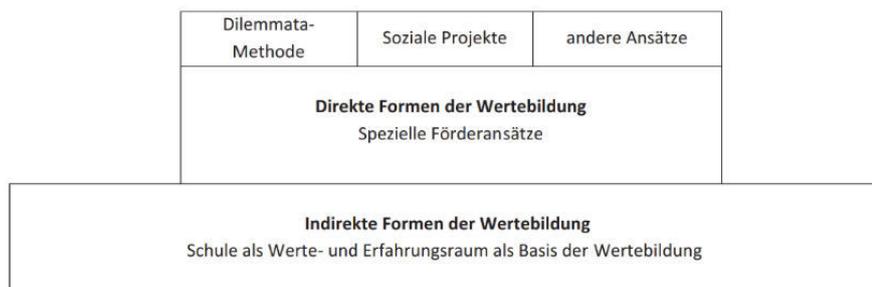


Abbildung 16 – Grundmodell schulischer Wertebildung (aus Schubarth, 2019, S. 84).

4.3.3 Förderung Schulischer Wertebildung

Zur Wirksamkeit schulischer Wertebildung sind die Schaffung einer gemeinsamen Wertebasis mit den Eltern, die Einbeziehung und Unterstützung außerschulischer Partner und eine demokratisch-partizipative Schulkultur essenziell (Schubarth, 2019, S. 86). Somit ist auch Demokratiebildung im Unterricht für die Förderung schulischer Wertebildung relevant. Schubarth (2019) verallgemeinert, dass „Qualitätsmerkmale einer „guten Schule“ und eines „guten Unterrichts“ [und] alle pädagogischen Ansätze zur Förderung der Persönlichkeitsentwicklung“ (S. 86) Bedingungen für schulische Wertebildung darstellen.

Modelle und Ansätze zur Förderung schulischer Wertebildung

Nach dem *romantischen Modell* der Werteerziehung kommt es bei Menschen/Kindern zu einer Selbstbildung in ihrem Reifungsprozess, während das *technologische Modell* von Lehrbarkeit und der Weitergabe von Werten durch Instruktionen, Übung und Vorbilder (z.B. Lehrpersonen) im Sinne einer materiellen Wertevermittlung ausgeht. Das *konstruktivistische Modell* geht von einer formalen Wertevermittlung durch die moralische Entwicklung nach dem Stufenmodell von Kohlberg aus. Es geht hier um ein ethisch-moralisches Erlernen durch Auseinandersetzung mit Dilemmasituationen oder speziellen Beispielen (Hackl, 2011, S. 20). Wertebildung findet auch durch Modelllernen implizit statt. So vermittelt und repräsentiert die Lehrperson in Ihrer Rolle als Vorbild, als erziehende Person und zugleich als Mensch implizit Werte, die explizit thematisiert und

reflektiert werden sollten. Auch die Lehrperson muss deshalb über Wertekompetenz besitzen (Hackl, 2011, S. 23). Schubarth (2019) konkretisiert: Zur Förderung der schulischen Wertebildung nach dem romantischen Ansatz, soll den SuS ihr individuelles Wertemuster durch Wertklärungsverfahren klar werden. Nach dem technologischen Ansatz sollen SuS Werte durch Übung erlernen und übernehmen, wobei hierbei immer eine kritische Reflexion stattfinden muss, da sonst die Gefahr einer „indoktrinierten Erziehung“ (S. 87) besteht. Der konstruktivistische Ansatz setzt auf eine aktive Auseinandersetzung mit den eigenen Werten und der Umwelt und auf eine moralische Urteilsfähigkeit, z.B. durch einen Wertediskurs oder die Konstanzer-Methode für Dilemmasituationen. Nach Schubarth (2019) hat sich zudem ein *handlungsorientierter Ansatz* durchgesetzt, der schulische Wertebildung durch eine Reflexion von sozialen Tätigkeiten und Engagement im Sinne von Service-Learning fördert. Hier hat sich neben dem Service-Learning auch Demokratiebildung im Unterricht durchgesetzt, z.B. durch das „partizipative Lernarrangement“ (S. 89) Klassenrat. Nach Hackl (2011) hat auch die Schulkultur Einfluss auf die schulische Wertebildung (S. 22f.). Insgesamt hat sich nach Schubarth (2019) zur Wertebildung empirisch die „Verknüpfung des Erwerbs von Werturteilsfähigkeit mit der Reflexion und Einübung praktischer Tätigkeiten“ (S. 92) durchgesetzt. Wertebildung ist nach Hack (2011) im Unterricht nur dann wertebildend, wenn Werte (z.B. in Kontexten) als solche thematisiert und reflektiert werden.

Durch die Förderung von Agency und der ihr zugrundeliegenden Bewertungskompetenz kann also schulische Wertebildung gefördert werden. Zugleich müssen SuS für die Bildung einer Agency auch eine Wertekompetenz erwerben, wobei der handlungsorientierte Ansatz hierzu am besten passt.

4.4 Handeln

4.4.1 Handlungs- und Gestaltungskompetenz

Handlungskompetenz wird von der KMK für die Berufsschule verstanden „als die Bereitschaft und Befähigung des Einzelnen, sich in beruflichen, gesellschaftlichen und privaten Situationen sachgerecht durchdacht sowie individuell und sozial verantwortlich zu verhalten“ (KMK, 2021, S. 15). Für die allgemeinbildenden Schulen wird jedoch keine explizite Handlungskompetenz formuliert.

Ein Vorläufer des OECD-Lernkompass-Konzepts zur Student Agency stellt das Modell zur Gestaltungskompetenz von de Haan (2008) dar. Als

Gestaltungskompetenz wird demnach „die Fähigkeit bezeichnet, Wissen über nachhaltige Entwicklung anwenden und Probleme nicht nachhaltiger Entwicklung erkennen zu können. Das heißt, aus Gegenwartsanalysen und Zukunftsstudien Schlussfolgerungen über ökologische, ökonomische und soziale Entwicklungen in ihrer wechselseitigen Abhängigkeit ziehen und darauf basierende Entscheidungen treffen, verstehen und individuell, gemeinschaftlich und politisch umsetzen zu können, mit denen sich nachhaltige Entwicklungsprozesse verwirklichen lassen“ (S. 31). Es ist also eine Art verantwortungsbewusste Handlungs- und Bewertungskompetenz, deren Fokus eine nachhaltige Entwicklung ist.

Nach dem Modell von de Haan (2008) setzt sich die Gestaltungskompetenz aus zehn Teilkompetenzen zusammen, die den Schlüsselkompetenzen der OECD aus und den Teilkompetenzen der KMK-Handlungskompetenz zugeordnet werden können, wie in Tabelle 16 dargestellt.

Tabelle 16: Teilkompetenzen von Gestaltungskompetenz in Bezug zu den Schlüsselkompetenzen der OECD und den KMK-Handlungskompetenzen (aus de Haan, 2008, S. 32, KMK, 2021, S. 15, OECD, 2020, S. 18ff.).

Teilkompetenz der Gestaltungskompetenz	Schlüsselkompetenz der OECD	Handlungskompetenz der KMK
T1 Weltoffen und Perspektiven integrierend Wissen aufbauen	Interaktive Anwendung von Medien und Mitteln	Fach- und Methodenkompetenz
T2 Vorausschauend denken und handeln		
T3 Interdisziplinäre Erkenntnisse gewinnen und handeln		
G1 Gemeinsam mit planen und handeln können	Interagieren in interaktiven Gruppen	Sozialkompetenz
G2 An Entscheidungsprozessen partizipieren können		
G3 Andere motivieren können, aktiv zu werden		
E1 Die eigenen Leitbilder und die anderer reflektieren können	Eigenständiges Handeln	Selbstkompetenz
E2 Selbstständig planen und handeln können		
E3 Empathie und Solidarität Benachteiligte zeigen		
E4 Sich motivieren können, aktiv zu werden		

Die Teilkompetenzen sind in de Haan (2008) nachlesbar, zusammenfassend kann man aber sagen, dass Bewertungs- und Handlungskompetenz als ein Teil der breit gefassten Gestaltungskompetenz aufgefasst wird. de Hann (2008) betont das aktive Handeln und nicht-kognitive Aspekte, wie motivationale und volitionale Handlungsprozesse zur Gestaltung ihrer Zukunft im Rahmen einer nachhaltigen Entwicklung (Sander, 2017, S. 17, nach de Haan, 2008).

4.4.2 Bildung nachhaltiger Entwicklung, Transformatives Lernen, Service-Learning

Bildung nachhaltiger Entwicklung (BNE)

Die BNE stellt aus politischer und bildungstheoretischer Sicht ein Leitbild für den (naturwissenschaftlichen) Unterricht dar, das eine Urteils- und eine darüber (im Sinne einer Agency) hinausgehende Handlungskompetenz auf Grundlage der normativen Kernidee der intra- und intergenerationalen Gesellschaft fördern soll (Sander, 2017, S. 15ff.). Nach Sander (2017) beschäftigt sich die BNE im Wesentlichen mit Umweltproblemen, Ressourcenproblemen und mit gesellschaftlich-sozialen Problemen. So wird durch die BNE versucht „die Grundbedürfnisse jetzt lebender sowie zukünftig lebender Menschen zu berücksichtigen und die gesellschaftliche und technische Entwicklung so zu gestalten, dass diese gleichsam erfüllt werden können“ (S. 15). Im Sinne eines gesamtinstitutionellen Ansatzes wurde von der UNESCO der *Whole Institution Approach*, die Verankerung von Nachhaltigkeit in allen Bildungseinrichtungen, festgelegt (Blum et al. 2011, S. 21).

Transformatives Lernen

Die Grundannahme der transformativen Lerntheorie ist, dass Menschen im Verlauf ihres Lebens ihre Bedeutungsperspektiven (Sichtweisen) auf sich selbst und auf die Umwelt verändern (können). Transformatives Lernen bezeichnet dann einen Prozess, in dem die zuvor unkritisch hinterfragten Bedeutungsperspektiven und Handlungsmuster erkannt, kritisch reflektiert und schließlich verändert werden, um dadurch eine tiefgreifende Veränderung von Selbst- und Wertverständnissen anzuregen (Blum et al., 2011, S. 15). Nach Mezirow gibt es zehn Phasen des transformativen Lernens, wobei nicht jede Phase und auch nicht in der Reihenfolge in einem transformativen Lernprozess enthalten sein muss (Blum et al., 2011, S. 16, nach Mezirow, 1991). Die zehn Phasen sind in Abbildung 17 dargestellt.

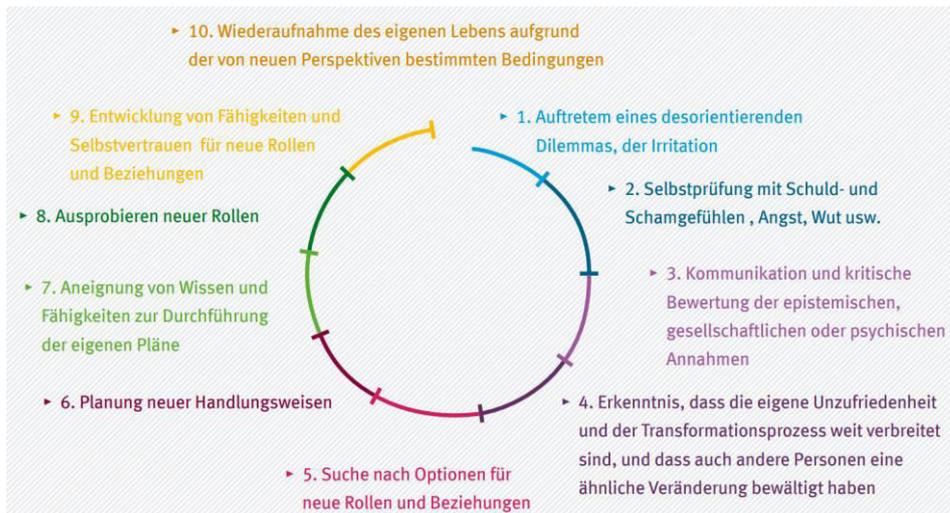


Abbildung 17 – Phasen des transformativen Lernprozesses nach Mezirow
(aus Blum et al., 2011, S. 16).

Transformative Lernprozesse hängen eng mit der Selbstorganisation des Individuums ab, weshalb sie grundsätzlich pädagogisch nicht steuer- oder kontrollierbar sind. Um selbstorganisierte und transformative Lernprozesse pädagogisch zu begleiten, empfiehlt es sich, bedeutsame Themen nachhaltiger Entwicklung im Unterricht zu behandeln und eine vertrauensvolle Lernumgebung zu schaffen (Blum et al., 2011, S. 17).

Service- Learning

Als Service-Learning wird eine Lehrform bezeichnet, „in der gesellschaftliches Engagement von jungen Menschen mit dem (über)-fachlichen Lernen in der Schule verknüpft wird. Ihr Engagement ist dabei Teil der schulischen Aktivitäten, wird von schulischen Lernbegleiter*innen begleitet und findet in einer engen Zusammenarbeit mit außerschulischen Kooperationspartner*innen statt“ (Blum et al., 2011, S. 18). Der Lernansatz setzt sich aus den Komponenten *Service* und *Learning* zusammen. Unter *Service* werden praktische Tätigkeiten (im Rahmen von Gruppenarbeiten zu gesellschaftlichen Themen) zu verstanden, unter *Learning* wird die Vorbereitung, Reflektion und Untermauerung von Daten im Unterricht zur Umsetzung der Tätigkeiten verstanden. Die Reflektion der Handlungserfahrung verbindet die beiden Komponenten (Blum et al., 2011, S. 18, Hofer, 2007, Sliwka, 2009).

Die Qualitätskriterien und Anregungen von Service-Learning im Unterricht sind nach Blum et al. (2011) *Realer Bedarf, Curriculare Anbindung, Reflexion, Schüler*innenpartizipation, Engagement außerhalb der Schule, Anerkennung & Abschluss* und in Abbildung 18 erläutert.



Abbildung 18 – Qualitätskriterien und Anregungen von Service-Learning im Unterricht (aus Blum et al., 2011, S. 19).

Eine Möglichkeit transformatives Lernen durch Engagement (und durch Service-Learning) bei SuS zu fördern, stellt eine sogenannte Lernwerkstatt dar. Es handelt sich hierbei um ein partizipatives Praxisprojekt, in dem SuS den Unterricht zur Vorbereitung, Aktion und Reflektion von außerschulischen Handlungen (in Zusammenarbeit mit außerschulischen Kooperationspartnern) nutzen und so durch Engagement zu einem aktiven Beitrag zur Bildung einer nachhaltigen Entwicklung beitragen können (Blum et al, 2011).

Zusammenhänge zwischen BNE, Transformativen Lernen und Service-Learning

Zusammenfassend ist Zielsetzung der BNE das transformative Lernen durch Engagement (Service-Learning) und die hierdurch entstehenden Perspektivenerweiterungen (Blum et al., 2011). Durch BNE, Transformatives Lernen und Service-Learning soll es nach Blum et al. (2011) zusammenfassend zu einer „Schaffung eines erfahrungsorientierten Lernens an realen Problemstellungen“ (S. 20) kommen. Beim Transformativen Lernen und Service-Learning liegt der Fokus auf dem „Wechselspiel zwischen Aktion und Reflektion“ (S. 20). BNE im Unterricht fördert zudem den politischen Diskurs im Rahmen einer politischen Bildung und gibt den SuS Raum für Engagement, wodurch sich die Selbstwirksamkeit der SuS stärken kann (Roncevic & Pallesche, 2021, S. 25f.).

4.4.3 (Energy-) Agency-Modell

Wie Agency konkret im Physikunterricht gefördert werden kann, ist schwer zu sagen, da es hierzu kaum Literatur gibt. Ein vielversprechendes Modell zu Energiethemen stellt das, auf dem bereits vorgestellten Entscheidungsfindungsmodell von Kortland (2003) beruhende, Energy-Agency Modell von Wyrwich et al. (2023) dar. Wyrwich et al. (2023) unterteilen die Phasen aus dem Modell von Kortland (2003) in die drei Kernaspekte *Problematisierung*, *Evaluierung* und *Durchführung* und verknüpfen diese mit notwendigen Personeneigenschaften, um diese Aspekte zu erreichen.

Problematisierung: Beim Problematisieren geht es nach Wyrwich et al. (2023) darum, das Problem und eigene Wissenslücken zum Problem zu identifizieren und Forschungsfragen abzuleiten, die durch den Unterricht beantwortet werden können. Das Problem muss hierzu definiert werden. Den SuS soll verdeutlicht werden, dass das Problematisieren ein kreativer und iterativer Prozess ist und sich das Problem und die Fragestellungen verändern können (S. 1). Für das Problematisieren sind insbesondere das Fachwissen zur Problematik und Fähigkeiten „dieses Wissen zu analysieren und daraus Fragestellungen zu entwickeln“ (S. 2), d.h. prozessbezogene Kompetenzen, von zentraler Bedeutung.

Evaluierung: Bei der Evaluierung geht es um die Untersuchung des Problems im Sinne des SSR, d.h. der Lösungsfindung von SSI. Hier liegt der Fokus insbesondere auf Bewertungskompetenz einschließlich der, den Entscheidungen zugrundeliegenden, Moral- und Wertvorstellungen. Hierdurch ist zum Evaluieren neben dem Fachwissen und den o.g. prozessbezogenen Kompetenzen auch die Einbeziehungen von Wertebildung erforderlich (Wyrwich et al., 2023, S. 2).

Durchführung: Bei der Durchführung geht es um das SSD, d.h. das neben dem Entscheiden für eine Handlungsoption unter Abwägen von Vor- und Nachteilen auch die konkrete Umsetzung der Handlungsoption in den Fokus gerät. Dies soll insgesamt zu einem *Empowerment* (Ermächtigung) der SuS beitragen. Hierzu ist neben Fachwissen, Fähigkeiten und Positionen das Herstellen eines Lebensweltbezugs zur Stärkung der Motivation und des Interesses sowie das Aufbauen eines Verantwortungsgefühls im Sinne der BNE bei SuS zielführend. Die SuS benötigen also Handlungsdispositionen (Wyrwich et al., 2023, S. 2). Es geht hier, verglichen mit den beiden anderen Aspekten, um motivationale und insbesondere volitionale Prozesse zur Handlungsumsetzung.

Das Energy-Agency- Modell wird in dieser Arbeit leicht abgewandelt, um hierdurch ein allgemeines Agency-Modell für den Physikunterricht aufzustellen: So wird zum einen das Energiefachwissen zu allgemeinem Fachwissen verallgemeinert und um eine Prozessreflexion und entsprechende Adaption der durchgeführten Handlung entsprechend der postselektionalen Phase im Drei-Phasenmetamodell von Betsch & Haberstroh (2005) erweitert. Im Rahmen der Prozessreflexion sind prozessreflektierende Kompetenzen wie Selbstregulation und eine entsprechende Adaption des aktuellen Handelns notwendig. In Abbildung 19 ist das Agency-Modell für den Physikunterricht dargestellt.

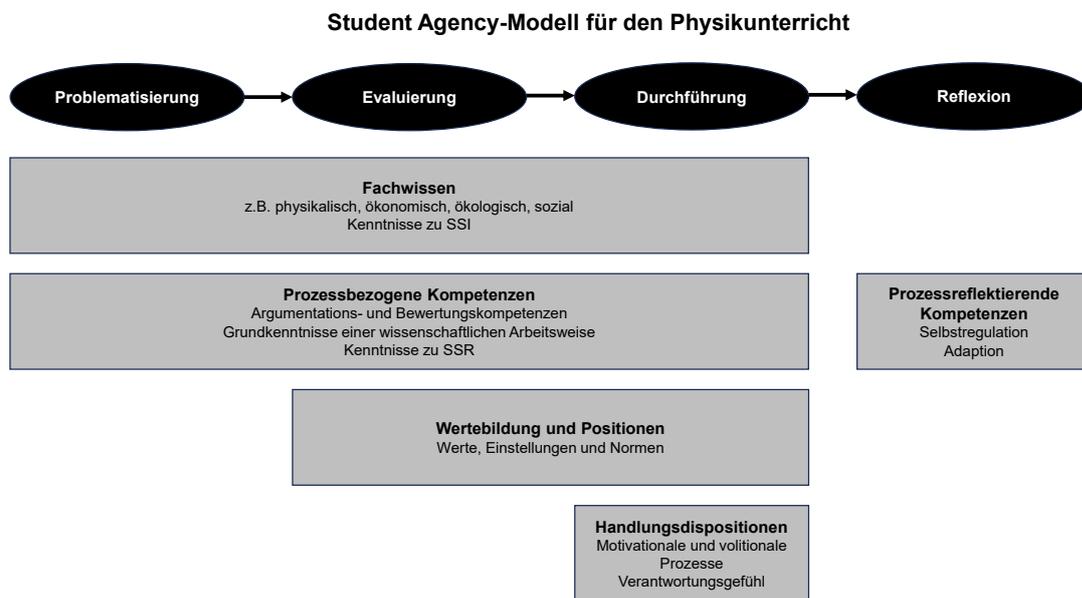


Abbildung 19 – Student Agency-Modell für den Physikunterricht
(adaptiert nach Wyrwich et al., 2023 und ergänzt nach Betsch & Haberstroh, 2005).

5. UNTERRICHTSKONZEPTION

Zuerst wird eine theoretische Ableitung aus dem Grundlagenteil für die Unterrichtskonzeption durchgeführt, woraufhin physikalische Grundlagen der Unterrichtseinheit erläutert werden und schließlich eine curriculare Einordnung stattfindet. Anschließend werden die Lern- und Kompetenzziele formuliert und die Unterrichtsstunden und Materialien literaturbasiert erläutert.

5.1 Theoretische Ableitung

Um Agency im Physikunterricht zu fördern, müssen nach dem Agency-Modell für den Physikunterricht Fachwissen, prozessbezogene Kompetenzen, Wertekompetenz, Handlungsdispositionen und prozessreflektierende Kompetenzen erworben werden (Wyrwich et al., 2023).

SuS müssen neben dem Erwerb des Fachwissens lernen Phänomene zu erklären und zu argumentieren. Zudem müssen sie Bewertungskompetenz und in diesem Zusammenhang auch Wertekompetenz erwerben. Nur so kann ein nachhaltiges und verantwortungsvolles Handeln in ihrem Umfeld erfolgen (Wyrwich et al., 2023).

Um die Struktur von Erklärungen und Argumentationen kennenzulernen, eignet sich das BBB-Modell. In diesem kann auch auf die Qualitätsmerkmale von Argumentationen eingegangen werden (Struktur, Plausibilität, Gegenargumente), zudem bietet es Differenzierungsmöglichkeiten (Kubsch & Sorge, 2021). Um Erklären zu fördern, hat sich empirisch das Methodenwerkzeug *Erklärkette* und die Methode *Rollenspiel* bewährt. Um Argumentieren zu fördern haben sich empirisch die Methodenwerkzeuge *Konzept-Cartoons* und *Teilargumentationen* bewährt.

Um verantwortungsvoll zu handeln, müssen SuS Entscheidungen treffen und benötigen hierfür Bewertungskompetenz (Sander, 2017). Um diese zu fördern, haben sich die Unterrichtsmethoden *Rollenspiel* und *Pro-und-Contra-Diskussion* sowie die Methodenwerkzeuge *Argumente-Kommode* und *Urteilskreislauf* empirisch bewährt (z.B. Schecker & Höttecke, 2021). Aus den Kompetenzstrukturmodellen geht hervor, dass Bewertungskompetenz insbesondere durch die Verwendung von Entscheidungsstrategien, Argumentationskompetenz, Multiperspektivität, Bewertungskriterien und Handlungsfolgenabschätzungen gefördert wird (z.B. Bögeholz et al, 2018).

International eng verknüpft mit der Bewertungskompetenz ist das SSD und das SSR, wobei das SSR mehr auf die Lösungsentscheidung (Bewerten) und das SSD mehr auf die Lösungsumsetzung (Entscheiden) abzielt. Um SSR und SSD zu

fördern, empfiehlt es sich eine kollaborative Rahmung des Unterrichts durchzuführen (Ben-Horin et al., 2023), das heißt die SuS arbeiten während des gesamten Unterrichts kollaborativ in Gruppen.

Um Wertekompetenz zu fördern, sollen die SuS verstehen, was Werte und Normen sind und dass diese Einfluss auf individuelle und gesellschaftliche Entscheidungen nehmen. Sie sollen Werte, Normen und Einstellungen unterscheiden können. Insbesondere sollen Werte thematisiert und reflektiert werden und eine demokratisch-partizipative Unterrichtskultur geschaffen werden. Zudem kann durch Demokratiebildung aufgezeigt werden, dass Entscheidungen in Politik und Gesellschaft auf demokratischer Grundlage stattfinden, auch wenn diese nicht unbedingt evidenzbasiert sind (Schubarth, 2019).

Damit SuS Handlungs- und Gestaltungskompetenz erwerben, sollten SuS Wissen über die nachhaltige Entwicklung und durch Bewertungskompetenz Kenntnisse zum SSD und SSR erwerben (Sander, 2017). Insbesondere sind hier motivationale und volitionale Prozesse entscheidend, so dass die SuS Handlungsdispositionen erwerben, um ihre Umwelt aktiv mitzugestalten (Wyrwich et al., 2023).

Die Förderung von Agency soll transformatives Lernen durch Engagement (Service-Learning) ermöglichen. Hierdurch können die SuS zu mündigen Bürger*innen gebildet werden, um so aktuelle und zukünftige Herausforderungen zu bewältigen (Blum et al., 2011).

5.2 Physikalische Grundlagen

5.2.1 Physikalische Grundlagen des Fliegens

Nach Wodzinski (1999) haben sich in der Schule drei Erklärungsmuster für das Fliegen durchgesetzt.

3 Erklärungsmuster zum Fliegen

Erklärungsmuster 1: Druck und Geschwindigkeit - Bernoulli-Gleichung

Eine Erklärung, wieso Flugzeuge fliegen bzw. Tragflächen Auftrieb erzeugen, ist über die Bernoulli-Gleichung: Oberhalb der Tragfläche bewegen sich die Luftteilchen mit einer größeren Geschwindigkeit als unterhalb, weshalb nach der Bernoulli-Gleichung auf der Oberseite ein Unterdruck und auf der Unterseite ein Überdruck entsteht. Durch diesen Druckunterschied kommt es dann zum Auftrieb der Tragfläche (Wodzinski, 1999, S. 18).

Diese Erklärung ist zweidimensional einfach verständlich, dreidimensional jedoch nicht ausreichend (Hopf & Wilhelm, 2021, S. 224). Auch wird nicht verständlich, wie die Geschwindigkeitsdifferenz zustande kommt (Wodzinski, 1999, S. 19).

Erklärungsmuster 2: Rückstoßprinzip - Kräfte erklären das Fliegen

Eine weitere Erklärung führt das Fliegen auf das Rückstoßprinzip und das Wechselwirkungsgesetz (3. Newtonsches Axiom) zurück: Die Luft wird demnach durch die Tragfläche nach unten abgelenkt, wodurch eine Kraft auf die Luft erzeugt wird. Die Tragfläche erhält deshalb nach dem Wechselwirkungsgesetz (von der Luft) eine nach oben gerichtete Gegenkraft, die Auftriebskraft (Wodzinski, 1999, S. 18). Weltner (2000) erklärt so das Fliegen ohne die Bernoulli-Gleichung und empfiehlt Experimente mit Rückstoßphänomenen (Hopf & Wilhelm, 2021, S. 222, nach Weltner, 2000). Da dieser Ansatz nicht erklärt, warum die Luft nach unten umströmt, wird dieser Ansatz z.B. von Wodzinski (1999) kritisiert.

Erklärungsmuster 3: Zirkulationsströmung

An der scharfen Hinterkante der Tragfläche entsteht ein Anfahrwirbel, der nach dem Drehimpulserhaltungssatz einen Gegenwirbel zu Folge hat. Dieser Gegenwirbel legt sich nun um die Tragfläche und erzeugt eine Zirkulationsströmung. Mit der Zirkulationsströmung kann im Gegensatz zur reinen Druck-Erklärung auch erklärt werden, warum die Luft oberhalb der Tragfläche schneller und unterhalb der Tragfläche langsamer ist (Wodzinski, 1999, S. 19). In Abbildung 20 sind die Zirkulationsströmung und der Anfahrwirbel am Tragflügel dargestellt.

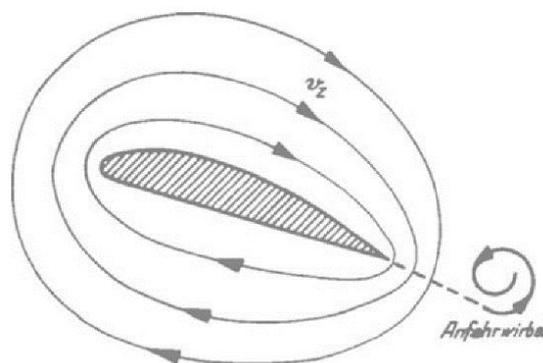


Abbildung 20 – Strömungsbild der Zirkulationsströmung am Tragflügel mit Bildung eines Anfahrwirbels (aus Dubs, 1979, S.108).

Betrachtet man die Problematik dreidimensional, so müssen nach Wodzinski (1999) zusätzlich Randwirbel berücksichtigt werden: „Bei einer zweidimensionalen Tragfläche gibt es Unterdruck oben und Überdruck unten und keine Möglichkeit

des Ausgleichs. Betrachtet man aber einen dreidimensionalen Flügel, dann müssen sich die Druckgebiete zum Rand hin ausgleichen. Die Luft strömt deshalb auf der Oberseite der Tragfläche immer etwas zum Flugzeugrumpf hin und auf der Unterseite etwas zu den Flügelspitzen hin. Diese Querströmungen auf beiden Seiten der Tragfläche sorgen dafür, daß sich an der gesamten Hinterkante Wirbel ausbilden, die zusammen eine sogenannte Wirbelschleppe formen. Die Wirbelschleppe rollt sich aber in einiger Entfernung hinter der Tragfläche zu zwei starken Wirbeln auf, so daß die vereinfachte Betrachtung zweier an den Enden austretender Wirbelfäden [...] berechtigt erscheint“ (Wodzinski, 1999, S. 19).

Dies ist in Abbildung 21 dargestellt.

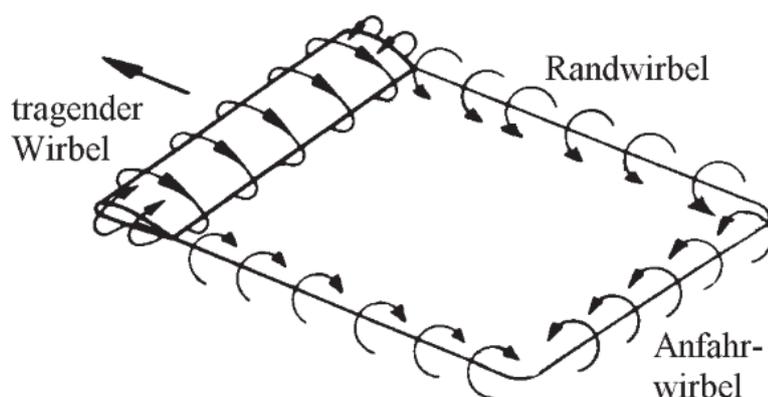


Abbildung 21 – Randwirbel erzeugen zusätzlich zum tragenden Wirbel (Zirkulationsströmung um die Tragfläche) Abwind hinter der Tragfläche und müssen in der dreidimensionalen Betrachtung berücksichtigt werden (aus Wodzinski, 1999, S. 19).

Wodzinski (1999) empfiehlt das auf dem Erklärungsmuster 1 aufbauende zweidimensionale Erklärungsmuster 3 mit der Bernoulli-Gleichung und der Zirkulationsströmung, da dieses Modell am erklärungs mächtigsten und für SuS plausibel ist. Hopf & Wilhelm (2021) hingegen erachten das Erklärungsmuster 2 als für die Schule geeigneter und plädieren deshalb die anderen Erklärungsmuster nur ergänzend und didaktisch reduziert zu verwenden.

5.2.2 Physikalische Grundlagen der Klimawirkung der Luftfahrt

Treibhauseffekt

Der (natürliche) Treibhauseffekt beschreibt die Erwärmung der Erdatmosphäre durch terrestrische Infrarotstrahlung, wobei die Sonnenstrahlung und die Bestandteile der Atmosphäre (z.B. Wolken und Treibhausgase) selbst hierfür verantwortlich sind (Manthey, 2023, S. 6ff.). Um den Treibhauseffekt zu verstehen, ist das in Abbildung 22 dargestellte Energieflussschema geeignet.

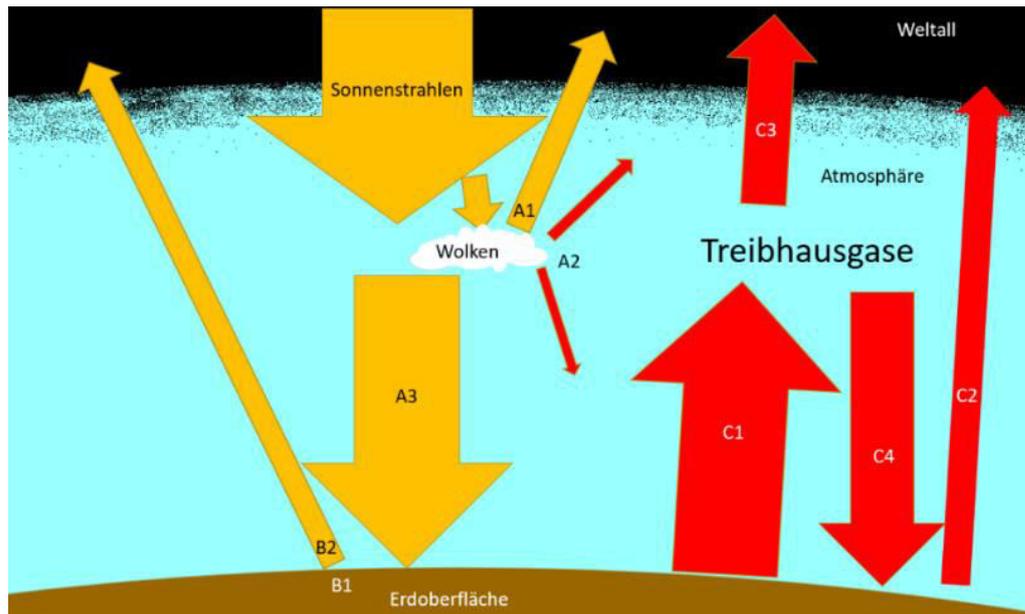


Abbildung 22 – Energieflussschema beim Treibhauseffekt. Gelb eingezeichnet ist die Sonnenstrahlung, rot eingezeichnet ist die Infrarotstrahlung (aus Manthey, 2023, S. 8, nach Trenberth & Fasullo, 2009).

Die Energie der Sonnenstrahlen trifft in die Erdatmosphäre ein und hat nun drei Möglichkeiten. Zum einen können die Sonnenstrahlen durch Wolken an der Atmosphäre reflektiert (A1), von ihr absorbiert (einzelne Moleküle wie Ozon absorbieren die Strahlung und emittieren sie dann als Infrarotstrahlung in alle Richtungen) (A2) oder durch sie durchgelassen werden (A3). Die Erdoberfläche kann die durchgelassenen Strahlen nun entweder absorbieren (B1) und sich hierdurch erwärmen, oder reflektieren. Die reflektierten Strahlen können nun in die Atmosphäre gelangen und der Weg (A2) wiederholt sich oder sie gehen durch die Atmosphäre hindurch ins Weltall (B2). Absorbiert die Erdoberfläche die Strahlung, erwärmt sich diese und strahlt (terrestrische) Infrarotstrahlung ab, die von der Atmosphäre absorbiert (C1) oder hindurch gelassen (C2) werden kann. Die durch die Absorption von Infrarot- und Sonnenstrahlung entstehende Energie kann nun in Form von Infrarotstrahlung ins Weltall (C3) oder als Gegenstrahlung (C4) zur Erde emittiert werden. Die Gegenstrahlung sorgt (neben anderen Effekten wie Konvektion oder Evapotranspiration) für die Erwärmung der Erdatmosphäre und somit für den Treibhauseffekt, wodurch auch die Atmosphäre selbst eine Strahlungsquelle darstellt (Manthey, 2023, S. 8f.). Die für den Treibhauseffekt notwendige Absorption der terrestrischen Infrarotstrahlung mit Treibhausgasmolekülen setzt quantenmechanisch voraus, dass die Strahlung die Gasmoleküle zu Schwingungen anregt, bei der sie ihr Dipolmoment verändern (Hauck et al., 2019, S. 2).

Einfluss der Treibhausgase auf die Temperatur der Erde

Der Energiefluss S durch die Sonnenstrahlung auf die Erdatmosphäre beträgt nach Schumann (2008a) im Mittel ca. $342 \frac{W}{m^2}$, wobei im Mittel etwas 31% durch die Erdoberfläche oder Wolken ins Weltall zurück reflektiert werden. Dies wird durch die sogenannte Albedo α ausgedrückt, die hier $\alpha = 0,31\%$ ist (S. 249).

Nach Schumann (2008a) folgt aus dem Stefan Boltzmann Gesetz (I ist die abgestrahlte Leistung der Erde)

$$I = \sigma T^4$$

für die effektive Strahlungstemperatur T der Erde durch Anwendung eines Strahlungsgleichgewichts

$$(1 - \alpha)S = \sigma T^4$$

mit $\sigma = 5,67 * 10^{-8} Wm^{-2}K$ eine Strahlungstemperatur von $T = 254K \approx -19^\circ C$. Die Durchschnittstemperatur auf der Erde beträgt ca. $15^\circ C$, d.h. durch den natürlichen Treibhauseffekt ist die Temperatur auf der Erde ca. $34^\circ C$ größer als ohne Treibhausgase (Schumann, 2008a, S. 249), wodurch flüssiges Wasser und hierdurch Leben möglich ist (Quasching, 2018, S. 50f.). Eines der wichtigsten Treibhausgase ist Wasserdampf (H_2O), da dieser die eintreffenden Sonnenstrahlen streut und die terrestrische Strahlung in hohem Maße absorbiert (Schumann, 2008a, S. 249).

Strahlungsantrieb

Die Differenz der Ein- und Ausstrahlung im Klimasystem der Erde wird Strahlungsantrieb genannt (Schumann, 2008a). Um den Strahlungsantrieb vereinfacht quantitativ zu messen, wurde nach Schumann (2008b) die physikalische Größe Strahlungsantrieb RF (Radiative Forcing) eingeführt, die die Einheit $[RF] = 1 \frac{W}{m^2}$ besitzt (S. 143). Zwischen Strahlungsantrieb und globaler Gleichgewichtstemperaturänderung ΔT besteht nach Forster et al. (2007) der lineare Zusammenhang

$$\Delta T = \lambda * RF$$

wobei λ der Klimasensibilität- Parameter ist (S. 133).

Der Einfluss des Menschen auf das Klima der Erde wird als *anthropogener Treibhauseffekt* bezeichnet. Dieser resultiert weitestgehend aus der Verbrennung von fossilen Energieträgern (Hauck et al., 2019, S. 3ff.), weshalb das relevanteste Treibhausgas Kohlendioxid (CO_2) ist (Schumann, 2008a, S. 250).

Um die Auswirkungen verschiedener Treibhausgase zu vergleichen, wurde die Vergleichsmetrik *CO₂-Äquivalent (CO₂e)* eingeführt. Diese gibt an, um welchen Faktor sich die Masse eines Treibhausgases (bezogen auf das Treibhausgas CO₂) über einen festen Zeitraum von meistens 100 Jahren auf den Treibhauseffekt auswirkt. Diese Vergleichsmetrik ist jedoch nur eine Vereinfachung und ist insbesondere für kurzlebige Treibhausgase wie z.B. Methan (*CO₂e* = 25) kritisch zu sehen. Bezogen auf 100 Jahre wirkt sich z.B. eine Tonne Methan 25 mal so stark auf den Treibhauseffekt aus wie eine Tonne CO₂ (Neu, 2022, S. 7, Bopst et al., 2019a, S. 31ff.).

Mit Hilfe von CO₂ - Äquivalenten kann man z.B. die eigene CO₂- Bilanz (oft *CO₂-Fingerabdruck* genannt) und dadurch seinen persönlichen Beitrag zum Treibhauseffekt approximieren (Bopst et al., 2019a, S. 31ff.).

Strahlungsantrieb durch die Luftfahrt

Bei konventionellen Flugzeugen wird Kerosin in Triebwerken verbrannt, wodurch z.B. Kohlenstoffdioxid (CO₂), Stickoxide (NO_x), Wasserdampf und Ruß- und Sulfatpartikel entstehen. Bei der Verbrennung von einem Kilogramm Kerosin mit Sauerstoff entstehen 3,15 kg CO₂, 12-17g Stickoxide und 1,25 kg Wasserdampf (Schumann, 2008b, S. 144f.). Aufgrund der langen Verweildauer von CO₂ in der Atmosphäre verteilt es sich gleichmäßig und erwärmt das Klima langfristig. Dabei ist es für die Wirkung unerheblich, ob die Emission am Boden oder im Reiseflug stattfindet (Schumann, 2008b, S. 144).

Auch die bei der Verbrennung von Kerosin entstehenden Stickoxide haben einen Beitrag zum Strahlungsantrieb: Die Stickoxide haben eine Verweildauer von einigen Wochen und sind für die Bildung von Ozon verantwortlich, wodurch der Strahlungsantrieb erhöht wird. Die Wirkung ist bei Emission im Reiseflug jedoch stärker als am Boden, im Reiseflug beträgt der Strahlungsantrieb ca. 0,022 W/m². Aufgrund photochemischer Reaktionen in der Atmosphäre mindern die Stickoxide zugleich aber auch einen Teil des Treibhausgases Methan, wodurch sich ein Strahlungsantrieb von ca. -0,010 W/m² ausgleicht (Schumann, 2008b, S. 144f.).

Die Emission von Partikeln, Wasserdampf, Stickoxiden und die hieraus entstehende Kondensstreifen- und Zirrenbildung werden als *Nicht-CO₂-Effekte* bezeichnet. Die Gesamtklimawirkung dieser Effekte ist auf Reiseflughöhe (ca. 10 km über dem Erdboden) zwei bis dreimal so groß wie die reine CO₂ Emission (Bopst et al., 2019b, S. 16).

Weitere Umwelteinflüsse der Luftfahrt

Neben der Klimawirkung hat die Luftfahrt auch weitere Umwelteinflüsse: Durch den Kerosinverbrauch werden endliche Ressourcen verbraucht, zum anderen kommt es aufgrund der Stickstoffdioxid- und Feinstaubemissionen zu einer *Luftbelastung*, die gesundheitliche Schäden hervorrufen kann. Zudem ist auch *Fluglärm* für die Gesundheit relevant (Bopst et al., 2019b, S. 16ff.).

5.2.3 Zukunftsvisionen der Luftfahrt

Wichtig zum Vergleich von Technologien ist die physikalische Größe Energiedichte. Die Energiedichte bezüglich der Masse oder des Volumens gibt an, wieviel Energie pro Masse bzw. Volumen eines Stoffs enthalten ist (BAZL, 2020, S. 1f.). Kerosin hat z.B. Energiedichten von $43 \frac{MJ}{kg}$ und $35 \frac{MJ}{l}$ (DEMACO, o.D.).

Strahltriebwerke sind nach Bräuling (2015) wie Verbrennungsmotoren Wärmekraftmaschinen, die im idealen Fall reversibel arbeiten und einen Carnotschen Kreisprozess durchführen. Dieser Kreisprozess wandelt von allen Kreisprozessen die meiste zugeführte Wärme in Nutzarbeit um (S. 426). Der optimale thermische Wirkungsgrad (Anteil, der von der im Treibstoff vorhandenen chemische Energie in nutzbare Energie umgewandelt werden kann) in einem solchen thermodynamischen Kreisprozesses ist gegeben durch

$$\mu_{therm,opt} = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}},$$

wobei T_{min} und T_{max} jeweils die minimalen und maximalen Temperaturwerte bei Carnot-Prozess sind (S. 425). In Strahltriebwerken gilt $T_{min} \approx 200K$ für die Umgebungstemperatur und $T_{max} \approx 1800K$ für die höchste Brennkammertemperatur, woraus ein thermischer Wirkungsgrad von $\mu_{therm,opt} = 0,89$ folgt. Reale Werte von thermischen Wirkungsgraden von Triebwerken sind aber eher $\mu_{therm,opt} \approx 0,5$. Trotzdem ist bei Wärmekraftmaschinen, unabhängig von deren Technologieoptimierung, der optimale Wirkungsgrad durch die Temperaturdifferenz begrenzt. Der reale Wirkungsgrad ist z.B. durch Reibung und Irreversibilität immer kleiner (S. 426).

Die herkömmliche Technologie, Strahltriebwerke, kann durch UHBR (Ultra High Bypass Ratio) -Triebwerken und Sustainable Aviation Fuels (SAF) weiterentwickelt werden.

UHBR-Triebwerke sind Triebwerke mit einem sehr hohen Nebenstromverhältnis. Diese reduzieren zwar den Kraftstoffverbrauch, besitzen jedoch auch eine große Masse, was sich auf die Flugzeugmasse und Triebwerksgröße auswirkt (Reckzeh, 2017, S. 23f.).

Derzeit wird nach Bopst et al. (2019b) ein Fuel Switch von fossilen Brennstoffen zu SAF diskutiert. Das sind nicht fossile Treibstoffe wie synthetisch hergestellte Kohlenwasserstoffe mit hohen Energiedichten oder Biokraftstoffe, die ähnliche Eigenschaften wie Kerosin haben. Biokraftstoffe eignen sich eher nicht, da für deren Herstellung viele Treibhausgasemissionen notwendig sind und sie für die gesamte Klimabilanz ungeeignet sind. Vielversprechend ist jedoch das PtL (Power-to-Liquid)-Kerosin, welches auch E-Kerosin genannt wird, da dieses aus Strom, Wasser und CO_2 erzeugt wird. Damit dieser Treibstoff treibhausgasneutral ist, muss der für die Elektrolyse verwendete Strom aus erneuerbaren Energien stammen und treibhausgasneutrale Kohlenstoffquelle für seine Herstellung verwendet werden (S. 36). Die Klimawirkung von PtL-Kerosin entspricht aufgrund der Nicht- CO_2 -Effekte ca. 2/3 derer von Kerosin (Scholz, 2021, S. 15).

Neben der Optimierung bereits bestehender Technologien bieten neuartige Technologien, z.B. elektrische, hybridelektrische und wasserstoffbetriebene Antriebe, vielversprechende Möglichkeiten (Klößner, 2017, Reckzeh, 2017).

Elektrische Antriebe

Bei elektrischen Antrieben werden Elektromotoren verwendet, die einen Propeller antreiben. Elektrische Antriebe emittieren keine Treibhausgase und kaum Schall, wodurch sich Lärmemissionen im Vergleich zu herkömmlichen Triebwerken reduzieren und weder CO_2 -Effekte noch Nicht- CO_2 -Effekte entstehen (BAZL, 2020, S. 1). Der Wirkungsgrad von Elektromotoren beträgt bis zu ca. 90% und ist damit deutlich größer als der von Verbrennungsmotoren mit bis zu ca. 40% (Lang, 2023). Als Energiespeicher werden Batterien verwendet, welche nach BAZL (2020) Energiedichten von ca. 0,2 kWh/kg ($0,72 \frac{MJ}{kg}$) und ca. 0,35 kWh/l ($1,26 \frac{MJ}{l}$) besitzen. Aufgrund dieser im Vergleich zum Kerosin geringen Energiedichte sind elektrische Antriebe aufgrund der Batterie sehr schwer und brauchen ein großes Tankvolumen (S. 2). Zudem ist auch die Abwärme der elektrischen Verbindungen problematisch, da diese bei hohen Antriebsleistungen abgeführt werden muss (Klößner, 2017, S. 23ff.). Elektrische Triebwerke liefern aktuell eine Leistung von ca. 2 MW, für

Passagierflugzeuge (ca. 180 Personen) werden aber mindestens ca. 30 MW Leistung benötigt, weshalb sich rein-elektrische Flugzeuge für Passagierflugzeuge nicht eignen (BAZL, 2020, S. 2f.).

Hybridelektrische Antriebe

Um die Flexibilität von Batterien und die Energiedichte chemischer Energieträger (wie (PtL-)Kerosin oder Wasserstoff) zu verbinden, wird nach Klöckner (2017) auch an Hybridantriebskonzepten geforscht. So sollen im Reiseflug vorwiegend chemische Energieträger und bei Manövern wie dem Start oder der Landung elektrische Antriebe verwendet werden, um so die Reichweite zu erhöhen (S. 24).

Hybridelektrische Antriebe reduzieren die Lärmemission, in dem zum einen das hohe Drehmoment des Elektromotors genutzt wird, um die Propeller mit niedrigeren Drehzahlen anzutreiben und zum anderen Lärmquellen der Gasturbine abgeschirmt werden können (Klöckner, 2017, S. 25).

Durch den elektrischen Anteil bleibt jedoch die Problematik der großen Batteriemasse (Klöckner, 2017, S. 25), weshalb bei hybrid-elektrischen Antrieben in Zukunft der Anteil der chemischen Energieträger größer sein wird.

Wasserstofftechnologie

Auch die Wasserstofftechnologie und Energiewandler, welche die chemische Energie des Treibstoffs in elektrische Energie umwandeln, sind für künftige Antriebstechnologien relevant. Ein Beispiel hierfür sind CO_2 -neutrale Wasserstoff-Brennstoffzellen, welche die im Wasserstoff gespeicherte chemische Energie in elektrische Energie unter Emission von Wasserdampf in der Atmosphäre umwandeln (Klöckner, 2017, S. 24), wodurch die Nicht- CO_2 -Effekte mit denen von Kerosin vergleichbar sind (Scholz, 2021, S. S.15). Wasserstoff kann direkt verbrannt werden oder mit einer Brennstoffzelle einen Elektromotor antreiben (Scholz, 2022, S. 30). Wasserstoffverbrennungsmotoren besitzen nach Klell et al. (2018) einen Wirkungsgrad von ca. 30-40 % (S. 220). Bei der Verbrennung entsteht neben Wasserdampf zwar kein CO_2 , dafür aber Stickoxide (S. 210). Die Stickoxidemission ist jedoch durch eine geeignete Verbrennungsführung minimierbar (S. 226).

Wasserstoff besitzt gasförmig eine Energiedichte von $4,5-5,3 \frac{MJ}{l}$, flüssig von $8,5 \frac{MJ}{l}$ (DEMACO, o.D.), weshalb er in flüssiger Form zwar ein gut-transportierbarer Energiespeicher ist, durch die geringe Energiedichte jedoch sehr

viel Volumen verglichen mit Kerosin benötigt. Hierfür müssten Flugzeuge umgebaut werden. Zur Erzeugung des Wasserstoffs sind jedoch erneuerbare Energie notwendig, da die Klimawirkung sonst mindestens genauso groß ist, wie bei Kerosin betriebenen Flugzeugen (Scholz, 2022, S. 30).

Wasserstoff ist nach Quasching (2018) langfristig die einzige Möglichkeit klimaverträgliches kommerzielles Fliegen zu erreichen.

Solarflugzeuge

Solarbetriebene Flugzeuge beruhen auf der Solartechnologie: Solarzellen wandeln die Energie der Sonne in elektrische Energie um, weshalb solche Flugzeuge in größeren Höhen effizienter sind, da die Sonnenstrahlung dort intensiver ist. Solche Flugzeuge sind treibhausgasemissionslos (Quasching, 2018) und erzeugen dadurch wie rein-elektrische Flugzeuge nur durch die angetriebenen Rotoren und den Luftwiderstand Lärm. Der Wirkungsgrad von verwendeten Solarzellen auf Tragflügeln für Segelflugzeuge betrug nach Quasching (2018) ca. 16%. Solarbetriebene Antriebe eignen sich jedoch nicht für die kommerzielle Luftfahrt, da sehr große Flächen benötigt würden, um die notwendige Energiemenge bereitzustellen (Quasching, 2018, S. 367). So beträgt die massebezogene Energiedichte von Solarzellen üblicherweise $0,009 \frac{MJ}{kg}$ (SOLARNIPA, o.D.). Zudem sind sie stark wetterabhängig, was ein Sicherheitsrisiko darstellt.

Um die Umweltbilanz von neuartigen Technologien zu bewerten, „muss neben dem reinen Antriebsstrang die [...] Kette von der Erzeugung des Kraftstoffs bis zum kompletten Luftverkehrssystem betrachtet werden“ (Klößner, 2017, S. 25).

BDLI (2020) empfiehlt für die Klimaneutralität des Luftverkehrs vollelektrisches Antriebstechnologien für Regionalflugzeuge, neuartige Triebwerke (z.B. UHBR-Triebwerke) und hybridelektrische Antriebstechnologien mit SAF oder Wasserstoff (Wasserstoff-Brennstoffzellen oder mittels direkter Wasserstoff-Verbrennung) für Mittelstreckenflugzeuge. Für Langstreckenflugzeuge werden neuartigen Triebwerke mit Wasserstoff oder SAF, jedoch keine elektrischen oder hybriden Antriebstechnologien, empfohlen (S. 5).

In Tabelle 17 sind die möglichen Antriebsarten kriterienorientiert miteinander verglichen. Auch die aktuellen Kosten wurden berücksichtigt. Zum besseren Vergleich wurden die Einheiten entsprechend umgerechnet.

Tabelle 17: Vereinfachter Kriterieller Vergleich von Antriebstechnologien (nach BAZL, 2020, Klell et al., 2018, Ueckerdt et al., 2011, Scholz, 2021, 2022, Quaschnig, 2018, Lang, 2023, Leuschner, o.D., DEMACO, o.D., TÜVNORD, o.D., SOLARWATT, 2023, SOLARNIPA, o.D., EMCEL, 2019, Gießel, 2023, Dahmann, 2023, Gießhammer, 2023).

	Gasturbine mit Kerosin	Gasturbine mit PtL-Kerosin	Elektrisch (Batterie)	Hybrid (Elektrisch + Gasturbine mit Kerosin)	Wasserstoff		Solar
					Direkte Verbrennung	Brennstoffzelle mit Elektromotor	
Energiedichte (massebezogen)	$43 \frac{MJ}{kg}$	wie Kerosin	$0,72 \frac{MJ}{kg}$	Mischung aus elektrisch und Kerosin	$142 \frac{MJ}{kg}$		$0,009 \frac{MJ}{kg}$
Energiedichte (volumenbezogen)	$35 \frac{MJ}{l}$	wie Kerosin	$1,26 \frac{MJ}{l}$	Mischung aus elektrisch und Kerosin	Gasförmig: $4,5-5,3 \frac{MJ}{l}$ Flüssig (LH2): $8,5 \frac{MJ}{l}$		Keine Angaben gefunden.
Wirkungsgrad	33-42 %	15 %	ca. 90 %	ca. 38%	ca. 30-40 %	50-60%	ca. 16 %
CO₂-Emission (ggf. wie viel)	Ja	Ja, aber CO ₂ -neutral	Nein	Ja, weniger als Kerosin	Nein	Nein	Nein
Nicht-CO₂--Effekte	Ja	Ja	Nein	Ja, weniger als Kerosin	Ja, wie Kerosin	Ja, wie Kerosin	Nein
Stickoxid-emission	Ja	Ja	Nein	Ja, weniger als Kerosin	Ja, technisch minimierbar	Nein	Nein
Lärmemission	110-140 dB(A)	wie Kerosin	Starke Reduktion gegenüber Kerosin	Reduktion gegenüber Kerosin	wie Kerosin	Starke Reduktion gegenüber Kerosin	Starke Reduktion gegenüber Kerosin
Wetterabhängig	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja
Kosten (aktuell)	ca. $2,5 \frac{€}{l}$ bzw. $0,07 \frac{€}{MJ}$	4 - $4,5 \frac{€}{l}$ bzw. $0,1 \frac{€}{MJ}$	ca. $0,4 \frac{€}{kWh}$ bzw. $0,1 \frac{€}{MJ}$	Mischung aus elektrisch und Kerosin	Ca. $3 \frac{€}{kg}$	bzw. $0,02 \frac{€}{MJ}$	Keine
Kleinflugzeug	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Passagier-flugzeug	Ja	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein
Kurzstrecke	Ja	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein
Mittelstrecke	Ja	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein
Langstrecke	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein

5.3 Curriculare Verortung

Um das Thema *Fliegen als Socio-scientific issue* curricular für den Unterricht im Land Berlin zu verorten, werden die Rahmenlehrpläne des Landes Berlin (RLPPhyBerSI, 2015, RLPPhyBerSII, 2021) für die Sekundarstufen I und II anhand für das Thema relevanter Inhalte (Fliegen, Auftriebskraft, Strömungslehre, Rückstoßprinzip, Treibhauseffekt, (hybrid-)elektrische Antriebe, Wirkungsgrad, Energiespeicher, Nachhaltiges verantwortungsbewusstes Handeln) analysiert und in Tabelle 18 miteinander verglichen.

In der Sekundarstufe I kommt vor allem das Themenfeld *3.11 Energieumwandlungen in Natur und Technik* in Frage, hier gibt es die meisten Übereinstimmungen mit den Inhalten der Unterrichtseinheit. In der Sekundarstufe II kommt vor allem das Themenfeld *3.1.5 Energie* in der Einführungsphase in Frage, da hier die meisten Übereinstimmungen mit den Inhalten der Unterrichtseinheit sind. Insbesondere der explizite Bezug zur nachhaltigen Entwicklung und zur Bewertungskompetenz, die für die Agency notwendig sind und deshalb stärker gewichtet werden, ist im Themenfeld *3.1.5 Energie* in der Einführungsphase der Sekundarstufe II vorhanden, weshalb die Unterrichtseinheit hier curricular verortet wird. Statt der Energiebilanz bei Elektroautos als Kontext wird auf (hybrid-)elektrische Flugzeuge eingegangen.

Im Rahmenlehrplan für die gymnasiale Oberstufe wird im Teil B darauf eingegangen, dass die BNE eine fächerübergreifende Querschnittsaufgabe ist. Es wird auf die SDGs der UN verwiesen. SuS sollen durch kritisches und multiperspektivisches Denken globale Auswirkungen ihres Handelns analysieren und neben dem Entwickeln von nachhaltigen Lösungsstrategien auch eine verantwortungsbewusste Handlungs- und Gestaltungskompetenz erwerben und so ihre Umwelt (lokal und global) aktiv mitgestalten (RLPBerSIIB, 2021, S. 23). Es wird also Agency von den SuS gefordert.

Die Einführungsphase in Berlin liegt an Integrierten Sekundarschulen (ISS) zwischen der 10. Klasse und der Qualifikationsphase und soll die SuS auf diese vorbereiten. In der Einführungsphase sollen die „Kompetenzen entsprechend dem Kompetenzmodell der Sekundarstufe I weiterentwickelt [...] [und] die H-Standards [aus der Sekundarstufe I] in allen Kompetenzbereichen auf die Inhalte der in der Einführungsphase zu behandelnden Themenfelder“ (RLPPhyBerSII, 2021, S. 17) angewendet werden. Vorausgesetzt werden können die Kompetenzen der Sekundarstufe I bis zur Niveaustufe G. Diese sind Regelstandards, die die SuS bis zum Ende der 10. Klasse an ISS erreichen sollen (RLPPhyBerSI, 2015, S. 9f.).

Tabelle 18: Curricularer Vergleich der für das Thema *Fliegen als Socio-scientific issue* relevanter Inhalte in den Rahmenlehrplänen für das Fach Physik im Land Berlin (RLPPhyBerSI, 2015, RLPPhyBerSII, 2021).

Inhalte	Rahmenlehrplan Sek I (RLPhyBerSI, 2015)	Rahmenlehrplan Sek II (RLPPhyBerSII, 2021)
Fliegen, Auftriebskraft, Strömungslehre	Kommt explizit nicht vor.	Kommt explizit nicht vor.
Wechselwirkungsgesetz, Rückstoßprinzip	Im Themenfeld <i>3.8 Kraft und Beschleunigung</i> als Inhalt (S. 42).	In den Wahlpflichtthemen für die Einführungsphase unter <i>3.1.4 Impuls und Impulserhaltung</i> als möglicher Kontext: „Rückstoßprinzip, z. B. beim Raketenantrieb“ (S. 21).
Treibhauseffekt/ Klimawandel	Im Themenfeld <i>3.11 Energieumwandlungen in Natur und Technik</i> als möglicher Kontext: „Wärmekraftwerke und ihr Einfluss auf den Klimawandel“ (S. 49).	Es ergibt sich die „Notwendigkeit der Betrachtung gesellschaftlich relevanter Problemstellungen wie der Energieversorgung oder des Klimawandels aus physikalischer und technischer Sicht“ (S. 7).
Elektrische und hybrid-elektrische Antriebe	Im Themenfeld <i>3.9 Magnetfelder und elektromagnetische Induktion</i> : „Erklärung wichtiger elektrischer Geräte, wie z. B. Elektromotor und Generator“ (S. 44). Als Möglicher Kontext: „Nutzbremse bei Elektro- oder Hybridfahrzeugen“ (S. 45).	In den Wahlpflichtthemen für die Einführungsphase unter <i>3.1.5 Energie</i> als möglicher Kontext: „Energiebilanz bei Elektroautos“ (S. 22). Im Themenfeld <i>3.2.1 Gravitationsfeld, elektrisches und magnetisches Feld</i> für die Qualifikationsphase Q1 als möglicher Kontext: „Superkondensatoren als Ladungsspeicher in Elektroautos“ (S. 28).

Wirkungsgrad	Im Themenfeld <i>3.3 Mechanische Energie und Arbeit</i> sollen SuS „Wirkungsgradbetrachtungen“ (S. 33) durchführen. Insbesondere im Themenfeld <i>3.11 Energieumwandlungen in Natur und Technik</i> sollen die SuS quantitativ Wirkungsgrade bei Energieumwandlungen bestimmen (S.48f.).	In den Wahlpflichtthemen für die Einführungsphase unter <i>3.1.5 Energie</i> als Inhalt: „Wirkungsgrad bei Energieumwandlungen“ (S. 22)
Energiespeicher	Der Energiespeicherung wird im Rahmen der Fachkompetenz im Basiskonzept Energie aufgeführt als „Umwandeln, Transportieren und Speichern von Energie“ (S. 5). Im Themenfeld <i>3.11 Energieumwandlungen in Natur und Technik</i> als möglicher Kontext: „Speicherung von Energie“ (S. 49).	Im Themenfeld <i>3.2.1 Gravitationsfeld, elektrisches und magnetisches Feld</i> für die Qualifikationsphase Q1 als möglicher Kontext: Ladungsspeicher für Elektroautos und Blitzlichtlampen (S. 28).
Nachhaltiges und verantwortungsbewusstes Handeln/ Bildung nachhaltiger Entwicklung	Im Themenfeld <i>3.11 Energieumwandlungen in Natur und Technik</i> als möglicher Kontext: „Sicherung einer nachhaltigen Energieversorgung in der Zukunft“ (S. 49). Zudem bildet das Wissen über nachhaltige Entwicklung die Grundlage für den Erwerb von Bewertungskompetenz (S. 7).	Die SuS sollen „einen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung“ (S. 5) leisten und „sich rational reflektiert eine eigene Meinung [...] bilden und sowohl in ihrem unmittelbaren Umfeld als auch in der Gesellschaft Verantwortung zu übernehmen“ (S. 7). In den Wahlpflichtthemen für die Einführungsphase unter <i>3.1.5 Energie</i> : „Die Betrachtung von Energiebilanzen ermöglicht die Förderung von Bewertungskompetenzen unter dem Aspekt der nachhaltigen Entwicklung“ (S. 22).

Insbesondere sind für die Unterrichtskonzeption die Teilkompetenz 2.3.3 *Argumentieren-Interaktion* im Kompetenzbereich 2.3 *Kommunizieren* (RLPPhyBerSI, 2015, S. 23) und die Teilkompetenzen 2.4.1 *Handlungsoptionen diskutieren und auswählen*, 2.4.2 *Handlungen reflektieren* und 2.4.3 *Werte und Normen reflektieren* des Kompetenzbereichs 2.4 *Bewerten* wichtig (RLPPhyBerSI, 2015, S. 24f.).

Diese sind in Abbildung 23 dargestellt.

2.3.3 Argumentieren – Interaktion

Schlüssige Begründungen von Aussagen formulieren	
Die Schülerinnen und Schüler können	
D	Aussagen und Behauptungen mit Beispielen, einfachen Fakten oder Daten begründen
E	zu einer Aussage eine passende Begründung formulieren, in der die stützenden Daten oder Fakten erläutert werden
F G	Hypothesen fachgerecht und folgerichtig mit Daten, Fakten oder Analogien begründen bzw. widerlegen
H	Widersprüche in einer Argumentation erläutern

2.4.1 Handlungsoptionen diskutieren und auswählen

Bewertungskriterien	Handlungsoptionen
Die Schülerinnen und Schüler können	
D	alltagsbezogene Bewertungskriterien festlegen
E	vorgegebene Bewertungskriterien anwenden
F	in einem Entscheidungsprozess relevante Bewertungskriterien anwenden
G H	die Relevanz von Bewertungskriterien ² für Handlungsoptionen erläutern

Handlungsoptionen	
Die Schülerinnen und Schüler können	
D	Handlungsoptionen kriterienorientiert vergleichen
E	in einer Entscheidungssituation zwischen mehreren Handlungsoptionen begründet auswählen
G H	unter Berücksichtigung verschiedener Perspektiven Kompromisse entwickeln

2.4.2 Handlungen reflektieren

Schlussfolgerungen	
Die Schülerinnen und Schüler können	
D	Schlussfolgerungen auf der Grundlage naturwissenschaftlichen Alltagswissens ziehen
E F	Schlussfolgerungen mit Verweis auf Daten oder auf der Grundlage von naturwissenschaftlichen Informationen ziehen
G H	Möglichkeiten und Folgen ihres Handelns beurteilen und Konsequenzen daraus ableiten

2.4.3 Werte und Normen reflektieren

Werte und Normen	Sicherheits- und Verhaltensregeln
Die Schülerinnen und Schüler können	
D	Wertvorstellungen von Meinungen, Aussagen oder Emotionen unterscheiden
E	das eigene Handeln in Bezug auf ihre Wertvorstellungen reflektieren
F	zwischen Werten ³ und Normen ⁴ unterscheiden
G H	eigene Wertvorstellungen in Bezug auf Werte anderer und Normen der Gesellschaft reflektieren

Sicherheits- und Verhaltensregeln	
Die Schülerinnen und Schüler können	
D	Sicherheits- und Verhaltensregeln des naturwissenschaftlichen Unterrichts einhalten
E	Sicherheits- und Verhaltensregeln aus dem schulischen Kontext auf das eigene Lebensumfeld übertragen
F	untersuchungsspezifische Sicherheitsaspekte situationsadäquat begründet auswählen und beachten
G H	Sicherheitsrisiken einschätzen und neue Sicherheitsmaßnahmen ableiten

Abbildung 23 – Für die Unterrichtseinheit relevante Teilkompetenzen aus dem Rahmenlehrplan der Sekundarstufe I. Insbesondere die Niveaustufe H soll in der Einführungsphase jeweils erreicht werden (adaptiert aus RLPBerSI, S. 23ff.).

5.4 Unterrichtseinheit

Es wurden 8 Unterrichtsdoppelstunden (Dauer: 90 Minuten) konzipiert, in denen die Thematik des Fliegens als SSI, für die SuS didaktisch reduziert, behandelt wird und das naturwissenschaftliche Erklären, Argumentieren und Bewerten im Rahmen einer Student Agency gefördert wird.

Die Unterrichtsstunden werden in den folgenden Unterkapiteln kurz vorgestellt (Kurzfassung des Inhalts, tabellarischer Verlaufsplan) und die verwendeten sowie konzipierten Methoden und Materialien (evidenzbasiert) didaktisch begründet.

Es wurde ein Lehrkräftehandbuch für die Unterrichtseinheit erstellt (siehe Anhang), in dem neben den Unterrichtsmaterialien die Kompetenzziele, der Ablauf und der Bezug zum Rahmenlehrplan der Unterrichtsstunden sowie weitere Hinweise und das Potential zur Differenzierung ausführlich beschrieben werden.

Eine Übersicht über die Inhalte der Stunden ist in Tabelle 19 dargestellt.

Die Stunden wurden basierend auf dem Agency-Modell nach Wyrwich et al. (2023) konzipiert, damit die SuS die Thematik des Fliegens als SSI problematisieren, anschließend evaluieren und in der Phase der Durchführung ihre Umwelt aktiv, z.B. durch die kollaborative Erstellung und Veröffentlichung eines Flyers, mitgestalten und hierdurch im schulischen Rahmen individuelle und gesellschaftliche Verantwortung übernehmen können.

Um eine Flexibilität herzustellen, wurden didaktisch geeignete Stellen aufgezeigt, an denen die Doppelstunden jeweils in zwei Einzelstunden geteilt werden können. Es können somit auch 16 Einzelstunden (Dauer: 45 min) durchgeführt werden.

Es wurden folgende Abkürzungen verwendet:

SuS: Schülerinnen und Schüler

LK: Lehrkraft

UG: Unterrichtsgespräch

LV: Lehrkraftvortrag

GA: Gruppenarbeit

EA: Einzelarbeit

US: Unterrichtsstunde

Tabelle 19: Übersicht über den Inhalt der Unterrichtsstunden der konzipierten Unterrichtseinheit.

US	Inhalt	Phase im Agency-Modell
1	Einführung des BBB-Modells für naturwissenschaftliche Erklärungen und Argumentationen sowie Übertragung auf den Fachkontext Fliegen (Auftriebserzeugung am Tragflügel).	Problematisieren
2	Einführung der Argumente-Kommode und der Nachhaltigkeit (Konzept, Modelle, Ziele der UN) sowie Wertebildung durch die Reflexion von Normen und Werten bei Entscheidungen.	Problematisieren + Evaluierung
3	Klimawirkung von Flugzeugen und deren physikalische Grundlagen (Strahlungsgleichgewicht, natürlicher und anthropogener Treibhauseffekt), um so die gesammelten Sachwissen-Argumente aus der Argumente-Kommode zu überprüfen und ggf. zu ergänzen.	Evaluierung
4	Auseinandersetzung mit der Seriosität von Internetquellen und dem Umgang mit Desinformationen mit PLURV-Techniken, um so die gesammelten Interessen-Argumente aus der Argumente-Kommode zu überprüfen und ggf. zu ergänzen. Auseinandersetzung mit Handlungsoptionen bei unvermeidbaren Flügen, insbesondere mit der Möglichkeit der CO ₂ -Kompensation.	Evaluierung
5	Auseinandersetzung mit Entscheidungsstrategien (intuitiv-rechtfertigend, kompensatorisch, non-kompensatorisch, Mischstrategie) im Alltag und bei komplexen Problemstellungen wie Socio-scientific issues (SSI). Anwenden kompensatorischer Entscheidungsstrategien bei der Entscheidung, ob man zu seinem Lieblingsreisziel fliegen sollte und was man beachten sollte (SSI <i>Fliegen</i>), inklusive dem Erwerb von Kenntnissen zum Socio-scientific reasoning (SSR). Formulierung und anschließende Reflexion einer kriteriengeleiteten Entscheidung zum SSI <i>Fliegen</i> .	Evaluierung
6	Auseinandersetzung mit dem aktuellen Stand der Technik von Flugzeugtriebwerken (Strahltriebwerke) und insbesondere mit alternativen Zukunftsantriebstechnologien des Luftverkehrs (Elektrische, hybridelektrische, wasserstoffbetriebene, solarbetriebene Flugzeuge so wie auch mit nachhaltigen Luftfahrtkraftstoffen (SAF) betriebene Flugzeuge), einschließlich einer kriteriengeleiteten multiperspektiven Bewertung der Technologien durch selbst aufgestellte Bewertungskriterien.	Evaluierung
7	Vorbereitung, Durchführung und anschließende Reflexion eines Planspiels zu einer fiktiven Petition zum Thema <i>Veränderung beim Fliegen JETZT</i> .	Evaluierung
8	Kollaborative Planung und Umsetzung einer Handlung, um die Umwelt aktiv mitzugestalten und Verantwortung zu übernehmen, z.B. die Erstellung und anschließende Veröffentlichung eines Flyers zum Thema <i>Fliegen als Kontroverser Kontexte mit naturwissenschaftlichem und gesellschaftlichen Bezug (Socio-scientific issue)</i> .	Durchführung

5.4.1 Unterrichtsstunde I

Phase im Agency-Modell: Problematisieren

Inhalt der Stunde:

In dieser Stunde wird das BBB-Modell für naturwissenschaftliche Erklärungen und Argumentationen alltagsnah über das Lieblingsreiseziel der SuS eingeführt und dann auf den Fachkontext Fliegen (Auftriebserzeugung am Tragflügel) übertragen. Hierzu erarbeiten sich die SuS durch Experimente und Hinweiskarten jeweils ein Erklärungsmuster zur Auftriebserklärung am Tragflügel und erklären und argumentieren im Anschluss daran für eines der Muster. Die Ergebnisse werden auf Postern in A3-Format gesichert und im Klassenraum aufgehangen.

Eine mögliche Verlaufsplanung der Unterrichtsstunde I ist in Tabelle 20 dargestellt, nähere Hinweise und die Unterrichtsmaterialien finden sich im Lehrkräftehandbuch im Anhang 8.1.1.

Kompetenzziele:

Nach der Unterrichtsstunde sollen folgende Kompetenzziele erreicht werden.

Die SuS können...

- die Struktur von Erklärungen und Argumentationen im Alltag und in den Naturwissenschaften mit dem BBB-Modell erläutern.
- die zwei Erklärungsmuster (Bernoulli-Prinzip und Newtons Wechselwirkungsprinzip) der Auftriebserzeugung am Tragflügel von Flugzeugen mit dem BBB-Modell erklären.
- für ein Erklärungsmuster mit dem BBB-Modell argumentieren.
- die Existenz von konkurrierenden Erklärungen als Teil des (natur-)wissenschaftlichen Diskurses benennen (Strukturwissen über scientific literacy).

Tabelle 20: Möglicher Verlaufsplan der Unterrichtsstunde I

Zeit (min)	Phase	Geplantes LK-Verhalten	Geplantes SuS-Verhalten	Sozialform	Medien/Materialien	Kommentare
2	Einstieg	Die LK begrüßt die SuS und fordert sie auf, über ihr Lieblingsreiseziel nachzudenken. Die LK teilt das Arbeitsblatt zum Lieblingsreiseziel (Material MI5) an die SuS aus	Die SuS hören zu und denken über ihr Lieblingsreiseziel nach.	LV	Arbeitsblatt Lieblingsreiseziel (Material MI5).	
5	Erarbeitung I	Die LK fordert die SuS auf die Aufgabe 1 auf dem Arbeitsblatt in Einzelarbeit zu bearbeiten und beantwortet ggf. auftretende Fragen.	Die SuS bearbeiten die Aufgabe 1 auf dem ausgeteilten Arbeitsblatt.	EA	Arbeitsblatt Lieblingsreiseziel (Material MI5).	Alltagsnahe Einführung des BBB-Modells.
3	Erarbeitung II	Die LK fordert die SuS auf die Aufgabe 2 auf dem Arbeitsblatt in Partnerarbeit zu bearbeiten.	Die SuS bearbeiten die Aufgabe 2 auf dem ausgeteilten Arbeitsblatt.	PA	Arbeitsblatt Lieblingsreiseziel (Material MI5).	Alltagsnahe Einführung des BBB-Modells.
3	Erarbeitung III	Die LK fordert die SuS auf die Aufgabe 3 auf dem Arbeitsblatt in Partnerarbeit zu bearbeiten.	Die SuS bearbeiten die Aufgabe 3 auf dem ausgeteilten Arbeitsblatt.	PA	Arbeitsblatt Lieblingsreiseziel (Material MI5).	Alltagsnahe Einführung des BBB-Modells.
10	Sicherung I	Die LK stellt das BBB-Modell vor und zeigt (erarbeitet ggf.) mit den SuS das Tafelbild (Material MI1).	Die SuS hören zu und erarbeiten ggf. gemeinsam mit der LK das Tafelbild.	LV/UG	Smartboard/Tafelbild (Material MI1)	Einführung des BBB-Modells.
10	Proble-matisierung	Die LK fragt die SuS, mit welchem Verkehrsmittel man viele der Reiseziele erreichen kann und erläutert, dass einige nur mit dem Flugzeug erreichbar sind. Die LK fordert die SuS auf, sich mit ihren Handys in das Quiz (z.B. als <i>Kahoot</i>) zum Airbus A380 (Material MI15) einzuloggen und führt anschließend das Quiz durch.	Die SuS hören zu und führen das Kahoot-Quiz durch.	UG	Smartboard und Handy der SuS/Quiz zum Airbus-A380 (Material MI15)	Die LK sollte nach jeder beantworteten Frage Anmerkungen nennen, wie sie z.B. im Material MI6 dargestellt sind.
3	Gelenk I	Die LK verdeutlicht nach dem Kahoot-Quiz die großen Proportionen des A380 und fragt die SuS wie so ein Flugzeug fliegen kann.	Die SuS nennen ihr Vorwissen zum Fliegen.	UG		

4	Erarbeitung IV	Die LK erarbeitet mit den SuS die vier grundlegenden Kräfte, die auf ein Flugzeug wirken und hebt die Auftriebskraft hervor. Die LK geht mit den SuS auf die Kräfte beim Horizontalflug ein und zeigt das Tafelbild (Material MI2). Die LK geht mit den SuS auf die Beziehung der Kräfte beim Steig- und Sinkflug ein.	Die SuS beschreiben, welche Kräfte auf ein Flugzeug wirken. Die SuS beschreiben qualitativ, wie die Kräfte beim Horizontalflug in Beziehung zueinanderstehen. Die SuS beschreiben qualitativ, wie die Kräfte beim Steig- und Sinkflug in Beziehung zueinanderstehen.	UG	Smartboard/ Tafelbild (Material MI2)	Es sollte insbesondere auf die Beziehung zwischen Auftriebs- und Gewichtskraft beim Steig-, Sink- und Horizontalflug eingegangen werden.
Mögliche Teilung der Doppelstunde in 2 Einzelstunden						
3	Gelenk II	Die LK teilt den SuS mit, dass sie nun herausfinden werden, wie ein Flugzeug fliegt und teilt die Lerngruppe in 4er- Gruppen (Expertengruppen) auf. Die LK fordert die SuS auf, sich in die eingeteilten 4er-Gruppen umzusetzen. Die LK teilt den Expertengruppen jeweils die Versuchsmaterialien (für die Newton-Gruppen) bzw. die Laptops/Tablets (für die Bernoulli-Gruppen) sowie die Arbeitsblätter und Hinweiskarten (Materialien MI6-MI13) aus.	Die SuS setzen sich in die durch die LK zugeteilten 4er-Gruppen.		Laptops/Tablets Versuchsmaterialien / Arbeitsblätter und Hinweiskarten (Materialien MI6-MI13)	Die Sitzordnung sollte so verändert werden, dass sich in den 4er-Gruppen je zwei SuS gegenüber-sitzen.
20	Erarbeitung V	Die LK steht für Fragen zur Verfügung und beantwortet bei Bedarf Fragen der SuS.	Die SuS führen Experimente in Gruppenarbeit durch und dokumentieren diese auf den Arbeitsblättern. Die SuS bearbeiten die Hinweiskarten, um mit dem BBB-Modell zu erklären, wie der Auftrieb am Tragflügel entsteht.	GA	Laptops/Tablets Versuchsmaterialien / Arbeitsblätter und Hinweiskarten (Materialien MI6-MI13)	

8	Sicherung II	Die LK teilt Plakate in A3-Format aus und fordert die SuS auf, ihr Erklärungsmuster auf dem Plakat mit dem BBB-Modell für die anderen Gruppen verständlich darzustellen.	Die SuS erstellen zu ihrem Erklärungsmuster ein Plakat nach dem BBB-Modell.	GA	Plakate in A3-Format	
5	Vertiefung I	Die LK fordert die SuS auf, sich so umzusetzen, dass sich je zwei Experten eines Erklärungsmusters in 4er-Gruppen (Stammgruppen) gegenüber sitzen und sie nun für ihr Erklärungsmuster argumentieren sollen.	Die SuS argumentieren mündlich mit dem BBB-Modell für ihr Erklärungsmuster.	GA	Plakate in A3-Format	Bei dem Verweis auf das Argumentieren sollte auf das BBB-Modell verwiesen werden.
7	Vertiefung II	Die LK teilt in den Stammgruppen den Fachbuchauszug zum Widerspruch der beiden Erklärungsmuster (Material MI14) aus und fordert die SuS auf sich den Text durchzulesen und die gewonnenen Erkenntnisse in ihre Argumentation miteinzubauen.	Die SuS lesen sich den Buchauszug durch und berücksichtigen diesen bei der weiteren Argumentation.	GA	Buchauszug zu den Erklärungsmustern (Material MI14)	
7	Sicherung III	Die LK fordert die SuS auf, die Argumentationsergebnisse im Plenum vorzustellen. Die LK erläutert, dass die Entstehung des Auftriebs in der Wissenschaft durch verschiedene Erklärungsmuster diskutiert wird und deshalb nicht eindeutig beantwortet werden kann. Die LK erläutert, dass diese konkurrierende Existenz von Erklärungen Teil des wissenschaftlichen Diskurses ist und für die Erklärung des Auftriebs beide Erklärungen verwendet werden (Tafelbild: Material MI3). Die LK fordert die SuS auf, zwei der erstellten Plakate begründet auszuwählen und hängt die Plakate dann im Klassenraum auf.	Einzelne SuS stellen die Argumentationsergebnisse im Plenum vor. Die SuS wählen begründet zwei Plakate aus.	UG	Smartboard/ Tafelbild (Material MI3) Ggf. Tafelbild (Material MI4)	Ggf. geht die LK qualitativ auf die Zirkulationsströmung ein (Tafelbild: Material MI4). Bei der Begründung der Plakatwahl sollte auf das Argumentieren im BBB-Modell verwiesen werden.

Didaktische Begründung:

Nach Kubsch & Sorge (2021) sollte das BBB-Modell anhand von Alltagskontexten der SuS eingeführt werden und erst im Anschluss auf den Fachkontext übertragen werden. Dies wurde über das Lieblingsreiseziel (Alltagskontext) erreicht, woraufhin das Modell auf das Fliegen (Fachkontext) übertragen wurde. Kubsch & Sorge (2021) empfehlen die Struktur von Erklärungen explizit zu verdeutlichen, weshalb auf dem verwendeten Arbeitsblatt für das Lieblingsreiseziel (**Material MI5**) die Bestandteile Behauptung, Beleg und Begründung bereits explizit notiert und dahinter jeweils Lücken gelassen wurden, welche die SuS ausfüllen sollen. Nach der Vorstellung des BBB-Modells wird das in A3-Format (von der Lehrkraft vor der Unterrichtsstunde) ausgedruckte **Material MI1** als Poster in der Klasse für die SuS sichtbar aufgehängt, damit die SuS bei der Bearbeitung der Fachinhalte (und der weiteren Unterrichtsstunden) auf das Poster schauen können, um so eine Hilfestellung und Merkhilfe bei Erklärungen und Argumentationen zu haben. Hierdurch findet eine Ergebnissicherung des BBB-Modells statt.

Da im Rahmenlehrplan die Themen Fliegen, Auftrieb sowie die Strömungslehre nicht vorkommen (RLPPhyBerSI, 2015), können inhaltlich keine Fachkenntnisse vorausgesetzt werden.

Die Zirkulationsströmung ist für SuS nicht intuitiv (Weltner, 2000), weshalb diese Erklärung nur mit einer besonders leistungsstarken Lerngruppe als Vertiefung am Ende der Stunde qualitativ erläutert werden sollte. Zudem ist die Zirkulationsströmung umstritten (Weltner, 2000). Stattdessen sollen die SuS die geläufige Erklärung über die Bernoulli-Gleichung, wie von Wodzinski (1999) vorgeschlagen, und die Erklärung über das Wechselwirkungsgesetz, wie von Weltner (2000) vorgeschlagen, kennenlernen und das Fliegen jeweils in Gruppen über eines der Erklärungsmusters mit dem BBB Modell erklären. Hierzu sollen die SuS zuerst zum jeweiligen Erklärungsmuster ein Experiment durchführen und anschließend Hinweiskarten bearbeiten (**Materialien MI6-MI13**).

Die SuS mit dem Erklärungsmuster Bernoulli-Gleichung führen ein Interaktives Bildschirmexperiment zur Druckverteilung am Tragflügel durch, wodurch sie erkennen, dass über der Tragfläche ein Unterdruck und unterhalb ein Überdruck entsteht. Über die Bernoulli-Gleichung und das hieraus folgende Bernoulli-Prinzip sollen die SuS nun schlussfolgern, dass die Geschwindigkeit der Luftteilchen oberhalb der Tragfläche größer als unterhalb ist und durch die entstehende

Druckverteilung eine Auftriebskraft erzeugt wird. Die SuS mit dem Erklärungsmuster Wechselwirkungsprinzip bauen aus gegebenen Versuchsmaterialien ein Experiment zur Vertikalbeschleunigung ruhender Luft durch eine horizontal bewegte Tragfläche auf und führen dieses im Anschluss durch. Die SuS erkennen hierdurch, dass die Luft am Tragflügel nach unten beschleunigt wird und als Gegenkraft die Auftriebskraft entsteht. Zur individuellen Ergebnissicherung dienen die Arbeitsblätter, zur Visualisierung des kollaborativen Lernzuwachses werden A3-Poster mit den jeweiligen Erklärungsmustern von den SuS produziert.

Im Anschluss daran sollen die Modelle miteinander verglichen werden, indem die SuS in Gruppen jeweils für eine der Erklärungen nach dem BBB-Modell argumentieren. Als Argumentationshilfestellung dient ein Fachbuchauszug (**Material MI14**). Zum Vergleich müssen die SuS ihre Behauptung (Erklärungsmuster) begründen und zugleich begründen, warum die andere Behauptung nicht stimmt. Die SuS lernen hierdurch die Existenz von konkurrierenden Erklärungen in der (Natur-)Wissenschaft kennen, wodurch sie einen Teil wissenschaftlichen Arbeitens kennenlernen und so ihre scientific literacy weiterentwickeln.

Die Lehrkraft sichert mit einem Tafelbild (**Material MI3, ggf. MI4**) die inhaltlichen Ergebnisse der Stunde, in dem beide Erklärungsmuster zur Erklärung des Fliegens verwendet werden. Am Ende der Stunde wird zu jedem Erklärungsmuster jeweils ein Poster von den SuS (begründet) ausgewählt, welche dann im Klassenzimmer aufgehängt werden sollen. Hierzu sollen die SuS für ein Poster argumentieren, wodurch sie das BBB-Modell erneut anwenden und hierdurch weiter einüben können. Durch das demokratische Auswählen des Posters werden die SuS an der Ergebnisdokumentation der Stunde partizipiert, sie wenden zudem das Mehrheitsprinzip an. Hierdurch wird implizit Demokratiebildung gefördert.

Nach dem Agency-Modell sind für die Phase *Problematisieren* Fachwissen und prozessbegleitende Kompetenzen notwendig (Wyrwich et al., 2023). Das Fachwissen ist hier das Fachwissen über die Auftriebserklärung am Tragflügel, die prozessbegleitenden Kompetenzen sind das naturwissenschaftliche Erklären und Argumentieren mit dem BBB-Modell. Dadurch, dass zwischen zwei Erklärungsmustern gewählt werden soll, findet auch eine innerfachliche Bewertung statt. Somit wird auch die prozessbegleitende Bewertungskompetenz gefördert.

5.4.2 Unterrichtsstunde II

Phase im Agency-Modell: Problematisieren + Evaluieren

Inhalt der Stunde:

In dieser Stunde wird die Argumente-Kommode durch einen Konzept-Cartoon, in der Jugendliche über die Frage diskutieren, ob man zu seinem Lieblingsreiseziel fliegen sollte, eingeführt. Anschließend findet durch die Auseinandersetzung und Reflexion von Werten und Normen (in Argumenten und im Allgemeinen) schulische Wertbildung statt. Die SuS sollen gesammelte Argumente den Kategorien der Argumente-Kommode zuordnen. In der zweiten Hälfte der Stunde beschäftigen sich die SuS mit dem Thema der Nachhaltigkeit (Konzept, Modelle, Nachhaltigkeitsziele der UN), erkennen dieses als umfassenden Wert und leiten hieraus die Norm, nachhaltige Entscheidungen zu treffen, ab.

Eine mögliche Verlaufsplanung der Unterrichtsstunde II ist in Tabelle 21 dargestellt, nähere Hinweise und die Unterrichtsmaterialien finden sich im Lehrkräftehandbuch im Anhang 8.1.2.

Kompetenzziele:

Nach der Unterrichtsstunde sollen folgende Kompetenzziele erreicht werden.

Die SuS können...

- Argumente mit der Argumente Kommode in die Kategorien *Sachwissen, Werte und Normen* sowie *Interessen* einordnen und zwischen Pro- und Contra-Argumenten unterscheiden.
- individuelle und gesellschaftliche Werte und Normen, die ihre Entscheidungen beeinflussen, reflektieren.
- das Konzept der Nachhaltigkeit beschreiben und Ableitungen für gesellschaftliches und individuelles Handeln bilden.
- die Nachhaltigkeitsziele der UN beschreiben.

Tabelle 21: Möglicher Verlaufsplan der Unterrichtsstunde II

Zeit (min)	Phase	Geplantes LK-Verhalten	Geplantes SuS-Verhalten	Sozialform	Medien/Materialien	Kommentare
3	Einstieg	Die LK begrüßt die SuS und fordert sie auf darüber nachzudenken, ob sie zu ihrem Lieblingsreiseziel fliegen sollten und zeigt dabei den Konzept-Cartoon (Material MII1).	Die SuS hören zu, lesen sich die Aussagen im Konzept-Cartoon durch und denken über die Frage nach, ob man zum Lieblingsreisziel fliegen sollte.	LV	Smartboard/ Tafelbild (Material MII1)	
5	Erarbeitung I	Die LK fordert die SuS auf, zu den Argumenten im Konzept-Cartoon Stellung zu beziehen und weitere Argumente zu sammeln, die für oder gegen das Fliegen sprechen. Die LK notiert die Argumente auf einer Flipchart-Seite	Die SuS beziehen Stellung zu den Argumenten und sammeln weitere Argumente	UG	Smartboard, Flipchart/ Tafelbild (Material MII1)	Argumente sammeln
5	Erarbeitung II	Die LK fordert die SuS auf, auf die Struktur der Argumente zu achten, diese zu beschreiben und dann zu kategorisieren. Die LK gibt ggf. Hinweise, so dass die SuS die Kategorien der Argumente Kommode selbst herausfinden.	Die SuS kategorisieren die Argumente und beschreiben ihre Überlegungen.	UG	Flipchart	Argumente kategorisieren
5	Sicherung I	Die LK stellt die Argumente-Kommode vor und zeigt hierzu ein Tafelbild (Material MII2). Die LK erläutert die drei Kategorien der Argumente Kommode kurz und verweist darauf, dass die bisher gesammelten Argumente auf Vorwissen beruhen und die Argumenttypen näher untersucht werden müssen. Die LK beantwortet ggf. Fragen der SuS und hängt anschließend das Tafelbild (Material MII2) in A3-Format als Poster im Klassenraum auf.	Die SuS hören zu und stellen ggf. Fragen zu den Kategorien.	LV	Smartboard/ Tafelbild (Material MII2)	Einführung der Argumente Kommode

5	Erarbeitung III	Die LK erläutert, dass nun die Werte und Normen-Argumente untersucht werden. Die LK erfragt bei den SuS ihr Vorwissen zu Werten und Normen und erarbeitet sich gemeinsam mit den SuS das Tafelbild (Material MII3).	Die SuS nennen Vorwissen zu Werten und Normen. Die SuS erarbeiten gemeinsam mit der LK das Tafelbild.	UG	Smartboard/ Tafelbild (Material MII3)	Erarbeitung der Werte und Normen – Kategorie der Argumente-Kommode.
7	Erarbeitung IV	Die LK teilt das Arbeitsblatt zur Argumente-Kommode (Material MII10) aus und fordert die SuS auf dieses zu bearbeiten.	Die SuS bearbeiten das Arbeitsblatt.	EA	Arbeitsblatt zur Argumente Kommode (Material MII10)	Anwendung der Argumente-Kommode
10	Sicherung II	Die LK zeigt das Tafelbild zur Argumente Kommode (Material MII4) und fordert einzelne SuS auf, ihre Ergebnisse am Smartboard zu notieren und zu begründen.	Einzelne SuS notieren und begründen ihre Ergebnisse am Smartboard.	UG	Smartboard/ Tafelbild (Material MII4)	
5	Gelenk I	Die LK geht auf den Wert der Nachhaltigkeit ein und fordert die SuS zu einem Brainstorming hierzu auf und notiert die Äußerungen der SuS am Smartboard.	Die SuS nennen Gedanken, die ihnen zum Wert Nachhaltigkeit einfallen.	UG	Smartboard	Impulse zum Brainstorming: „Was ist Nachhaltigkeit?“, „Was bedeutet Nachhaltigkeit für euch im Alltag?“
Mögliche Teilung der Doppelstunde in 2 Einzelstunden						
8	Erarbeitung V	Die LK teilt einer Klassenhälfte das Arbeitsblatt zum Nachhaltigkeitskonzept (Material MII11) und der anderen Hälfte das Arbeitsblatt zu den Nachhaltigkeitsmodellen (Material MII12) aus und fordert die SuS auf diese zu bearbeiten.	Die SuS bearbeiten jeweils eines der beiden Arbeitsblätter.	EA	Arbeitsblatt zum Nachhaltigkeitskonzept (Material MII11) Arbeitsblatt zu den Nachhaltigkeitsmodellen (Material MII12)	
7	Erarbeitung VI	Die LK teilt das Arbeitsblatt zur Nachhaltigkeit (Material MII13) aus und fordert die SuS auf, dieses gemeinsam mit ihrem/er Sitznachbarn/in zu bearbeiten.	Die SuS bearbeiten das Arbeitsblatt.	PA	Arbeitsblatt zur Nachhaltigkeit (Material MII13)	

5	Sicherung III	Die LK bespricht mit den SuS das Arbeitsblatt und fordert die SuS im Anschluss daran auf, begründet für eines der Nachhaltigkeitsmodelle abzustimmen. Die LK hängt das Poster zum gewählten Modell im Klassenraum auf.	Einige SuS stellen ihre Ergebnisse vor. Die SuS stimmen begründet für ein Nachhaltigkeitsmodell ab.	UG	Arbeitsblatt zur Nachhaltigkeit (Material MII13) Poster in A3-Format (Materialien MII7-MII9)	
4	Gelenk II	Die LK stellt die Nachhaltigkeitsziele der UN mit dem Tafelbild (Material MII5) vor, welches auch in A3-Format ausgedruckt im Klassenzimmer aufgehängt wird. Die LK teilt die Klasse in 4er Gruppen und erläutert den Arbeitsauftrag: Die Nachhaltigkeitsziele der UN sollen dem oder den Bereichen der Nachhaltigkeit (Ökonomie, Ökologie, Soziales) begründet zugeordnet und anschließend im Plenum vorgestellt werden.	Die SuS hören zu und setzen sich in 4er Gruppen.		Smartboard/ Tafelbild und Poster in A3 Format (Material MII5)	Es kann ggf. auch eine 5er-Gruppe gebildet werden.
8	Erarbeitung VII	Die LK teilt die siebzehn Karten zu den Nachhaltigkeitszielen der UN (Material MII15) auf die 4er-Gruppen auf.	Die SuS ordnen den Nachhaltigkeitszielen auf den Karten begründet einen Nachhaltigkeitsbereich zu.	GA	Karten zu den Nachhaltigkeitszielen der UN (Material MII15)	
10	Sicherung IV	Die LK teilt das Arbeitsblatt zu den Nachhaltigkeitszielen der UN (Material MII14) aus und zeigt das zum Arbeitsblatt zugehörige Tafelbild (Material MII6). Die LK fordert die Gruppen auf, ihre Ergebnisse zu präsentieren.	Die Gruppen präsentieren ihre Ergebnisse am Smartboard und tragen dort die Kreuze ein.	UG	Smartboard/ Arbeitsblatt Nachhaltigkeitsziele der UN (Material MII14) Tafelbild zum Arbeitsblatt (Material MII6)	
3	Zusammenfassung	Die LK erläutert, dass Nachhaltigkeit viele Aspekte umfasst und deshalb ein wichtiger Wert ist, aus dem sich die Norm ableitet, nachhaltige Entscheidungen (auch bei der Entscheidung zu fliegen) zu treffen und klärt ggf. noch offene Fragen der SuS.	Die SuS hören zu und stellen ggf. Fragen.	UG		

Didaktische Begründung:

Damit die SuS lernen die verschiedenen Argumenten, denen sie täglich ausgesetzt sind, zu ordnen, wird das hierfür empirisch bewährte (siehe z.B. Schecker & Höttecke, 2021) Methodenwerkzeug *Argumente-Kommode* verwendet. Um die Argumente-Kommode einzuführen, werden Argumente zu einem Konzept-Cartoon (**Material MII1**) von den SuS gesammelt und gemeinsam mit der Lehrkraft geordnet. Es wurden 3 Aussagen gewählt, die jeweils einen Argumenttyp der Argumente-Kommode enthalten, um die SuS so anzuregen weitere Argumente zu sammeln und diese später in die Kategorien zu ordnen. Der Konzept-Cartoon soll, wie von Schecker & Höttecke (2021) empfohlen, als strukturierter Argumentationsanlass genutzt werden. Es wurde zudem auf die Qualitätskriterien von Konzept-Cartoons (Sprechblasentexte, Darstellung der Charaktere und der Konzept-Cartoon Situation, Formulierung des begleitenden Arbeitsauftrags) nach Feige & Lembers (2020) geachtet: So wurden die Sprechblasentexte möglichst kurz formuliert (maximal zwei Sätze) und ein Arbeitsauftrag formuliert, der zur Kommunikation auffordert (Die LK fordert die SuS auf Stellung zu beziehen und weitere Argumente zu sammeln). Damit sich die SuS gut mit den Cartoon-Charakteren identifizieren, wurden diese heterogen erstellt, es sind zwei Mädchen und zwei Jungen mit unterschiedlichen Haar- und Hautfarben. Sie tragen zudem keine Namen und können von der Lehrkraft ergänzt werden (Keine Namen, die in der Klasse vorkommen). Die Cartoon-Situation stellt einen Bezug zur Unterrichtsstunde I dar, in der die SuS am Anfang mit einem Partner über ihr Lieblingsreisziel gesprochen haben: Die Cartoon-Situation beschreibt eine Alltagssituation, in der die SuS in einer Gruppe darüber reden, ob sie zum Lieblingsreiseziel fliegen sollten. Durch den Konzept-Cartoon sollen die SuS die Dilemma-Situation erkennen, dass Argumente für und gegen das Fliegen sprechen. Das Auftreten des Dilemmas bildet nach Blum et al. (2011) die Grundlage transformativen Lernens nach Merzirow. Durch das Auseinandersetzen mit und das Reflektieren von Werten und Normen findet nach Thome (2019) zudem schulische Wertebildung statt.

Im Rahmenlehrplan wird ausgeführt, dass die Behandlung der Nachhaltigkeit eine Querschnittsaufgabe aller Fächer ist und die SuS durch multiperspektivisches Denken eine verantwortungsbewusste Handlungskompetenz erwerben sollen (RLPBerSIIB, 2021, S. 23). Während die Multiperspektivität durch das Argumentieren beim Konzept-Cartoon in der ersten Unterrichtshälfte geschehen

soll, wurde in der zweiten Unterrichtshälfte der Fokus auf die Nachhaltigkeit gelegt. Hierdurch wird, wie von Sander (2017) empfohlen, die Bildung nachhaltiger Entwicklung als Leitbild für den Unterricht und für das eigene Handeln aufgezeigt. Um die Nachhaltigkeit einzuführen, wurde nach einem Brainstorming zur Aktivierung des Vorwissens zwei Arbeitsblätter vorbereitet, die zum einen das Konzept der Nachhaltigkeit einschließlich deren Bereiche (**Material MII11**) und zum anderen die Nachhaltigkeitsmodelle (**Material MII12**) erläutern. Hierzu wurde ein Text des Deutschen Bundestags (Parlamentarischer Beirat des Deutschen Bundestages, o.D.) und ein Artikel der Fachzeitschrift *Aus Politik und Zeitgeschichte* (Pufé, 2014) gewählt. Auf einem Arbeitsblatt (**Material MII13**) sollen die SuS in Partnerarbeit Nachhaltigkeit mit einem der Modelle definieren und die Wahl des Modells begründen, weshalb beide Texte hierfür notwendig sind. Zur Auseinandersetzung mit den Nachhaltigkeitszielen wurden Karten mit Bildern und Kurztexten der Website *17ziele.de* verwendet, da diese die Nachhaltigkeitsziele in kurzen Sätzen erklären. Um einen Transfer zu dem Nachhaltigkeitskonzept aufzuzeigen, sollen die SuS in Gruppenarbeit den Nachhaltigkeitszielen der UN die Nachhaltigkeitsbereiche zuordnen (**Material MII15**).

Zur Ergebnissicherung dienen individuell die Arbeitsblätter (**Materialien MII10-MII14**) und zur Visualisierung des kollaborativen Lernfortschritts die aufgehängten Plakate (**Materialien MII2, MII5, MII7-MII9**). Zur Differenzierung wurden zwei Varianten des Arbeitsblatts zur Argumente-Kommode (**Material MII10**) erstellt. Bei der Variante 2 sind im Gegensatz zur Variante 1 noch Beispiele in den Kästen der Argumente vorhanden. Je nachdem wie die Erarbeitungsphase mit den SuS abgelaufen ist, kann die Lehrkraft festlegen, welche der Varianten ausgeteilt wird. Da dieses Arbeitsblatt in Einzelarbeit durchgeführt wird, können auch einzelnen SuS jeweils eine der Varianten ausgeteilt werden.

Nach dem Agency-Modell sind für die Phase *Problematisieren* Fachwissen und prozessbegleitende Kompetenzen notwendig (Wyrwich et al., 2023). Prozessbegleitende Kompetenzen sind durch das Methodenwerkzeug Argumente-Kommode die Bewertungskompetenz, das Fachwissen ist Wissen über Nachhaltigkeit (Konzept, Modelle und Nachhaltigkeitsziele der UN). Für die Phase des *Evaluierens* ist zudem Wertebildung notwendig. Diese findet durch die Auseinandersetzung mit Werten und Normen (der gesammelten Argumente und im Allgemeinen) statt (**Material MII3**).

5.4.3 Unterrichtsstunde III

Phase im Agency-Modell: Evaluieren

Inhalt der Stunde:

In dieser Stunde lernen die SuS die Klimaauswirkungen von Flugzeugen und die zugrundeliegenden physikalischen Grundlagen (Strahlungsgleichgewicht, natürlicher/anthropogener Treibhauseffekt) phänomenbasiert kennen, um so die Sachargumente der Argumente-Kommode der letzten Stunde zu überprüfen und ggf. zu erweitern. Zur Erarbeitung der physikalischen Grundlagen experimentieren die SuS (teils eigenständig, teils gemeinsam mit der Lehrkraft) mit Aktivitäten aus dem Klimakoffer der LMU München (Scorza et al., 2022). Basierend auf den Grundlagen erarbeiten sich die SuS in der zweiten Hälfte der Stunde die Klimaauswirkungen von Flugzeugen kollaborativ.

Eine mögliche Verlaufsplanung der Unterrichtsstunde III ist in Tabelle 22 dargestellt, nähere Hinweise und die Unterrichtsmaterialien finden sich im Lehrkräftehandbuch im Anhang 8.1.3.

Kompetenzziele:

Nach der Stunde sollen folgende Kompetenzziele erreicht werden.

Die SuS können...

- den Begriff *Strahlungsgleichgewicht* durch das *Erdkugel-Glühstrahler-Modell* (aus dem Klimakoffer der LMU) erklären und dadurch beschreiben, dass sich die Erde in einem Strahlungsgleichgewicht befindet.
- die mittlere Gleichgewichtstemperatur der Erde ohne Atmosphäre vereinfacht mit dem Stefan-Boltzmann-Gesetz berechnen.
- den natürlichen Treibhauseffekt in eigenen Worten erklären und ihn vom anthropologischen Treibhauseffekt unterscheiden.
- die CO_2 -Klimawirkung von Flugzeugen in eigenen Worten beschreiben und einen Zusammenhang zum anthropologischen Treibhauseffekt herstellen.
- die weiteren Klimaauswirkungen (Nicht- CO_2 -Effekte) von Flugzeugen in eigenen Worten beschreiben und sie von dem CO_2 -Effekten (anthropogener Treibhauseffekt) unterscheiden.

Tabelle 22: Möglicher Verlaufsplan der Unterrichtsstunde III

Zeit (min)	Phase	Geplantes LK-Verhalten	Geplantes SuS-Verhalten	Sozialform	Medien/Materialien	Kommentare
3	Einstieg	Die LK begrüßt die SuS und fordert sie auf sich die gesammelten Sachargumente aus der Argumente-Kommode anzuschauen und fordert zu einem Brainstorming zu den Klimaauswirkungen von Flugzeugen auf. Die LK leitet die Leitfrage ab, welche Klimaauswirkungen Flugzeuge haben und welche Rolle dabei das CO_2 spielt.	Die SuS hören zu und nennen ihr Vorwissen zur Klimawirkung von Flugzeugen.	UG		
6	Experimentierphase I	Die LK erläutert, dass für ein Verständnis der Klimaauswirkungen physikalische Grundlagen notwendig sind und erklärt den Versuchsaufbau (Experiment zur Aktivität 2, Teil 1 aus dem LMU-Klimakoffer). Die LK sammelt Vermutungen, ob sich die Kugel immer weiter erwärmen wird und teilt das Arbeitsblatt zum Strahlungsgleichgewicht aus (Material MIII3). Die LK führt das Experiment mit einzelnen SuS als Assistierende durch und notiert die Messdaten an die Tafel. Die LK stellt mit den SuS fest, dass sich eine Gleichgewichtstemperatur einstellt.	Die SuS hören zu und äußern Vermutungen zum Experiment. Die SuS notieren die Messdaten auf dem Arbeitsblatt und stellen fest, dass sich eine Gleichgewichtstemperatur einstellt.	UG	Arbeitsblatt zum Strahlungsgleichgewicht (Material MIII3)	Experiment I: Einzelne SuS können während des Demonstrations experiments als Assistierende fungieren. Das Experiment kann auch von einzelnen SuS durchgeführt werden.
2	Sicherung I	Die LK erarbeitet mit den SuS die einzelnen Schritte an einem Tafelbild (Material MIII1).	Die SuS äußern Vermutungen zur Versuchserklärung.	UG	Smartboard/Tafelbild (Material MIII1)	
3	Erarbeitung I	Die LK stellt das Modell Glühstrahler-Erdkugel vor und fordert die SuS auf das Versuchsergebnis auf das Modell zu übertragen, zuerst auf ihrem Arbeitsblatt und anschließend im Plenum.	Die SuS übertragen das Versuchsergebnis auf das Modell. Einzelne SuS präsentieren ihre Ergebnisse.	UG	Arbeitsblatt zum Strahlungsgleichgewicht (Material MIII3)	
2	Sicherung II	Die LK sichert die Ergebnisse: Nach dem Modell befindet sich die Erde in einem Strahlungsgleichgewicht.	Die SuS korrigieren ggf. ihre Formulierungen auf dem Arbeitsblatt.	LV	Arbeitsblatt Strahlungsgleichgewicht (Material MIII3)	

4	Vertiefung I	Anschließend teilt die LK den SuS mit, dass man die Gleichgewichtstemperatur auch berechnen kann: Dazu wird das Stefan-Boltzmann Gesetz vorgestellt und erläutert, dass die Erde einen Teil der eintreffenden Sonnenstrahlung entsprechend ihrer Albedo ins Weltall reflektiert und nur ein Teil zur Erwärmung der Erde beiträgt. Die LK fordert die SuS auf, die mittlere Temperatur auf der Erdoberfläche mit der Annahme eines Strahlungsgleichgewichts mit ihrem/r Sitznachbarn/in zu berechnen.	Die SuS hören zu und berechnen die mittlere Temperatur auf der Erdoberfläche.	PA		
3	Sicherung III	Die LK erarbeitet mit den Ergebnissen der SuS das Vorgehen an der Tafel (Material MIII2).	Die SuS präsentieren ihre Ergebnisse.	UG	Smartboard/ Tafelbild (Material MIII2)	
2	Erarbeitung II	Die LK teilt den SuS mit, dass die Durchschnittstemperatur auf der Erde ca. 15°C beträgt, motiviert durch das abweichende Ergebnis ($T \approx -18^\circ\text{C}$) eine Erweiterung des Modells und erarbeitet mit den SuS die Existenz einer Atmosphäre.	Die SuS äußern Vermutungen zur Abweichung von Theorie/Experiment und nennen die Atmosphäre als Erklärung.	UG		Erzeugung eines kognitiven Konflikts.
10	Erarbeitung III	Die LK teilt das Arbeitsblatt zum natürlichen Treibhauseffekt (Material MIII4) aus und fordert die SuS auf, dieses mit ihrem/r Sitznachbarn/in zu bearbeiten.	Die SuS bearbeiten das Arbeitsblatt.	PA	Arbeitsblatt natürlicher Treibhauseffekt (Material MIII4)	
5	Sicherung IV	Die LK fordert einzelne SuS auf, ihre Ergebnisse zu präsentieren und bespricht ggf. auftretende Fragen.	Einzelne SuS präsentieren ihre Ergebnisse.	UG		Natürlicher Treibhauseffekt ist notwendig.
Mögliche Teilung der Doppelstunde in 2 Einzelstunden						
1	Gelenk I	Die LK erläutert, dass die SuS durch ein Experiment den Einfluss des zusätzlich entstehenden CO_2 in der Atmosphäre untersuchen werden und teilt die SuS in Gruppen auf, verändert die Tischordnung und teilt die Experimentiermaterialien zum zweiten Experiment und das dazugehörige Arbeitsblatt (Material MIII5) aus.	Die SuS setzen sich in Gruppen um.		Experimentiermaterialien/ Arbeitsblatt anthropogener Treibhauseffekt (Material MIII5)	

10	Experimentierphase II	Die LK fordert die SuS auf, sich die Anweisungsschritte auf dem Arbeitsblatt durchzulesen und anschließend das Experiment durchzuführen. Die LK hilft Gruppen, die Probleme beim Experimentieren haben.	Die SuS führen das Experiment durch und bearbeiten das Arbeitsblatt.	GA	Experimentiermaterialien/ Arbeitsblatt anthropogener Treibhauseffekt (Material MIII5)	Experiment II
1	Gelenk II	Die LK führt den Begriff des anthropogenen Treibhauseffekts ein und erläutert kurz Folgen des Klimawandels.	Die SuS hören zu.	LV		
6	Sicherung V	Die LK teilt Plakate aus und fordert die SuS auf, auf der ersten Hälfte der Plakate die physikalischen Grundlagen der Klimaauswirkungen der Luftfahrt (Treibhauseffekt, etc.) anschaulich darzustellen.	Die SuS stellen die physikalischen Grundlagen auf einem Plakat dar.	GA	Plakate in A3-Format	Plakathälfte I erstellen
1	Gelenk III	Die LK teilt den SuS mit, dass nun die physikalischen Grundlagen erworben wurden und sie nun die Klimaauswirkungen auf der Website <i>klimaschutzportal.aero</i> selbstständig erarbeiten sollen.	Die SuS hören zu.			
15	Erarbeitung IV	Die LK teilt Laptops/Tablets, das Arbeitsblatt zu den Klimaauswirkungen der Luftfahrt (Material MIII6) und weitere Materialien (Materialien MIII7-MIII11) aus und erklärt den zur Recherche begleitenden Arbeitsauftrag.	Die SuS recherchieren und erarbeiten sich mit dem Arbeitsblatt die Klimawirkung.	GA	Tablets/ Laptops/ Arbeitsblatt zur Klimawirkung der Luftfahrt (Material MIII6) + Materialien MIII7-MIII11	Recherche
6	Sicherung VI	Die LK fordert die SuS auf, auf der zweiten Hälfte der Plakate die Klimaauswirkungen der Luftfahrt anschaulich darzustellen.	Die SuS stellen die Klimaauswirkungen auf dem Plakat dar.	GA	(beschriebene) Plakate in A3-Format	Plakathälfte II erstellen
10	Sicherung VII / Abschluss	Die LK fordert die Gruppen auf, ihre Ergebnisse kurz im Plenum vorzustellen. Die LK fordert die SuS auf, eines der erstellten Plakate begründet auszuwählen und hängt es dann im Klassenraum auf.	Die SuS stellen ihre Ergebnisse vor. Die SuS wählen begründet ein Plakat aus.	UG		Vorstellen, Auswählen und Aufhängen eines Plakats

Didaktische Begründung:

In dieser Stunde sollen die Sachwissen-Argumente aus der Argumente-Kommode der letzten Stunde überprüft und ggf. erweitert werden. Für die Entscheidung, ob und wieviel man fliegt, müssen die SuS Fachwissen über die Klimawirkung von Flugreisen erwerben, da Fachwissen die Grundlage für Bewertungskompetenz ist (KMK, 2004c, S. 7).

Um die Klimawirkung von Flugreisen zu verstehen, ist ein Verständnis der physikalischen Grundlagen des anthropogenen Treibhauseffekts notwendig. Diese sind sehr komplex und müssen daher didaktisch reduziert ausgewählt und vermittelt werden. Dafür wurde der LMU-Klimakoffer zum Klimawandel verwendet, dieser enthält ein ausführliches Handbuch mit den physikalischen Grundlagen und zudem 12 Aktivitäten mit diversen SuS-Experimenten (Scorza et al., 2022), welche die physikalischen Grundlagen des Klimawandels didaktisch reduziert und phänomenbasiert vermitteln. Aus dem Handbuch des Klimakoffers wurden deshalb drei physikalische Grundlagen zum Klimawandel gewählt, die für das Verständnis der Klimawirkung des Luftverkehrs notwendig sind: Das Strahlungsgleichgewicht der Erde, der natürliche Treibhauseffekt und der anthropogene Treibhauseffekt. Aus diesem Grund wurde das Experiment zur Gleichgewichtstemperatur aus der Aktivität 2 (Teil 1) des LMU-Klimakoffers gewählt. Um anschließend in einem Unterrichtsgespräch die Existenz einer Atmosphäre zu begründen, soll dieses Experiment als Demonstrationsexperiment durchgeführt werden. Dieses Experiment eignet sich gut, um ein grundlegendes Verständnis für das dynamische Gleichgewicht beim Klimawandel aufzubauen (Manthey, 2023). Um die Wirkung von zusätzlichen Treibhausgasen in der Atmosphäre (z.B. durch die Emission von CO_2 aus Flugzeugtriebwerken) auf die Gleichgewichtstemperatur zu demonstrieren, wurde das Experiment zur Wirkung von Treibhausgasen auf die Erdtemperatur (Aktivität 5, Teil 1 des LMU-Klimakoffers) gewählt. Damit die SuS die Grundlagen phänomenbasiert erkunden können und die Experimente selbst als SuS-Experimente angedacht sind, wird das Experiment als SuS-Experiment in Gruppen (4 - 5 Personen) eingesetzt. Zur Ergebnissicherung, Erarbeitung und Versuchsdokumentation wurden drei Arbeitsblätter zu je einem der drei Grundlagen erstellt. Das Arbeitsblatt zum Strahlungsgleichgewicht (**Material MIII3**) und das Arbeitsblatt zum anthropogenen Treibhauseffekt (**Material MIII5**) (d.h. zu den jeweiligen Versuchen) wurde aus dem Klimakoffer und den entsprechenden online verfügbaren konzipierten

Arbeitsblättern (Scorza et al., 2022, Scorza & Strähle, 2022, 2023) adaptiert und an die Unterrichtsstunde angepasst. Das Arbeitsblatt zum natürlichen Treibhauseffekt (**Material MIII4**) wurde auf Basis von Scorza et al. (2022) und UBA (2021) erstellt. Sollte es nicht möglich sein den Klimakoffer zu erwerben, wurde zudem über verlinkte Videos und Ersatzmessdaten (**Material MIII12**) Möglichkeiten erläutert, die Unterrichtsstunde auch ohne echte Experimente mit den konzipierten Materialien durchzuführen.

Zur Differenzierung wurden beim Arbeitsblatt 2 zum natürlichen Treibhauseffekt (**Material MIII4**) zwei Varianten konzipiert, eine enthält noch einen Hinweis zur Strahlungsbilanz auf der Erdoberfläche und in der Atmosphäre. Ebenso wurden beim Arbeitsblatt 3 (**Material MIII5**) zwei Differenzierungsvarianten der Seite 2 konzipiert, eine enthält noch einen Strukturierungshinweis der Erklärung mit der Erklärkette nach Tschentscher & Berger (2016). Die Erklärkette eignet sich nämlich als Methodenwerkzeug, um sachgerechtes Erklären bei den SuS zu fördern (Schecker & Höttecke, 2021).

Eine gute Übersicht und für SuS geeignete wissenschaftspropädeutische Erklärung über die komplexe Klimawirkung des Luftverkehrs (siehe z.B. Bopst et al., 2019 a, b) findet sich auf der Website *klimaschutz-portal.aero*, weshalb sich die SuS in einer Gruppen kollaborativ die Klimawirkung studieren sollen. Hierzu wurde ein begleitendes Arbeitsblatt erstellt, bei denen die SuS zentrale Aussagen zur Klimawirkung des Luftverkehrs als richtig oder falsch begründet einordnen sollen. Auf dem Arbeitsblatt (**Material MIII6**) wurde dies in Form einer Teilargumentation realisiert, da sich dieses Methodenwerkzeug für strukturierte Argumentationsanlässe und zur Förderung der Argumentationskompetenz empirisch bewährt hat (Schecker & Höttecke, 2021, Kraus, 2008a).

Neben der individuellen Ergebnissicherung über die Arbeitsblätter findet zudem durch das Anfertigen, die begründete Auswahl und das Aufhängen eines Posters im Klassenraum die Visualisierung des kollaborativen Lernzuwachses statt.

Nach dem Agency-Modell sind für die Phase *Evaluieren* Fachwissen, prozessbegleitende Kompetenzen und Wertebildung notwendig (Wyrwich et al., 2023). In dieser Stunde erwerben die SuS insbesondere Fachwissen über die Klimawirkung der Luftfahrt, um so eine fachliche Grundlage für die Entscheidung aufzubauen, ob und in welchem Ausmaß fliegen für sie in Ordnung ist und um in der Lage zu sein, Sachargumente auf fachliche Korrektheit zu prüfen.

5.4.4 Unterrichtsstunde IV

Phase im Agency-Modell: Evaluieren

Inhalt der Stunde:

In dieser Stunde setzen sich die SuS mit der Seriosität von Internetquellen sowie mit Interessen auseinander, um so mit einer eigenständigen Internetrecherche die gesammelten Interessen-Argumente aus der Argumente-Kommode (kritisch) zu überprüfen und ggf. zu ergänzen. In der zweiten Unterrichtshälfte beschäftigen sich die SuS mit nachhaltigen Handlungsoptionen bei unvermeidbaren Flügen, insbesondere mit der Möglichkeit der CO_2 -Kompensation. Am Ende der Stunde werden die kollaborativ gesammelten Ergebnisse in Form eines Galerierundgangs präsentiert.

Eine mögliche Verlaufsplanung der Unterrichtsstunde IV ist in Tabelle 23 dargestellt, nähere Hinweise und die Unterrichtsmaterialien finden sich im Lehrkräftehandbuch im Anhang 8.1.4.

Kompetenzziele:

Nach der Stunde sollen folgende Kompetenzziele erreicht werden.

Die SuS können...

- eigenständig und zielgerichtet im Internet nach Informationen recherchieren und dabei die verwendeten Quellen mit (selbst festgelegten) Bewertungskriterien bewerten und hieraus Schlussfolgerungen zur Seriosität und Verlässlichkeit ziehen.
- die dem Fliegen zugrundeliegenden Interessen aus entsprechenden Argumenten herausarbeiten.
- Handlungsoptionen bei unvermeidbaren Flugreisen nennen und begründen.
- insbesondere die Funktionsweise, das Potential, die Kritik und die Qualitätsstandards von CO_2 -Kompensationen beschreiben.
- erläutern, weshalb Qualitätsstandards bei CO_2 -Kompensationen wichtig sind.

Tabelle 23: Möglicher Verlaufsplan der Unterrichtsstunde IV

Zeit (min)	Phase	Geplantes LK-Verhalten	Geplantes SuS-Verhalten	Sozialform	Medien/Materialien	Kommentare
3	Einstieg	Die LK begrüßt die SuS, nimmt Bezug zur Argumente-Kommode und zeigt eine Statistik zur Flugpassagierentwicklung (Material MIV1). Die LK fordert die SuS auf diese Statistik zu beschreiben und fragt sie wieso Menschen fliegen, obwohl bekannt ist, dass die Luftfahrt solch eine große Klimawirkung hat. Die LK stellt gemeinsam mit den SuS fest, dass vor allem Interessen für das Fliegen verantwortlich sind und motiviert die SuS hierdurch sich damit auseinanderzusetzen.	Die SuS hören zu und beschreiben die Statistik.	UG	Smartboard/ Statistik zur Flugpassagierentwicklung (Material MIV1)	
3	Wiederholung	Die LK wiederholt, was Interessen sind und grenzt diese von Werten und Normen ab (Poster Stunde II). Die LK fordert die SuS auf, Beispiele für Interessen zu nennen.	Die SuS hören zu und nennen Interessen.	UG	Poster zu Werten und Normen aus Stunde II	
5	Erarbeitung I	Die LK teilt den SuS mit, dass diese heute selbst online recherchieren sollen, um möglichst viele Argumente für das Fliegen zu ermitteln. Die LK erarbeitet gemeinsam mit den SuS, dass Interessen sehr individuell und subjektiv sein können und es daher notwendig ist, den Inhalt entsprechender Internetquellen (Online-Artikel) kritisch zu hinterfragen und reflektiert zu bewerten. Die LK erarbeitet gemeinsam mit den SuS die Bewertungskriterien für Internetquellen an einem Flipchart (Material MIV2)	Die SuS hören zu und nennen Bewertungskriterien für Internetquellen.	UG	Flipchart/ Mögliches Tafelbild (Material MIV2)	
2	Gelenk I	Die LK erläutert den Arbeitsauftrag und teilt die SuS in vier Gruppen ein, verändert die Tisch- und Sitzordnung und teilt Laptops/Tablets und das Arbeitsblatt zu Interessen-Argumenten (Material MIV4) aus.			Laptops/ Tablets/ Arbeitsblatt zu Interessen-Argumenten (Material MIV4)	Ggf. kann die LK auch drei ausgewählte Artikel (Materialien MIV6-MIV8) austeilen.

14	Erarbeitung II	Die LK hilft einzelnen Gruppen bei Bedarf.	Die SuS recherchieren kollaborativ und bearbeiten das Arbeitsblatt.	GA	Laptops/ Tablets/ Arbeitsblatt zu Interessen-Argumenten (Material MIV4)	
8	Sicherung I	Die LK teilt den Gruppen ein Poster in A3-Format aus und fordert sie auf, ein Poster zu den Argumenten und entsprechenden Interessen zu erstellen.	Die SuS erstellen kollaborativ ein Poster zu den Argumenten und entsprechenden Interessen.	GA	A3-Poster	
10	Sicherung II	Die LK fordert die SuS auf ihre Ergebnisse kurz zu präsentieren und diskutiert die Ergebnisse mit den SuS. Die LK fasst die Ergebnisse zusammen und stellt beispielsweise fest, dass Contra-Argumente oftmals auf Sachwissen (Klimawirkung) beruhen und Pro-Argumente oft interessengeleitet sind. Die LK fordert die SuS auf ein Plakat begründet auszuwählen. Die LK hängt das gewählte Plakat im Klassenraum auf.	Die Gruppen präsentieren ihre Ergebnisse kurz im Plenum. Die SuS wählen ein Poster begründet aus.	UG	A3-Poster	
Mögliche Teilung der Doppelstunde in 2 Einzelstunden						
3	Gelenk II	Die LK nimmt Bezug zur Flugpassagierstatistik und zeigt, dass sich viele Menschen trotz der Sachargumente (Klimawirkung) interessengeleitet für das Fliegen entscheiden. Die LK fragt die SuS, ob und welche Möglichkeiten des nachhaltigen Reisens es bei unvermeidbaren Flügen gibt. Die LK notiert die gesammelten Ideen der SuS am Smartboard und erläutert, dass das folgende Erklärvideo des Umweltbundesamts zu Flugreisen entsprechende Möglichkeiten aufzeigt.	Die SuS hören zu und nennen Möglichkeiten des nachhaltigen Reisens bei unvermeidbaren Flügen basierend auf ihrem Vorwissen.	UG	Smartboard	Das Konzept der Nachhaltigkeit kann zur Aktivierung des Vorwissens kurz wiederholt werden, z.B. an dem dazu aufgehängten Poster.
5	Erarbeitung III	Die LK erläutert den Arbeitsauftrag, teilt das Arbeitsblatt zu Handlungsmöglichkeiten bei unvermeidbaren Flugreisen (Material MIV5) aus und startet anschließend das Erklärvideo des UBA.	Die SuS bearbeiten das Arbeitsblatt, während und nach dem Video.	EA	Smartboard/ Arbeitsblatt zu Handlungsmöglichkeiten (Material MIV5)	

3	Sicherung III	Die LK fordert die SuS auf die im Video genannten und weitere Handlungsmöglichkeiten zu nennen und zu begründen. Die LK sichert einzelne Ergebnisse am Smartboard.	Einzelne SuS nennen Handlungsmöglichkeiten und begründen diese.	UG	Smartboard	
2	Gelenk III	Die LK stellt fest, dass eine wichtige und umstrittene Möglichkeit (die CO ₂ -Kompensation) im Video nicht genannt wurde und motiviert hierdurch die Auseinandersetzung mit dieser. Die LK erfragt bei den SuS Vorwissen zu CO ₂ -Kompensation in Form eines kurzen Brainstormings und notiert dieses am Smartboard.	Die SuS hören zu und nennen ihr Vorwissen zu CO ₂ -Kompensation.	UG	Smartboard	
14	Erarbeitung VI	Die LK erläutert, dass sich die Gruppen nun jeweils mit einem Aspekt der CO ₂ -Kompensation auseinandersetzen werden und teilt den Gruppen die entsprechenden Arbeitsblätter und Materialien (Materialien MIV9 - MIV21) aus. Die LK hilft einzelnen Gruppen bei Bedarf.	Die SuS bearbeiten die Gruppenmaterialien kollaborativ.	GA	Laptops/Tablets/Arbeitsblätter und Gruppenmaterialien (Materialien MIV9 - MIV21)	Der Gruppe 4 (Atmosfair) müssen Laptops/Tablets ausgeteilt werden.
8	Sicherung IV	Die LK teilt den Gruppen ein A3-Poster aus und fordert die SuS auf, ein Poster zu ihrem Aspekt für einen Galeriergang zu erstellen.	Die SuS erstellen ein Poster in A3-Format.	GA	A3-Poster	
10	Sicherung V	Die LK fordert die Gruppen auf, ihr Poster auf dem Gruppentisch zentral zu platzieren und erläutert den Ablauf des Galeriergangs: Jeweils eine Person bleibt für eine Kurz-Präsentation bei dem Poster (diese Person sollte innerhalb der Gruppe durchwechseln), während sich die anderen Gruppenmitglieder die Poster der anderen Gruppen anschauen und präsentieren lassen. Die LK fordert die SuS auf, den Galeriergang durchzuführen. Die LK klärt abschließend offene Fragen und hängt die Poster im Klassenraum auf.	Die SuS platzieren ihr Poster auf dem Gruppentisch und führen den Galeriergang durch. Einzelne SuS bleiben an ihrem Gruppentisch und präsentieren den vorbeikommenden SuS kurz ihre Ergebnisse.	GRG	A3-Poster	Galeriergang (GRG)

Didaktische Begründung:

Damit die SuS die Interessen-Argumente aus der Argumente-Kommode analysieren und ergänzen können, werden diese (zur Aktivierung des Vorwissens) von Werten und Normen abgegrenzt und anschließend von den SuS eigenständig und kollaborativ mit einem begleitenden Arbeitsblatt (**Material MIV4**) recherchiert. Auf diesem Arbeitsblatt wurden drei Spalten erstellt, in denen die SuS jeweils in zwei Spalten das Argument und das/die zugrundeliegende/n Interesse/n notieren und in der dritten Spalte die Internetquelle bewerten sollen. Zur Differenzierung wurden beim Arbeitsblatt zwei Varianten erstellt, eine enthält in der Bewertungsspalte eine Strukturierungshilfe entsprechend der Bewertungskriterien (**Material MIV22**).

Da SuS in ihrem Alltag das Internet zur Recherche verwenden, sollen sie dies auch im Unterricht üben und dabei insbesondere Kenntnisse zur Bewertung von Internetquellen erwerben. Deshalb erarbeiten sich die SuS vor der eigenständigen Recherche gemeinsam mit der Lehrkraft Bewertungskriterien von Internetquellen. Als Orientierung für die Lehrkraft wurde ein Schaubild (**Material MIV2**) nach den Bewertungskriterien für Internetquellen nach Wodzinski (2013b) erstellt. Durch die Auseinandersetzung mit den Internetquellen soll kritisches Denken bei den SuS gefördert werden, um sie so auf ihre Rolle als mündige Bürger*innen in der werteppluralistischen Gesellschaft (Schubarth, 2019, S. 80) vorzubereiten. Außerdem wird die kritische Auseinandersetzung mit Quellen in den Bildungsstandards für die Allgemeine Hochschulreife im Rahmen der Bewertungskompetenz gefordert (KMK, 2020c, S. 18), wodurch sich hier auch eine curriculare Begründung ergibt. Zur Ergebnissicherung sollen die SuS ihre kollaborativ-recherchierten Ergebnisse sowohl individuell auf Arbeitsblättern notieren (individuelle Ergebnissicherung) als auch ein A3-Poster erstellen und dieses anschließend kurz präsentieren. Anschließend wird ein Poster begründet (demokratisch) ausgewählt und im Klassenraum zur Visualisierung des kollaborativen Lernzuwachses aufgehängt.

Da es z.B. aufgrund der Globalisierung unvermeidbare Flüge gibt (z.B. Laage, 2019), ist es wichtig, dass die SuS Handlungsmöglichkeiten kennenlernen trotz Flugreise möglichst nachhaltig zu reisen. Nach einem Brainstorming zur Aktivierung des Vorwissens hierzu, wird den SuS in der zweiten Unterrichtshälfte ein Erklärvideo des Umweltbundesamts (UBA, 2022) von der Lehrkraft abgespielt. Das Video enthält einen Teil zur Klimawirkung von Flugreisen, wodurch die SuS ihr Vorwissen hierzu aktivieren können. Anschließend werden Handlungsmöglichkeiten zum nachhaltigen Reisen mit dem Flugzeug genannt und

teilweise begründet. Auf dem begleitenden Arbeitsblatt zum Video (**Material MIV5**) sollen die SuS die im Video genannten Handlungsmöglichkeiten nennen und anschließend, basierend auf ihrem bereits durch die letzte Unterrichtsstunde erworbenen Sachwissen zur Klimawirkung von Flugreisen, begründen.

Eine immer populärer werdende Handlungsmöglichkeit bei unvermeidbaren Flugreisen ist die, oftmals umstrittene, CO_2 -Kompensation (z.B. Utopia, Greenpeace, 2023). Damit die SuS diese Handlungsmöglichkeit kritisch hinterfragen und verantwortungsbewusst nutzen können, wurde der Fokus der zweiten Stundenhälfte auf die Auseinandersetzung mit der CO_2 -Kompensation gesetzt. Damit die SuS sich die Themen kollaborativ erarbeiten können, wurde die Sozialform Gruppenarbeit gewählt. Die SuS erarbeiten sich in diesen Gruppen mit Auszügen aus Online-Artikeln und einem Ratgeber des Umweltbundesamtes zur Thematik (**Materialien MIV10-MIV14, MIV16, MIV17, MIV19, MIV20**) die drei zentralen Aspekte (Funktionsweise, Qualitätsstandards, Kritik) von CO_2 -Kompensationen. Die vierte Gruppe beschäftigt sich mit dem Testsieger der Stiftung Warentest im Jahr 2022, dem Unternehmen Atmosfair (Stiftung Warentest, 2022). Neben den Materialien erhalten die SuS zur individuellen Ergebnissicherung Arbeitsblätter (**Materialien MIV9, MIV15, MIV18, MIV21**). Zur kollaborativen Ergebnissicherung werden Poster erstellt und in Form eines Galerierundgangs präsentiert. Um den kollaborativen Lernzuwachs zu visualisieren, werden die erstellten Poster im Klassenraum aufgehängt. Durch die Auseinandersetzung mit den Interessen, Bewertungskriterien von Internetquellen und Handlungsmöglichkeiten bei unvermeidbaren Flugreisen kann eine multiperspektivische Betrachtung der Dilemma-Situationen *Flugreise – ja oder nein?* und mit den hierfür bereitgestellten Informationen bei den SuS stattfinden.

Nach dem Agency-Modell sind für die Phase *Evaluieren* Fachwissen, prozessbegleitende Kompetenzen und Wertebildung notwendig (Wyrwich et al., 2023). In dieser Stunde erwerben die SuS die prozessbezogene Bewertungskompetenz hinsichtlich der Bewertung von Internetquellen und dem damit verbundenen kritischen Denken. Zudem setzen sich die SuS mit Wertebildung und Positionen auseinander, in dem sie Interessen aus Argumenten herausarbeiten und hierdurch Argumente bewerten können. Außerdem erwerben die SuS Wissen über Handlungsmöglichkeiten bei unvermeidbaren Flugreisen, insbesondere über CO_2 -Kompensationen. Hierdurch erwerben die SuS auch Handlungsdispositionen, wodurch auch Teile der Phase *Durchführung* im Agency Modell (Wyrwich et al., 2023) stattfinden.

5.4.5 Unterrichtsstunde V

Phase im Agency-Modell: Evaluieren

Inhalt der Stunde:

In dieser Stunde setzen sich die SuS mit Entscheidungsstrategien (intuitiv-rechtfertigend, kompensatorisch, non-kompensatorisch, Mischstrategie) im Alltag und bei komplexen Problemstellungen wie Socio-scientific issues (SSI) auseinander, vergleichen deren Qualitäten und bewerten deren Angemessenheit. Die SuS wenden kompensatorische Entscheidungsstrategien bei der Entscheidung, ob man zu seinem Lieblingsreisziel fliegen sollte und was man beachten sollte (SSI *Fliegen*), an und erwerben Kenntnisse zum Socio-scientific reasoning (SSR). Die SuS formulieren eine persönliche kriteriengeleitete Entscheidung zum SSI *Fliegen* und reflektieren diese anschließend. Zudem treffen sie kriteriengeleitete Entscheidungen aus unterschiedlichen Perspektiven, indem sie sich in unterschiedliche simulierte Situationen hineinversetzen und die zugrundeliegenden Interessen berücksichtigen und reflektieren sollen. Auf dieser multiperspektiven Grundlage aufbauend, erstellen die SuS kollaborativ einen Entscheidungsbaum zum SSI Fliegen, der anderen SuS eine Hilfestellung beim Umgang mit Flugreisen (einschließlich Handlungsempfehlungen) sein soll.

Eine mögliche Verlaufsplanung der Unterrichtsstunde IV ist in Tabelle 24 dargestellt, nähere Hinweise und die Unterrichtsmaterialien finden sich im Lehrkräftehandbuch im Anhang 8.1.5.

Kompetenzziele:

Nach der Stunde sollen folgende Kompetenzziele erreicht werden.

Die SuS können...

- Kontroverse Kontexte mit naturwissenschaftlichem und gesellschaftlichem Bezug als SSI identifizieren und deren Merkmale benennen.
- anhand der Merkmale erläutern, dass das Fliegen ein SSI ist.
- Merkmale von intuitiv-rechtfertigenden, non-kompensatorischen und kompensatorischen Entscheidungsstrategien benennen, kriteriengeleitet vergleichen und hinsichtlich Qualität und Angemessenheit bewerten.
- erläutern, dass bei komplexen Problemen wie z.B. SSI kompensatorische Entscheidungen angemessen und notwendig sind.
- Bewertungskriterien in einer Entscheidungssituation aufstellen und gewichten.
- zwischen Pro- und Contra-Argumenten unterscheiden und diese den Bewertungskriterien zuordnen.
- Folgen von Handlungsoptionen bewerten.
- aufgestellte Argumente entsprechend der Gewichtung der Kriterien gegeneinander abwägen.
- eine kriteriengeleitete Entscheidung treffen und schriftlich angemessen formulieren.
- aus verschiedenen Perspektiven (unter Berücksichtigung der zugrundeliegenden Interessen) eine kriteriengeleitete Entscheidung treffen.
- erläutern, dass bei SSI eine multiperspektive Betrachtung notwendig ist.
- Handlungsempfehlungen zu Flugreisen situationsangemessen formulieren.
- einen Entscheidungsbaum zu einer Entscheidungssituation zeichnen.

Tabelle 24: Möglicher Verlaufsplan der Unterrichtsstunde V

Zeit (min)	Phase	Geplantes LK-Verhalten	Geplantes SuS-Verhalten	Sozialform	Medien/Materialien	Kommentare
4	Einstieg	Die LK begrüßt die SuS, nimmt Bezug zur letzten Stunde und fasst zusammen, dass das Fliegen eine komplexe Thematik ist. Anschließend erläutert die LK an einem Tafelbild (Material MV1), dass SSI kontroverse Kontexte mit naturwissenschaftlichem und gesellschaftlichem Bezug sind und erläutert, welche Merkmale sie ausmachen. Die LK fordert die SuS auf, begründet Stellung zu nehmen, ob das Fliegen ein SSI ist.	Die SuS hören zu und nehmen begründet mit den Merkmalen von SSI Stellung, ob das Fliegen ein SSI ist.	UG	Smartboard/ Tafelbild (Material MV1)	Der Begriff SS/ sollte als kontroverser Kontext anhand von Beispielen (z.B. ein Atomkraftwerkbau) eingeführt werden.
5	Gelenk I	Die LK nimmt Bezug zur Fragestellung, ob man zu seinem Lieblingsreiseziel fliegen sollte und fragt die SuS, wie man eine solche Entscheidung treffen könnte. Die LK zeigt anschließend einen Cartoon (Material MV2) und fordert die SuS auf diesen zu beschreiben.	Die SuS äußern Ideen, wie man eine Entscheidung treffen kann und beschreiben den Cartoon.	UG	Smartboard/ Tafelbild (Material MV2)	
6	Erarbeitung I	Die LK fordert die SuS auf, die Entscheidungsstrategien der drei Personen im Cartoon zu vergleichen. Die LK erarbeitet gemeinsam mit den SuS die verschiedenen Entscheidungsstrategien und vergleicht deren Qualität und Angemessenheit anhand eines Tafelbildes (Material MV3).	Die SuS vergleichen die Entscheidungsstrategien der Personen im Cartoon und erarbeiten sich die Merkmale der Strategien. Die SuS diskutieren über die Angemessenheit und Qualität der Strategien.	UG	Smartboard/ Tafelbild (Material MV3)	Es sollte festgestellt werden, dass für SSI kompensatorische Entscheidungsstrategien am angemessensten sind.
5	Erarbeitung II	Die LK fordert die SuS auf Ideen zu äußern, wie man eine kompensatorische Entscheidung treffen kann. Die LK notiert die Ideen am Smartboard, ergänzt fehlende Elemente und stellt anschließend den Ablauf einer kompensatorischen Entscheidung mit dem Schaubild (Material MV4) vor. Die LK hängt das Schaubild in A3-Format auf.	Die SuS äußern Ideen, wie man eine kompensatorische Entscheidung treffen kann.	UG	Smartboard/ Schaubild (Material MV4) als Tafelbild und in A3-Format	

15	Erarbeitung III	Die LK erläutert den Arbeitsauftrag: Die SuS sollen eine kriteriengeleitete kompensatorische Entscheidung treffen, ob sie zu ihrem Lieblingsreisziel fliegen würden und worauf sie dabei achten würden. Die LK teilt anschließend das Arbeitsblatt 1 (Material MV6) aus und bietet die zugehörige Hinweiskarte (Material MV7) als Hilfestellung an. Die LK fordert die SuS auf, das Arbeitsblatt zu bearbeiten.	Die SuS hören zu und bearbeiten das Arbeitsblatt. Die SuS formulieren eine kriteriengeleitete Entscheidung.	EA	Arbeitsblatt 1 (Material MV6)/ Hinweiskarte zum Arbeitsblatt 1 (Material MV7)	
10	Reflexion	Die LK fordert einzelne SuS auf ihre Entscheidung begründet im Plenum vorzustellen. Die LK regt anschließend eine Pro- und Contra-Diskussion an. Die LK fordert die SuS mit den 4 Fragen auf, die Pro- und Contra-Diskussion zu reflektieren: Wer hat sich in der Diskussion durchgesetzt und aus welchem Grund? Welche Rolle haben (sachliche) Argumente gespielt? Wie könnte man für die eigene Position noch überzeugender werben? Inwieweit war die Diskussion realistisch? Die LK fordert zu einer Reflexion über die getroffenen Entscheidungen (inklusive einer Reflexion der verwendeten Kriterien) an.	Einzelne SuS stellen ihre Entscheidungen begründet vor. Die SuS führen eine Pro- und Contra-Diskussion und reflektieren diese. Die SuS reflektieren den Entscheidungsprozess und die verwendeten Kriterien.	UG		Bei der Reflexion über die getroffene Entscheidung sollten insbesondere die verwendeten Kriterien reflektiert werden. Haben die Kriterien ausgereicht? Welche Kriterien haben ggf. gefehlt?
Mögliche Teilung der Doppelstunde in 2 Einzelstunden						
1	Gelenk II	Die LK teilt den SuS mit, dass sie sich nun in Gruppen in eine Situation hineinversetzen sollen, eine kriteriengeleitete Entscheidung treffen und anschließend Handlungsempfehlungen an die Person formulieren sollen. Die LK teilt nach der Gruppeneinteilung (und Situationszuweisung) das Arbeitsblatt 2 (Material MV8) aus.	Die SuS hören zu.		Arbeitsblatt 2 (Material MV8)	
8	Erarbeitung IV	Die LK fordert die SuS auf, die Gruppenarbeit zu beginnen und begleitend die Tabelle auf dem Arbeitsblatt 2 auszufüllen.	Die Gruppen bearbeiten das Arbeitsblatt 2 (Material MV8).	GA	Arbeitsblatt 2 (Material MV8)	

1	Gelenk III	Die LK fordert die SuS auf ihre Gruppen aufzulösen und sich in neuen Gruppen so zusammenzufinden, dass jeweils mindestens eine Person eine der Situationen bearbeitet hat.	Die SuS setzen sich um und bilden neue Gruppen.			
5	Vertiefung	Die LK fordert die SuS auf sich ihre Entscheidungen und empfohlenen Handlungsoptionen gegenseitig in den neuen Gruppen zu präsentieren und Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu besprechen.	Die SuS präsentieren sich in den Gruppen ihre Ergebnisse aus der vorherigen Gruppenarbeit.	GA		
3	Sicherung I	Die LK fordert zu einem Vergleich im Plenum auf und vergleicht ausgewählte Ergebnisse. Die LK hält fest, dass es bei unterschiedlichen Situationen zu unterschiedlichen Entscheidungen kommen kann und daher immer eine multiperspektive Betrachtung von komplexen Problemstellungen wie SSI notwendig ist.	Einzelne SuS präsentieren Ergebnisse im Plenum.	UG		
3	Gelenk IV	Die LK teilt den SuS den nächsten Arbeitsauftrag mit: Die SuS sollen in den Gruppen einen Entscheidungsbaum erstellen, mit denen andere SuS der Schule eine Entscheidungshilfe und Handlungsempfehlungen erhalten, ob sie Fliegen sollten und worauf sie ggf. achten sollten. Die LK zeigt beispielhaft einen Entscheidungsbaum am Smartboard (Material MV5) und beantwortet ggf. auftretende Fragen.	Die SuS hören zu.	LV	Smartboard/ Tafelbild (Material MV5)	
16	Erarbeitung V	Die LK teilt A3-Poster aus und fordert die Gruppen zum Arbeiten auf.	Die SuS arbeiten in Gruppen und erstellen kollaborativ auf dem ausgeteilten A3-Poster einen Entscheidungsbaum.		A3-Poster	Die SuS sollten den Entscheidungsbaum zuerst auf einem A4-Blatt zeichnen.
11	Sicherung II	Die LK fordert die Gruppen auf, ihre Ergebnisse kurz im Plenum vorzustellen. Die LK fordert die SuS anschließend auf, ein Poster begründet auszuwählen und es ggf. (durch Ideen anderer Gruppen) zu ergänzen.			A3-Poster	Das ausgewählte A3-Poster wird im Klassenraum aufgehängt.

Didaktische Begründung

Um Urteile zu fällen und damit Entscheidungen zu treffen, müssen SuS Strukturwissen über Entscheidungsprozesse erwerben. Hierfür bietet es sich an, ihnen die Struktur von Entscheidungsprozessen explizit aufzuzeigen (Höttecke, 2013a, S. 9). Deshalb wurden die Entscheidungsstrategien explizit thematisiert und deren Angemessenheit und Qualität bewertet: Es wurde ein Konzept-Cartoon (**Material MV2**) zum Fahrradkauf erstellt, um so Entscheidungsprozesse explizit an einem Alltagskontext der SuS zu erklären. Dies soll für alle SuS, insbesondere für die leistungsschwächeren SuS, eine Zugänglichkeit schaffen und damit alle SuS aktivieren. Die Personen im Konzept-Cartoon entscheiden jeweils mit einer der drei Entscheidungsstrategien: intuitiv-rechtfertigend, non-kompensatorisch, kompensatorisch. Diese Entscheidungsstrategien sind nach Sakschewski (2013) zentrale Entscheidungsstrategien, die sich hinsichtlich ihrer Reflexionsfähigkeit unterscheiden. Eine hohe Bewertungskompetenz und Reflexionsfähigkeit zeichnet sich demnach bei kompensatorischen Entscheidungsstrategien aus (Sakschewski, 2013), weshalb diese bei komplexen Problemstellungen wie SSI (und damit insbesondere das Fliegen) angemessen und notwendig sind. Dies wurde deshalb in einem Schaubild (**Material MV1**) dargestellt. Der Konzept-Cartoon stellt die gleiche Situation wie der Konzept-Cartoon in Unterrichtsstunde II dar, weshalb dieser die Qualitätskriterien für Konzept-Cartoons ebenso erfüllt (siehe Didaktische Begründung der Unterrichtsstunde II). Eine Strukturierungshilfe für kompensatorische Bewertungen im Physikunterricht stellt der Urteilskreislauf von Knittel & Mikelskis-Seifert (2013) dar, zudem zeigt er die Struktur von Entscheidungsprozessen explizit auf (Höttecke, 2013a, S. 9). Dieser wurde deshalb leicht adaptiert verwendet und an eine Entscheidung bei SSI als Schaubild (**Material MV4**) für die SuS angepasst und nicht als Kreislauf, sondern als Abfolge von Schritten dargestellt. Zwar kann ein Entscheidungsprozess durchaus einen Kreislauf darstellen (siehe z.B. das *Dreiphasen-Meta-Modell* von Bertsch & Haberstroh, 2005), jedoch werden die Folgen der Entscheidung im Urteilskreis von Knittel & Mikelskis-Seifert (2013) erst nach dem Fällen des Urteils reflektiert. Deshalb wurde die Folgenantizipation bereits im Schritt 4 (beim Aufstellen der Pro- und Contra-Argumente) eingebaut.

Um Bewertungskompetenz zu fördern, müssen nach dem Göttinger Modell die vier Teilkompetenzen *Kennen und Verstehen von Nachhaltiger Entwicklung*, *Kennen und Verstehen von Werten und Normen*, *Generieren und Reflektieren von Sachinformationen* sowie *Bewerten, Entscheiden und Reflektieren* erworben werden (Eggert & Bögeholz, 2006, S. 189). Während die ersten drei Teilkompetenzen bereits in den letzten Stunden erworben wurden, liegt in dieser Stunde der Fokus auf der letzten Teilkompetenz *Bewerten, Entscheiden und Reflektieren*. Nach dem ESNaS-Modell sollen die SuS zur Erlangung einer Bewertungskompetenz die drei Teilkompetenzen *Bewertungskriterien*, *Handlungsoptionen* und *Reflexion* erwerben (Sander, 2017, S. 93).

Um dies zu tun, sollen die SuS deshalb auf dem Arbeitsblatt 1 (**Material MV6**) Bewertungskriterien für die Entscheidung, ob man Fliegen sollte, aufstellen und zudem die Folgen der Handlungsoptionen bei ihrer Argumentation berücksichtigen. Die Schritte auf dem Arbeitsblatt entsprechen den Schritten auf dem Schaubild zur Struktur von kompensatorischen Bewertungen. Zur Differenzierung wurde eine Hinweiskarte zum Arbeitsblatt 1 (**Material MV7**) erstellt, auf der mögliche Kriterien für die Entscheidung in die Tabelle eingefügt wurden. Zudem wurde die Tabelle durch einen kurzen Hinweistext erläutert. Nach der Bearbeitung des Arbeitsblatts sollen die SuS ihre formulierten Entscheidungen vorstellen. Dafür wird eine Pro- und Contra-Diskussion durchgeführt und anschließend reflektiert. Nach Wodzinski (2013b) eignen sich die vier in der Unterrichtsplanung notierten Fragen für die Reflexion einer Pro- und Contra-Diskussion. Anschließend wird der Entscheidungsprozess an sich reflektiert, insbesondere die verwendeten Kriterien. Perspektivwechsel und die damit verbundene Multiperspektivität sind im *Modell zur ethischen Urteilskompetenz* zentral für die Entwicklung einer Bewertungskompetenz (Bögeholz et al., 2018, S. 286). Deshalb wird auf dem Arbeitsblatt 2 (**Material MV8**) von den SuS gefordert, Entscheidungen aus verschiedenen Perspektiven zu treffen, in dem sich die SuS in die Personen in einer der drei Situationen hineindenken und aus dieser Perspektive entscheiden müssen. Die drei Situationen (Situation 1: Studentin, die ihre Familie einmal im Jahr in Australien besuchen möchte; Situation 2: Wirtschaftsprüfer, der ständig geschäftlich reist, Situation 3: Wohlhabende Erbin, die zum persönlichen Vergnügen reist) wurden möglichst kontrovers gewählt, um verschiedenen Entscheidungen bei den SuS zu provozieren und um eine anschließende kontroverse Diskussion und Reflexion anzuregen. Ein Beispiel für einen Entscheidungsbaum wurde an einem Alltagskontext der SuS (Essen bestellen oder selbst kochen?) erstellt (**Material MV5**) und soll den SuS als Orientierung für das Erstellen des Entscheidungsbaums zur Frage, ob man Fliegen sollte und worauf man ggf. achten sollte, dienen.

Die Arbeitsblätter dienen der Begleitung der Gruppenarbeit und der individuellen Ergebnissicherung, das Erstellen des Entscheidungsbaums dient zur Visualisierung des kollaborativen Lernzuwachses und als Vorbereitung für die Erstellung eines Flyers in der Unterrichtsstunde VIII.

Nach dem Agency-Modell sind für die Phase *Evaluieren* Fachwissen, prozessbegleitende Kompetenzen und Wertebildung notwendig (Wyrwich et al., 2023). In dieser Stunde erwerben die SuS die prozessbezogene Bewertungskompetenz, in dem die SuS Entscheidungsstrategien kennenlernen, vergleichen und bewerten sowie kriteriengeleitet die Entscheidung treffen, ob sie selbst zu ihrem Lieblingsreiseziel fliegen würden. Das Fachwissen, welches die SuS in dieser Stunde erwerben, sind Kenntnisse zu SSI und, durch die Reflexion von Entscheidungsprozessen und der damit verbundenen Multiperspektivität, insbesondere zum SSR.

5.4.6 Unterrichtsstunde VI

Phase im Agency-Modell: Evaluieren

Inhalt der Stunde:

In dieser Stunde setzen sich die SuS mit dem aktuellen Stand der Technik von Flugzeugtriebwerken (Strahltriebwerke) und insbesondere mit alternativen Zukunftsantriebstechnologien des Luftverkehrs (Elektrische, hybridelektrische, wasserstoffbetriebene, solarbetriebene Flugzeuge so wie auch mit nachhaltigen Luftfahrtkraftstoffen (SAF) betriebene Flugzeuge) auseinander. Nach einer kollaborativen Arbeitsphase werden A3-Poster zu den Technologien erstellt und in Form eines Galerierundgangs präsentiert, um durch eine kriteriengeleitete multiperspektive Bewertung mit selbst aufgestellten Bewertungskriterien die Potentiale und Risiken der Technologien für den künftigen Luftverkehr einzuschätzen.

Eine mögliche Verlaufsplanung der Unterrichtsstunde VI ist in Tabelle 25 dargestellt, nähere Hinweise und die Unterrichtsmaterialien finden sich im Lehrkräftehandbuch im Anhang 8.1.6.

Kompetenzziele:

Nach der Stunde sollen folgende Kompetenzziele erreicht werden.

Die SuS können...

- erläutern, wie ein Strahltriebwerk funktioniert.
- erläutern, dass Wärmekraftmaschinen wie Strahltriebwerke und Verbrennungsmotoren einen nach oben begrenzten thermischen Wirkungsgrad η_{therm} besitzen.
- den thermischen Wirkungsgrad von Wärmekraftmaschinen berechnen, indem sie die Gleichung $\eta_{therm} = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}}$ anwenden.
- alternative Zukunftsantriebstechnologien der Luftfahrt (Elektrische, hybridelektrische, wasserstoffbetriebene, solarbetriebene Flugzeuge so wie auch mit nachhaltigen Luftfahrtkraftstoffen (SAF) betriebene Flugzeuge) benennen.
- fachliche und überfachliche Bewertungskriterien aufstellen, mit denen die Zukunftsantriebstechnologien miteinander verglichen und deren Potentiale und Risiken bewertet werden können.
- die Funktionsweise sowie Vor- und Nachteile der Zukunftsantriebstechnologien durch vorgegebene Steckbriefe, Vertiefungstexte und eigenständige Recherchen erläutern und anhand der aufgestellten Bewertungskriterien miteinander vergleichen und bewerten.
- durch die kriteriengeleitete Bewertung ein Fazit formulieren und die Entscheidung anschließend in einer *Pro- und Contra-Diskussion* verteidigen.

Tabelle 25: Möglicher Verlaufsplan der Unterrichtsstunde VI

Zeit (min)	Phase	Geplantes LK-Verhalten	Geplantes SuS-Verhalten	Sozialform	Medien/Materialien	Kommentare
3	Einstieg	Die LK begrüßt die SuS, nimmt Bezug zur letzten Stunde und fragt die SuS, ob sie Zukunftstechnologien im Luftverkehr kennen, mit denen sie nachhaltig an ihr Lieblingsreisziel fliegen könnten.	Die SuS äußern Ideen zu alternativen Zukunftstechnologien, die sie kennen.	UG		
2	Gelenk I	Die LK erläutert, dass es in der Luftverkehrsforschung zwei Möglichkeiten gibt: Zum einen kann die bestehende Technologie (Strahltriebwerke) optimiert oder zum anderen können alternative Antriebsmöglichkeiten genutzt werden. Die LK erläutert, dass hierzu ein genaueres Verständnis der bereits bestehenden Technologie notwendig ist.	Die SuS hören zu.	LV		
5	Erarbeitung I	Die LK fragt die SuS, wie Strahltriebwerke funktionieren und fordert sie auf Ideen zu nennen. Die LK zeigt anschließend das Schaubild zu Strahltriebwerken (Tafelbild: Material MVI1) und fordert die SuS auf, dieses zu beschreiben und zu erläutern, wie ein Strahltriebwerk funktionieren könnte und was der Mantelstrom bewirkt. Die LK ergänzt die Ideen der SuS und erläutert die Funktionsweise von Strahltriebwerken und erläutert, dass in der zivilen Luftfahrt aufgrund des geringeren Treibstoffverbrauchs Mantelstromtriebwerke verwendet werden. Die LK erläutert, dass aktuell an Mantelstromwerken mit sehr großem Nebenstromverhältnis (UHBR-Triebwerke) geforscht wird.	Die SuS äußern basierend auf ihrem Vorwissen und anschließend mit dem Schaubild zu Strahltriebwerken Ideen, wie Strahltriebwerke funktionieren.	UG	Smartboard/ Tafelbild (Material MVI1)	
2	Gelenk II	Die LK zeigt ein weiteres Tafelbild (Material MVI2) und fordert die SuS auf dieses zu beschreiben. Die LK erläutert anschließend, dass es sich bei Strahltriebwerken und beim Otto-Motor um Wärmekraftmaschinen handelt, d.h. um Maschinen (Energiewandler), die kontinuierlich Wärme in mechanische Arbeit umwandeln.	Die SuS beschreiben das Tafelbild und hören zu.		Smartboard/ Tafelbild (Material MVI2)	

5	Erarbeitung II	Die LK zeigt ein weiteres Tafelbild (Material MVI3) und erläutert, dass bei Wärmekraftmaschinen oftmals thermodynamische Kreisprozesse durchlaufen werden, d.h. eine Abfolge von Zustandsänderungen, bei denen der Ausgangszustand wieder erreicht wird. Die LK fragt die SuS, was der Wirkungsgrad aussagt. Die LK erläutert, dass Wärme nicht vollständig in mechanische Arbeit umgewandelt werden kann und dass es bei Wärmekraftmaschinen einen maximalen thermischen Wirkungsgrad (Carnot-Wirkungsgrad) gibt. Sie grenzt diesen vom allgemeinen Wirkungsgrad ab und erläutert, dass der Carnot-Wirkungsgrad eine obere Grenze für den Wirkungsgrad darstellt, der in der Realität nicht erreicht werden kann.	Die SuS hören zu und äußern ihr Vorwissen zum Wirkungsgrad.	UG	Smartboard/ Tafelbild (Material MVI3)	
5	Vertiefung I	Die LK fordert die SuS auf den thermischen Wirkungsgrad eines Strahltriebwerks ($\eta_{therm} \approx 0,89$) mit gegebenen Werten zu berechnen und erläutert nach einem Vergleich am Smartboard, dass der reale Wirkungsgrad bei ca. 40% liegt. Die LK erfragt bei den SuS, warum sich die Werte so unterscheiden und erfragt, wieso Wirkungsgrade von Wärmekraftmaschinen stets kleiner sind als der Carnot-Wirkungsgrad. Die LK erläutert anschließend ggf., dass dies an unerwünschter Wärmeabgabe durch Reibung an die Umgebung geschieht.	Die SuS berechnen den Carnot-Wirkungsgrad eines Strahltriebwerks, diskutieren das Ergebnis und äußern Ideen, wieso der Wirkungsgrad von (realen) Wärmekraftmaschinen kleiner als der Carnot-Wirkungsgrad ist.	UG	Smartboard	
3	Gelenk III	Die LK fordert die SuS auf, alternative (klimafreundliche) Antriebsmöglichkeiten bei Autos zu nennen und anschließend Vermutungen aufzustellen, ob diese auch bei Flugzeugen verwendet werden können.	Die SuS äußern Möglichkeiten basierend auf ihrem Vorwissen und äußern Vermutungen.	UG		
5	Erarbeitung III	Die LK teilt den SuS den Arbeitsauftrag mit: In Gruppen werden sie sich mit den einzelnen Technologien auseinandersetzen. Die LK fragt die SuS wie man die Technologien miteinander vergleichen und anschließend bewerten kann. Die LK fordert die SuS auf, Bewertungskriterien für Zukunftstechnologien aufzustellen, notiert und ergänzt diese ggf.	Die SuS hören zu und äußern die Idee, dass Bewertungskriterien aufgestellt werden müssen. Die SuS stellen Bewertungskriterien auf.	UG	Smartboard	Die Energiedichte soll erklärt und als Kriterium notiert werden.

20	Erarbeitung IV	Die LK teilt die fünf Gruppen ein und teilt jeder Gruppe Materialien zur Technologie (Materialien MVI6-MVI14) und ein begleitendes Arbeitsblatt (Material MVI4) aus. Die LK teilt den Gruppen mit, dass sie mit den Materialien, die Spalte ihrer Technologie in der Tabelle des Arbeitsblatts ausfüllen sollen. Die LK fordert nach ca. 12 min die Gruppen auf, zu ihrer Technologie ein anschauliches A3-Poster zu erstellen und teilt den Gruppen jeweils ein A3-Poster aus.	Die SuS erarbeiten sich in Gruppen jeweils eine Technologie mit den Materialien und dem begleitenden Arbeitsblatt.	GA	Arbeitsblatt (Material MVI4)/ Materialien für GA (Materialien MVI6-MVI14)/ A3-Poster	Mögliche Musterlösung befindet sich in Material MVI5.
Mögliche Teilung der Doppelstunde in 2 Einzelstunden						
20	Galerierundgang (GRG)	Die LK fordert die SuS nun zu einem Galerierundgang auf, bei der eine Person aus der Gruppe bei dem Poster beleibt und die Technologie kurz (max. 4 min) vorstellt, so dass die anderen SuS die Tabelle hinsichtlich der anderen Technologien vervollständigen können.	Die SuS hören zu.	GRG	A3-Poster/ Arbeitsblatt (Material MVI4)	
10	Vertiefung II	Die LK fordert die SuS auf, sich zurück in die Gruppen zu begeben, die Technologien kriterienorientiert zu vergleichen und anschließend ein begründetes Fazit schriftlich zu formulieren, welche Technologien Potential für den künftigen zivilen Passagierluftverkehr haben.	Die SuS vergleichen mit der ausgefüllten Tabelle in Gruppen die Technologien kriterienorientiert und formulieren schriftlich ein begründetes Fazit.	GA	Arbeitsblatt (Material MVI4)	
8	Diskussion	Die LK fordert einzelne Gruppen auf, ihr Fazit begründet vorzustellen und regt anschließend zu einer Pro- und Contra-Diskussion zu den Technologien auf, bei der sie ihr Fazit verteidigen sollen.	Die SuS stellen begründet ihr Fazit vor. Die SuS verteidigen ihr Fazit in einer Pro- und Contra-Diskussion.	UG		Ggf. kann die Diskussion reflektiert werden.
2	Sicherung	Die LK fasst die Ergebnisse der Stunde zusammen und erläutert, dass es große Forschungsbestrebungen im Bereich der Zukunftstechnologien des Fliegens gibt und, dass dies auch charakteristisch für ein SSI ist. Die LK erläutert, dass es unter dem Aspekt des Klimawandels und der weltweit steigenden Nachfrage nach Flügen trotz der möglichen (kurz- und langfristigen) Zukunftstechnologien wichtig ist, die Entscheidung zu fliegen gut abzuwägen und den Wert der Nachhaltigkeit zu berücksichtigen.	Die SuS hören zu.	LV		

Didaktische Begründung

Um eine Bewertung von Zukunftstechnologien vorzunehmen, müssen die SuS zuerst Fachwissen über die Funktion der aktuellen Antriebsform in der kommerziellen Luftfahrt, der Strahltriebwerke, erwerben. Hierzu wird deren Funktionsweise an anschaulichen Tafelbildern mit den SuS erarbeitet (**Material MVI1**) und insbesondere erläutert, dass es sich bei Strahltriebwerken so wie bei Verbrennungsmotoren um Wärmekraftmaschinen handelt (**Material MVI2**), die einen nach oben begrenzten thermischen Wirkungsgrad besitzen (**Material MVI3**). Damit die SuS den thermischen Wirkungsgrad eines Strahltriebwerks abschätzen können, wurden Werte für die Temperaturwerte aus dem Fachbuch Bräuling (2015) entnommen. Anschließend soll eine Diskussion darüber geführt werden, dass reale Wirkungsgrade von Wärmekraftmaschinen aufgrund von Reibung deutlich geringer sind als die thermischen. Um eine Evaluierung von Zukunftstechnologien vornehmen zu können, müssen erst Grundlagen von Strahltriebwerken dargelegt werden. Da diese somit nur *Mittel zum Zweck* sind und somit nicht zu viel Zeit und Raum einnehmen sollen, wird eine eher lehrerzentrierte Vermittlung gewählt.

Um an die Lebenswelt der SuS anzuknüpfen, sollen sie zuerst klimafreundliche Antriebsalternativen zum Verbrennungsmotor bei Autos, basierend auf ihrem Vorwissen, nennen und erst anschließend Vermutungen dazu äußern, ob diese Technologien auch für Flugzeuge geeignet sind. Um eine kompensatorische Entscheidung zu treffen, welche Technologien sich künftig für Flugzeuge eignen werden, wird an das Vorwissen der letzten Stunde zu kompensatorischen Entscheidungsstrategie angeknüpft: Die LK fordert die SuS auf, Ideen zu äußern, wie man die Strategien miteinander vergleichen kann. Zielsetzung ist hierbei, dass die SuS im Sinne einer kompensatorischen Entscheidung (siehe adaptierter Ablauf einer kompensatorischen Bewertung in Unterrichtsstunde V, nach Knittel & Mikelskis-Seifert, 2013, Höttecke, 2013a, Bertsch & Haberstroh, 2005) Bewertungskriterien aufstellen, um mögliche Argumente zu ordnen und nach einer Gewichtung der Kriterien abzuwägen. Hierdurch kann Bewertungskompetenz weiter gefördert und die erworbenen Kenntnisse zum SSR aus der letzten Stunde angewendet werden.

Mögliche Zukunftstechnologien sind rein-elektrische, hybrid-elektrische, und mit Sustainable Aviation Fuels (SAF)-betriebene (insbesondere Wasserstoff als non-drop-in Kraftstoffe und PtL-Kerosin als drop-in-Kraftstoff) Antriebstechnologien (BDLI, 2020), weshalb diese Technologien gewählt wurden. Solarbetriebene

Flugzeuge stellen für den zivilen Luftverkehr zwar keine Möglichkeit dar, aufgrund des Bezugs zur Energiewende durch Erneuerbare Energien und zur Förderung der Bewertungskompetenz ist eine Behandlung der Solartechnik trotzdem sinnvoll. So können die SuS durch die Betrachtung der geringen Energiedichte und der damit benötigten, sehr großen Solarflächen die Technologie selbst als ungeeignet bewerten. Damit die SuS die möglichen Zukunftstechnologien bewerten können, wurden als Hilfestellung Steckbriefe (**Materialien MVI6, MVI8, MVI11, MVI13**) zu den Zukunftstechnologien der Luftfahrt erstellt, auf denen sich Pro- und Contra-Argumente sowie Informationen zur Energiedichte, zum Wirkungsgrad und zu Kosten der jeweiligen Technologie finden. Diese wurden durch eine intensive Literaturrecherche (siehe Literatur- und Quellenverzeichnis) zusammengestellt. Das Arbeitsblatt (**Material MVI4**) dient der Begleitung der Gruppenarbeit und der individuellen Ergebnissicherung, das Erstellen der Poster dient zur Visualisierung des kollaborativen Lernzuwachses und als Vorbereitung für das in der Unterrichtsstunde VII stattfindende Planspiel. Zur Differenzierung wurden für die Technologien Vertiefungsmöglichkeiten durch Informationstexte (**Materialien MVI7, MVI10, MVI12, MVI14**) zu den Hintergründen und Funktionsweisen der Energiewandler zugrundeliegenden Technologien (Elektromotor, Solarzelle, Brennstoffzelle) bereitgestellt, welche die SuS zur Vertiefung nutzen können. Auf diesen wurden die grundlegenden physikalischen Prinzipien didaktisch reduziert dargestellt. Insbesondere bei der Vertiefung zur Solarzelle (**Material MVI12**) musste eine starke didaktische Reduktion geschehen, da für eine vertiefte Auseinandersetzung die Kenntnis vom Bändermodell und der Lichtquantelung (Photonenmodell des Lichts) notwendig wäre, was nicht vorausgesetzt werden kann. Die Erklärung wurde an den Wissensstand der SuS angepasst und ist daher fachlich nicht vollständig. Trotzdem kann den SuS hierdurch ein vertiefter Einblick in die Funktionsweise von Dioden und im speziellen von Solarzellen gegeben werden.

Nach dem Agency-Modell sind für die Phase *Evaluieren* Fachwissen, prozessbegleitende Kompetenzen und Wertebildung notwendig (Wyrwich et al., 2023). In dieser Stunde üben die SuS die prozessbezogene Bewertungskompetenz, indem sie Zukunftstechnologien kriteriengeleitet vergleichen und anschließend bewerten sollen. Das Fachwissen, welches die SuS in dieser Stunde erwerben, sind das Fachwissen über den aktuellen Stand der Technik von Flugzeugtriebwerken und insbesondere die Funktionsweise, das Potential und mögliche Risiken der potentiellen Zukunftstechnologien.

5.4.7 Unterrichtsstunde VII

Phase im Agency-Modell: Evaluieren

Inhalt der Stunde:

In dieser Stunde bereiten die SuS ein Planspiel (individuell und anschließend kollaborativ) zu einer fiktiven Petition zum Thema *Veränderung beim Fliegen JETZT* vor, führen dieses durch und reflektieren es anschließend. Hierfür setzen sich die SuS mit den Interessen sowie den Werten und Normen der Rollen auseinander und argumentieren aus diesen Rollen-Sichtweisen. In Vorbereitung auf die Rollen reflektieren und ordnen sie die Erkenntnisse der letzten Unterrichtsstunden. Dadurch setzen sich die SuS mit der bei SSI notwendigen Multiperspektivität auseinander. Ein Perspektivwechsel erfolgt während der Diskussion durch Rollentausch.

Eine mögliche Verlaufsplanung der Unterrichtsstunde VII ist in Tabelle 26 dargestellt, nähere Hinweise und die Unterrichtsmaterialien finden sich im Lehrkräftehandbuch im Anhang 8.1.7.

Kompetenzziele:

Die SuS können...

- sich in eine vorgegebene Rolle hineinversetzen, aus dieser Sicht Argumente formulieren und diese mit dem Methodenwerkzeug *Argumente-Kommode* ordnen.
- unter Anleitung der Lehrkraft ein Planspiel durchführen.
- eine Diskussion unter Einhaltung von zuvor demokratisch beschlossenen Diskussionsregeln durchführen und hierbei insbesondere zwischen persönlicher und Rollen-Meinung unterscheiden.
- im Rahmen eines Planspiels eine Pro- und Contra-Diskussion führen und anschließend unter multiperspektiver Betrachtung (Kompromiss-) Lösungen entwickeln und beschließen.
- die verwendeten Bewertungsstrukturen im durchgeführten Planspiel sowie den Nutzen von Planspielen reflektieren.

Tabelle 26: Möglicher Verlaufsplan der Unterrichtsstunde VII

Zeit (min)	Phase	Geplantes LK-Verhalten	Geplantes SuS-Verhalten	Sozialform	Medien/Materialien	Kommentare
3	Einstieg	Zu Beginn der Stunde nimmt die LK Bezug zu den letzten Unterrichtsstunden und teilt den SuS mit, dass es die (fiktive) Petition <i>Veränderung beim Fliegen JETZT</i> gegeben hat, die es in den Petitionsausschuss des Bundestags geschafft hat. Hierzu zeigt die LK das Tafelbild 1 (Material MVII1).	Die SuS hören zu.	LV	Smartboard/ Tafelbild (Material MVII1)	
5	Ablauf des Planspiels	Die LK teilt den SuS mit, dass sie nun diese Konferenz als Planspiel durchführen, um den realen Entscheidungsprozess zu simulieren. Anschließend stellt die LK den Ablauf des Planspiels vor und teilt begleitend die Hinweise zum Spielverlauf (Material MVII2) aus.	Die SuS hören zu.	LV	Hinweise zum Spielverlauf (Material MVII2)	
10	Lese-phase	Die LK teilt den SuS Rollen zu und fordert sie auf mit der <i>Lese-phase</i> zu beginnen. Sie teilt den SuS das Übersichtsblatt über alle Rollen (Material MVII3) sowie die zu den Gruppen gehörenden Materialien (Materialien MVII6 – MVII11) aus. Die LK fordert die SuS zudem auf, sich die Poster der letzten Unterrichtsstunden anzuschauen und für die Rolle relevante Erkenntnisse herauszuarbeiten.	Die SuS lesen sich das Material zu ihrer Rolle und zudem das Übersichtsblatt zu allen Rollen durch und notieren sich erste Ideen. Zudem schauen sie sich die Poster der letzten Unterrichtsstunden an und arbeiten relevante Erkenntnisse bezüglich ihrer Rolle heraus.	EA	Übersichtsblatt über alle Rollen (Material MVII3) / Materialien zu den einzelnen Rollen (Materialien MVII6 – MVII11)	
12	Rollenfindung	Die LK fordert die SuS auf, in die Phase der <i>Rollenfindung</i> überzugehen. Die LK teilt das begleitende Arbeitsblatt (Material MVII5) aus.	Die SuS treffen sich in ihren Rollen-Gruppen, analysieren ihre Situation und überlegen sich Handlungsmöglichkeiten. Die SuS ordnen Argumente mit der Argumente-Kommode.	GA	Arbeitsblatt für Rollen-Gruppen (Material MVII5)	

10	Lösungen vordenken und Vorbereitungen treffen	Die LK fordert die SuS auf, in die Phase <i>Lösungen vordenken und Vorbereitungen treffen</i> überzugehen.	Die SuS überlegen sich mögliche (Kompromiss-) Lösungen für die Konferenz und wählen eine/n Vertreter/in für die Konferenz.	GA	Arbeitsblatt für Rollen-Gruppen (Material MVII5)	Hier kann ggf. auch ein/e Stellvertreter/in gewählt werden, welche/r den/die Vertreter/in ggf. unterstützen/ ablösen kann.
Mögliche Teilung der Doppelstunde in 2 Einzelstunden						
7	Diskussionsregeln festlegen	Die LK erfragt bei den SuS, welche Diskussionsregeln ihnen bei einer Konferenz wichtig sind, ergänzt die Äußerungen und weist explizit auf den Unterschied zwischen persönlicher und der Rollen-Meinung hin. Die LK hält die Diskussionsregeln auf dem Smartboard fest und lässt die Regeln demokratisch von den SuS beschließen.	Die SuS äußern Vorschläge für Diskussionsregeln. Die SuS beschließen die Diskussionsregeln demokratisch.	UG	Smartboard	
2	Gelenk	Die LK fordert die SuS auf, die Sitz- und Tischordnung für die Konferenz zu verändern und teilt den Gruppen die Namensschilder für die Konferenz (Material MVII4) aus.	Die SuS verändern die Sitz- und Tischordnung.		Namensschilder zur Konferenz (Material MVII4)	
23	Konferenz (KF)	Die LK teilt den beobachtenden SuS den Analysebogen zum Planspiel (Material MVII12) aus. Die LK fordert die SuS auf mit der Konferenz zu beginnen und übergibt die Leitung an die Ausschussmitglieder. Die LK interveniert nach zehn Minuten und fordert die SuS auf, nun ihre Rollen zu tauschen und die Diskussion anschließend fortzuführen. Die LK teilt den SuS 3 Minuten vor Ende der Konferenzphase mit, dass nun Lösungen durch die Ausschussmitglieder beschlossen werden müssen und die anderen Teilnehmenden nun nur noch passiv teilnehmen und zuhören.	Die vertretenden SuS führen die Konferenz durch. Die restlichen SuS beobachten die Diskussion und analysieren diese mit dem Analysebogen.	KF	Analysebogen zum Planspiel (Material MVII12)	Bei Problemen geht die LK auf die Stellvertreter/innen zu oder pausiert notfalls mit einem akustischen Signal die Konferenz.

15	Auswertungsphase	Die LK beendet die Konferenzphase und fordert die SuS zu einer Reflexion des Planspiels auf. Zuerst sollen die vertretenden SuS äußern, was sie empfunden haben und ob sie ihre Rolle gut umsetzen konnten. Anschließend sollen die beobachtenden SuS die wichtigsten Aspekte ihres Analysebogen als Reflexion vorstellen. Die LK regt eine kurze Diskussion über den Nutzen sowie von Vor- und Nachteilen von Planspielen an und notiert diese am Smartboard.	Die vertretenden SuS äußern ihre Empfindungen und reflektieren ihre Rolle. Die beobachtenden SuS stellen ihre Analyse anhand des Analysebogens zum Planspiel vor. Die SuS reflektieren den Nutzen sowie Vor- und Nachteile von Planspielen.	UG	Smartboard/ Analysebogen zum Planspiel (Material MVII12)	
3	Abschluss	Die LK hält abschließend die notwendige Multiperspektivität bei SSI wie dem Fliegen fest und betont, dass der Entscheidungsprozess in der Realität hierdurch sehr zeitintensiv ist und immer ein Teil der vorhandenen Interessen oder Werte und Normen unberücksichtigt bleiben	Die SuS hören zu.	LV		

Didaktische Begründung:

Um die Bedeutung und die Grenzen von naturwissenschaftlichen Kenntnissen, Methoden und Betrachtungsweisen bei der Untersuchung realer, komplexer Problemstellungen wie SSI aufzuzeigen, eignen sich nach Wodzinski (2013b) Planspiele. Hier können diese Problemstellungen multiperspektivisch betrachtet werden, in dem SuS verschiedene Rollen simuliert einnehmen und hierdurch einen gesellschaftlichen Entscheidungsfindungsprozess erleben. Hierdurch kann die Komplexität einer realen Situation didaktisch reduziert und Modelle der Wirklichkeit erzeugt werden, die im Unterricht untersucht und reflektiert werden können (Höttecke & Hartmann-Mrochen, 2013, S. 28).

In dieser Unterrichtsstunde wurde deshalb ein Planspiel zum SSI Fliegen in Anlehnung an ein Planspiel zum Thema Flugobst von Höttecke & Hartmann-Mrochen (2013) entwickelt, um den SuS insbesondere die Multiperspektivität bei SSI aufzuzeigen und so Bewertungskompetenz zu fördern. Die SuS nehmen verschiedene Rollen ein und simulieren einen Entscheidungsprozess auf nationaler Ebene zu einer fiktiven Petition *Veränderung beim Fliegen JETZT (Material MVII1)*. Petitionsausschussmitglieder laden Experten/innen, Interessensvertretende und Journalisten/innen zu einer Konferenz ein, um über die Petition zu diskutieren. Da eine Entscheidung getroffen werden muss, stehen die Ausschussmitglieder unter hohem Entscheidungsdruck und es muss neben einer kontroversen, multiperspektiven Diskussion eine (Kompromiss-)Lösung gefunden werden, was das Planspiel von einer reinen Pro- und Contra- Diskussion abgrenzt. Um den Entscheidungsprozess der Ausschussmitglieder sichtbar zu machen, dürfen am Ende der Konferenz nur die Ausschussmitglieder sprechen und eine kompensatorische Entscheidung treffen, während die anderen Konferenzteilnehmer und auch die nicht an der Diskussion beteiligten SuS den Entscheidungsprozess beobachten und analysieren. Die SuS, die nicht an der Diskussion teilnehmen, erhalten einen Analysebogen zum Planspiel (**Material MVII12**) auf dem zentrale Aspekte für die Reflexion eines Planspiels in Form von Fragen aus Höttecke & Hartmann-Mrochen (2013) beantwortet werden sollen.

Der Ablauf des Planspiels unterteilt sich in Anlehnung an Höttecke & Hartmann-Mrochen (2013) in sechs Phasen (**Material MVII2**): In der *Lese*phase lesen sich die SuS ihren Rollentext (**Materialien MVII6 – MVII11**) durch, verschaffen sich einen Überblick über alle Rollen (**Material MVII3**) und machen sich erste Gedanken über die Interessen und Argumente ihrer Rolle. Zudem gehen sie die gewonnenen Erkenntnisse der letzten Unterrichtsstunden mit Hilfe der erstellten Poster durch und filtern daraus wichtige Argumente bezüglich ihrer Rollen. Hierdurch wird an die gewonnenen Erkenntnisse angeknüpft und ein Transfer hergestellt. Die Rollentexte wurden analog zum empirisch erprobten Planspiel von Höttecke & Hartmann-Mrochen (2013) mit der dreigliedrigen Struktur *Das ist eure Rolle, Zusatzinformationen und Denkanstöße* und *Das könnt ihr tun* aufgebaut und mit fiktiven Charakteren von fiktiven Organisationen und Unternehmen mit realen Daten (DBT, 2016, TUI, 2024 a,b, PIK, o.D., LHG, o.D., GREENP, o.D., BPD, o.D., Bundestag, o.D. a,b) erstellt. Zur Erstellung der fiktiven Logos wurde das Microsoft Bildgenerierungstool (Microsoft Designer, 2024) verwendet.

Anschließend folgt die Phase *Rollenfindung*, in der sich die SuS in Rollen-Gruppen treffen, ihre Überlegungen miteinander teilen und diese kollaborativ auf einem begleitenden Arbeitsblatt (**Material MVII5**) ergänzen. Hier werden zudem Argumente aus der Rollenperspektive gesammelt und mit der Argumente-Kommode geordnet, wodurch die SuS diese Methode einüben und anwenden.

In der Phase *Lösungen vordenken und Vorbereitungen treffen* sollen die SuS mögliche Lösungen formulieren und sich Kompromisse überlegen, die sie bereit wären während der Konferenz einzugehen. Dies dient der Vorbereitung der Konferenz. Zudem sollen sie demokratisch eine/n Vertreter/in ihrer Gruppe demokratisch bestimmen, der/die ihre Rolle in der Konferenz vertreten soll. Durch die demokratische Wahl wird Demokratie- und damit Wertebildung bei den SuS implizit gefördert. Durch die Wahl eines/r Stellvertreters/in kann sichergestellt werden, dass in der Konferenz auch bei Problemen immer jede Rolle vertreten ist. Zudem senkt dies den Druck bei den SuS, insbesondere bei schüchternen SuS.

Um allen Konferenzteilnehmenden gleichermaßen Redegelegenheit zu geben und einen respektvollen Umgang miteinander während und auch nach der Konferenz zu gewährleisten, erstellen die SuS gemeinsam mit der Lehrkraft Diskussionsregeln und beschließen diese anschließend demokratisch. Die Lehrkraft sollte auch den Unterschied zwischen persönlicher und Rollen-Meinung explizit betonen, um so einen sicheren Diskussionsraum für alle SuS zu ermöglichen. Zur Übersichtlichkeit während der Konferenz wurden Namensschilder (**Material MVII4**) erstellt, die die Lehrkraft nach der Änderung der Sitz- und Tischordnung austeilt.

Die anschließende Phase ist die *Konferenz* im Regierungsausschuss, bei der die ausgewählten Gruppenvertreter/innen in ihren Rollen eine Diskussion zur Petition führen und anschließend versuchen Kompromisse zu erarbeiten. Hierdurch soll die Multiperspektivität bei den SuS gefördert werden. Um zusätzlich auch noch den für die Entwicklung einer Agency notwendigen Perspektivwechsel (OECD, 2020, S. 96) zu fördern, sollen die SuS nach zehn Minuten Diskussion die Rollen untereinander wechseln. Als Unterstützungsmöglichkeit im zweiten Diskussionsteil dienen zudem die ausgefüllten Argumente-Kommoden auf dem begleitenden Arbeitsblatt. Am Ende der Konferenz treffen die Ausschussmitglieder eine kompensatorische Entscheidung und verkünden diese, wodurch die Phase *Konferenz* abgeschlossen wird.

In der *Auswertungsphase* legen die SuS ihre Rollen ab und das durchgeführte Planspiel wird im Plenum reflektiert. Hierdurch soll die notwendige Multiperspektivität beim SSI wie dem Fliegen hervorgehoben und nach Höttecke & Hartmann-Mrochen (2013) die Bewertungsstrukturen sowie die Entscheidungsprozesse sichtbar gemacht und analysiert werden.

Nach dem Agency-Modell sind für die Phase *Evaluieren* Fachwissen, prozessbegleitende Kompetenzen und Wertebildung notwendig (Wyrwich et al., 2023). In dieser Stunde wird durch das Planspiel die prozessbezogene Bewertungskompetenz bei den SuS gefördert. Durch die Multiperspektivität setzen sich die SuS auch mit den Werten der Rollen auseinander, wodurch auch die Wertebildung der SuS gefördert wird.

5.4.8 Unterrichtsstunde VIII

Phase im Agency-Modell: Durchführung

Inhalt der Stunde:

In dieser Stunde sollen die SuS eine Handlung planen und umsetzen, um ihre Umwelt aktiv mitzugestalten und Verantwortung zu übernehmen. Beispielhaft wurde eine Unterrichtsstunde konzipiert, in der die SuS einen Flyer zum Thema *Fliegen als Socio-scientific issue* kollaborativ planen, erstellen und anschließend schulintern veröffentlichen.

Eine mögliche Verlaufsplanung der Unterrichtsstunde VIII ist in Tabelle 27 dargestellt, nähere Hinweise und die Unterrichtsmaterialien finden sich im Lehrkräftehandbuch im Anhang 8.1.8.

Kompetenzziele:

Die SuS können...

- andere SuS adressatengerecht und präzise zu einem Thema informieren.
- einen Flyer kollaborativ erstellen und für dessen Veröffentlichung werben.
- Handlungsschritte zur Veröffentlichung des Flyers erläutern und ausführen.
- die Notwendigkeit des aktiven Handels und Möglichkeiten für den aktiven Einsatz für die Umwelt erklären.
- durch die Weiterführung des Projekts Verantwortung übernehmen.

Tabelle 27: Möglicher Verlaufsplan der Unterrichtsstunde VIII

Zeit (min)	Phase	Geplantes LK-Verhalten	Geplantes SuS-Verhalten	Sozialform	Medien/Materialien	Kommentare
8	Einstieg	Die LK begrüßt die SuS und teilt ihnen mit, dass sie die in der Unterrichtseinheit erworbenen Erkenntnisse nun in konkrete Handlungen umsetzen werden, um diese zur aktiven Gestaltung ihrer Umwelt zu nutzen. Die LK erfragt bei den SuS, welche Möglichkeiten des Handelns und der Verantwortungsübernahme sie selbst besitzen und sammelt Ideen am Smartboard. Die LK fordert die SuS auf die geäußerten Handlungsmöglichkeiten durch geeignete Kriterien miteinander zu vergleichen.	Die SuS äußern Handlungsmöglichkeiten, um ihre Umwelt aktiv mitzugestalten. Die SuS vergleichen die Handlungsmöglichkeiten kriteriengeleitet.	UG	Smartboard	Geeignete Kriterien für den Vergleich sind z.B. Reichweite, Aufwand/Ressourcen, Medium, Nutzen, etc.
5	Gelenk I	Die LK fordert die SuS auf eine geeignete Handlungsmöglichkeit begründet auszuwählen, z.B. die Erstellung und anschließende Veröffentlichung eines Flyers zum Thema <i>Fliegen als SSI</i> , der andere SuS über die Klimawirkung von Flugreisen informiert, die gesellschaftliche Relevanz verdeutlicht und eine Hilfestellung für persönliche Entscheidungen und Handlungen ist.	Die SuS wählen begründet eine Handlungsmöglichkeit aus.	UG		Handlungsmöglichkeit ist hier z.B. die Erstellung eines Flyers. Viele andere Möglichkeiten sind denkbar.
7	Erarbeitung I	Die LK erläutert, dass zur Erstellung des Flyers eine Arbeitsteilung notwendig ist und erfragt bei den SuS, wie der Flyer strukturiert sein soll und wie dieser in Arbeitsteilung erstellt werden kann. Die LK sammelt geäußerte Vorschläge auf dem Smartboard. Die LK fordert die SuS auf, eine Struktur demokratisch zu beschließen. Die LK teilt den SuS mit, dass sie in Gruppen den Flyer kollaborativ erstellen und anschließend veröffentlichen werden. Eine mögliche Gruppeneinteilung ist z.B.: - Gruppe 1: Fliegen als SSI - Gruppe 2: Klimawirkung des Luftverkehrs - Gruppe 3: Entscheidungshilfe - Gruppe 4: Handlungsempfehlung für Flugreisen - Gruppe 5: Brief an Schulleitung	Die SuS äußern Vorschläge zur Strukturierung des Flyers. Die SuS beschließen eine Struktur demokratisch.	UG	Smartboard	

5	Gelenk II	<p>Die LK verweist auf die Online-Vorlage für den Flyer (Material MVIII) und teilt die SuS in die 5 Gruppen ein. Die LK erfragt bei den SuS Hinweise zur Erstellung eines Flyers und ergänzt diese ggf.:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Formulierung einer prägnanten Überschrift. - Informationen verständlich und adressatengerecht (für andere SuS) darlegen/darstellen. - Formatierung der Vorlage beachten. - Abschnitt übersichtlich gestalten. - Verwendung korrekter Rechtschreibung, Zeichensetzung und Grammatik. - ... <p>Die LK fordert die SuS auf, die Sitz- und Tischordnung so zu verändern, dass die Gruppen jeweils gemeinsam arbeiten können. Die LK teilt zudem Laptops/Tablets aus, damit die Gruppen ihre Erkenntnisse nach der Bearbeitung in die gemeinsame Formatvorlage eintragen können.</p>	Die SuS äußern Ideen, was bei der Gestaltung des Flyers berücksichtigt werden sollte. Die SuS verändern die Sitz- und Tischordnung.	UG	Online-Vorlage (Material MVIII8)	
30	Erarbeitung II	Die LK fordert sie nach Aushändigung der begleitenden Gruppenmaterialien (Materialien MVIII1 – MVIII5) zur Bearbeitung ihrer Aufgabe auf.	Die SuS erstellen in Gruppen jeweils einen Flyerabschnitt bzw. den Brief.	GA	Tablets/ Laptops/ Gruppenmaterialien (Materialien MVIII1 – MVIII5)	
Mögliche Teilung der Doppelstunde in 2 Einzelstunden						
20	Sicherung	Die LK fordert die Gruppen auf ihre Ergebnisse am Smartboard anhand der ausgefüllten Vorlage im Plenum zu präsentieren. Die LK fordert nach jeder Vorstellung zu einer kurzen Diskussion und Adaption des jeweiligen Flyerabschnitts auf.	Die SuS präsentieren ihren Flyerabschnitt bzw. Brief.	UG	Smartboard	

15	Abschluss	<p>Die LK fordert die SuS auf den Brief ggf. weiter zu optimieren und anschließend an den Brief (und den erstellten Flyer als Anhang) per Mail an die Schulleitung zu senden.</p> <p>Die LK erfragt bei den SuS weitere Handlungsmöglichkeiten, welche die SuS nach der Unterrichtsreihe künftig ausführen können.</p> <p>Die LK fordert die SuS abschließend auf, einzelne SuS festzulegen, welche die Leitung des Flyerprojekts übernehmen, und die Lerngruppe bei Rücksprachen mit der Schulleitung vertreten können.</p>	<p>Die SuS optimieren den Brief an die Schulleitung und senden diesen anschließend per Mail ab.</p>	UG	Smartboard	<p>Weitere Handlungsmöglichkeiten sind z.B. die Veröffentlichung des Flyers in anderen Schulen, die Gründung einer Klima AG oder sich dafür einzusetzen, dass Klassenfahrten nicht mit dem Flugzeug durchgeführt werden.</p>
----	-----------	--	---	----	------------	--

Didaktische Begründung:

In dieser Unterrichtsstunde geht es darum, dass die SuS im Sinne einer Student Agency befähigt werden ihre durch die Unterrichtseinheit erworbenen Kompetenzen in konkretes Handeln umzusetzen und so einen aktiven Einfluss auf die eigene Umwelt zu nehmen.

Damit die SuS die im Unterricht erworbenen Erkenntnisse nutzen, um sich im Sinne einer Student Agency gesellschaftlich zu engagieren, wurde die Lehrform Service-Learning gewählt, bei der die im Unterricht erworbenen Kompetenzen für außerschulisches Engagement genutzt werden (Blum et al., 2011, S. 18). Das gesellschaftliche Engagement kann von den SuS und den Lehrkräften selbst gewählt werden. Beispielhaft wurde die Möglichkeit der Erstellung und anschließenden Veröffentlichung eines Flyers zum Thema Fliegen als SSI vorgestellt, da ein solcher Flyer realistisch und recht einfach umsetzbar ist. Zudem ist eine gute Arbeitsteilung möglich (jede Gruppe erstellt einen Flyerabschnitt), sodass kollaborativ daran gearbeitet werden kann. In der vorgestellten Unterrichtsstunde wurde ein schulisches Engagement gewählt, dieses kann jedoch außerschulisch erweitert werden. Z.B. könnte man den Flyer auch im Bürgeramt oder in anderen Schulen veröffentlichen.

Es wurde eine Formatvorlage für einen beispielhaften Flyer (**Material MVIII6**) erstellt, den die Lehrkraft den SuS z.B. in einer Cloud wie Google Drive zur Verfügung stellen kann. Damit kann der Flyer simultan und kollaborativ von allen Gruppen bearbeitet werden kann. Dadurch wird eine kollaborative Wissensbasis (*collective knowledge base*) gebildet und so das SSR bei den SuS gefördert wird (Ben-Horin et al., 2023). Zudem wurden Gruppenmaterialien (**Materialien MVIII1 – MVIII5**) erstellt, welche die Arbeitsaufträge und Hinweise für die einzelnen Gruppen enthalten und somit als begleitende Anleitung für die SuS dienen.

Durch die Erstellung und Veröffentlichung des Flyers verändern die SuS ihre Umwelt aktiv mit, wodurch sie Verantwortung übernehmen und dementsprechend ein Verantwortungsgefühl und insbesondere Selbstwirksamkeit entwickeln. Diese Kompetenzen sind für die Förderung einer Agency notwendig (Wyrwich et al., 2023). Bei den SuS werden insbesondere die Handlungs- und Gestaltungskompetenzen *Interdisziplinär Erkenntnisse gewinnen und handeln, Gemeinsam mit anderen planen und handeln können, An Entscheidungsprozessen partizipieren können, Andere motivieren können aktiv zu werden, Selbständig planen und handeln können* und *Sich motivieren können aktiv zu werden* von de Haan (2008) gefördert.

Nach dem Agency-Modell sind für die Phase *Durchführung* Fachwissen, prozessbegleitende Kompetenzen, Wertebildung und insbesondere Handlungsdispositionen notwendig (Wyrwich et al., 2023). Diese Handlungsdispositionen werden durch die kollaborative Erstellung und Veröffentlichung des Flyers erworben.

6. FAZIT

In dieser Masterarbeit wurde eine Unterrichtseinheit evidenzbasiert konzipiert, die sich mit dem Thema des Fliegens als SSI auseinandersetzt und das naturwissenschaftliche Erklären, Argumentieren und Bewerten im Rahmen einer Student Agency bei den SuS fördern soll.

Basierend auf einer Literaturrecherche wurden die fachdidaktischen Grundlagen einschließlich Methoden und Methodenwerkzeuge zur Förderung von Agency herausgearbeitet und anschließend abgeleitet, welche Methoden und Methodenwerkzeuge sich für die Thematik des Fliegens als SSI in einer Unterrichtseinheit eignen. Nach dem Herausarbeiten der physikalischen Grundlagen des Fliegens und der dazugehörigen Klimawirkung sowie dem aktuellen Forschungsstand für alternative Antriebsarten in der Luftfahrt wurde eine curriculare Verortung in den Rahmenlehrplänen für das Fach Physik im Land Berlin durchgeführt (Einführungsphase der gymnasialen Oberstufe an Integrierten Sekundarschulen) und die Unterrichtseinheit konzipiert.

Es wurden insgesamt acht Unterrichtsdoppelstunden konzipiert, die auch als sechzehn Einzelstunden durchführbar sind. In diesen Unterrichtsstunden wird das Fliegen als SSI behandelt: In der ersten Unterrichtsdoppelstunde setzen sich die SuS mit den physikalischen Grundlagen des Fliegens (Auftriebserklärung) und in der Zweiten mit Werten und Normen (insbesondere Nachhaltigkeit) bei persönlichen und gesellschaftlichen Entscheidungen auseinander. In der dritten Unterrichtsdoppelstunde setzen sich die SuS mit den physikalischen Grundlagen der Klimawirkung von Flugzeugen und in der vierten Unterrichtsstunde mit Interessen hinter Argumenten sowie mit der Bewertung von Internetquellen und den Umgang mit Desinformation auseinander. In der fünften Unterrichtsdoppelstunde setzen sich die SuS mit Entscheidungsstrategien auseinander und erwerben Kenntnisse zum SSR. In der sechsten Unterrichtsdoppelstunde setzen sich die SuS mit dem Potential und den Risiken von alternativen Antriebstechnologien auseinander. In der siebten Unterrichtsstunde bereiten die SuS ein Planspiel zu einer fiktiven Petition vor, führen dieses durch und reflektieren es anschließend. In der achten Unterrichtsstunde planen und erstellen die SuS kollaborativ einen Flyer und veröffentlichen diesen anschließend schulintern.

Durch die Unterrichtseinheit erwerben die SuS neben Fachwissen insbesondere prozessbezogene Kompetenzen wie Erklär- und Argumentationskompetenz sowie Bewertungskompetenz. Durch die zusätzliche Auseinandersetzung mit Werten und Normen sowie Interessen erwerben sie Kenntnisse zum SSR, durch das kollaborative Erstellen von Lernprodukten und insbesondere durch die Erstellung des Flyers Handlungsdispositionen und damit Kenntnisse zum SSD.

In der konzipierten Unterrichtseinheit lag der Fokus also auf der Förderung von überfachlichen, prozessbegleitenden Kompetenzen. Curricular sind durch die Bildungsstandards (KMK, 2004c, KMK, 2020c) und die Rahmenlehrpläne der Länder (z.B. RLPPhyBerSI, 2015, RLPPhyBerSII, 2021, RLPBerSIIB, 2021) jedoch meist eine Fülle von physikalischen Fachinhalten gefordert, so dass eine Umsetzung der Unterrichtsstunden aufgrund der begrenzten Unterrichtszeit vermutlich nicht vollständig möglich sein wird. Lehrkräfte sollten aber durch die Unterrichtskonzeption angeregt werden sich diesem Spannungsverhältnis zwischen physikalischen Inhalten und überfachlichen Kompetenzen bewusst zu werden und neben dem physikalischen Fachwissen auch prozessbegleitende Kompetenzen im naturwissenschaftlichen Unterricht zu fördern. Hierdurch kann der naturwissenschaftliche Unterricht dann im Sinne der Bildungsstandards (KMK, 2004c, KMK, 2020c) neben einer wissenschaftspropädeutischen fachlichen Bildung zu einer Allgemeinbildung und damit zu einer mündigen und reflektierten gesellschaftlichen Teilhabe der SuS beitragen.

Es wurde ein Lehrkräftehandbuch für die Unterrichtseinheit erstellt (siehe Anhang), in dem neben den Unterrichtsmaterialien die Kompetenzziele, der Stundenablauf und der Bezug zum Rahmenlehrplan der Unterrichtsstunden sowie weitere Hinweise und das Potential zur Differenzierung ausführlich beschrieben werden.

Die Unterrichtsmaterialien sind bereits differenziert gestaltet worden. Die Materialien dienen als Grundlage für Lehrkräfte und müssen für den Einsatz im Unterricht noch weiter differenziert und an die Lerngruppen angepasst werden.

In weiteren Unterrichtsstunden kann die Handlung der Flyererstellung reflektiert und durch Rückmeldungen, z.B. von anderen SuS, adaptiert werden. Hierbei können prozessreflektierende Kompetenzen wie Selbstregulation thematisiert werden. Zudem könnte man sich weitere Handlungen überlegen, um die Umwelt aktiv mitzugestalten, z.B. sich dafür einzusetzen, dass Klassenfahrten der Schule nicht mit dem Flugzeug durchgeführt und bei der Anbieterauswahl das Kriterium der Nachhaltigkeit stark gewichtet werden sollte.

Eine weitere Handlungsmöglichkeit stellt z.B. die Visualisierung der Nachhaltigkeitsziele der UN dar, diese könnten auf Poster geklebt und im Foyer der Schule aufgehängt werden, so dass diese täglich für alle SuS präsent sind. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die durch die Unterrichtseinheit erworbenen Kompetenzen zu nutzen, um sich mit weiteren SSI (z.B. dem Bau von Atomkraftwerken) auseinanderzusetzen.

Der inhaltliche Fokus lag neben den physikalischen Grundlagen des Fliegens vor allem auf dem Aspekt der Klimawirkung im Kontext des Klimawandels. Das Thema Fliegen bietet jedoch noch weitere Vertiefungsmöglichkeiten und Kontexte wie z.B. die Thematik des Fluglärms und die damit verbundenen physikalischen Grundlagen. So könnte sich die SuS im Kontext Fluglärm mit Schallwellen, Lärm und deren gesundheitlichen Auswirkungen sowie mit verschiedenen Lärminderungsmöglichkeiten auseinandersetzen. Hier könnte dann die Bedeutung der Physik weiter kontextorientiert von den SuS erkundet werden.

Die Bearbeitung dieses Themas war sehr interessant und hat mir persönlich viel Freude bereitet. Ich hoffe, dass viele Lehrkräfte die konzipierte Unterrichtseinheit (oder Teile hiervon) im Schulunterricht verwenden werden und sie empirisch erprobt, evaluiert und basierend auf den Ergebnissen weiter optimiert wird.

7. LITERATURVERZEICHNIS

Agenda 2030: Unsere Nachhaltigkeitsziele. Bundesregierung. [Bundesregierung]

(o. D.). Die Bundesregierung informiert. Startseite. Die 17

Nachhaltigkeitsziele verständlich erklärt. Abgerufen am 30.02.2024 unter

<https://www.bundesregierung.de/breg->

[de/themen/nachhaltigkeitspolitik/nachhaltigkeitsziele-erklaert-232174](https://www.bundesregierung.de/breg-)

Bahr, B., Resag, J., Riebe, K. (2019). *Faszinierende Physik. Ein bebildeter Streifzug vom Universum bis in die Welt der Elementarteilchen (3. Auflage)*. Springer-Verlag GmbH Deutschland. Berlin.

Basel, N. (2015). *Schülerargumente zu Evolution und Schöpfung. Eine Untersuchung zur Entwicklung eines fächerübergreifenden Modells von Argumentationsfähigkeit*. Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.

Ben-Horin, H., Kali, Y., Tal, T. (2023). The Fifth Dimension in Socio-Scientific Reasoning: Promoting Decision-Making about Socio-Scientific Issues in a Community. *Sustainability* 2023, 15(12).

Bernsteiner, A., Schubatzky, T., Haagen-Schützenhofer, C. (2024). *Förderung eines kritischen Umgangs mit (Des-)Informationen durch aktive Inokulation und Debunking*. In: Graulich, N., Arnold, J., Kubsch, M. (Hrsg.). *Lehrkräftebildung von morgen Beiträge der Naturwissenschaftsdidaktiken zur Förderung überfachlicher Kompetenzen*. Waxmann Verlag GmbH. Münster.

Betsch, T., & Haberstroh, S. (Hrsg.). (2005). *The routines of decision making*. Mahwah: Lawrence Erlbaum.

Betsch, T., Funke, J. & Plessner, H. (2011). *Denken - Urteilen, Entscheiden, Problemlösen*. Springer Medizin. Berlin, Heidelberg.

Blanco, E. P., Macini, P. (o.D.). CO2MUCH – Denke global, handle lokal.
Abgerufen am 26.03.2024 unter
<https://www.science-on-stage.de/material/co2much-denke-global-handle-lokal>

Blum, J., Fritz, M., Taigel, J., Singer-Brodowski, M., Schmitt, M., Mathias, W.
(2011). *Transformatives Lernen durch Engagement. Ein Handbuch für Kooperationsprojekte zwischen Schulen und außerschulischen Akteur*innen im Kontext von Bildung für nachhaltige Entwicklung*. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.

Bopst, J., Herbener, R., Hözer-Schopohl, O., Lindmaier, J., Myck, T., Weiß, J.
(2019a). *Umweltschonender Luftverkehr, lokal – national – international*. Umwelt Bundesamt. Text 130/2019. Dessau-Roßlau.

Bopst, J., Herbener, R., Hözer-Schopohl, O., Lindmaier, J., Myck, T., Weiß, J.
(2019b). *Wohin geht die Reise? Luftverkehr der Zukunft: umwelt- und klimaschonend, treibhausgasneutral, lärmarm*. Umwelt Bundesamt. Dessau-Roßlau.

Bourdieu, P. (1993). *Sozialer Sinn. Kritik der theoretischen Vernunft*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.

Borowski, A., Kauertz, A., Pospiesch, G. (o.D.). *Bewertungskompetenz im Fach Physik. Bildungsstandards im Fach Physik für die allgemeine Hochschulreife. Institut für Qualitätsentwicklung im Bildungswesen. Erläuterungen zur Bewertungskompetenz. Abgerufen am 07.03.2024 unter <https://www.iqb.hu-berlin.de/appsrc/taskpool/data/taskpools/getPoolFile?id=p03^pf4632>*

Bögeholz, S. (2007). *Bewertungskompetenz für systematisches Entscheiden in komplexen Gestaltungssituationen Nachhaltiger Entwicklung*. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biogiedidaktischen Forschung* (S. 209–220). Berlin: Springer.

Bögeholz, S., Böhm, M., Eggert, S., & Barkmann, J. (2014). Education for sustainable development in German Science Education: past – present – future. *EURASIA Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 10(4), 231–248.

Bögeholz, S., Hößle, C., Höttecke, D., Menthe, J. (2018). *Bewertungskompetenz*. In: D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 261–280). Berlin, Heidelberg: Springer.

Brinkmann, M. (2022). *Der ICE4: Das Rückgrat der DB-Fernverkehrsflotte*. Deutsche Bahn. Abgerufen am 12.03.2024 unter https://www.deutschebahn.com/de/presse/suche_Medienpakete/medienpaket_ice4-6854650

Bräuling, W.J.G. (2015). *Flugzeugtriebwerke. Grundlagen, Aero-Thermodynamik, Ideale und reale Kreisprozesse, Thermische Turbomaschinen, Komponenten, Emissionen und Systeme (4. Auflage)*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Bundesamt für Zivilluftfahrt [BAZL] (2020). *Faktenmaterial Elektrisches Fliegen*.

Abgerufen am 18.02.2024 unter

https://www.bazl.admin.ch/dam/bazl/de/dokumente/Politik/Umwelt/faktenblatt_elektrisches_fliegen.pdf.download.pdf/Faktenmaterial%20Elektrisches%20Fliegen.pdf

Bundestag (o.D. a). Logo. Abgerufen am 26.02.2024 unter

https://www.bundestag.de/static/appdata/migration/includes/images/logo_bundestag.jpg

Bundestag (o.D. b). Petitionen. Service und Informationen. Abgerufen am

26.02.2024 unter

<https://epetitionen.bundestag.de/epet/service.???rubrik.oeffentlichePetitionen.html#sicontent>

Bundeszentrale für politische Bildung [BPD] (o.D). Petition/Petitionsrecht.

Abgerufen am 26.02.2024 unter

<https://www.bpb.de/kurz-knapp/lexika/lexikon-in-einfacher-sprache/249998/petition-petitionsrecht/>

Dahlmann, D. (2023). E-Fuels oder Brennstoffzelle: Wer gewinnt das Rennen um den umweltfreundlichsten Flugzeugantrieb. *Business Insider*.

Gründerszene. Abgerufen am 10.03.2024 unter

<https://www.businessinsider.de/gruenderszene/automotive-mobility/drehmoment-flugzeug-antrieb-e-fuels-brennstoffzelle/#:~:text=Biokraftstoff%20noch%20fast%20doppelt%20so,derzeit%202%2C50%20Euro%20an>

Demaco Hydrogen [DEMACO] (o.D.). *Die Energiedichte von Wasserstoff: eine einzigartige Eigenschaft*. Abgerufen am 08.03.2024 unter

<https://demaco-cryogenics.com/de/blog/die-energiedichte-von-wasserstoff-eine-einzigartige-eigenschaft/>

de Haan, G. (2008). *Gestaltungskompetenz als Kompetenzkonzept der Bildung für nachhaltige Entwicklung*. In I. Bormann & G. d. Haan (Hrsg.), *Kompetenzen der Bildung für nachhaltige Entwicklung* (S. 23–43). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Deutscher Bundestag [DBT] (2016, 01. September). Petitionen: Der Petitionsausschuss [Video]. YouTube. Abgerufen am 26.02.2024 unter <https://www.youtube.com/watch?v=AHn6D2KxZVo>

Dubs, F. (1979). *Aerodynamik der reinen Unterschallströmung (4., neubearbeitete Auflage)*. Springer Basel AG.

Duit, R. (2020). *Alltagsvorstellungen und Physiklernen*. In: E. Kircher, R. Girwidz, H. E. Fischer (Hrsg.), *Physikdidaktik. Grundlagen*. Wiesbaden: Springer Berlin Heidelberg.

Eggert, S., Bögeholz, S. (2006). Göttinger Modell der Bewertungskompetenz – Teilkompetenz "Bewerten, Entscheiden und Reflektieren" für Gestaltungsaufgaben Nachhaltiger Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, 177-197.

Eggert, S., Bögeholz, S. (2010). Students' use of decision-making strategies with regard to socioscientific issues: An application of the Rasch partial credit model. *Science Education*, 94(2), 230-258.

Eigner, C. (2020). *Grüner leben nebenbei. Was jeder für Klima und Umwelt tun kann*. Stiftung Warentest, Berlin.

Eilks, I., Feierabend, T., Hößle, C., Höttecke, D., Menthe, J., Mrochen, M., & Oelgeklaus, H. (2011). *Der Klimawandel vor Gericht*. Köln: Aulis.

Elektroflugzeug [WIKIELEKTRO] (2024, 04. Februar). In Wikipedia. Abgerufen am 05.03.2024 unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Elektroflugzeug>

Emcel GmbH [EMCEL] (2019). *Was kostet grüner Wasserstoff (grüner H₂)?*. EMCEL. Ingenieurbüro für Brennstoffzelle, Wasserstofftechnologie und Elektromobilität. Frage des Monats. Abgerufen am 10.03.2024 unter <https://emcel.com/de/was-kostet-gruener-h2/>

Feige, E.-M., Lembens, A. (2020). Unterstützungsmöglichkeiten beim Erklären und Argumentieren im Physikunterricht. *MNU-Journal*, 73(5), 370-376.

Forster, P., V. Ramaswamy, P. Artaxo, T. Berntsen, R. Betts, D.W. Fahey, J. Haywood, J. Lean, D.C. Lowe, G. Myhre, J. Nganga, R. Prinn, G. Raga, M. Schulz, R. Van Dorland (2007). *Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing*. In: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (Hrsg.). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Forster, P.M., Smith, C.J., Walsh, T., Lamb, W. F., Lamboll, R., Hauser, M., Ribes, A., Rossen, D., Gillett, N., Palmer, M. D., Rogelj, J., Schuckmann, K.v., Seneviratne, S. I., Blair, T., Zhang, X., Allen, M., Andrew, R., Birt, A., Borger, A., Boyer, T., Broersma, J. A., Cheng, L., Detner, F., Friedlingstein, P., Gutiérrez, J. M., Gütschow, J., Hall, B., Ishii, M., Jenkins, S., Lan, X., Lee, J., Morice, C., Kadow, C., Kennedy, J., Killick, R., Minx, J. C., Naik, V., Peters, G. P., Pirani, A., Pongratz, J., Schleussner, C.-F., Szopa, S., Thorne, P., Rohde, R., Corradi, M. R., Schumacher, D., Vose, R., Zickfeld, K., Masson-Delmotte, V., Zhai, P. (2023). Indicators of Global Climate Change 2022: Annual update of large-scale indicators of the state of the climate system and the human influence, *Earth System Science Data* 15, 2295–2327, 2023 <https://doi.org/10.5194/essd-15-2295-2023>

Fleischhauer, J. (2013). *Wissenschaftliches Argumentieren und Entwicklung von Konzepten beim Lernen von Physik*. Berlin: Logos.

Giancoli, D. C. (2009). *Physik*. Pearson Deutschland GmbH.

Gießel, A. (2023). *Ladestationen für Elektroautos: Anbieter und Kosten im Vergleich*. ADAC. Abgerufen am 13.02.2024 unter <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/laden/elektroauto-ladesaeulen-strompreise/>

Greenpeace (2023). *CO₂-Kompensation: Echter Klimaschutz oder Greenwashing?*. Greenpeace. Abgerufen am 21.02.2024 unter <https://www.greenpeace.org/luxembourg/de/aktualitaet/18955/co%E2%82%82-kompensation-echter-klimaschutz-oder-greenwashing/>

Greenpeace [GREENP] (o.D.). Über uns. Greenpeace stellt sich vor. Abgerufen am 26.02.2024 unter <https://www.greenpeace.de/ueber-uns>

Greenpeace [WIKIGP] (2024, 21 Februar). In *Wikipedia*. Abgerufen am 26.02.2024 unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Greenpeace>

Grießhammer, R. (2023). *Die E-Fools*. *Frankfurter Rundschau*. Abgerufen am 10.03.2024 unter <https://www.fr.de/politik/die-fools-92185219.html>

Hackl, Armin (2011). *Konzepte schulischer Werteerziehung*. In: Hackl, A. (Hrsg.); Steenbuck, O. (Hrsg.); Weigand, G. (Hrsg.): *Werte schulischer Begabtenförderung. Begabungsbegriff und Werteorientierung*. Frankfurt. Karg-Stiftung, S. 19-25.

Haidt, J. (2001). The Emotional Dog and Its Rational Tail: A Social Intuitionist Approach to Moral Judgement. *Psychological Review*, 118 (4), 814–834.

- Hauck, M., Leuschner, C., Hofmeier, J. (2019). *Klimawandel und Vegetation. Eine globale Übersicht*. Springer-Verlag GmbH Deutschland.
- Helms, C. (2016). *Entwicklung und Evaluation eines Trainings zur Verbesserung der Erklärqualität von Schülerinnen und Schülern im Gruppenpuzzle*. Dissertation, Universität Osnabrück: Fachbereich Physik.
- Herolé (2023). *CO₂-Kompensation: Greenwashing oder nachhaltige Chance?*.
Herolé Ratgeber. Abgerufen am 24.02.2024 unter
<https://www.herole.de/blog/co2-kompensation-greenwashing/>
- Hinze, U. (2004). *Computergestütztes kooperatives Lernen. Einführung in Technik, Pädagogik und Organisation des CSCL*. Münster: Waxmann.
- Hoche, D., Kühlbeck, J., Meyer, L., Reichwald, R., Schmidt, G.-D., Schwarz, O., Spitz, C. (2020). *Physik. Basiswissen Schule. Abitur. (5. überarbeitete und aktualisierte Auflage)*. Meyer, L., Schmidt, G.-D. (Hrsg.). Dudenverlag Berlin.
- Hocke, D. [BDLI] (2020). *Nachhaltige und Klimaneutrale Luftfahrt aus Deutschland für die Energiewende am Himmel*. Technologiestrategie der deutschen Luftfahrtindustrie (Aktualisierte und erweiterte Ausgabe 2020). Bundesverband der Deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie e.V. (BDLI).
- Hofer, Manfred (2007). *Ein neuer Weg in der Hochschuldidaktik: Die Service Learning-Seminare in der Pädagogischen Psychologie an der Universität Mannheim*. In: Anna Maria Baltes, Manfred Hofer und Anne Sliwka (Hrsg.): *Studierende übernehmen Verantwortung. Service Learning an deutschen Universitäten*. Weinheim: Beltz (Beltz-Bibliothek), S. 35–48.

- Hopf, M., Wilhelm, T. (2021). *Unterrichtskonzeptionen zur Mechanik der Gase und Flüssigkeiten*. In: T. Wilhelm, H. Schecker, M. Hopf (Hrsg.), *Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht*. Springer-Verlag, Springer Nature.
- Hostenbach, J., Fischer, H. E., Kauertz, A., Mayer, J., Sumfleth, E. & Walpuski, M. (2011). Modellierung der Bewertungskompetenz in den Naturwissenschaften zur Evaluation der Nationalen Bildungsstandards. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 17, 261–288.
- Hostenbach, J. , Walpuski, M. (2013). Untersuchung der Einflussfaktoren auf die Bewertungskompetenz im Fach Chemie. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 19, 129–157.
- Höttecke, D. (2013a). Bewerten – Urteilen – Entscheiden. Ein Kompetenzbereich des Physikunterrichts. *Unterricht Physik*, 24(134), 4-12.
- Höttecke, D. , Hartmann-Mrochen , M. (2013). „Flugobst“ unter der Lupe. Mit einem Planspiel urteilen und entschieden lernen. *Unterricht Physik*, 24(134), 17-18.
- Höttecke, D. & Mrochen, M. (2011). *Die Argumente-Kommode zur Vorbereitung von Rollen in Rollen- und Planspielen*. In I. Eilks, T. Feierabend, D. Höttecke, C. Hößle et al.: *Der Klimawandel vor Gericht - Materialien für den Fach- und Projektunterricht* (S. 133–135). Aulis: Köln
- Höttecke, D. (2013b). Sachwissen – Werte & Normen – Interessen: Ordnung in die Argumente bringen. Argumente mithilfe der Argumente-Kommode entwickeln und ordnen. *Unterricht Physik*, 24(134), 17-18.

- Hünecke, K. (2008). *Die Technik des modernen Verkehrsflugzeuges*. Gebundene Ausgabe. Motorbuch Verlag, Stuttgart.
- Hybridelektroflugzeug [WIKIHYBRID] (2023, 20. Juni). In *Wikipedia*. Abgerufen am 15.03.2024 unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Hybridelektroflugzeug>
- Jungermann, H., Pfister, H. R., & Fischer, K. (2005). *Die Psychologie der Entscheidung. Eine Einführung (2. Auflage)*. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.
- Jungermann, H., Pfister, H.-R., Fischer, K. (2010). *Die Psychologie der Entscheidung. Eine Einführung (3. Auflage)*. München: Spektrum Akademischer Verlag.
- Kassera, W. (2016). *Flug ohne Motor. Das Lehrbuch für Segelflieger (22. Aktualisierte Auflage)*. Motorbuch Verlag. Stuttgart.
- Kienpointner, M. (1992). *Alltagslogik: Struktur und Funktion von Argumentationsmustern*. Stuttgart – Bad Cannstatt: Frommann-Holzboog.
- Kienpointner, M. (1996). *Vernünftig Argumentieren*. Reinbeck bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch.
- Kircher, E., Girwidz, R., Fischer, Hans E. (2020). *Physikdidaktik, Grundlagen*. Wiesbaden: Springer Berlin Heidelberg.
- Klell, M., Eichseder, H., Trattner, A. (2018). *Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik. Erzeugung, Speicherung, Anwendung*. Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Klimaschutzportal [KP] (o.D. a). *Klimakiller Nr. 1?. Übersicht*. Klimaschutzportal der Luftfahrt. Abgerufen am 14.03.2024 unter <https://www.klimaschutz-portal.aero/klimakiller-nr-1/>

Klimaschutzportal [KP] (o.D. b). *Klimakiller Nr. 1?. Klimawirkung des*

Luftverkehrs. Klimaschutzportal der Luftfahrt. Abgerufen am 14.03.2024

unter

<https://www.klimaschutz-portal.aero/klimakiller-nr-1/klimawirkung-des-luftverkehrs/>

Klimaschutzportal [KP] (o.D. c). *Nachhaltigkeitskriterien für alternative*

Flugkraftstoffe. Klimaschutzportal der Luftfahrt. Abgerufen am 14.03.2024

unter

<https://www.klimaschutz-portal.aero/klimaneutral-fliegen/alternative-kraftstoffe/nachhaltigkeitskriterien/>

Klimaschutzportal [KP] (o.D. d). *Keine Zukunftsmusik: Kerosin aus Wasser und*

CO₂. Klimaschutzportal der Luftfahrt. Abgerufen am 14.03.2024 unter

<https://www.klimaschutz-portal.aero/klimaneutral-fliegen/alternative-kraftstoffe/kerosin-aus-wasser-und-co2/#:~:text=PtL%2DKraftstoff%20ist%20bereits%20als,gemischt%20werden%20oder%20dieses%20ersetzen>

Klößner, A. (2017). Die Zukunft fliegt elektrisch! Vom Lufttaxi bis zum Regionaljet.

Luft- und Raumfahrt, 4, S. 22-25.

Knittel, C. (2013). *Eine Feldstudie zur Untersuchung der Förderung von*

Bewertungskompetenz - am Beispiel Photovoltaik. Dissertation,

Pädagogische Hochschule Freiburg, Freiburg.

Knittel, C. & Mikelskis-Seifert, S. (2013). Lohnt sich eine Photovoltaikanlage auf

dem Dach? Einbettung eines expliziten Bewertungstrainings in den

Elektrizitätsunterricht der Sekundarstufe 1. *Naturwissenschaften im*

Unterricht Physik, 24 (134), 22–26.

Kohlberg, L. (1974). *Zur kognitiven Entwicklung des Kindes*. Frankfurt: Suhrkamp.

Konrad, K. (2014). *Lernen lernen – allein und mit anderen. Konzepte, Lösungen,*

Beispiele. Springer VS. Springer Fachmedien Wiesbaden.

- Kraus, M. E. (2008a). Argumentationsanlässe für den Mechanikunterricht. Kommunikation fördern durch Cartoons und Teilargumentationen. *Unterricht Physik*, 19(107), 4–7.
- Kraus, M. E. (2008b). Argumentationsanlässe im Unterricht. Hinweise und Anregungen zum Einsatz von Cartoons und Teilargumentationen. *Unterricht Physik*, 19(107), 8–10.
- Kraus, M. E. (2008c). Eine Kiste aus dem Hubschrauber abwerfen. *Unterricht Physik*, 19(107), 24–25.
- Kubsch, M., Sorge, S. (2021). Unterstützungsmöglichkeiten beim Erklären und Argumentieren im Physikunterricht. *MNU-Journal*, 74(4), 274-279.
- Kulgemeyer, C. (2011). Physik erklären als Rollenspiel. Adressatengemäßes Kommunizieren fördern und diagnostizieren. *Unterricht Physik*, 123/124, 70–74.
- Kultusministerkonferenz [KMK] (2004a). *Bildungsstandards im Fach Biologie für den Mittleren Schulabschluss*, Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004.
- Kultusministerkonferenz [KMK] (2020a). *Bildungsstandards im Fach Biologie für die Allgemeine Hochschulreife*, Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 18.06.2020.
- Kultusministerkonferenz [KMK] (2004b). *Bildungsstandards im Fach Chemie für den Mittleren Schulabschluss*, Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004.

Kultusministerkonferenz [KMK] (2020b). *Bildungsstandards im Fach Chemie für die Allgemeine Hochschulreife*, Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 18.06.2020.

Kultusministerkonferenz [KMK] (2004c). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss*, Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004.

Kultusministerkonferenz [KMK] (2020c). *Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife*, Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 18.06.2020.

Kultusministerkonferenz [KMK] (2021). *Handreichung für die Erarbeitung von Rahmenlehrplänen der Kultusministerkonferenz für den berufsbezogenen Unterricht in der Berufsschule und ihre Abstimmung mit Ausbildungsordnungen des Bundes für anerkannte Ausbildungsberufe*, Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 17.06.2021.

Laage, P. (2019). *Der Umwelt zuliebe aufs Fliegen verzichten?*. Frankfurter Rundschau. Abgerufen am 17.02.2024 unter <https://www.fr.de/wissen/umwelt-zuliebe-aufs-fliegen-verzichten-11012365.html>

Lang, P. (2023). *Was E-Autos dem Verbrenner voraus haben*. Auto Motor und Sport. Abgerufen am 08.03.2024 unter <https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/elektroauto-energie-technik-wirkungsgrad-sparen/>

Lee, D. S., Fahey, D. W., Forster, P. M., Newton, P. J., Wit, R. C. N., Lim, L. L., Owen, B., Sausen, R. (2009). Aviation and global climate change in the 21st century. *Atmospheric Environment*, 43, 3520-3537.

LEIFPhy (o.D. a). Strahltriebwerke. Strömungslehre. Abgerufen am 04.03.2024 unter <https://www.leifphysik.de/mechanik/stroemungslehre/ausblick/strahltriebwerke>

Leuschner, U. (o.D.). *Die Gasturbine funktioniert wie ein Strahltriebwerk*. Abgerufen am 08.03.2024 unter <https://www.udo-leuschner.de/basiswissen/SB105-06.htm>

Lufthansa [WIKILH] (2024, 19. Februar). In *Wikipedia*. Abgerufen am 26.02.2024 unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Lufthansa>

Lufthansa Group [LHG] (o.D.). Verantwortung. Klima und Umwelt. Abgerufen am 26.02.2024 unter <https://www.lufthansagroup.com/de/verantwortung/klima-umwelt.html#cid11321>

Manthey, M. (2023). *Physikdidaktische Analyse des LMU-Klimakoffers für die Anwendung in Lehr-Lern-Situationen*. Masterarbeit. Freie Universität Berlin.

Masengarb, C. (o.D.). FOCUS online-Redakteur Christian Masengarb. Abgerufen am 21.02.2024 unter https://www.focus.de/intern/impressum/autoren/christian-masengarb_id_159663707.html

Masengarb, C. (2023). *Wie Sie mit gutem Gewissen fliegen und CO2 Ausgleichen*. Focus Online. Abgerufen am 20.02.2024 unter https://www.focus.de/finanzen/flug-emissionen-flug-co2-ausgleichen-nur-ein-anbieter-ueberzeugt_id_182744387.html

Menthe, J. (2006). *Urteilen im Chemieunterricht: Eine empirische Untersuchung über den Einfluss des Chemieunterrichts auf das Urteilen von Lernenden in Alltagsfragen*. Tönning: Der Andere Verlag (Univ., Diss.--Kiel, 2006.).

- Menthe, J. , Parchmann, I. (2006). Trink- oder Mineralwasser: Bewerten – ein Kinderspiel?. *Unterricht Chemie*, 17(94/95), 80-84.
- Meschede, D. (2015). *Gerthsen Physik (25. Auflage)*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Mezirow, J. (1991): *Transformative Dimensions of Adult Learning*: Jossey-Bass, 350 Sansome Street, San Francisco, CA 94104-1310.
- Microsoft Designer (2024). Bildgenerierungstool (Image Creator). Microsoft. Abgerufen am 29.03.2024 unter <https://designer.microsoft.com/image-creator>
- Neu, U. (2022) Klimawirkung und CO₂-Äquivalent-Emissionen von kurzlebigen Substanzen. *Swiss Academies Communications* 17 (5).
- Neubauer, S. (2018). *Werteerziehung und wertorientierte Schulentwicklung in einer Gesellschaft der Vielfalt*. Masterarbeit. Karl-Franzens-Universität Graz.
- Nienhaus, H. (2019). *Physik für das Lehramt. Band 2: Elektrodynamik und Optik*. Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston.
- Nussbaum, E. M., Edwards, O. V. (2011). Critical questions and argument stratagems: A framework for enhancing and analyzing students' reasoning practices. *Journal of the Learning Sciences*, 20(3), 443-488.
- OECD (2020). *OECD-Lernkompass 2030*. OECD-Projekt, Future of Education and Skills 2030 Rahmenkonzept des Lernens.
- Onlinekurslabor*. (o.J.). Uni-augsburg.de. Abgerufen 28.02.2024 unter <https://onlinekurslabor.phil.uni-augsburg.de/course/text/2723/3383>

Pfister, H.-R., Jungermann, H., Fischer, K. (2017). *Die Psychologie der Entscheidung. Eine Einführung (4. Auflage)*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Palt, K. (2019). *Airbus A380. Verkehrsflugzeug*. *Flugzeuginfo.net*. Abgerufen am 02.03.2024 unter https://www.flugzeuginfo.net/acdata_php/acdata_a380_dt.php

Parlamentarischer Beirat des Deutschen Bundestages (o.D). *Was ist Nachhaltigkeit?*. Abgerufen am 04.03.2024 unter https://www.bundestag.de/ausschuesse/weitere_gremien/pbne/vorstellung/was-ist-nachhaltigkeit-890694

PISA 2025 Science Framework [PISA] (2023). *PISA 2025 SCIENCE FRAMEWORK (DRAFT), May 2023*. Abgerufen am 17.02.2024 unter https://pisa-framework.oecd.org/science-2025/assets/docs/PISA_2025_Science_Framework.pdf

Pn-Übergang [PHYSKI] (2019, 12. November). In *Physki*. Abgerufen am 15.02.2024 unter https://www2.physki.de/PhysKi/index.php/Pn-%C3%9Cbergang#Bewegliche_Ladungstr.C3.A4ger_und_Nettoladungsverteilung

Pixabay. Abgerufen am 05.03.2024 unter <https://pixabay.com/de/>

Potsdam Institut für Klimafolgenforschung [PIK] (o.D. a). Startseite. Abgerufen am 26.02.2024 unter <https://www.pik-potsdam.de/de/startseite>

Potsdam Institut für Klimafolgenforschung [PIK] (o.D. b). Institut. Über uns. Abgerufen am 26.02.2024 unter <https://www.pik-potsdam.de/de/institut/ueber>

Pufé, I. (2014). Was ist Nachhaltigkeit? Dimensionen und Chancen.

Bundeszentrale für politische Bildung. *Aus Politik und Zeitgeschichte 64 (31-32)*. S. 15-21.

Quaschnig, V. (2018). *Erneuerbare Energien und Klimaschutz (4., überarbeitete und erweiterte Auflage)*. Carl Hanser Verlag München.

Quaschnig, V. (2024). So funktioniert eine Solarzelle. Abgerufen am 06.03.2024 unter <https://www.volker-quaschnig.de/artikel/pv-grundlagen/index.php>

Rahmenlehrplan für die gymnasiale Oberstufe [RLPBerSIIb] (2021). *Teil B, Fächerübergreifende Kompetenzentwicklung*. Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie Berlin; Ministerium für Bildung, Jugend und Sport des Landes Brandenburg (Hrsg.).

Rahmenlehrplan Physik [RLPPhyBerSII] (2021). *Rahmenlehrplan für die gymnasiale Oberstufe, Teil C, Physik*. Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie Berlin; Ministerium für Bildung, Jugend und Sport des Landes Brandenburg (Hrsg.).

Rahmenlehrplan Physik [RLPPhyBerSI] (2015). *Teil C, Physik*. Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie Berlin; Ministerium für Bildung, Jugend und Sport des Landes Brandenburg (Hrsg.).

Reckzeh, D. (2017). Das Flugzeug der Zukunft – Potentiale von aktuellen und neuen Konfigurationen. *Luft- und Raumfahrt, 1*, S. 22-25.

Reinders, H., Hillesheim, S. (2015). *Service Learning und akademische Entwicklung bei Studierenden. Abschlussbericht an die Deutsche Forschungsgemeinschaft. Schriftenreihe Empirische Bildungsforschung*. Würzburg: Universität Würzburg.

- Roncevic, K., Pallesche, M. (2021). Aktivismus und Bildung für nachhaltige Entwicklung in der Schule? Herausforderungen und Chancen im Umgang mit Aktivismus der Schüler/-innen. *Zeitschrift für internationale Bildungsforschung und Entwicklungspädagogik* 44(3), S. 22–26.
- Rieger-Ladich, M. (2002). *Mündigkeit als Pathosformel. Beobachtungen zur pädagogischen Semantik*. Konstanz: UVK.
- Sadler, T. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching*, 41, 513–536.
- Sadler, T.D., Barab, S.A., Scott, B (2007). What Do Students Gain by Engaging in Socioscientific Inquiry? *Research in Science Education* 37, 371–391.
- Sadler, T.D. (2011). *Socio-Scientific Issues in the Classroom*. Springer-Verlag, New York.
- Sauerland, M. , Gewehr, P. (2017). *Entscheidungen erfolgreich treffen, Entscheidungskompetenzen erfolgreich aufbauen und die Angst vor Fehlentscheidungen abbauen*. Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Sakschewski, M. T. (2013). *Bewertungskompetenz im Physikunterricht: Entwicklung eines Messinstruments zum Themenfeld Energiegewinnung, -speicherung und -nutzung*. Dissertation. Georg-August-Universität Göttingen.
- Sakschewski, M. T., Eggert, S., Schneider, S. & Bögeholz, S. (2014). Students' Socioscientific Reasoning and Decision-making on Energy-related Issues—Development of a measurement instrument. *International Journal of Science Education*, Online First.

- Sander, H. (2017). *Orientierungen von Jugendlichen beim Urteilen und Entscheiden in Kontexten nachhaltiger Entwicklung. Eine rekonstruktive Perspektive auf Bewertungskompetenz in der Didaktik der Naturwissenschaften*. Berlin: Logos.
- Schecker, H., Höttecke, D. (2007). „Bewertung“ in den Bildungsstandards Physik. Aufgaben zum Kompetenzbereich „Bewertung“. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 18 (97), 29–36.
- Schecker, H., Höttecke, D. (2021). *Unterrichtskonzeptionen für die Förderung prozessbezogener Kompetenzen*. In: T. Wilhelm, H. Schecker, M. Hopf (Hrsg.), *Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht*. Springer-Verlag, Springer Nature.
- Scheiderer, J. (2008). *Angewandte Flugleistung. Eine Einführung in die operationale Flugleistung vom Start bis zur Leistung*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Scholz, D. (2021). *Umweltschutz in der Luftfahrt – Hintergründe und Argumente zur aktuellen Diskussion*. Bericht. Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Aircraft Design and Systems Group (AERO).
- Scholz, D. (2022). Argumente zum Umweltschutz in der Luftfahrt. *Luft- und Raumfahrt*, 3, S. 22-25.
- Schraml, P. (25.02.2021). „Der Lernkompass 2030 zeigt, was Schüler*innen benötigen, um zur Gestaltung einer wünschenswerten Zukunft aktiv beizutragen.“. Bildungsserver, Innovationsportal.
Abgerufen am 28.02.2023 unter
<https://www.bildungsserver.de/innovationsportal/bildungplusartikel.html?artid=1219>

- Schreck, K. (o.D.). Kaisa. Abgerufen am 21.02.2024 unter
<https://www.ef.de/blog/language/author/kaisa-schreck/>
- Schreck, K. (o.D.). *5 Gründe warum Fliegen so toll ist*. Education First. Reisen.
 Abgerufen am 20.02.2024 unter
<https://www.ef.de/blog/language/5-grunde-warum-fliegen-so-toll-ist/>
- Schubarth, W. (2010). „Die Rückkehr der Werte.“ *Die neue Wertedebatte und die Chancen der Wertebildung*. In: Schubarth, W., Speck, K., Von Berg, H. L. (Hrsg.), *Wertebildung in Jugendarbeit, Schule und Kommune*. S. 21–42. Bilanz und Perspektiven. Wiesbaden: VS Verlag.
- Schubarth, W. (2019). *Wertebildung in der Schule*. In: Verwiebe, R. (Hrsg.), *Werte und Wertebildung aus interdisziplinärer Perspektive*. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- Schultz, S. (o.D.). Zum Autor: Stefan Schultz. Abgerufen am 20.02.2024 unter
<https://www.spiegel.de/impressum/autor-2608ca32-0001-0003-0000-000000010487>
- Schultz, S. (2019). *Warum wir uns fürs Fliegen nicht schämen müssen*. Spiegel Wirtschaft. Abgerufen am 20.02.2024 unter
<https://www.spiegel.de/wirtschaft/soziales/klimaschutz-warum-wir-uns-fuers-fliegen-nicht-schaemen-muessen-a-1279493.html>
- Schumann, U. (2008a). *Globale Verkehrsemissionen in der freien Troposphäre und unteren Stratosphäre und ihre Klimawirkung*. In: Metz, N. (Hrsg.), *Im Spannungsfeld zwischen CO₂-Einsparung und Abgasemissionsabsenkung, Lösungsansätze und Weiterentwicklungen*. Expert Verlag. Renningen.

Schumann, U. (2008b). Luftverkehr und Klima, Atmosphärenforschung. *Physik in unserer Zeit*, 39 (3).

Scorza, C., Lesch, H., Strähle, M., Sörgel, D., 2022, *Der Klimawandel: Verstehen und handeln*, Handbuch. Fakultät für Physik der LMU München.

Scorza, C., Strähle, M. (2023). *Aktivität 2: Die Erde wird bestrahlt*. Materialien zur Aktivität. Kopiervorlage. Klimawandel verstehen und handeln. Abgerufen am 14.03.2024 unter <https://klimawandel-schule.de/de/experiment/aktivitaet-2-die-erde-wird-bestraht>

Scorza, C., Strähle, M. (2022). *Aktivität 5: Die Wirkung von Treibhausgasen*. Materialien zur Aktivität. Kopiervorlage. Klimawandel verstehen und handeln. Abgerufen am 16.02.2024 unter <https://klimawandel-schule.de/de/experiment/aktivitaet-5-die-wirkung-von-treibhausgasen>

Sliwka, Anne (2009). *Reflexion: das Bindeglied zwischen Service und Lernen*. In: Karsten Altschmidt, Jörg Miller und Wolfgang Stark (Hg.): *Raus aus dem Elfenbeinturm? Entwicklungen in Service Learning und bürgerschaftlichem Engagement an deutschen Hochschulen*. Weinheim: Beltz (Beltz-Bibliothek), S. 85-90.

Solar Impulse [WIKISI] (2023, 14. Dezember). In *Wikipedia*. Abgerufen am 05.03.2023 unter https://de.wikipedia.org/wiki/Solar_Impulse

Solarni Paneli [SOLARNIPA] (o.D.). *Überraschende Gründe, warum Flugzeuge keine Sonnenkollektoren besitzen*. Abgerufen am 08.03.2024 unter <https://solarnipaneli.energy/de/uberraschende-grunde-warum-flugzeuge-keine-sonnenkollektoren-haben/>

Solarwatt [SOLARWATT] (2023). Wirkungsgrade von Solarzellen und Photovoltaik. Abgerufen am 08.03.2024 unter <https://www.solarwatt.de/ratgeber/wirkungsgrad-solarzelle-und-pv>

Sperlich S, Geyer, S. (2018). *Die Perspektive der Umwelt: Soziale Normen und Rollen*. In: Deinzer, R., von dem Knesebeck, O. (Hrsg.). *Online Lehrbuch der Medizinischen Psychologie und Medizinischen Soziologie*. Berlin: German Medical Science GMS Publishing House.

Stiftung Warentest (2022). Ausgleich für die Klimasünde. *Finanztest* 11/2022, S. 12-17.

Thome, H. (2019). *Werte und Wertebildung aus soziologischer Sicht*. In: Verwiebe, R. (Hrsg.), *Werte und Wertebildung aus interdisziplinärer Perspektive*. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.

Toulmin, S. (1996). *Der Gebrauch von Argumenten* (2. Aufl.). Weinheim: Beltz.

Toulmin, S. (2003). *The uses of argument (Updated ed)*. Cambridge University Press.

Tschentscher, C., Berger, R. (2016). Wie kann man gute Erklärungen mit Lernenden trainieren? Ein Blick auf das sachgerechte Erklären. *Unterricht Physik*, 27(152), 16–21.

TUI Group [TUI] (2024a). *Über die TUI Group*, Abgerufen am 26.02.2024 unter <https://www.tuigroup.com/de-de/ueber-uns/ueber-die-tui-group>

TUI Group [TUI] (2024b). *TUI Nachhaltigkeitsagenda*, Abgerufen am 26.02.2024 unter <https://www.tuigroup.com/de-de/verantwortung/nachhaltigkeit>

TÜV Nord [TÜVNORD] (o.D.). *Wasserstoff-Brennstoffzelle: Funktion & Arten*.

Abgerufen am 08.03.2024 unter

<https://www.tuev-nord.de/de/unternehmen/energie/wasserstoff/wasserstoff-brennstoffzelle/>

Ueckerdt, F., Bauer, C., Dirnaichner, A., Everall, J., Sacchi, R., Luderer, G. (2021):

Potential and risks of hydrogen-based e-fuels in climate change mitigation.

Nature Climate Change, 11, S. 384-393.

Umweltbundesamt [UBA] (2018). *Freiwillige CO₂-Kompensationen durch*

Klimaschutzprojekte. Ratgeber. Abgerufen am 21.02.2024 unter

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/ratgeber_freiwillige_co2_kompensation_final_internet.pdf

Umweltbundesamt [UBA] (2021). *Wie funktioniert der Treibhauseffekt?*

Abgerufen am 16.02.2024 unter

<https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/wie-funktioniert-der-treibhauseffekt>

Umweltbundesamt [UBA] (2022). *Flugreisen möglichst vermeiden und*

Alternativen nutzen. UBA-Erklärfilm: Flugreisen und Klimawirkung.

Abgerufen am 22.02.2024 unter

<https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/mobilitaet/flugreisen#wie-sie-flugreisen-vermeiden-können>

Utopia (2023). *CO₂-Kompensation in der Kritik. Solltest du deine nächste Reise*

ausgleichen?. Utopia. Ratgeber. Abgerufen am 20.02.2023 unter

<https://utopia.de/ratgeber/fliegen-co2-kompensation-ausgleich/>

Vereinte Nationen [UN] (2020). 17 Ziele. UNRIC, Regionales

Informationszentrum der Vereinten Nationen. SDG Grafiken auf Deutsch.

Abgerufen am 16.02.2024 unter <https://unric.org/de/17ziele/>

- von Aufschnaiter, C. & Prechtel, H. (2018). *Argumentieren im naturwissenschaftlichen Unterricht*. In: D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hrsg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 87–104). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Walton, D. (1996). *Argumentation schemes for presumptive reasoning*. Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- Walton, D. (2003). *Ethical argumentation*. Lanham, MD: Lexington Books.
- Weinert, F.E. (2001). *Vergleichende Leistungsmessung in Schulen – eine umstrittene Selbstverständlichkeit*. In: *Leistungsmessungen in Schulen*, S. 17-31. Beltz-Verlag, Weinheim und Basel.
- [WELT] (2007). *12 skurrile Fakten zum Riesen-Airbus*. Welt. Abgerufen am 02.03.2024 unter <https://www.welt.de/reise/article1306075/12-skurrile-Fakten-zum-Riesen-Airbus.html>
- Weltner, K. (2000). *Physik des Fliegens, Strömungsphysik, Raketen, Satelliten*. In F. Langensiepen, R. Götz, & H. Dahncke (Hrsg.), *Handbuch des Physikunterrichts Sekundarbereich I – Band 2* (S. 340– 402). Köln: Aulis.
- Wengel, A. (o.D.). Autorin Anna Wengel. Abgerufen am 21.02.2024 unter <https://www.travelbook.de/autor/anna-wengel>
- Wissenschaftsleugnung [WIKIWL] (2024, 5. Februar). In *Wikipedia*. Abgerufen am 08.03.2024 unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Wissenschaftsleugnung>
- Wodzinski, R. (1999). Wie erklärt man das Fliegen in der Schule?. *Plus Lucis* 2/99, S. 18-22.

- Wodzinski, R. (2013a). Bewerten lernen in einer Pro-und-Contra-Debatte. Aufgabenvorschläge zum Glühlampenverbot. *Unterricht Physik*, 24(134), 34-37.
- Wodzinski, R. (2013b). Bewertungskompetenz im Unterricht anbahnen. Ein Überblick über geeignete Methoden. *Unterricht Physik*, 24(134), 13-16.
- Wodzinski, R. , Werkmeister, N. (2013). Nach Erfurt mit dem Zug oder dem Bus?. Entscheiden lernen im Sachunterricht. *Unterricht Physik*, 24(134), 19-21.
- Wurthmann, L. C. (2021). *Werte und Wertewandel*. In: Andersen, U., Bogumil, J., Marschall, S., Woyke, W. (Hrsg.). *Handwörterbuch des politischen Systems der Bundesrepublik Deutschland* (8., überarbeitete und erweiterte Auflage). Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- Wyrwich, T., Neumann, K., Kubsch, M. (2023). *Beyond Literacy: Förderung von Agency im Physikunterricht*.
- Yao, J.-X., Guo, Y.-Y., Neumann, K. (2016). Towards a hypothetical learning progression of scientific explanation. *Asia-Pacific Science Education*, 2(1).
- Zemal-Saul, C., McNeill, K.L., Hershberger, K. (2012). *What's your evidence? Engaging K-5 students in constructing explanations in science*. Boston: Pearson Education.
- 17ziele.de (2019). *17 Ziele-Tafeln*. Abgerufen am 05.03.2024 unter https://17ziele.de/downloads.html?file=files/17ziele/content/downloads/Forexplatten_2019_tu-du_NEU.pdf&cid=3498

8. ANHANG

8.1 Lehrkräftehandbuch

8.1.0 Allgemeine Informationen

Die Unterrichtseinheit thematisiert das Thema Fliegen als Socio-scientific issue (SSI) und fördert das naturwissenschaftliche Erklären, Argumentieren und Bewerten im Rahmen einer Student Agency, d.h. einer verantwortungsbewussten Handlungs- und Gestaltungskompetenz (OECD, 2020).

Die Unterrichtseinheit basiert auf dem Rahmenlehrplan der Landes Berlin (RLPPhyBerSI, 2015, RLPPhyBerSII, 2021) und ist curricular in der Einführungsphase der gymnasialen Oberstufe verortet. Sie besteht aus acht Unterrichtsdoppelstunden mit einer Dauer von jeweils 90 Minuten, eine Übersicht ist in Tabelle U1 dargestellt. Die Einheit wurden so konzipiert, dass sie auch als sechzehn Einzelstunden mit einer Dauer von jeweils 45 Minuten durchführbar sind.

Die SuS setzen sich neben physikalischen Grundlagen des Fliegens und deren Klimawirkungen auch mit naturwissenschaftlichen, fachlichen und überfachlichen Erklärungs-, Argumentations- und Bewertungsmethoden sowie mit Entscheidungsstrategien, Werte und Normen sowie Multiperspektivität und Perspektivwechsel auseinander, wodurch insbesondere das Socio-scientific reasoning (SSR) bei den SuS gefördert wird. Durch die kollaborative Erstellung eines Flyers nutzen die SuS ihre kollaborativ gewonnenen Erkenntnisse zur aktiven Gestaltung ihrer Umwelt, wodurch neben dem SSR auch das Socio-scientific decision making (SSD) und damit insgesamt Student Agency gefördert wird.

Einige Unterrichtsmaterialien sind bereits differenziert gestaltet. Die Materialien dienen als Grundlage und müssen für den Einsatz im Unterricht noch weiter differenziert und an die Lerngruppen angepasst werden.

Es wurden folgende Abkürzungen verwendet:

SuS: Schülerinnen und Schüler

LK: Lehrkraft

UG: Unterrichtsgespräch

LV: Lehrkraftvortrag

GA: Gruppenarbeit

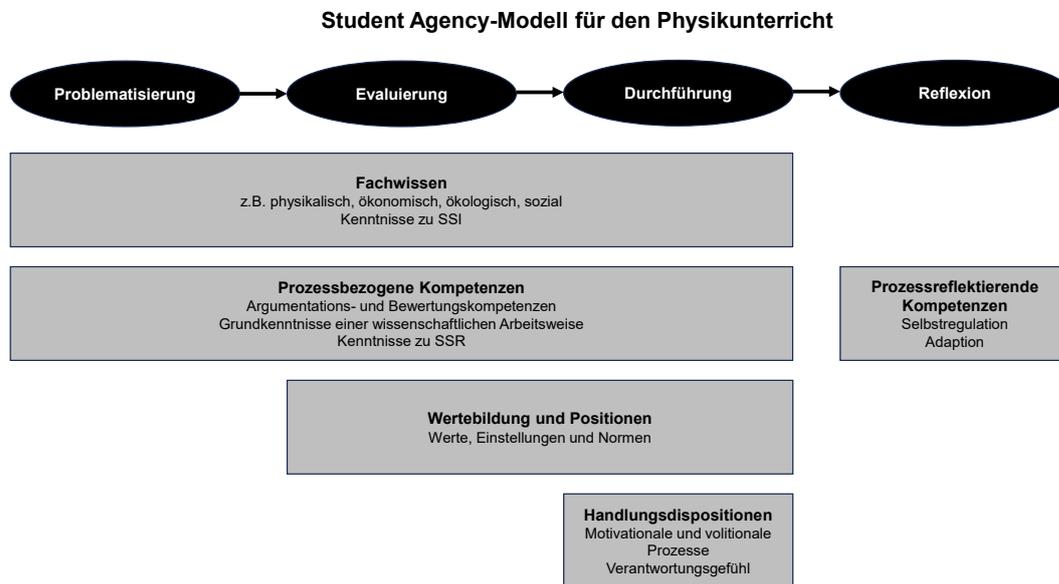
EA: Einzelarbeit

US: Unterrichtsstunde

Tabelle U1: Übersicht über den Inhalt der Unterrichtsstunden der konzipierten Unterrichtseinheit.

US	Inhalt	Phase im Agency-Modell
1	Einführung des BBB-Modells für naturwissenschaftliche Erklärungen und Argumentationen sowie Übertragung auf den Fachkontext Fliegen (Auftriebserzeugung am Tragflügel).	Problematisieren
2	Einführung der Argumente-Kommode und der Nachhaltigkeit (Konzept, Modelle, Ziele der UN) sowie Wertebildung durch die Reflexion von Normen und Werten bei Entscheidungen.	Problematisieren + Evaluierung
3	Klimawirkung von Flugzeugen und deren physikalische Grundlagen (Strahlungsgleichgewicht, natürlicher und anthropogener Treibhauseffekt), um so die gesammelten Sachwissen-Argumente aus der Argumente-Kommode zu überprüfen und ggf. zu ergänzen.	Evaluierung
4	Auseinandersetzung mit der Seriosität von Internetquellen und dem Umgang mit Desinformationen mit PLURV-Techniken, um so die gesammelten Interessen-Argumente aus der Argumente-Kommode zu überprüfen und ggf. zu ergänzen. Auseinandersetzung mit Handlungsoptionen bei unvermeidbaren Flügen, insbesondere mit der Möglichkeit der CO ₂ -Kompensation.	Evaluierung
5	Auseinandersetzung mit Entscheidungsstrategien (intuitiv-rechtfertigend, kompensatorisch, non-kompensatorisch, Mischstrategie) im Alltag und bei komplexen Problemstellungen wie Socio-scientific issues (SSI). Anwenden kompensatorischer Entscheidungsstrategien bei der Entscheidung, ob man zu seinem Lieblingsreisziel fliegen sollte und was man beachten sollte (SSI <i>Fliegen</i>), inklusive dem Erwerb von Kenntnissen zum Socio-scientific reasoning (SSR). Formulierung und anschließende Reflexion einer kriteriengeleiteten Entscheidung zum SSI <i>Fliegen</i> .	Evaluierung
6	Auseinandersetzung mit dem aktuellen Stand der Technik von Flugzeugtriebwerken (Strahltriebwerke) und insbesondere mit alternativen Zukunftsantriebstechnologien des Luftverkehrs (Elektrische, hybridelektrische, wasserstoffbetriebene, solarbetriebene Flugzeuge so wie auch mit nachhaltigen Luftfahrtkraftstoffen (SAF) betriebene Flugzeuge), einschließlich einer kriteriengeleiteten multiperspektiven Bewertung der Technologien durch selbst aufgestellte Bewertungskriterien.	Evaluierung
7	Vorbereitung, Durchführung und anschließende Reflexion eines Planspiels zu einer fiktiven Petition zum Thema <i>Veränderung beim Fliegen JETZT</i> .	Evaluierung
8	Kollaborative Planung und Umsetzung einer Handlung, um die Umwelt aktiv mitzugestalten und Verantwortung zu übernehmen, z.B. die Erstellung und anschließende Veröffentlichung eines Flyers zum Thema <i>Fliegen als Kontroverser Kontexte mit naturwissenschaftlichem und gesellschaftlichem Bezug (Socio-scientific issue)</i> .	Durchführung

Die Unterrichtskonzeption beruht auf dem in Abbildung U1 dargestellten Agency-Modell (adaptiert nach Wyrwich et al., 2023 und ergänzt nach Betsch & Haberstroh, 2005).



*Abbildung U1 – Student Agency-Modell für den Physikunterricht
(adaptiert nach Wyrwich et al., 2023 und ergänzt nach Betsch & Haberstroh, 2005).*

Literatur zu den Allgemeinen Informationen

Betsch, T., & Haberstroh, S. (Hrsg.). (2005). *The routines of decision making*.

Mahwah: Lawrence Erlbaum.

OECD (2020). *OECD-Lernkompass 2030*. OECD-Projekt, Future of Education and Skills 2030 Rahmenkonzept des Lernens.

Rahmenlehrplan Physik [RLPPhyBerSII] (2021). *Rahmenlehrplan für die gymnasiale Oberstufe, Teil C, Physik*. Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie Berlin; Ministerium für Bildung, Jugend und Sport des Landes Brandenburg (Hrsg.).

Rahmenlehrplan Physik [RLPPhyBerSI] (2015). *Teil C, Physik*.

Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie Berlin; Ministerium für Bildung, Jugend und Sport des Landes Brandenburg (Hrsg.).

Wyrwich, T., Neumann, K., Kubsch, M. (2023). *Beyond Literacy: Förderung von Agency im Physikunterricht*.

8.1.1 Unterrichtsstunde I

Dauer	90 min
Inhalt	Einführung des BBB-Modells für naturwissenschaftliche Erklärungen und Argumentationen sowie Übertragung auf den Fachkontext Fliegen (Auftriebserzeugung am Tragflügel)
Phase im Agency-Modell	Problematisierung

Kompetenzziele:

Die SuS können...

- die Struktur von Erklärungen und Argumentationen im Alltag und in den Naturwissenschaften mit dem BBB-Modell erläutern.
- die zwei Erklärungsmuster (Bernoulli-Prinzip und Newtons Wechselwirkungsprinzip) der Auftriebserzeugung am Tragflügel von Flugzeugen mit dem BBB-Modell erklären.
- für ein Erklärungsmuster mit dem BBB-Modell argumentieren.
- die Existenz von konkurrierenden Erklärungen als Teil des (natur-)wissenschaftlichen Diskurses benennen (Strukturwissen über scientific literacy).

Bezug zum Rahmenlehrplan (RLPPhyBerSI, 2015):

Die SuS können ...

Fachwissen

- die newtonschen Gesetze der Mechanik angeben und exemplarisch anwenden (Niveaustufe F, Teilkompetenz Wechselwirkung, S. 18).

Erkenntnisgewinnung

- Daten, Trends und Beziehungen interpretieren, diese erklären und weiterführende Schlussfolgerungen ableiten (Niveaustufen E/F, Teilkompetenz *Naturwissenschaftliche Untersuchungen durchführen*, S. 20).
- mit Modellen naturwissenschaftliche Zusammenhänge erklären (Niveaustufen E/F, Teilkompetenz *Mit Modellen umgehen*, S. 20).
- Modelle aufgrund neuer Erkenntnisse über bzw. fehlender Passung zum naturwissenschaftlichen Sachverhalt ändern (Niveaustufen E/F, Teilkompetenz *Mit Modellen umgehen*, S. 20).

Kommunizieren

- Aussagen und Behauptungen mit Beispielen, einfachen Fakten oder Daten begründen (Niveaustufe D, Teilkompetenz *Argumentieren*, S. 23).
- zu einer Aussage eine passende Begründung formulieren, in der die stützenden Daten oder Fakten erläutert werden (Niveaustufe E, Teilkompetenz *Argumentieren*, S. 23).
- Hypothesen fachgerecht und folgerichtig mit Daten, Fakten oder Analogien begründen bzw. widerlegen (Niveaustufen F/G, Teilkompetenz *Argumentieren*, S. 23).
- Widersprüche in einer Argumentation erläutern (Niveaustufe H, Teilkompetenz *Argumentieren*, S. 23).

Benötigte Materialien:

Benötigt wird eine Tafel, ein Smartboard oder ein Beamer, um so die Tafelbilder zu zeigen. Um Tafelbilder interaktiv und gemeinsam mit den SuS zu erzeugen, wird ein Smartboard empfohlen.

Das Quiz zum A380 muss durch die Lehrkraft, z.B. als Kahoot, vorbereitet werden.

Für das Experiment *Vertikalbeschleunigung ruhender Luft durch eine horizontal bewegte Tragfläche* werden pro Versuchsaufbau folgende Materialien benötigt: Stativ, 2 gleichlange Fäden, Holzstab (dünn, Querschnitt etwa 3 mm x 3 mm, z.B. ein Schaschlikspieß), Wattebausch, Gegengewicht (z.B. Knetgummi), Pappe (24 cm x 40 cm), Klebeband

Für das Interaktive Bildschirmexperiment (IBE) *Druckverteilung am Tragflügel* werden Laptops oder Tablets benötigt. Das IBE ist abrufbar unter: <https://tetfolio.fu-berlin.de/web/1005739>.

Zur Ergebnissicherung der Erklärungsmuster in den Expertengruppen werden zudem Plakate in A3-Format benötigt.

Zudem werden die Materialien MI5 und MI6-MI14 zur individuellen Ergebnissicherung für alle SuS aus dem *Anhang zur Unterrichtsstunde I* ausgedruckt benötigt.

Ablauf der Stunde:

Die SuS bearbeiten in Einzelarbeit ein Arbeitsblatt (**Material MI5**) zu ihrem Lieblingsreiseziel, woraufhin die Lehrkraft die Struktur der Erklärungen und Argumentationen explizit verdeutlicht und im Anschluss das BBB Modell für naturwissenschaftliche Erklärungen und Argumentationen vorstellt. Hier zu zeigt die Lehrkraft das Tafelbild (**Material MI1**), welches zuvor auch im A3-Querformat ausgedruckt wurde. Dieser Ausdruck soll dann im Klassenzimmer, für die SuS sichtbar, aufgehängt werden. Daraufhin lenkt die Lehrkraft den Fokus auf den Fachkontext Fliegen, in dem sie z.B. feststellt, dass viele der Ziele nur mit dem Verkehrsmittel Flugzeug erreichbar sind. Nun stellt die Lehrkraft das größte Passagierflugzeug der Welt, den Airbus A380, durch einen Faktencheck in Form eines Quiz (**Material MI15**) vor und motiviert die SuS durch seine Größe sich mit den physikalischen Grundlagen des Fliegens auseinanderzusetzen. Die Lehrkraft erarbeitet in einem Unterrichtsgespräch mit den SuS, welche Kräfte auf ein

Flugzeug wirken (**Material MI2**) und hebt insbesondere die durch die Tragflächen erzeugte Auftriebskraft hervor. Die SuS erarbeiten sich in Expertengruppen zwei Erklärungsmuster zum Fliegen und sollen durch Experimente und Hinweiskarten (**Materialien MI6-MI13**) mit dem BBB Modell erklären, wie ein Flugzeug fliegt. Im Anschluss an die Erarbeitungsphase schließt deshalb das Erklären mit dem BBB-Modell für jeweils ein Erklärungsmuster an. Hierzu bearbeiten die SuS jeweils die Arbeitsblätter mit den dazugehörigen Hinweiskarten. Nach Notation auf dem Arbeitsblatt sollen die SuS (in den Gruppen) ihre Erklärung auf einem A3-Poster verständlich darstellen und im Klassenzimmer aufhängen. Daraufhin sollen die SuS in Stammgruppen mit dem BBB-Modell argumentieren, welche der beiden Erklärungen überzeugender ist. Nach einer kurzen Argumentationsphase wird allen Gruppen das **Material MI14** ausgehändigt, um so weitere Argumentationen anzuregen. Im Anschluss werden die Argumentationsergebnisse im Plenum vorgestellt und diskutiert. Die Lehrkraft erläutert, dass die Erklärung des Fliegens nicht eindeutig ist und in der Wissenschaft diskutiert wird. Hierbei soll erläutert werden, dass der Bernoulli-Ansatz und der Newton-Ansatz zwei bekannte Theorien sind, es jedoch noch weitere komplexere Modelle gibt. Es soll hervorgehoben werden, dass diese Existenz von konkurrierenden Erklärungen Teil des (natur-)wissenschaftlichen Diskurses ist. Die Lehrkraft sichert die inhaltlichen Ergebnisse der Stunde an der Tafel (**Material MI3**), ggf. geht die Lehrkraft auf die Zirkulationsströmung ein (**Material MI4**). Am Ende der Stunde soll gemeinsam mit den SuS für jedes Erklärungsmuster jeweils ein A3-Poster ausgewählt werden.

Eine mögliche Verlaufsplanung der Unterrichtsstunde I ist in Tabelle U11 dargestellt.

Hinweise und Anmerkungen sowie Potential zur Differenzierung:

Zur Vorbereitung der Stunde sind die Materialien im Anhang der Unterrichtsstunde I für die SuS auszudrucken, die Materialien zu den Versuchen sowie digitale Hilfsmittel (Laptops oder Tablets) bereitzustellen und das Quiz (**Material MI15**) z.B. als Kahoot vorzubereiten. Insbesondere sollte das **Material MI1** in A3-Format ausgedruckt werden, um es in der Klasse für die SuS sichtbar aufzuhängen.

Handys eignen sich nicht gut für die Durchführung des IBE *Druckverteilung am Tragflügel*, da die Bildschirmfläche sehr klein und hierdurch die Einstellung der Anstellwinkel nicht gut durchführbar und die Ergebnisse nicht gut erkennbar sind.

Die Lehrkraft sollte die Lerngruppe für die Erarbeitungsphase in mehrere Expertengruppen teilen. Eine Expertengruppe beschäftigt sich jeweils mit einem der beiden Erklärungsmuster zum Fliegen. Innerhalb der Expertengruppe wird jeweils ein Experiment durchgeführt. Mit den Erkenntnissen aus dem Experiment und bereitgestellten Hinweiskarten sollen die SuS mit dem BBB Modell die Entstehung der Auftriebskraft am Tragflügel erklären.

Den SuS können alle Hinweiskarten (**Materialien MI7-MI9 und MI11-MI13**) angeboten werden. Sie können selbst entscheiden, wie viele sie verwenden. Die Lehrkraft sollte die SuS jedoch dazu ermutigen alle Hinweiskarten zu verwenden, wenn sie merkt, dass Verständnisprobleme auftreten.

Die Erklärung mit dem BBB-Modell kann auch differenziert stattfinden, die Lehrkraft sollte selbst entscheiden, wie leistungsstark die Lerngruppe ist. Den SuS können auf dem Arbeitsblatt Elemente einer Erklärung (Behauptung, Beleg, Begründung) vorgegeben und ggf. auch Hinweise zu den Elementen formuliert werden. Bei besonders leistungsstarken Lerngruppen kann auf das Vorgeben der Elemente verzichtet werden. Insgesamt wurden deshalb auf den Arbeitsblättern jeweils drei Differenzierungsvarianten angegeben (**siehe Materialien MI6 und MI10**).

Sollte keine Doppelstunde möglich sein, empfiehlt es sich die Doppelstunde in zwei Einzelstunden zu teilen. Eine geeignete Teilung empfiehlt sich etwa nach der Phase *Erarbeitung VI* (nach 40 min), da hier das BBB-Modell bereits alltagsnah eingeführt und der Fachkontext Fliegen über das Kahoot-Quiz motivierend erarbeitet wurde.

Die Auswahl der beiden von den SuS erstellten A3-Poster der Erklärungsmuster sollte gemeinsam und demokratisch mit den SuS getroffen werden. Die SuS sollen dazu aufgefordert werden, für eines der Poster zu argumentieren. Als Hilfe kann die Lehrkraft deshalb auf das BBB-Modell verweisen.

Nach der Ergebnissicherung an der Tafel bietet sich bei leistungsstarken Lerngruppen auch eine Vertiefungsmöglichkeit zur Zirkulationsströmung ein. Die Lehrkraft kann deren Existenz qualitativ erläutern und an der Tafel skizzieren (**Material MI4**), jedoch darauf hinweisen, dass eine quantitative Analyse zu komplex ist.

Tabelle U1: Möglicher Verlaufsplan der Unterrichtsstunde I

Zeit (min)	Phase	Geplantes LK-Verhalten	Geplantes SuS-Verhalten	Sozialform	Medien/Materialien	Kommentare
2	Einstieg	Die LK begrüßt die SuS und fordert sie auf, über ihr Lieblingsreiseziel nachzudenken. Die LK teilt das Arbeitsblatt zum Lieblingsreiseziel (Material MI5) an die SuS aus	Die SuS hören zu und denken über ihr Lieblingsreiseziel nach.	LV	Arbeitsblatt Lieblingsreiseziel (Material MI5).	
5	Erarbeitung I	Die LK fordert die SuS auf die Aufgabe 1 auf dem Arbeitsblatt in Einzelarbeit zu bearbeiten und beantwortet ggf. auftretende Fragen.	Die SuS bearbeiten die Aufgabe 1 auf dem ausgeteilten Arbeitsblatt.	EA	Arbeitsblatt Lieblingsreiseziel (Material MI5).	Alltagsnahe Einführung des BBB-Modells.
3	Erarbeitung II	Die LK fordert die SuS auf die Aufgabe 2 auf dem Arbeitsblatt in Partnerarbeit zu bearbeiten.	Die SuS bearbeiten die Aufgabe 2 auf dem ausgeteilten Arbeitsblatt.	PA	Arbeitsblatt Lieblingsreiseziel (Material MI5).	Alltagsnahe Einführung des BBB-Modells.
3	Erarbeitung III	Die LK fordert die SuS auf die Aufgabe 3 auf dem Arbeitsblatt in Partnerarbeit zu bearbeiten.	Die SuS bearbeiten die Aufgabe 3 auf dem ausgeteilten Arbeitsblatt.	PA	Arbeitsblatt Lieblingsreiseziel (Material MI5).	Alltagsnahe Einführung des BBB-Modells.
10	Sicherung I	Die LK stellt das BBB-Modell vor und zeigt (erarbeitet ggf.) mit den SuS das Tafelbild (Material MI1).	Die SuS hören zu und erarbeiten ggf. gemeinsam mit der LK das Tafelbild.	LV/UG	Smartboard/Tafelbild (Material MI1)	Einführung des BBB-Modells.
10	Proble-matisierung	Die LK fragt die SuS, mit welchem Verkehrsmittel man viele der Reiseziele erreichen kann und erläutert, dass einige nur mit dem Flugzeug erreichbar sind. Die LK fordert die SuS auf, sich mit ihren Handys in das Kahoot-Quiz zum Airbus A380 (Material MI15) einzuloggen und führt anschließend das Kahoot-Quiz durch.	Die SuS hören zu und führen das Kahoot-Quiz durch.	UG	Smartboard und Handy der SuS/Quiz zum Airbus-A380 (Material MI15)	Die LK sollte nach jeder beantworteten Frage Anmerkungen nennen, wie sie z.B. im Material MI6 dargestellt sind.
3	Gelenk I	Die LK verdeutlicht nach dem Kahoot-Quiz die großen Proportionen des A380 und fragt die SuS wie so ein Flugzeug fliegen kann.	Die SuS nennen ihr Vorwissen zum Fliegen.	UG		

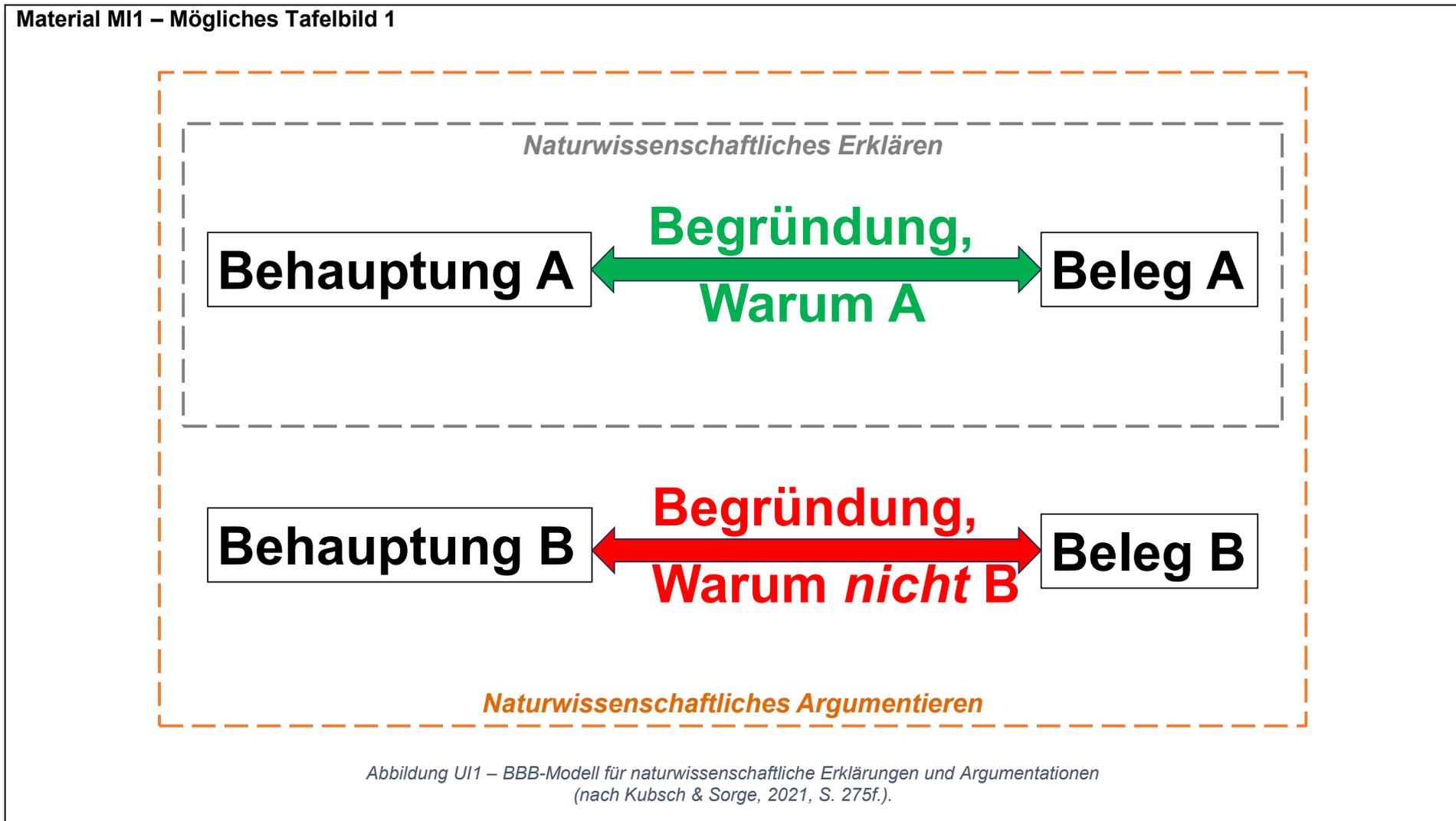
4	Erarbeitung IV	Die LK erarbeitet mit den SuS die vier grundlegenden Kräfte, die auf ein Flugzeug wirken und hebt die Auftriebskraft hervor. Die LK geht mit den SuS auf die Kräfte beim Horizontalflug ein und zeigt das Tafelbild (Material MI2). Die LK geht mit den SuS auf die Beziehung der Kräfte beim Steig- und Sinkflug ein.	Die SuS beschreiben, welche Kräfte auf ein Flugzeug wirken. Die SuS beschreiben qualitativ, wie die Kräfte beim Horizontalflug in Beziehung zueinanderstehen. Die SuS beschreiben qualitativ, wie die Kräfte beim Steig- und Sinkflug in Beziehung zueinanderstehen.	UG	Smartboard/ Tafelbild (Material MI2)	Es sollte insbesondere auf die Beziehung zwischen Auftriebs- und Gewichtskraft beim Steig-, Sink- und Horizontalflug eingegangen werden.
Mögliche Teilung der Doppelstunde in 2 Einzelstunden						
3	Gelenk II	Die LK teilt den SuS mit, dass sie nun herausfinden werden, wie ein Flugzeug fliegt und teilt die Lerngruppe in 4er- Gruppen (Expertengruppen) auf. Die LK fordert die SuS auf, sich in die eingeteilten 4er-Gruppen umzusetzen. Die LK teilt den Expertengruppen jeweils die Versuchsmaterialien (für die Newton-Gruppen) bzw. die Laptops/Tablets (für die Bernoulli-Gruppen) sowie die Arbeitsblätter und Hinweiskarten (Materialien MI6-MI13) aus..	Die SuS setzen sich in die durch die LK zugeteilten 4er-Gruppen.		Laptops/Tablets Versuchsmaterialien / Arbeitsblätter und Hinweiskarten (Materialien MI6-MI13)	Die Sitzordnung sollte so verändert werden, dass sich in den 4er-Gruppen je zwei SuS gegenüber-sitzen.
20	Erarbeitung V	Die LK steht für Fragen zur Verfügung und beantwortet bei Bedarf Fragen der SuS.	Die SuS führen Experimente in Gruppenarbeit durch und dokumentieren diese auf den Arbeitsblättern. Die SuS bearbeiten die Hinweiskarten, um mit dem BBB-Modell zu erklären, wie der Auftrieb am Tragflügel entsteht.	GA	Laptops/Tablets Versuchsmaterialien / Arbeitsblätter und Hinweiskarten (Materialien MI6-MI13)	

8	Sicherung II	Die LK teilt Plakate in A3-Format aus und fordert die SuS auf, ihr Erklärungsmuster auf dem Plakat mit dem BBB-Modell für die anderen Gruppen verständlich darzustellen.	Die SuS erstellen zu ihrem Erklärungsmuster ein Plakat nach dem BBB-Modell.	GA	Plakate in A3-Format	
5	Vertiefung I	Die LK fordert die SuS auf, sich so umzusetzen, dass sich je zwei Experten eines Erklärungsmusters in 4er-Gruppen (Stammgruppen) gegenüber sitzen und sie nun für ihr Erklärungsmuster argumentieren sollen.	Die SuS argumentieren mündlich mit dem BBB-Modell für ihr Erklärungsmuster.	GA	Plakate in A3-Format	Bei dem Verweis auf das Argumentieren sollte auf das BBB-Modell verwiesen werden.
7	Vertiefung II	Die LK teilt in den Stammgruppen den Fachbuchauszug zum Widerspruch der beiden Erklärungsmuster (Material MI14) aus und fordert die SuS auf sich den Text durchzulesen und die gewonnenen Erkenntnisse in ihre Argumentation miteinzubauen.	Die SuS lesen sich den Buchauszug durch und berücksichtigen diesen bei der weiteren Argumentation.	GA	Buchauszug zu den Erklärungsmustern (Material MI14)	
7	Sicherung III	Die LK fordert die SuS auf, die Argumentationsergebnisse im Plenum vorzustellen. Die LK erläutert, dass die Entstehung des Auftriebs in der Wissenschaft durch verschiedene Erklärungsmuster diskutiert wird und deshalb nicht eindeutig beantwortet werden kann. Die LK erläutert, dass diese konkurrierende Existenz von Erklärungen Teil des wissenschaftlichen Diskurses ist und für die Erklärung des Auftriebs beide Erklärungen verwendet werden (Tafelbild: Material MI3). Die LK fordert die SuS auf, zwei der erstellten Plakate begründet auszuwählen und hängt die Plakate dann im Klassenraum auf.	Einzelne SuS stellen die Argumentationsergebnisse im Plenum vor. Die SuS wählen begründet zwei Plakate aus.	UG	Smartboard/ Tafelbild (Material MI3) Ggf. Tafelbild (Material MI4)	Ggf. geht die LK qualitativ auf die Zirkulationsströmung ein (Tafelbild: Material MI4). Bei der Begründung der Plakatwahl sollte auf das Argumentieren im BBB-Modell verwiesen werden.

Anhang zur Unterrichtsstunde I

Tafelbilder

Mögliches Tafelbild 1. Dieses Tafelbild ist vor der Unterrichtsstunde in A3-Format auszudrucken.



Mögliches Tafelbild 2.

Material MI2 – Mögliches Tafelbild 2

Bei einem fliegenden Flugzeug wirken im Wesentlichen vier Kräfte:

1. Die Gewichtskraft
2. Die Vortriebskraft
3. Die (Luft-)Widerstandskraft
4. Die Auftriebskraft.

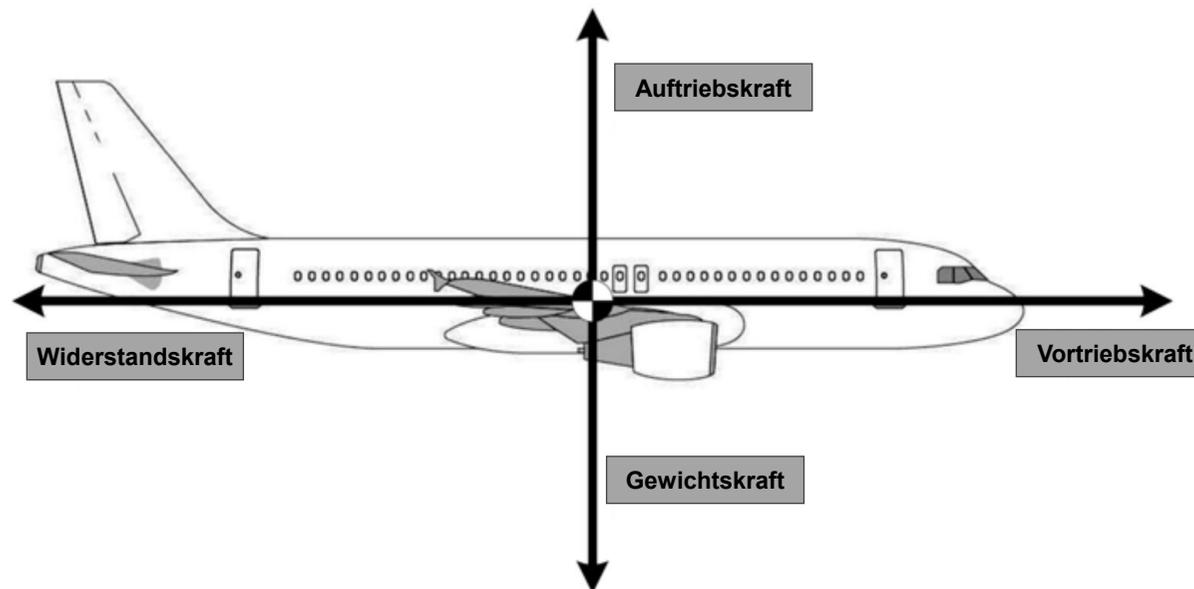


Abbildung UI2. – Auf ein Flugzeug wirken die vier dargestellten Kräfte Auftriebs-, Gewichts-, Vortriebs- und Widerstandskraft. In der Abbildung ist ein Horizontalflug (Kräftegleichgewicht) dargestellt (adaptiert nach Scheiderer, 2008, S. 250).

Mögliches Tafelbild 3. Dieses Tafelbild sollte am Ende der Stunde gezeigt werden.

Material MI3 – Mögliches Tafelbild 3

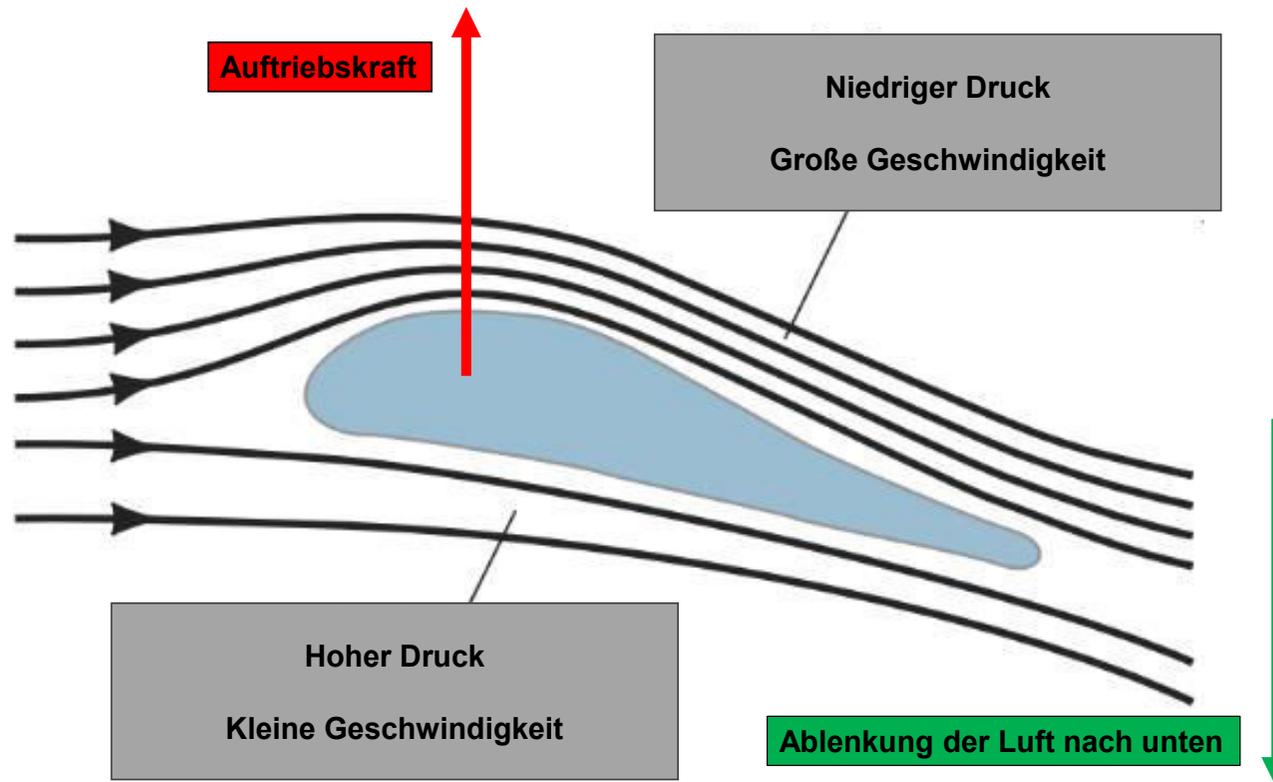


Abbildung UI3 – Auftriebserzeugung am Tragflügel über den Druck nach Bernoulli und die Vertikalbeschleunigung der Luft nach unten nach Newton
(adaptiert nach Giancoli, 2009, S. 470, nach Kassera, 2016, Weltner, 2000, Bahr et al., 2019).

Wenn noch Zeit übrigbleibt, kann bei leistungsstarken Lerngruppen noch erläutert werden, dass sich am Flügel Rand- und Anfahrwirbel bilden. Der Gegenwirbel zum Anfahrwirbel (Drehimpulserhaltung) ist eine Zirkulation in der Nähe der Tragfläche, der die Luftteilchen abbremst bzw. beschleunigt.

Mögliches Tafelbild 4 (am Ende bei leistungsstarken Lerngruppen)

Material MI4 – Mögliches Tafelbild 4

Bei Flugzeugen entstehen Anfahrwirbeln, die als Gegenwirbel eine Zirkulationsströmung erzeugen, wie in der folgenden Skizze zu sehen.

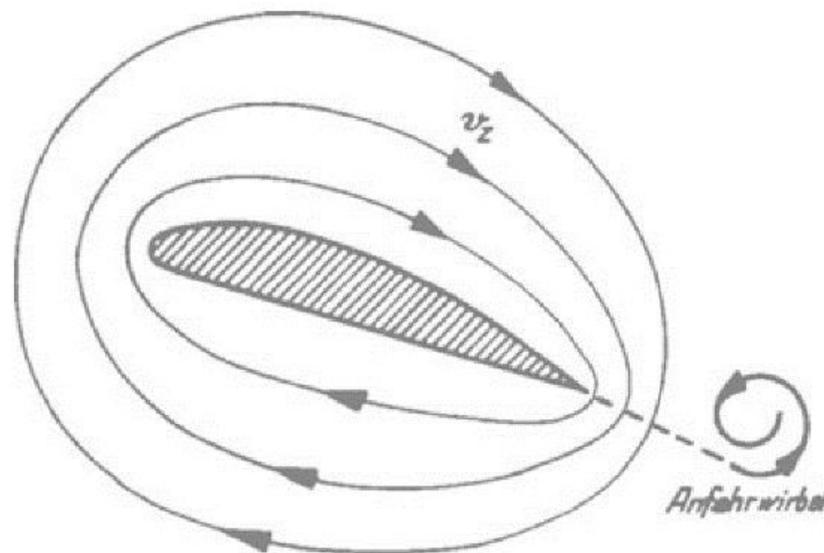


Abbildung UI4 – Zirkulationsströmung als Reaktion auf die entstehenden Anfahrwirbel am Tragflügel erzeugen die Geschwindigkeitsdifferenzen ober- und unterhalb der Tragfläche, welche wiederum die Druckunterschiede erzeugen (aus Dubs, 1979, S.108).

Diese Zirkulationsströmung sorgt dafür, dass die Geschwindigkeit oberhalb der Tragfläche zu- und unterhalb abnimmt und hierdurch nach der Bernoulli-Gleichung die Druckunterschiede entstehen.

Material MI5 – Erklären und Argumentieren mit dem BBB-Modell

Name : _____

Datum : _____

Liebblingsreiseziel

Aufgabe 1)

Beantworte die folgenden 2 Fragen allein für dich und notiere deine Antworten.

Stell dir vor du hast im Lotto gewonnen. Was ist dein favorisiertes Reiseziel?

Behauptung: _____

Wieso findest du dieses Reiseziel besonders gut?

Nenne Belege, um so deine Behauptung zu stützen. (Liegt das Reiseziel z.B. am Meer?)

Beleg 1:

Beleg 2:

Beleg 3:

Begründe nun, warum der Beleg deine Behauptung stützt.

(Warum ist es dir z.B. wichtig, am Meer zu sein?)

Begründung für Beleg 1:

Begründung für Beleg 2:

Begründung für Beleg 3:

Aufgabe 2)

Bespreche dich nun mit deinem Sitznachbarn. Was ist sein/ihr Lieblingsreiseziel und wieso?

Aufgabe 3)

Überzeuge deinen Sitznachbarn, dass dein Lieblingsreiseziel das bessere ist. Erläutere hierzu auch, warum sein/ihr Lieblingsreiseziel nicht das Beste ist.

Material M16

Gruppe 1 (Erklärungsmuster Bernoulli)

Name : _____

Datum : _____

Versuch: Druckverteilung am Tragflügel

In diesem Versuch soll herausgefunden werden, wie ein Flugzeug seine Auftriebskraft erzeugt. Es wird ein Interaktives Bildschirmexperiment (IBE) durchgeführt. Bei einem IBE handelt es sich um ein real durchgeführtes und digital festgehaltenes Experiment, welches ihr selbst wie ein reales Experiment steuern könnt.

Öffnet das IBE *Druckverteilung am Tragflügel* mit einem Laptop oder einem Tablet unter <https://tetfolio.fu-berlin.de/web/1005739> oder folgendem QR-Code:



Aufgabe 1) Lest euch dort den Erklärungstext durch und klickt auf das orangene Plus am unteren Bildende, um so Bedienungshinweise zu erhalten.

Aufgabe 2) Verändert nun den Anstellwinkel des Tragflügels und notiert eure Beobachtungen.

Hinweis: Achtet einmal nur auf die Veränderungen der Flüssigkeitshöhe der blauen und einmal nur auf die der roten Flüssigkeit.

Versuchsbeobachtungen:

Versuchsauswertung:

Ein Anstieg der blauen Flüssigkeit verdeutlicht den _____ druck auf der Oberseite des Tragflügels. Ein Abfall der roten Flüssigkeit verdeutlicht den _____ druck auf der Unterseite des Tragflügels.

Material M16

Gruppe 1 (Erklärungsmuster Bernoulli)

***Wie hängen Ober- und Unterdruck mit der Auftriebskraft
des Tragflügels zusammen?***

Bearbeitet die Hinweiskarten I, II und III und erklärt anschließend mit dem BBB-Modell, wie der Auftrieb am Tragflügel entsteht.

Behauptung:

Beleg:

Begründung:

Material M16

Gruppe 1 (Erklärungsmuster Bernoulli)

***Wie hängen Ober- und Unterdruck mit der Auftriebskraft
des Tragflügels zusammen?***

Bearbeitet die Hinweiskarten I, II und III und erklärt anschließend mit dem BBB-Modell, wie der Auftrieb am Tragflügel entsteht.

Behauptung: (Am Tragflügel entsteht der Auftrieb, da ...)

Beleg: (Im IBE wurde gezeigt, dass ...)

Begründung: (Aus der Bernoulli-Gleichung folgt ..., weshalb ...)

Hinweiskarte I

Material MI7

Hinweiskarte I – Druckverteilung am Tragflügel

In der Abbildung UI5 ist der statische Druck an einem angeströmten Tragflügel, wie im IBE *Druckverteilung am Tragflügel*, dargestellt.

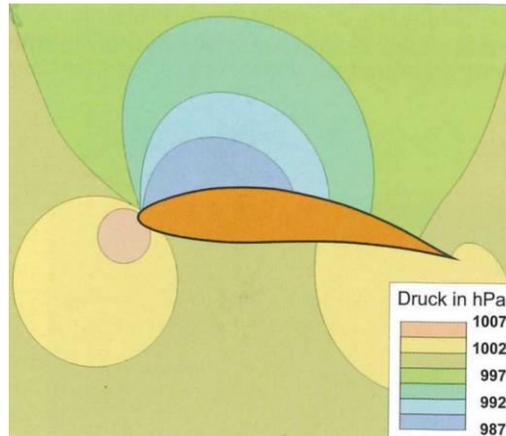


Abbildung UI5 – Druckverteilung am Tragflügel (aus Kassera, 2016, S. 17).

Oberhalb der Tragfläche entsteht ein _____ statischer Druck als unterhalb, wodurch der Tragflügel nach oben „gesaugt“ wird.

Oberhalb der Tragfläche entsteht also ein _____druck.

Unterhalb der Tragfläche entsteht ein _____ statischer Druck als oberhalb, wodurch der Tragflügel nach oben „gedrückt“ wird.

Unterhalb der Tragfläche entsteht also ein _____druck.

Material MI8**Hinweiskarte II - Wie entsteht der Über- und Unterdruck?**

Eine Erklärung der Entstehung des Über- und Unterdrucks an einem Tragflügel ist über die sogenannte Bernoulli-Gleichung möglich, welche nach dem Mathematiker und Physiker Daniel Bernoulli benannt wurde.

Die *Bernoulli-Gleichung* lautet bei gleicher Flughöhe vereinfacht

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{konst.}$$

Die Summe aus statischem Druck p und Staudruck $\frac{1}{2}\rho v^2$ ist also in jedem Punkt der Luft konstant. Die Luftdichte ρ im Staudruck kann bei gleicher Flughöhe als konstant angenommen werden, so dass der Staudruck nur von der Geschwindigkeit der Luft abhängt.

Die Abbildung UI6 zeigt eine Simulation eines umströmten Tragflügels.

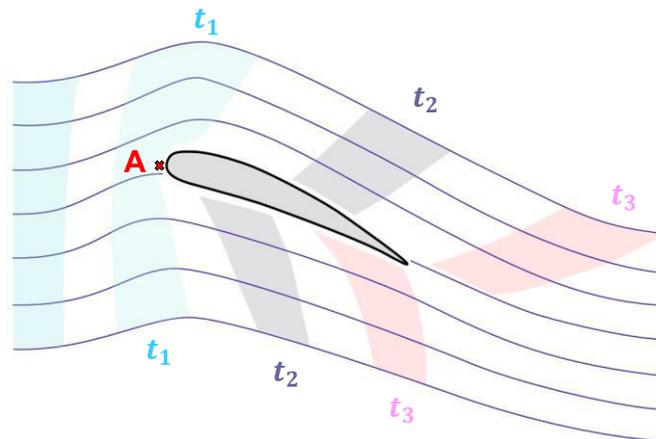


Abbildung UI6. – Simulation eines umströmten Tragflügels zu 3 verschiedenen Zeitpunkten (adaptiert nach Bahr et al., 2019, S. 102).

Der von links strömende Luftstrom (blau) wird zum Zeitpunkt t_1 im Punkt A in zwei Luftströme, oberhalb und unterhalb des Tragflügels, geteilt. Die versetzten farbig markierten Bereiche (grau und rosa) zu den Zeitpunkten t_2 und t_3 zeigen, dass sich die Luft oberhalb des Tragflügels mit einer größeren _____ als unterhalb bewegt.

Ergänze die folgenden Sätze, die aus der *Bernoulli-Gleichung* folgen.

Je größer die Geschwindigkeit des Luftstroms ist, desto _____ ist der statische Druck.
Dadurch entsteht auf der Oberseite des Tragflügels ein _____ druck.

Je kleiner die Geschwindigkeit des Luftstroms ist, desto _____ ist der statische Druck.
Dadurch entsteht auf der Unterseite des Tragflügels ein _____ druck.

Material MI9

Hinweiskarte III – Auftrieb durch Druckunterschiede

Die Auftriebskraft entsteht durch den „saugenden“ _____druck auf der Oberseite und „drückenden“ _____druck auf der Unterseite. Dies ist in Abbildung UI7 dargestellt.

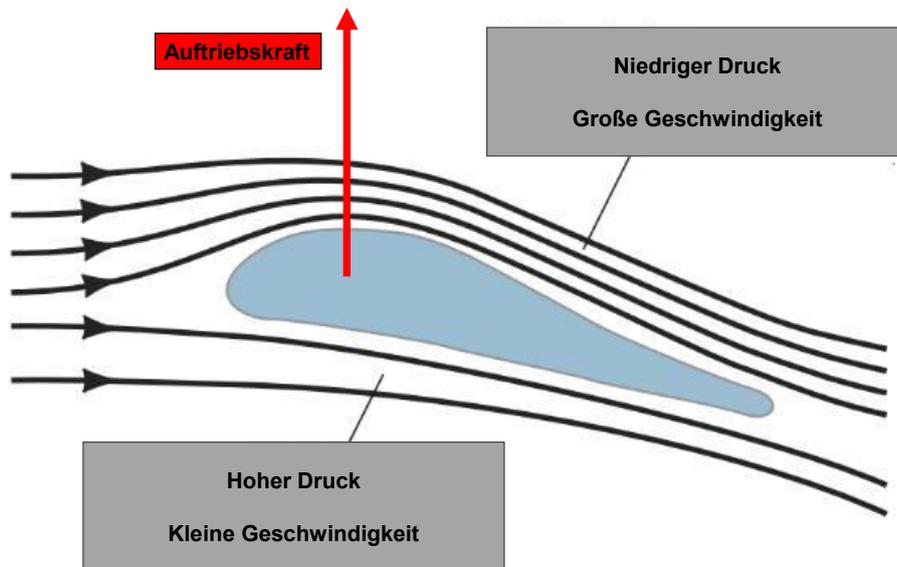


Abbildung UI7 – Auftrieb am Tragflügel durch Druckunterschiede (adaptiert nach Giancoli, 2009, S. 470)

Material MI10

Gruppe 2 (Erklärungsmuster Newton)

Name : _____

Datum : _____

Versuch:

Vertikalbeschleunigung ruhender Luft durch eine horizontal bewegte Tragfläche

In diesem Versuch soll herausgefunden werden, wie ein Flugzeug seine Auftriebskraft erzeugt. Hierzu baut ihr folgendes Experiment auf und führt dieses dann durch.

Versuchsmaterialien:

Stativ, 2 gleichlange Fäden, Holzstab (dünn, Querschnitt etwa 3 mm x 3 mm, z.B. ein Schaschlikspieß), Wattebausch, Gegengewicht (z.B. Knetgummi), Pappe (24 cm x 40 cm), Klebeband

Hinweis: Den Versuchsaufbau nicht neben einer Heizung aufbauen und Fenster schließen, da der Wattebausch auf Luftströmungen im Klassenraum reagiert.

Versuchsaufbau:

Baut ein Stativ, wie in der Versuchsskizze (Abbildung UI8) dargestellt, auf.

Befestigt an einem Ende des Holzstabs einen Wattebausch und am anderen ein Gegengewicht, so dass der Schwerpunkt näher am Gegengewicht ist.

Befestigt nun die zwei Fäden am Stativ und im Schwerpunkt des Holzstabs, d.h. an der Stelle, wo der aufgehängte Holzstab horizontal schwebt.

Biegt die Pappe vorsichtig so, dass ein Tragflächenprofil entsteht (siehe Versuchsskizze) und klebt die Profilhinterkanten zusammen.

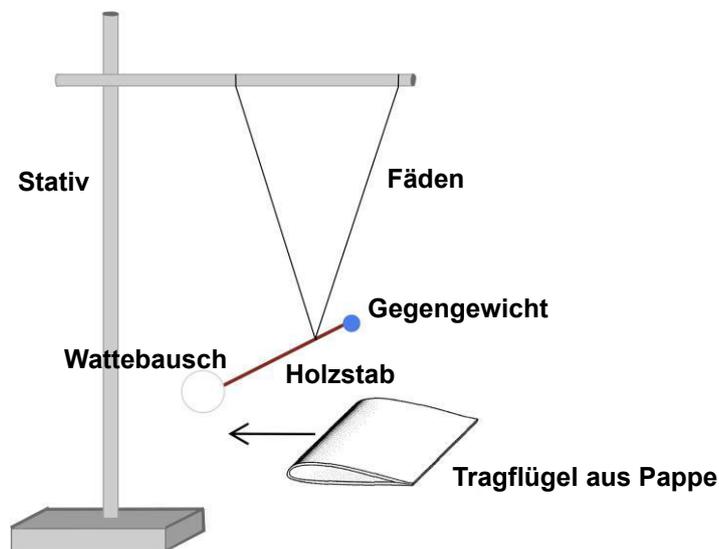


Abbildung UI8 – Versuchsskizze (nach Weltner, 2000, S. 350).

Material MI10

Gruppe 2 (Erklärungsmuster Newton)

Versuchsdurchführung:

1. Bewegt die Tragfläche nun unterhalb des Wattebauschs möglichst geradlinig (horizontal), gleichförmig und relativ schnell entlang, wie in der Versuchsskizze angedeutet.
2. Wiederholt den Versuch, in dem ihr die Tragfläche in gleicher Weise oberhalb des Wattebauschs bewegt.

Hinweis:

Bevor ihr einen Versuch wiederholt, wartet bis der Holzstab wieder horizontal schwebt.

Versuchsbeobachtungen:

Versuchsauswertung:

Die ruhende Luft wird durch die horizontal bewegte Tragfläche nach _____ beschleunigt, weshalb sich der Holzstab nach unten bewegt und zu pendeln beginnt.

Sowohl die Luft _____ als auch die Luft _____ der Tragfläche wird nach unten beschleunigt. Diese Beschleunigung wird Vertikalbeschleunigung genannt.

Material MI10

Gruppe 2 (Erklärungsmuster Newton)

***Wie hängt die Vertikalbeschleunigung der Luft
mit der Auftriebskraft des Tragflügels zusammen?***

Bearbeitet die Hinweiskarten I, II und III und erklärt anschließend mit dem BBB-Modell, wie der Auftrieb am Tragflügel entsteht.

Behauptung:

Beleg:

Begründung:

Material MI10

Gruppe 2 (Erklärungsmuster Newton)

***Wie hängt die Vertikalbeschleunigung der Luft
mit der Auftriebskraft des Tragflügels zusammen?***

Bearbeitet die Hinweiskarten I, II und III und erklärt anschließend mit dem BBB-Modell, wie der Auftrieb am Tragflügel entsteht.

Behauptung: (Am Tragflügel entsteht der Auftrieb, da ...)

Beleg: (Im Versuch wurde gezeigt, dass ...)

Begründung: (Aus dem Wechselwirkungsgesetz folgt ..., weshalb ...)

Material MI11

Hinweiskarte I – Kräfte erklären das Fliegen

Wechselwirkungsgesetz und Rückstoßprinzip

Das Wechselwirkungsgesetz ist das 3. Newton'sche Axiom der klassischen Mechanik. Wenn ein Körper auf einen anderen Körper eine Kraft ausübt, übt auch dieser Körper eine gleich große, aber entgegengesetzt gerichtete Kraft auf den ersten Körper aus. Oftmals wird es als *Actio=Reactio* bezeichnet. Die Aktionskraft und Reaktionskraft wirken jedoch auf unterschiedliche Körper. Schlägt man beispielsweise mit der Hand gegen einen Tisch (Abbildung UI9), so wirkt auf den Tisch die Kraft (pinkfarbene). Auf die Hand wirkt dann die entgegengesetzt gerichtete, gleichgroße Gegenkraft (violettfarbene).



Abbildung UI9 – Kraft und Gegenkraft am Beispiel der Hand, die auf die Tischkante schlägt (aus Giancoli, 2009, S. 111).

Die Reaktionskraft wird auch Rückstoß genannt. So werden beispielsweise bei einer Rakete (siehe Abbildung UI10) heiße Gase ausgestoßen und nach unten (in entgegengesetzte Fortbewegungsrichtung der Rakete) beschleunigt, wodurch die Rakete eine Kraft (schwarzfarbene) auf die Gase ausübt. Diese austretenden Gase erzeugen dann nach dem Wechselwirkungsgesetz eine entgegengesetzt gerichtete, gleichgroße Gegenkraft (rotfarbene), die auf die Rakete wirkt. So kann sich eine Rakete fortbewegen. Da hier Gase nach unten ausgestoßen werden, spricht man auch vom Rückstoßprinzip.

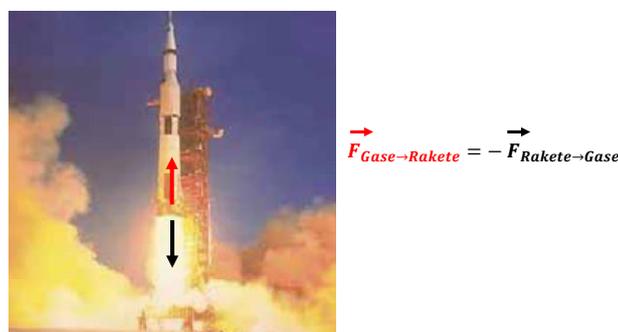


Abbildung UI10 – Rückstoßprinzip bei einer Rakete (adaptiert nach Giancoli, 2009, S. 112).

Überlegt, welche Schlussfolgerung hieraus auf den umströmten Tragflügel und der im Versuch entstandenen Vertikalbeschleunigung gezogen werden kann.

Hinweiskarte II

Material MI12

Hinweiskarte II – Vertikalbeschleunigung der Luft

Durch die Tragfläche wird die Luft nach _____ abgelenkt und beschleunigt.

Hierdurch erfährt die _____ nach dem Wechselwirkungsgesetz eine nach oben gerichtete _____.

Hinweiskarte III

Material MI13

Hinweiskarte III – Auftrieb als Gegenkraft

Die durch die Tragfläche nach unten beschleunigte Luft erzeugt auf andere Luftteilchen eine nach unten gerichtete Kraft. Nach dem Wechselwirkungsgesetz erzeugen diese Luftteilchen auf den Tragflügel eine entgegengesetzt gerichtete, d.h. nach oben gerichtete, und gleich große Kraft nach oben. Diese Kraft ist die _____.

Dies ist in Abbildung UI11 dargestellt.

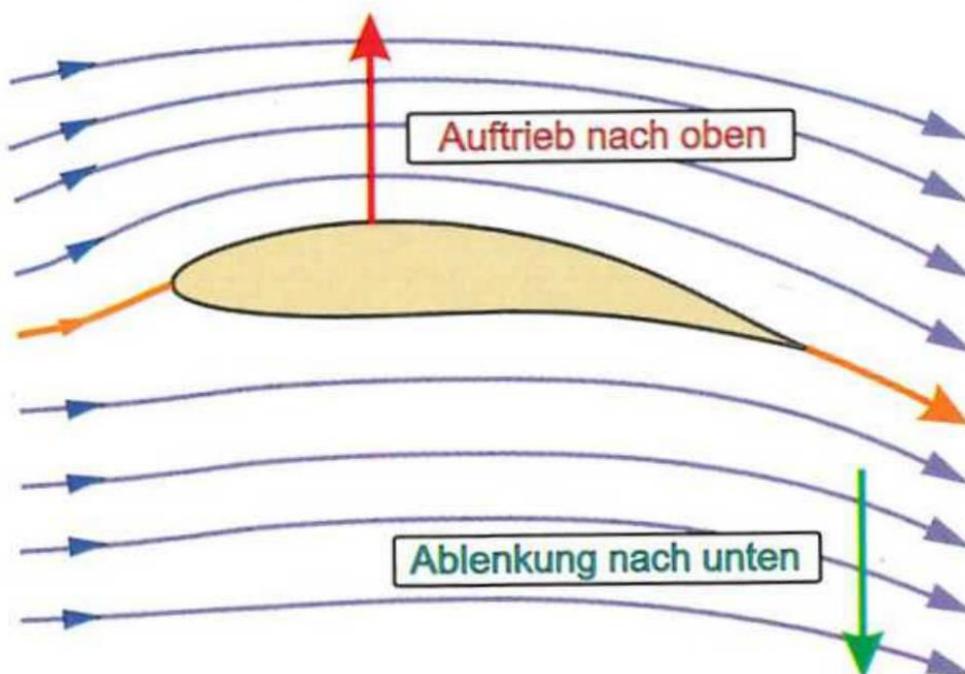


Abbildung UI11 – Auftriebserklärung am Tragflügel durch das Wechselwirkungsgesetz nach Newton
(aus Kassera, 2016, S. 16).

Material MI14 – Warum fliegt ein Flugzeug? Bernoulli oder Newton – Wer hat Recht?

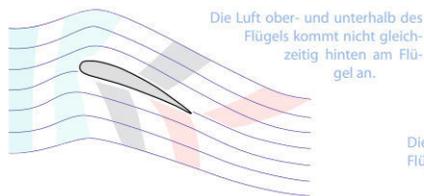
Aufgabe 1) Lest euch den Text (Auszug aus dem Physik-Fachbuch *Faszinierende Physik*) durch.

Aufgabe 2) Diskutiert anschließend mit den aus dem Text gewonnenen Erkenntnissen weiter, wieso ein Flugzeug fliegt.

Warum fliegt ein Flugzeug?

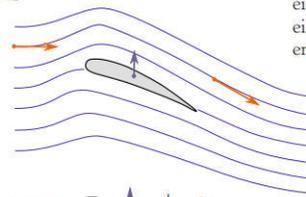
Bernoulli oder Newton?

Die Frage, was ein Flugzeug in der Luft hält, wird oft gestellt und auch oft beantwortet. Leider ist die populäre Antwort, die man in der Schule oder in Büchern vorgesetzt bekommt, unvollständig.



So anschaulich diese Erklärung ist, sie ist unvollständig: Zuerst einmal geht sie stillschweigend davon aus, dass die beiden geteilten Luftströme sich hinter dem Flügel wieder genau treffen. Das ist aber nicht der Fall – in der Tat kommt der obere Luftstrom aufgrund der etwas längeren Strecke etwas später an als der untere. Dieser Effekt wird zur Flügelspitze immer schwächer, weswegen sich Wirbel ausbilden.

Die Schrägstellung des Flügels sorgt für einen Impulsübertrag.



Diese trotzdem sehr beliebte Erklärung benutzt das **Prinzip von Bernoulli**, das besagt, dass Luft, wenn sie sich schnell bewegt, weniger dicht ist, was an sich korrekt ist. Es wird mit dem asymmetrischen Profil der Flügel argumentiert: Wenn ein Luftstrom im Flug auf den Flugzeugflügel treffe, so teile er sich in zwei Hälften, die jeweils über und unter den Flügel entlanggleiten und sich dahinter trafen. Und weil die obere Strecke länger ist als die untere, müsse sich die Luft oberhalb des Flügels schneller bewegen – was nach Bernoullis Prinzip einen Unterdruck an der Oberseite gegenüber der Unterseite erzeuge, der den Flieger nach oben „saugt“.

Wird die Strömung turbulent, kann nicht mehr genug Impuls übertragen werden: Das Flugzeug gerät dann in Gefahr abzustürzen.

Und selbst wenn die Luft sich hinter dem Flügel wieder trafe, dann wäre der Effekt durch den Druckunterschied deutlich zu klein: Für ein typisches kleines Flugzeug wie eine Cessna zum Beispiel kann man errechnen, dass sich in dem hypothetischen Fall, dass sich die Luftströme hinter dem Flügel wieder trafen, der Weg entlang der Oberseite um 50% länger sein müsste, um bei einer normalen Flugge-

schwindigkeit den benötigten Auftrieb zu erzeugen. Bei dem Modell Cessna 172 zum Beispiel ist die Oberseite des Flügels nur ca. 2% länger als die Unterseite. Mit dieser Differenz müsste das Flugzeug eine Geschwindigkeit von über 400 km/h haben, bevor es abheben könnte. Bernoullis Prinzip reicht also nicht aus, um zu erklären, warum ein Flugzeug fliegt.



In der Natur benutzen Vögel den Strömungsabriss, um schnell an Höhe zu verlieren.

In der Tat ist die Frage, was ein Flugzeug in der Luft hält, ein Zusammenspiel von verschiedenen Faktoren. Obwohl es erfolgreiche strömungsmechanische Modelle gibt, die zu guten Ergebnissen kommen, gibt es nicht nur eine einzige, anschauliche Erklärung. Das Prinzip von Bernoulli trägt – wenn auch in geringem Ausmaß – zum Auftrieb bei, allerdings ist ein weiterer wichtiger Faktor die **Impulserhaltung**. Dadurch, dass der Flügel nämlich leicht schräg gestellt ist, wird die an ihm vorbeiströmende Luft nach unten abgelenkt.

Die Schweizer 1-36, ein Forschungsflugzeug der NASA zur Untersuchung des Strömungsabrisses.



Weil sie also einen Impuls nach unten erfährt, muss nach dem dritten Newton'schen Gesetz (\downarrow) – actio gleich reactio – der Flügel einen Impuls nach oben erhalten. So wie eine schräg gestellte Hand, die man aus einem fahrenden Auto hält, wird auch der Flügel nach oben gedrückt.

Damit nach der Newtonschen Erklärung das Flugzeug genug Aufwärtsimpuls übertragen bekommt, ist es von entscheidender Bedeutung, dass die oberhalb des Flügels entlanggleitende Luft immer nah am Flügel bleibt. Das tut sie, solange die Strömung laminar ist. Wird die Strömung hingegen turbulent (\downarrow), so verwirbelt sie, anstatt die Oberseite des Flügels herunterzugleiten. Das geschieht zum Beispiel, wenn man den Anstellwinkel zu steil wählt: Bei diesem **Strömungs- oder Luftabriss** genannten Phänomen verringert sich der Auftrieb signifikant. Kommt es kurz vor einer Landung zum Luftabriss, zum Beispiel wenn die Nase des landenden Flugzeuges zu steil steht, so kann es leicht abstürzen.

Quelle: Bahr, B., Resag, J., Riebe, K. (2019). *Faszinierende Physik. Ein bebildertes Streifzug vom Universum bis in die Welt der Elementarteilchen (3. Auflage)*. Springer-Verlag GmbH Deutschland. Berlin. S. 102f.

Quiz Airbus A380

Dieses Quiz sollte interaktiv, z.B. als Kahoot, durchgeführt werden. Die richtigen Antworten sind in grüner Farbe markiert.

Material MI15 – Quiz Airbus A380 - Faktencheck

Wie hoch ist der Airbus A380?

- a) 8 m
- b) 15,6 m
- c) 24,1 m

Anmerkung der Lehrkraft: Diese Höhe entspricht ungefähr der Höhe eines achtstöckigen Hauses.

Wie lang ist der Airbus A380?

- a) 54 m
- b) 73 m
- c) 101 m

Anmerkung der Lehrkraft: Das ist etwa so groß wie zwei hintereinander schwimmende Blauwale.

Wie groß ist die Spannweite, d.h. die Entfernung von einem Flügelende bis zum anderen Flügelende, beim Airbus A380?

- a) 41,4 m
- b) 62,6 m
- c) 79,8 m

Anmerkung der Lehrkraft: Das entspricht einer Länge von etwa drei ICE4-Wagen.

Wie viele Passagiere kann der Airbus A380 maximal transportieren?

- a) 456
- b) 853
- c) 922

Anmerkung der Lehrkraft: Damit kann man ungefähr die Schüler*innen von einer großen oder zwei kleiner Schulen transportieren.

Wie schwer kann der Airbus A380 maximal sein, um noch abzuheben (max. Startmasse)?

- a) 400.000 kg
- b) 569.000 kg
- c) 1.350.000 kg

Anmerkung der Lehrkraft: Das entspricht etwa der Masse von 485 Autos des Typs *VW Golf* oder 112 ausgewachsenen Elefanten.

Literatur- und Quellenverzeichnis für Unterrichtsstunde I

- Bahr, B., Resag, J., Riebe, K. (2019). *Faszinierende Physik. Ein bebildeter Streifzug vom Universum bis in die Welt der Elementarteilchen (3. Auflage)*. Springer-Verlag GmbH Deutschland. Berlin.
- Brinkmann, M. (2022). *Der ICE4: Das Rückgrat der DB-Fernverkehrsflotte*. Deutsche Bahn. Abgerufen am 02.01.2024 unter https://www.deutschebahn.com/de/presse/suche_Medienpakete/medienpaket_ice4-6854650
- Dubs, F. (1979). *Aerodynamik der reinen Unterschallströmung (4., neubearbeitete Auflage)*. Springer Basel AG.
- Giancoli, D. C. (2009). *Physik*. Pearson Deutschland GmbH.
- Kassera, W. (2016). *Flug ohne Motor. Das Lehrbuch für Segelflieger (22. Aktualisierte Auflage)*. Motorbuch Verlag. Stuttgart.
- Kubsch, M., Sorge, S. (2021). Unterstützungsmöglichkeiten beim Erklären und Argumentieren im Physikunterricht. *MNU-Journal*, 74(4), 274-279.
- Palt, K. (2019). *Airbus A380. Verkehrsflugzeug. Flugzeuginfo.net*. Abgerufen am 02.01.2024 unter https://www.flugzeuginfo.net/acdata_php/acdata_a380_dt.php
- Rahmenlehrplan Physik [RLPPhyBerSI] (2015). *Teil C, Physik*. Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie Berlin; Ministerium für Bildung, Jugend und Sport des Landes Brandenburg (Hrsg.).
- Wodzinski, R. (1999). Wie erklärt man das Fliegen in der Schule?. *Plus Lucis* 2/99, S. 18-22.
- [WELT] (2007). *12 skurrile Fakten zum Riesen-Airbus*. Welt. Abgerufen am 02.01.2024 unter <https://www.welt.de/reise/article1306075/12-skurrile-Fakten-zum-Riesen-Airbus.html>
- Weltner, K. (2000). *Physik des Fliegens, Strömungsphysik, Raketen, Satelliten*. In F. Langensiepen, R. Götz, & H. Dahncke (Hrsg.), *Handbuch des Physikunterrichts Sekundarbereich I – Band 2* (S. 340– 402). Köln: Aulis.

8.1.2 Unterrichtsstunde II

Dauer	90 min
Inhalt	Einführung der Argumente Kommode und der Nachhaltigkeit (Konzept, Modelle, Ziele der UN) sowie Wertebildung durch die Reflexion von Normen und Werten bei Entscheidungen.
Phase im Agency-Modell	Problematisierung und Evaluierung

Kompetenzziele:

Die SuS können...

- Argumente mit der Argumente Kommode in die Kategorien *Sachwissen, Werte und Normen* sowie *Interessen* einordnen und zwischen Pro- und Contra- Argumenten unterscheiden.
- individuelle und gesellschaftliche Werte und Normen, die ihre Entscheidungen beeinflussen, reflektieren.
- das Konzept der Nachhaltigkeit beschreiben und Ableitungen für gesellschaftliches und individuelles Handeln ableiten.
- die Nachhaltigkeitsziele der UN beschreiben.

Bezug zum Rahmenlehrplan (RLPPhyBerSI, 2015):

Die SuS können ...

Bewerten

- das eigene Handeln in Bezug auf ihre Wertvorstellungen reflektieren (Niveaustufe E, Teilkompetenz *Werte und Normen reflektieren*, S. 25).
- zwischen Werten und Normen unterscheiden (Niveaustufe F, Teilkompetenz *Werte und Normen reflektieren*, S. 25).
- eigene Wertvorstellungen in Bezug auf Werte anderer und Normen der Gesellschaft reflektieren (Niveaustufen G/H, Teilkompetenz *Werte und Normen reflektieren*, S. 25).

Benötigte Materialien:

Benötigt wird eine Tafel, ein Smartboard oder ein Beamer, um so die Tafelbilder zu zeigen. Um Tafelbilder interaktiv und gemeinsam mit den SuS zu erzeugen, wird ein Smartboard empfohlen. Zusätzlich zum Smartboard wird Flipchart-Papier oder eine weitere Tafel benötigt, um die Argumente der SuS zu sammeln, während andere Tafelbilder erzeugt werden.

Zur Ergebnissicherung werden zudem Plakate in A3-Format (**Materialien MII2, MII5**) ausgedruckt benötigt.

Zudem werden die **Materialien MII10 - MII15** zur individuellen Ergebnissicherung für alle SuS aus dem *Anhang zur Unterrichtsstunde II* ausgedruckt benötigt.

Ablauf der Stunde:

Zu Beginn der Stunde zeigt die LK den Konzept-Cartoon (**Material MII1**) auf einem Smartboard und fordert die SuS auf, zu den Argumenten Stellung zu beziehen und weitere Argumente zu sammeln, die für oder gegen das Fliegen zum Lieblingsreiseziel sprechen. Diese Argumente notiert die Lehrkraft auf einer Flipchart oder einer Tafel. Nun erarbeitet die Lehrkraft gemeinsam mit den SuS Argumenttypen aus den gesammelten Argumenten, so dass eine Kategorisierung der Argumente entsteht. Daraufhin führt die Lehrkraft die Argumente-Kommode ein und zeigt hierbei ein Tafelbild (**Material MII2**), welches zuvor von der Lehrkraft in A3-Format ausgedruckt und nun im Klassenraum aufgehängt wird. Hierbei erläutert die Lehrkraft, dass die Argumente bisher nur auf dem Vorwissen beruhen und daher die Argumenttypen in den nächsten Stunden näher untersucht werden müssen. Die Lehrkraft erläutert, dass in dieser Stunde die Werte und Normen – Argumente näher untersucht werden und erarbeitet in einem Unterrichtsgespräch, was Werte und Normen sind (einschließlich Beispielen) und wie sie individuelle und gesellschaftliche Entscheidungen beeinflussen. Hierbei zeigt die Lehrkraft ein Tafelbild (**Material MII3**). Nun teilt die Lehrkraft ein Arbeitsblatt aus (**Material MII10**), auf dem die SuS die auf der Flipchart-Seite gesammelten Argumente in die Argumente-Kommode einordnen und insbesondere bei den Werte und Normen – Argumente die zugrundeliegenden Werte und Normen notieren. Anschließend werden einige Argumente von den SuS am Smartboard notiert und erläutert, hierbei kann ein Tafelbild (**Material MII4**) verwendet werden. Daraufhin lenkt die Lehrkraft die Aufmerksamkeit auf den Wert der Nachhaltigkeit und fordert die SuS zu einem Brainstorming hierüber auf.

Die Lehrkraft teilt einer Klassenhälfte ein Arbeitsblatt zum Konzept der Nachhaltigkeit aus (**Material MII11**), der anderen ein anderes Arbeitsblatt (**Material MII12**). Dies sollte so geschehen, dass je zwei nebeneinandersitzende SuS verschiedene Arbeitsblätter bearbeiten, um so im Anschluss mit dem Sitznachbarn das Arbeitsblatt zur Nachhaltigkeit (**Material MII13**) zu bearbeiten. Anschließend wird dieses Arbeitsblatt besprochen und eines der Modelle, von den SuS begründet, gewählt und von der Lehrkraft in A3-Format im Klassenraum als Poster aufgehängt. Nun stellt die Lehrkraft die Nachhaltigkeitsziele der UN mit einem Tafelbild (**Material MII5**) vor, bildet 4er-Gruppen und erläutert den Arbeitsauftrag: In 4er-Gruppen sollen die ausgeteilten Karten zu einigen der

Nachhaltigkeitszieles der UN dem Bereich oder den Bereichen der Nachhaltigkeit (Ökonomie, Ökologie, Soziales) begründet zugeordnet und nach der Arbeitsphase im Plenum vorgestellt werden. Die Lehrkraft verteilt die siebzehn ausgeschnittenen Karten zu den Nachhaltigkeitszielen (**Material MII15**) in die 4er Gruppen. Nach der Arbeitsphase wird das Arbeitsblatt zu den Nachhaltigkeitszielen der UN (**Material MII14**) ausgeteilt, die Gruppen stellen ihre Nachhaltigkeitsziele vor und ordnen sie am Smartboard (**Material MII6**) begründet den Bereichen der Nachhaltigkeit zu. Anschließend hält die Lehrkraft fest, dass Nachhaltigkeit viele Aspekte der ökonomischen, ökologischen und sozialen Bereiche umfasst und deshalb ein wichtiger gesellschaftlicher Wert ist. Aus diesem Wert leitet sich die Norm ab, nachhaltige Entscheidungen (individuelle und gesellschaftliche) zu treffen. Hier sollte dann auf die Entscheidung zum Fliegen zum Lieblingsreiseziel Bezug genommen werden.

Eine mögliche Verlaufsplanung der Unterrichtsstunde II ist in Tabelle UII1 dargestellt.

Hinweise und Anmerkungen sowie Potential zur Differenzierung

Zur Vorbereitung der Stunde sind die die Arbeitsblätter und Karten der Nachhaltigkeitsziele (**Materialien MII10-MII15**) im Anhang der Unterrichtsstunde II für die SuS auszudrucken.

Die Tafelbilder zur Argumente-Kommode (**Material MII2**) und zu den Nachhaltigkeitszielen der UN (**Material MII5**) sollten vor der Stunde in A3-Format ausgedruckt und im Klassenraum aufgehängt werden. Die drei Nachhaltigkeitsmodelle (**Materialien MII7-MII9**) sollten ebenfalls vor der Stunde in A3-Format ausgedruckt werden.

Zur Differenzierung wurden zwei Varianten des Arbeitsblatts zur Argumente-Kommode (**Material MII10**) erstellt, eine mit und eine ohne Beispiele.

Sollte keine Doppelstunde möglich sein, empfiehlt es sich die Doppelstunde in zwei Einzelstunden zu teilen. Eine geeignete Teilung empfiehlt sich etwa nach der Phase *Gelenk I* (nach 45 min), da hier die Argumente Kommode eingeführt und bearbeitet wurde und in dieser Phase die Lenkung auf den Wert Nachhaltigkeit stattfindet.

Tabelle UII1: Möglicher Verlaufsplan der Unterrichtsstunde II

Zeit (min)	Phase	Geplantes LK-Verhalten	Geplantes SuS-Verhalten	Sozialform	Medien/Materialien	Kommentare
3	Einstieg	Die LK begrüßt die SuS und fordert sie auf darüber nachzudenken, ob sie zu ihrem Lieblingsreiseziel fliegen sollten und zeigt dabei den Konzept-Cartoon (Material MII1).	Die SuS hören zu, lesen sich die Aussagen im Konzept-Cartoon durch und denken über die Frage nach, ob man zum Lieblingsreisziel fliegen sollte.	LV	Smartboard/ Tafelbild (Material MII1)	
5	Erarbeitung I	Die LK fordert die SuS auf, zu den Argumenten im Konzept-Cartoon Stellung zu beziehen und weitere Argumente zu sammeln, die für oder gegen das Fliegen sprechen. Die LK notiert die Argumente auf einer Flipchart-Seite	Die SuS beziehen Stellung zu den Argumenten und sammeln weitere Argumente	UG	Smartboard, Flipchart/ Tafelbild (Material MII1)	Argumente sammeln
5	Erarbeitung II	Die LK fordert die SuS auf, auf die Struktur der Argumente zu achten, diese zu beschreiben und dann zu kategorisieren. Die LK gibt ggf. Hinweise, so dass die SuS die Kategorien der Argumente Kommode selbst herausfinden.	Die SuS kategorisieren die Argumente und beschreiben ihre Überlegungen.	UG	Flipchart	Argumente kategorisieren
5	Sicherung I	Die LK stellt die Argumente-Kommode vor und zeigt hierzu ein Tafelbild (Material MII2). Die LK erläutert die drei Kategorien der Argumente Kommode kurz und verweist darauf, dass die bisher gesammelten Argumente auf Vorwissen beruhen und die Argumenttypen näher untersucht werden müssen. Die LK beantwortet ggf. Fragen der SuS und hängt anschließend das Tafelbild (Material MII2) in A3-Format als Poster im Klassenraum auf.	Die SuS hören zu und stellen ggf. Fragen zu den Kategorien.	LV	Smartboard/ Tafelbild (Material MII2)	Einführung der Argumente Kommode

5	Erarbeitung III	Die LK erläutert, dass nun die Werte und Normen-Argumente untersucht werden. Die LK erfragt bei den SuS ihr Vorwissen zu Werten und Normen und erarbeitet sich gemeinsam mit den SuS das Tafelbild (Material MII3).	Die SuS nennen Vorwissen zu Werten und Normen. Die SuS erarbeiten gemeinsam mit der LK das Tafelbild.	UG	Smartboard/ Tafelbild (Material MII3)	Erarbeitung der Werte und Normen – Kategorie der Argumente-Kommode.
7	Erarbeitung IV	Die LK teilt das Arbeitsblatt zur Argumente-Kommode (Material MII10) aus und fordert die SuS auf dieses zu bearbeiten.	Die SuS bearbeiten das Arbeitsblatt.	EA	Arbeitsblatt zur Argumente Kommode (Material MII10)	Anwendung der Argumente-Kommode
10	Sicherung II	Die LK zeigt das Tafelbild zur Argumente Kommode (Material MII4) und fordert einzelne SuS auf, ihre Ergebnisse am Smartboard zu notieren und zu begründen.	Einzelne SuS notieren und begründen ihre Ergebnisse am Smartboard.	UG	Smartboard/ Tafelbild (Material MII4)	
5	Gelenk I	Die LK geht auf den Wert der Nachhaltigkeit ein und fordert die SuS zu einem Brainstorming hierzu auf und notiert die Äußerungen der SuS am Smartboard.	Die SuS nennen Gedanken, die ihnen zum Wert Nachhaltigkeit einfallen.	UG	Smartboard	Impulse zum Brainstorming: „Was ist Nachhaltigkeit?“ Was bedeutet Nachhaltigkeit für euch im Alltag?“
Mögliche Teilung der Doppelstunde in 2 Einzelstunden						
8	Erarbeitung V	Die LK teilt einer Klassenhälfte das Arbeitsblatt zum Nachhaltigkeitskonzept (Material MII11) und der anderen das Arbeitsblatt zu den Nachhaltigkeitsmodellen (Material MII12) aus und fordert die SuS auf dieses zu bearbeiten.	Die SuS bearbeiten jeweils eines der beiden Arbeitsblätter.	EA	Arbeitsblatt zum Nachhaltigkeitskonzept (Material MII11) Arbeitsblatt zu den Nachhaltigkeitsmodellen (Material MII12)	
7	Erarbeitung VI	Die LK teilt das Arbeitsblatt zur Nachhaltigkeit (Material MII13) aus und fordert die SuS auf, dieses gemeinsam mit ihrem Sitznachbarn zu bearbeiten.	Die SuS bearbeiten das Arbeitsblatt.	PA	Arbeitsblatt zur Nachhaltigkeit (Material MII13)	

5	Sicherung III	Die LK bespricht mit den SuS das Arbeitsblatt und fordert die SuS im Anschluss daran auf, begründet für eines der Nachhaltigkeitsmodelle abzustimmen. Die LK hängt das Poster zum gewählten Modell im Klassenraum auf.	Einige SuS stellen ihre Ergebnisse vor. Die SuS stimmen begründet für ein Nachhaltigkeitsmodell ab.	UG	Arbeitsblatt zur Nachhaltigkeit (Material MII13) Poster in A3-Format (Materialien MII7-MII9)	
4	Gelenk II	Die LK stellt die Nachhaltigkeitsziele der UN mit dem Tafelbild (Material MII5) vor, welches auch in A3-Format ausgedruckt im Klassenzimmer aufgehängt wird. Die LK teilt die Klasse in 4er Gruppen und erläutert den Arbeitsauftrag: Die Nachhaltigkeitsziele der UN sollen dem oder den Bereichen der Nachhaltigkeit (Ökonomie, Ökologie, Soziales) begründet zugeordnet und anschließend im Plenum vorgestellt werden.	Die SuS hören zu und setzen sich in 4er Gruppen.		Smartboard/ Tafelbild und Poster in A3 Format (Material MII5)	Es kann ggf. auch eine 5er-Gruppe gebildet werden.
8	Erarbeitung VII	Die LK teilt die siebzehn Karten zu den Nachhaltigkeitszielen der UN (Material MII15) auf die 4er-Gruppen auf.	Die SuS ordnen den Nachhaltigkeitszielen auf den Karten begründet einen Nachhaltigkeitsbereich zu.	GA	Karten zu den Nachhaltigkeitszielen der UN (Material MII15)	
10	Sicherung IV	Die LK teilt das Arbeitsblatt zu den Nachhaltigkeitszielen der UN (Material MII14) aus und zeigt das zum Arbeitsblatt zugehörige Tafelbild (Material MII6). Die LK fordert die Gruppen auf, ihre Ergebnisse zu präsentieren.	Die Gruppen präsentieren ihre Ergebnisse am Smartboard und tragen dort die Kreuze ein.	UG	Smartboard/ Arbeitsblatt Nachhaltigkeitsziele der UN (Material MII14) Tafelbild zum Arbeitsblatt (Material MII6)	
3	Zusammenfassung	Die LK erläutert, dass Nachhaltigkeit viele Aspekte umfasst und deshalb ein wichtiger Wert ist, aus dem sich die Norm ableitet, nachhaltige Entscheidungen (auch bei der Entscheidung zu fliegen) zu treffen und klärt ggf. noch offene Fragen der SuS.	Die SuS hören zu und stellen ggf. Fragen.	UG		

Anhang zur Unterrichtsstunde II

Tafelbilder

Tafelbild 1.

Material III1 - Tafelbild 1 (Konzept-Cartoon)



Abbildung UII1 - Konzept-Cartoon (Eigene Darstellung mit adaptierten Bildern der Plattform Pixabay)

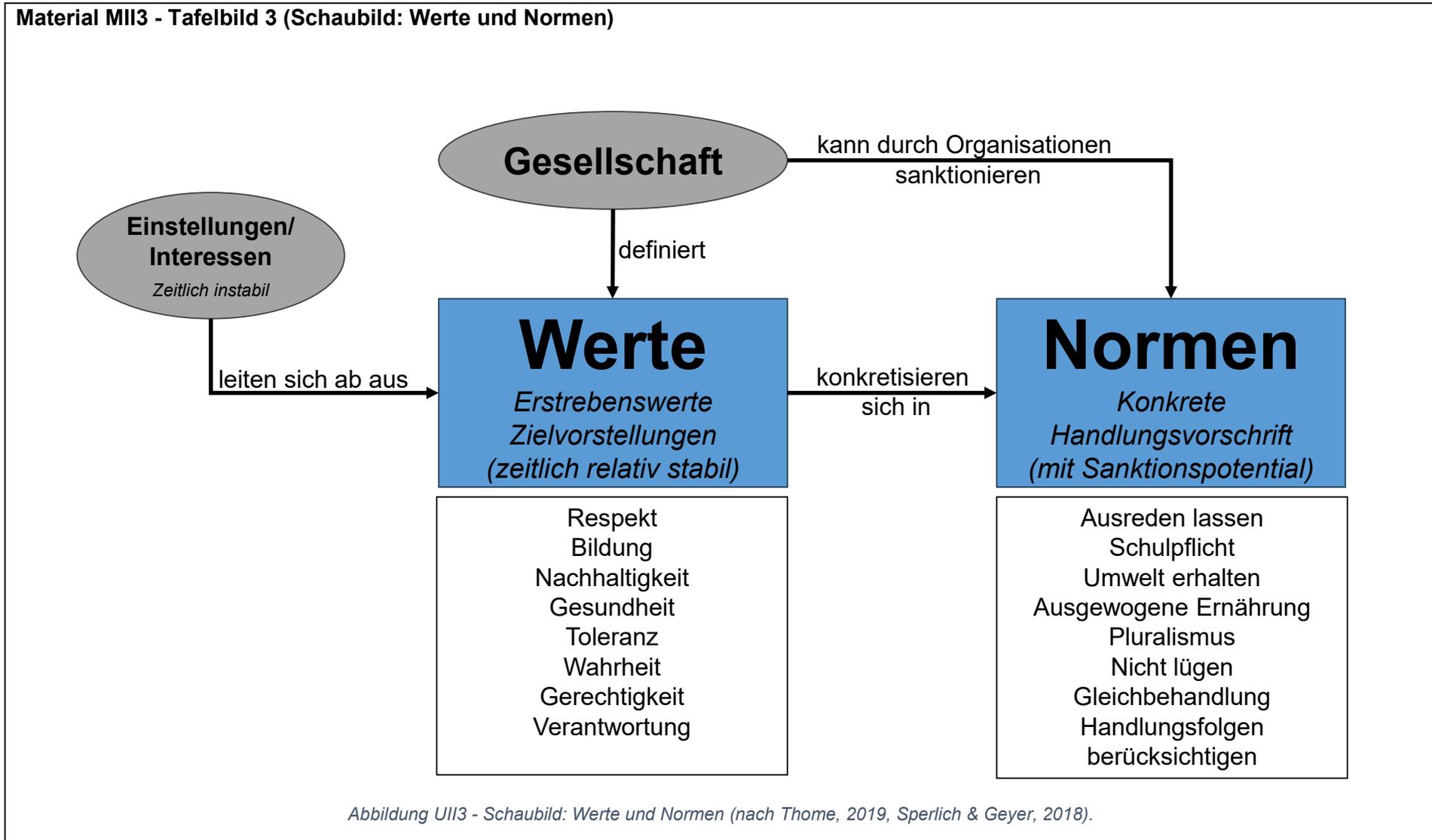
Mögliches Tafelbild 2.

Material MII2 - Mögliches Tafelbild 2 (Argumente-Kommode)



Abbildung UII2 - Argumente Kommode (nach Schecker & Höttecke, 2021)

Tafelbild 3.



Tafelbild 4.

Material III4 - Tafelbild 4 (Argumente Kommode – Vergleich)	
Sachwissen <i>Argumente, die auf „objektiven“ Sachwissen beruhen.</i>	
Werte und Normen <i>Argumente, die auf persönlichen oder gesellschaftlichen Werten und Normen beruhen.</i>	
Interessen <i>Argumente, die auf Interessen (z.B. wirtschaftlichen) beruhen.</i>	

Abbildung UII4 - Argumente Kommode (nach Schecker & Höttecke, 2021).

Tafelbild 5.

Material III5 - Tafelbild 4 (17 Ziele der UN)



Produziert und übersetzt vom UNO-Informationdienst (UNIS) Wien.

Abbildung UII5 - Tafelbild der Nachhaltigkeitsziele der UN (UN, 2020)

Tafelbild 6.

Material III6 - Tafelbild 6 (Tafelbild zum Vergleich des Arbeitsblatts über die Nachhaltigkeitsziele der UN)

Die 17 Nachhaltigkeitsziele der UN

Nr.	Ziel	Ökonomie	Ökologie	Soziales
1	Keine Armut			
2	Kein Hunger			
3	Gesundheit und Wohlergehen			
4	Hochwertige Bildung			
5	Geschlechtergleichheit			
6	Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen			
7	Bezahlbare und saubere Energie			
8	Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum			
9	Industrie, Innovation und Infrastruktur			
10	Weniger Ungleichheiten			
11	Nachhaltige Städte und Gemeinden			
12	Nachhaltige/r Konsum und Produktion			
13	Massnahmen zum Klimaschutz			
14	Leben unter Wasser			
15	Leben an Land			
16	Frieden, Gerechtigkeit und starke Institutionen			
17	Partnerschaften zur Erreichung der Ziele			

Abbildung UII6 - Tafelbild zum Arbeitsblatt über die Nachhaltigkeitszielen der UN.

Ausgedrucktes Poster zum Aufhängen in A3-Format (Möglichkeit 1: Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit)

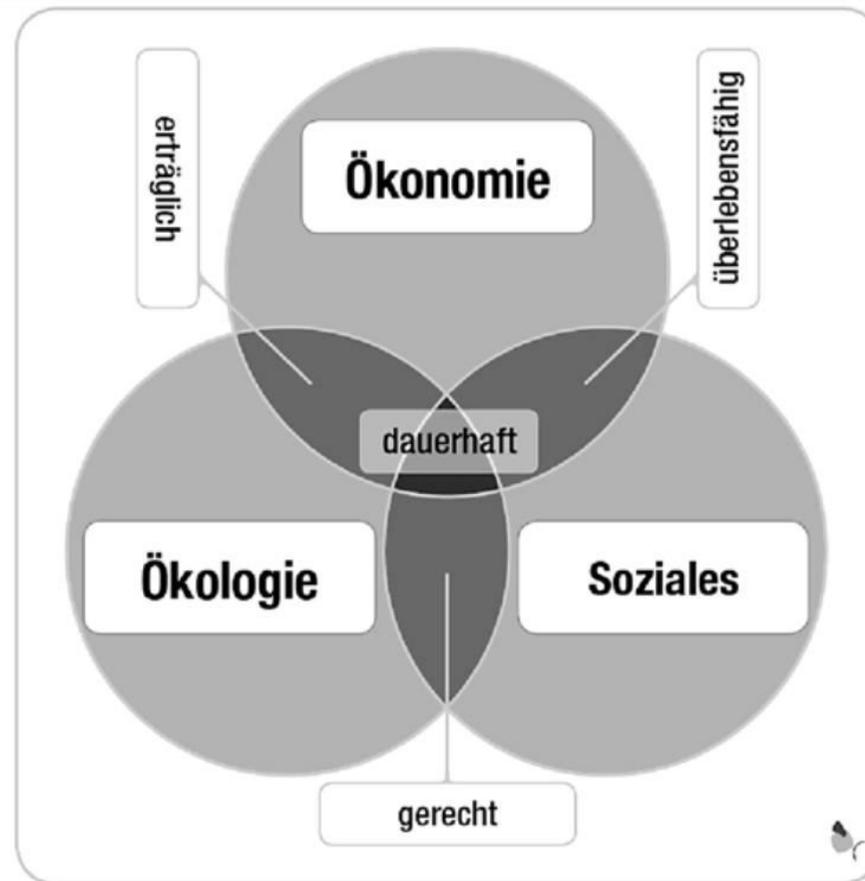
Material MII7- Mögliches Ausgedrucktes Poster zum Aufhängen in A3-Format (Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit)



Abbildung UII7 - Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit (aus Pufé, 2014, S. 18).

Ausgedrucktes Poster zum Aufhängen in A3-Format (Möglichkeit 2: Dreiklang/Schnittmengen-Modell der Nachhaltigkeit)

Material MII8 - Mögliches Ausgedrucktes Poster zum Aufhängen (Dreiklang/Schnittmengen-Modell der Nachhaltigkeit)

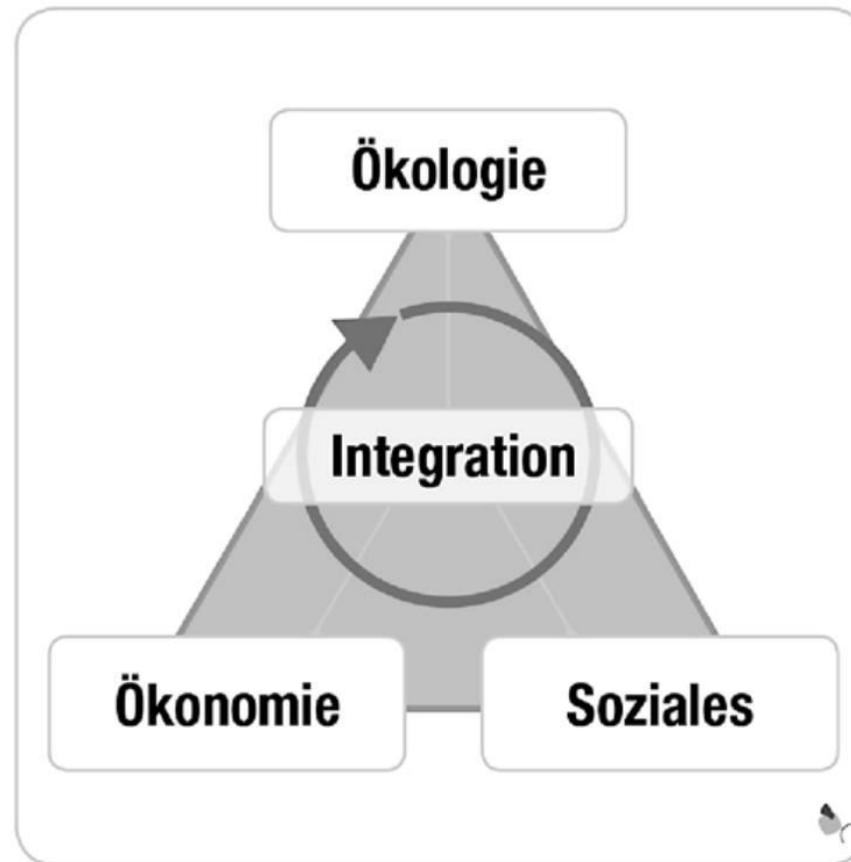


Dreiklangmodell

Abbildung UII8 - Dreiklang/Schnittmengen-Modell der Nachhaltigkeit (aus Pufé, 2014, S. 18).

Ausgedrucktes Poster zum Aufhängen in A3-Format (Möglichkeit 3: Nachhaltigkeitsdreieck als Modell der Nachhaltigkeit)

Material III9 - Mögliches Ausgedrucktes Poster zum Aufhängen (Nachhaltigkeitsdreieck als Modell der Nachhaltigkeit)



Nachhaltigkeitsdreieck

Abbildung UII9 - Nachhaltigkeitsdreieck als Modell der Nachhaltigkeit (aus Pufé, 2014, S. 18).

Arbeitsblatt für die Argumente Kommode

Arbeitsblatt für die Argumente-Kommode – Variante 1

Material MII10

Name : _____

Datum : _____

Argumente ordnen mit der Argumente Kommode

Ordnet die gesammelten Argumente zur Frage *Sollte man Fliegen?* in die drei Kategorien Sachwissen, Werte & Normen und Interessen in der folgenden Tabelle ein und ergänzt diese, sollten auch weitere Argumente einfallen.

Notiert bei der Kategorie Werte & Normen zudem die Werte und/oder Normen, die euren Argumenten zugrunde liegen.

Markiert Pro-Argumente (Argumente, die für das Fliegen sprechen) grün und Contra-Argumente (Argumente, die gegen das Fliegen sprechen) rot.

Sachwissen <i>Argumente, die auf „objektiven“ Sachwissen beruhen.</i>
Werte & Normen <i>Argumente, die auf persönlichen oder gesellschaftlichen Werten und Normen beruhen.</i>
Interessen <i>Argumente, die auf Interessen (z.B. wirtschaftlichen) beruhen.</i>

Material MII10

Name : _____

Datum : _____

Argumente ordnen mit der Argumente Kommode

Ordnet die gesammelten Argumente zur Frage *Sollte man Fliegen?* in die drei Kategorien Sachwissen, Werte & Normen und Interessen in der folgenden Tabelle ein und ergänzt diese, sollten auch weitere Argumente einfallen.

Notiert bei der Kategorie Werte & Normen zudem die Werte und/oder Normen, die euren Argumenten zugrunde liegen.

Markiert Pro-Argumente (Argumente, die für das Fliegen sprechen) grün und Contra-Argumente (Argumente, die gegen das Fliegen sprechen) rot.

Sachwissen

Argumente, die auf „objektiven“ Sachwissen beruhen.

Ich fliege nicht, da viele Studien gezeigt haben, dass Fliegen der Umwelt schadet.

Werte & Normen

Argumente, die auf persönlichen oder gesellschaftlichen Werten und Normen beruhen.

Ich fliege, da mir Bildung wichtiger als Nachhaltigkeit ist (Werte: Bildung, Nachhaltigkeit, Norm: Reisen, um sich weiterzubilden).

Interessen

Argumente, die auf Interessen (z.B. wirtschaftlichen) beruhen.

Ich fliege, da es mein persönliches Interesse ist, meine Familie zu besuchen.

Material MII11

Lies dir den Text *Was ist Nachhaltigkeit?* des Parlamentarischen Beirats des Deutschen Bundestags durch und fasse die wichtigsten Aussagen in wenigen Sätzen zusammen.

Was ist Nachhaltigkeit?

Nachhaltigkeit – Verantwortung und Verpflichtung für Gegenwart und Zukunft

Nachhaltigkeit, was ist das eigentlich? Der Grundgedanke der Nachhaltigkeit: Wir dürfen nicht heute auf Kosten von morgen leben! Wir sollen nicht mehr verbrauchen, als künftig wieder bereitgestellt werden kann.

Der Begriff und die Idee der Nachhaltigkeit wurden bereits im 18. Jahrhundert in der Forstwirtschaft geprägt: nur so viel Holz abschlagen, wie auch nachwachsen kann. So ist dafür gesorgt, dass der Wald für die zukünftige Nutzung zur Verfügung steht und auf Dauer seinen Wert behält. Diese Überzeugung hat sich später aus dem forstwirtschaftlichen Kontext gelöst, weiterentwickelt und Eingang in die Wissenschaft gefunden.

Nachhaltigkeit wird dabei als „ethisches Prinzip“ verstanden, das als Querschnittsthema eine ganzheitliche Betrachtung von gesellschaftlichen Herausforderungen einfordert. Dabei wird die Verantwortung für die heute lebenden Menschen mit der Verantwortung für zukünftigen Generationen verbunden. Sie gilt jedoch nicht nur für die Politik, sondern auch für das Handeln eines jeden Einzelnen. Nachhaltigkeit beschränkt sich nicht einzig auf den Umwelt- und Naturschutz, sondern beschäftigt sich auch mit den Themenfeldern Ökologie, Ökonomie und Soziales.

Eine Definition enthält der Bericht „Unsere gemeinsame Zukunft“ der Brundtland-Kommission der Vereinten Nationen aus dem Jahr 1987. Nachhaltig sei eine gesellschaftliche Entwicklung nur dann, wenn sie „den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen und ihren Lebensstil zu wählen.“ Nachhaltigkeitspolitik wird als ein Geflecht verstanden, in dem insbesondere einzelne Politikbereiche nicht mehr getrennt voneinander betrachtet werden können. Es gilt vielmehr, sie miteinander zu verknüpfen und ausgewogen weiterzuentwickeln. Dabei macht Nachhaltigkeit nicht an den Ländergrenzen Halt, sondern entfaltet sich auch in der internationalen Zusammenarbeit.

Nachdem die Idee der nachhaltigen Entwicklung erstmals 1992 auf dem UN-Gipfel von Rio de Janeiro als globales Leitbild verankert worden ist, haben die Staats- und Regierungschefs der 193 Mitgliedstaaten am 25. September 2015 in New York die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung, den „Zukunftsvertrag“ für die Welt, verabschiedet. Dahinter steht die Überzeugung, dass sich globale Herausforderungen nur gemeinsam bewältigen lassen und hierfür das Leitprinzip der nachhaltigen Entwicklung konsequent in allen Politikbereichen und in allen Staaten angewandt werden muss. Denn eine nachhaltige Politik betrifft nicht nur Artenvielfalt, Klimaschutz, Ressourcen- und Energieverbrauch, sondern auch die Entwicklung der Finanzmärkte, die Schuldenlast der öffentlichen Haushalte und die Innovationsfähigkeit von Volkswirtschaften. Gleichzeitig geht es auch um den inneren Zusammenhalt der Gesellschaft, um Ernährung, Gesundheit, Gleichberechtigung und soziale Sicherungssysteme.

Quelle:

Parlamentarischer Beirat des Deutschen Bundestages (o.D.). *Was ist Nachhaltigkeit?* Abgerufen am 04.01.2024 unter https://www.bundestag.de/ausschuesse/weitere_gremien/pbne/vorstellung/was-ist-nachhaltigkeit-890694

Material MII12

Nachhaltigkeitsmodelle

Lies dir den Ausschnitt aus dem Artikel der Zeitschrift *Aus Politik und Zeitgeschichte* von Iris Pufé (Wissenschaftlerin und Beiratsmitglied der Deutsche Umweltstiftung) durch und fasse die wichtigsten Aussagen in wenigen Sätzen zusammen.

Im Laufe der konzeptionellen Auseinandersetzung um das Thema Nachhaltigkeit haben sich verschiedene Schemata herausgebildet, die das Prinzip Nachhaltigkeit darstellen sollen. Die bedeutsamsten sind: das Drei-Säulen-Modell, das Schnittmengen- beziehungsweise Dreiklang-Modell und das Nachhaltigkeitsdreieck.

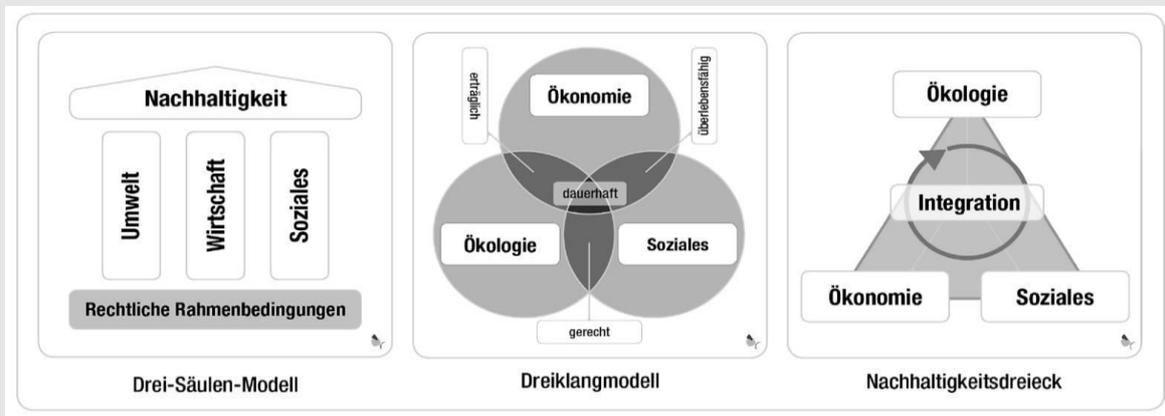


Abbildung UII9 - Nachhaltigkeitsmodelle (aus Pufé, 2014, S. 18).

Im Drei-Säulen-Modell wird das Dach „Nachhaltigkeit“ von den Säulen Ökologie, Ökonomie und Soziales getragen, wobei alle drei Dimensionen gleichberechtigt nebeneinander stehen. Problematisch an dieser Darstellung ist jedoch, dass die mittlere Säule nur stark genug sein müsste, um das Dach zu tragen. Die Wissenschaft bemühte sich deshalb mittels Dreiklang-Modell – ebenso auch im Nachhaltigkeitsdreieck – den unauflösbaren Zusammenhang unter den Nachhaltigkeitsdimensionen herauszuarbeiten.

Ganz gleich, wie die Trennlinie zwischen den drei zentralen Kapitalarten Ökonomie, Ökologie, Soziales gezogen wird – um dem Geiste, Prinzip und Kern von Nachhaltigkeit gerecht zu werden, gilt es stets, alle drei zusammenzuführen, zu verbinden – oder wie es auch häufig heißt, zu „integrieren“. Dies ist es auch, was den bisherigen Nachhaltigkeitsmodellen gemein ist. Sie führen zusammen, was in der Natur nie getrennt war, wohl aber in der Wirtschaft im Zuge deren profitorientierter Professionalisierung und Lieferkettenexpansion.

Quelle: Pufé, I. (2014). Was ist Nachhaltigkeit? Dimensionen und Chancen. Bundeszentrale für politische Bildung. *Aus Politik und Zeitgeschichte* 64 (31-32). S. 15-21

Material MII13

Name : _____

Datum : _____

Nachhaltigkeit

Formuliert auf Grundlage der gelesenen Texte eine Definition von Nachhaltigkeit und berücksichtigt hierbei ein Nachhaltigkeitsmodell.

Begründet, wieso ihr euch für dieses Nachhaltigkeitsmodell entschieden habt.

Material MII14

Name : _____

Datum : _____

Die 17 Nachhaltigkeitsziele der UN

Kreuzt zu jedem Nachhaltigkeitsziel der Vereinten Nationen (United Nations, kurz UN) den/die passende/n Bereich/e der Nachhaltigkeit (Ökonomie, Ökologie, Soziales) an.

Nr.	Ziel	Ökonomie	Ökologie	Soziales
1	Keine Armut			
2	Kein Hunger			
3	Gesundheit und Wohlergehen			
4	Hochwertige Bildung			
5	Geschlechtergleichheit			
6	Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen			
7	Bezahlbare und saubere Energie			
8	Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum			
9	Industrie, Innovation und Infrastruktur			
10	Weniger Ungleichheiten			
11	Nachhaltige Städte und Gemeinden			
12	Nachhaltige/r Konsum und Produktion			
13	Massnahmen zum Klimaschutz			
14	Leben unter Wasser			
15	Leben an Land			
16	Frieden, Gerechtigkeit und starke Institutionen			
17	Partnerschaften zur Erreichung der Ziele			

Material MII15 - Nachhaltigkeitsziele 1 und 2 der UN

1 KEINE ARMUT



Kreuzt den/die passende/n Bereich/e der Nachhaltigkeit an:

- Ökonomie
- Ökologie
- Soziales

Armut in Deutschland – das gibt es doch nicht. Oder?

Doch! In Deutschland leben knapp 16 Prozent der Bevölkerung in relativer Armut. Im Vergleich zur „extremen Armut“ ist diese Bevölkerungsgruppe zwar nicht existentiell bedroht, wird aber von vielen gesellschaftlichen Bereichen ausgeschlossen. Ca. 11 Prozent der Weltbevölkerung (ca. 836 Millionen Menschen) leben in extremer Armut, diese Menschen müssen also mit weniger als 1,25 US-Dollar pro Tag auskommen. Die Weltgemeinschaft hat sich zum Ziel gesetzt, die extreme Armut bis 2030 komplett zu beseitigen und die relative Armut zu halbieren.

Quelle: 17ziele.de, Abgerufen am 05.01.2024 unter https://17ziele.de/downloads.html?file=files/17ziele/content/downloads/Forexplatten_2019_tu-du_NEU.pdf&cid=3498

2 KEIN HUNGER



Kreuzt den/die passende/n Bereich/e der Nachhaltigkeit an:

- Ökonomie
- Ökologie
- Soziales

Hast du Hunger?

Es werden heute genügend Nahrungsmittel auf der Welt produziert, um allen Menschen eine ausreichende Ernährung zu sichern. Aber nicht alle Menschen haben den gleichen Zugang zu Nahrung. In Deutschland werden jährlich etwa 11 Millionen Tonnen Lebensmittel weggeworfen. Daher sollen eine gesunde und ausgewogene Ernährung geschaffen, das Einkommen von kleinen Nahrungsmittelproduzenten verdoppelt sowie eine nachhaltige Landwirtschaft gefördert werden.

Quelle: 17ziele.de, Abgerufen am 05.01.2024 unter https://17ziele.de/downloads.html?file=files/17ziele/content/downloads/Forexplatten_2019_tu-du_NEU.pdf&cid=3498

Material MII15 - Nachhaltigkeitsziele 3 und 4 der UN

3 GESUNDHEIT UND WOHLERGEHEN



Kreuzt den/die passende/n Bereich/e der Nachhaltigkeit an:

- Ökonomie
- Ökologie
- Soziales

„Weltweit können alle Menschen behandelt werden, wenn sie krank sind.“

Vielen Menschen ist nach wie vor der Zugang zu angemessener Gesundheitsversorgung verwehrt, zum Beispiel aufgrund ihres Geschlechts, ihres Alters, ihrer finanziellen Möglichkeiten oder ihres Wohnorts. Deshalb sterben noch immer viele Menschen an behandelbaren Krankheiten. Durch eine Stärkung der Gesundheitssysteme und insbesondere durch eine breite Verfügbarkeit von Impfstoffen, kann es uns gelingen, diese Krankheiten bis 2030 zurückzudrängen und sogar auszurotten.

Quelle: 17ziele.de, Abgerufen am 05.01.2024 unter https://17ziele.de/downloads.html?file=files/17ziele/content/downloads/Forexplatten_2019_tu-du_NEU.pdf&cid=3498

4 HOCHWERTIGE BILDUNG



Kreuzt den/die passende/n Bereich/e der Nachhaltigkeit an:

- Ökonomie
- Ökologie
- Soziales

Hast du Zugang zu „hochwertiger“ Bildung?

Bildung ist ein elementares Menschenrecht und ein Schlüssel für eine zukunftsfähige Entwicklung, sowohl für den Einzelnen als auch für die Gesellschaft. Ohne Bildung haben es Menschen schwer, ihre politische, soziale und wirtschaftliche Situation zu verbessern. Es geht aber nicht nur um den Zugang an sich, sondern auch um die Qualität dieser Bildung. Bis 2030 soll deshalb für alle Menschen eine inklusive, chancengerechte und hochwertige Bildung sichergestellt sowie Möglichkeiten zum lebenslangen Lernen gefördert werden.

Quelle: 17ziele.de, Abgerufen am 05.01.2024 unter https://17ziele.de/downloads.html?file=files/17ziele/content/downloads/Forexplatten_2019_tu-du_NEU.pdf&cid=3498

Material MII15 - Nachhaltigkeitsziele 5 und 6 der UN

5 GESCHLECHTER- GLEICHHEIT



Kreuzt den/die passende/n Bereich/e der Nachhaltigkeit an:

- Ökonomie
- Ökologie
- Soziales

In Deutschland verdienen Frauen gleich viel wie Männer. Oder?

In Deutschland verdienen Frauen etwa 22 Prozent weniger als Männer. Internationale Studien und Schätzungen belegen: Frauen werden fast überall auf der Welt noch immer benachteiligt und ihrer Rechte, wie z.B. auf Selbstbestimmung, Erbschaften und Besitz beraubt. Mit Ziel 5 sollen Geschlechtergleichstellung, gesellschaftliche Teilhabe und Selbstbestimmung für alle Frauen und Mädchen erreicht werden.

Quelle: 17ziele.de, Abgerufen am 05.01.2024 unter https://17ziele.de/downloads.html?file=files/17ziele/content/downloads/Forexplatten_2019_tu-du_NEU.pdf&cid=3498

6 SAUBERES WASSER UND SANITÄR- EINRICHTUNGEN



Kreuzt den/die passende/n Bereich/e der Nachhaltigkeit an:

- Ökonomie
- Ökologie
- Soziales

Schätze mal: Wie viel Wasser brauchst du am Tag?

Wir verbrauchen etwa 30 Mal mehr Wasser als wir wahrnehmen. Wir benötigen es als Trinkwasser und für sanitäre Einrichtungen, aber auch in der Landwirtschaft, um Nahrungsmittel zu produzieren. In unseren Konsumgütern und Lebensmitteln stecken viele „unsichtbare“ Liter Wasser. Sauberes Wasser und Sanitärversorgung sollen für alle Menschen gewährleistet werden.

Quelle: 17ziele.de, Abgerufen am 05.01.2024 unter https://17ziele.de/downloads.html?file=files/17ziele/content/downloads/Forexplatten_2019_tu-du_NEU.pdf&cid=3498

Material MII15 - Nachhaltigkeitsziele 7 und 8 der UN

7 BEZAHLBARE UND SAUBERE ENERGIE



Kreuzt den/die passende/n Bereich/e der Nachhaltigkeit an:

- Ökonomie
- Ökologie
- Soziales

Woher kommt bei dir zu Hause die Energie für deinen Strom?

Knapp 80 Prozent der weltweit erzeugten Energie stammen aus fossilen Energieträgern. Durch die Verbrennung fossiler Energieträger entstehen Klimaschäden und Kosten für das Gesundheitssystem. Ziel 7 soll Zugang zu bezahlbarer und nachhaltiger Energie sowie Energieeffizienz für alle sicherstellen.

Quelle: 17ziele.de, Abgerufen am 05.01.2024 unter https://17ziele.de/downloads.html?file=files/17ziele/content/downloads/Forexplatten_2019_tu-du_NEU.pdf&cid=3498

8 MENSCHENWÜRDIGE ARBEIT UND WIRTSCHAFTSWACHSTUM



Kreuzt den/die passende/n Bereich/e der Nachhaltigkeit an:

- Ökonomie
- Ökologie
- Soziales

„Wirtschaft ist die Kunst, das Beste aus dem Leben zu machen.“

(George Bernhard Shaw, 1910)

Das Wirtschaftswachstum vergangener Jahrzehnte ist auf Kosten natürlicher Ressourcen und des Weltklimas erfolgt und längst an ökologische Grenzen gestoßen. Eine nachhaltige Wirtschaftsentwicklung bringt soziale, ökologische und wirtschaftliche Entwicklungsziele in Einklang und schafft menschenwürdige Arbeit für alle Menschen.

Quelle: 17ziele.de, Abgerufen am 05.01.2024 unter https://17ziele.de/downloads.html?file=files/17ziele/content/downloads/Forexplatten_2019_tu-du_NEU.pdf&cid=3498

Material MII15 - Nachhaltigkeitsziele 9 und 10 der UN

9 INDUSTRIE, INNOVATION UND INFRASTRUKTUR



Kreuzt den/die passende/n Bereich/e der Nachhaltigkeit an:

- Ökonomie
- Ökologie
- Soziales

Müssen wir in Zukunft immer alle zu Fuß gehen, um die Umwelt zu schützen?

Es gibt inzwischen viele umweltfreundliche Verkehrsmittel, deren Nutzung im Rahmen der Agenda 2030 ausgebaut werden soll. Insgesamt soll auf diese Weise Infrastruktur nachhaltig aufgebaut werden, denn eine nicht vorhandene oder marode Infrastruktur hemmt die Wirtschaftlichkeit und verstärkt so die Armut.

Quelle: 17ziele.de, Abgerufen am 05.01.2024 unter https://17ziele.de/downloads.html?file=files/17ziele/content/downloads/Forexplatten_2019_tu-du_NEU.pdf&cid=3498

10 WENIGER UNGLEICHHEITEN



Kreuzt den/die passende/n Bereich/e der Nachhaltigkeit an:

- Ökonomie
- Ökologie
- Soziales

„Wohlstand kann nur als ein Zustand gedacht werden, der Verpflichtung und Verantwortung gegenüber dem Wohl der anderen einschließt.“ *(Zia Sardar, 2008)*

Die wachsende soziale und wirtschaftliche Ungleichheit innerhalb von Staaten – aber auch zwischen Staaten – ist eine der großen Herausforderungen unserer Zeit. Die Förderung der Chancengleichheit trägt zu nachhaltigem Wirtschaftswachstum bei und stärkt den sozialen Zusammenhalt einer Gesellschaft.

Quelle: 17ziele.de, Abgerufen am 05.01.2024 unter https://17ziele.de/downloads.html?file=files/17ziele/content/downloads/Forexplatten_2019_tu-du_NEU.pdf&cid=3498

Material MII15 - Nachhaltigkeitsziele 11 und 12 der UN

11 NACHHALTIGE STÄDTE UND GEMEINDEN



Kreuzt den/die passende/n Bereich/e der Nachhaltigkeit an:

- Ökonomie
- Ökologie
- Soziales

Wohnst du in einer „Hauptstadt des Fairen Handels“?

Städte sind ein idealer Ansatzpunkt beim Kampf gegen den Klimawandel. Denn sie können in großem Maßstab beitragen, Ressourcen zu schonen und Nachhaltigkeit zu gestalten, etwa durch lokales Engagement für Fairen Handel, durch flächensparende Stadtstrukturen, emissionsarme und bezahlbare Verkehrssysteme sowie energieeffiziente Gebäude.

Quelle: 17ziele.de, Abgerufen am 05.01.2024 unter https://17ziele.de/downloads.html?file=files/17ziele/content/downloads/Forexplatten_2019_tu-du_NEU.pdf&cid=3498

12 NACHHALTIGE/R KONSUM UND PRODUKTION



Kreuzt den/die passende/n Bereich/e der Nachhaltigkeit an:

- Ökonomie
- Ökologie
- Soziales

Hast du schon mal von „Grüner Mode“ gehört? Schmeckt die „Faire Schokolade“ besser als die „Unfaire Schokolade“?

Der Wandel hin zu einer Wirtschafts- und Lebensweise, die die natürlichen Grenzen unseres Planeten respektiert, kann nur gelingen, wenn wir unsere Konsumgewohnheiten und Produktionstechniken umstellen und die Nahrungsmittelverluste halbieren. Dazu sind international gültige Regeln für Arbeits-, Gesundheits- und Umweltschutz wichtig; aber auch als Einzelpersonen können wir hier viel verändern.

Quelle: 17ziele.de, Abgerufen am 05.01.2024 unter https://17ziele.de/downloads.html?file=files/17ziele/content/downloads/Forexplatten_2019_tu-du_NEU.pdf&cid=3498

Material MII15 - Nachhaltigkeitsziele 13 und 14 der UN



Kreuzt den/die passende/n Bereich/e der Nachhaltigkeit an:

- Ökonomie
- Ökologie
- Soziales

Die Demokratische Republik Kongo verzeichnete 2015 den weltweit geringsten CO₂-Ausstoß pro Kopf: 0,06 t (D: 9,64 t).

Wassermangel, Dürre, Wirbelstürme und Überschwemmungen sind nur einige der vielen Folgen des globalen Klimawandels und Ursache für Migration. Doch der Klimawandel stoppt nicht an Ländergrenzen und seine Auswirkungen beschränken sich nicht auf einzelne Politikfelder, Wirtschaftszweige oder soziale Gruppen. Effektiver Klimaschutz setzt deshalb die Einhaltung von Verträgen, internationale Kooperation sowie lokales Engagement in unserem eigenen Innenhof voraus.

Quelle: 17ziele.de, Abgerufen am 05.01.2024 unter https://17ziele.de/downloads.html?file=files/17ziele/content/downloads/Forexplatten_2019_tu-du_NEU.pdf&cid=3498



Kreuzt den/die passende/n Bereich/e der Nachhaltigkeit an:

- Ökonomie
- Ökologie
- Soziales

... aber wer lebt schon unter Wasser?

Rund 30 Prozent der weltweiten Fischbestände sind überfischt (im europäischen Atlantik: 63 Prozent; im Mittelmeer: 82 Prozent) und vom Aussterben bedroht. Die globale Erderwärmung und die Versauerung der Meere bedrohen die Ozeane und somit die Grundlage allen Lebens auf der Erde. Der Schutz der Biodiversität in den Meeren, ihre nachhaltige Nutzung und die gerechte Aufteilung der Nutzungsgewinne aus Meeren und Ozeanen sind wesentliche Faktoren nachhaltiger Entwicklung.

Quelle: 17ziele.de, Abgerufen am 05.01.2024 unter https://17ziele.de/downloads.html?file=files/17ziele/content/downloads/Forexplatten_2019_tu-du_NEU.pdf&cid=3498

Material MII15 - Nachhaltigkeitsziele 15 und 16 der UN



Kreuzt den/die passende/n Bereich/e der Nachhaltigkeit an:

- Ökonomie
- Ökologie
- Soziales

In der ecuadorianischen Verfassung hat man der Natur Rechte zugesprochen, um sie vor Ausbeutung und Zerstörung zu schützen.

Der Verlust der biologischen Vielfalt nimmt zu, dabei ist sie Grundlage unseres Lebens – und diese wird gerade in rasantem Tempo zerstört. Landökosysteme sollen deshalb geschützt, die nachhaltige Bewirtschaftung von Wäldern unterstützt und die Wüstenbildung bekämpft werden, um die natürlichen Lebensräume zu erhalten.

Quelle: 17ziele.de, Abgerufen am 05.01.2024 unter https://17ziele.de/downloads.html?file=files/17ziele/content/downloads/Forexplatten_2019_tu-du_NEU.pdf&cid=3498



Kreuzt den/die passende/n Bereich/e der Nachhaltigkeit an:

- Ökonomie
- Ökologie
- Soziales

Frieden oder Gerechtigkeit – was ist für dich wichtiger?

Frieden, körperliche Unversehrtheit und Schutz durch ein stabiles Rechtssystem sind unabdingbare Voraussetzungen für nachhaltige Entwicklung und Wohlstand. Ziel ist die Verringerung aller Formen von Gewalt, Zugang zur Justiz für alle zu ermöglichen und leistungsfähige, rechenschaftspflichtige und transparente Institutionen auf allen Ebenen aufzubauen.

Quelle: 17ziele.de, Abgerufen am 05.01.2024 unter https://17ziele.de/downloads.html?file=files/17ziele/content/downloads/Forexplatten_2019_tu-du_NEU.pdf&cid=3498

Material MII15 - Nachhaltigkeitsziel 17 der UN



Kreuzt den/die passende/n Bereich/e der Nachhaltigkeit an:

- Ökonomie
- Ökologie
- Soziales

Ist Deutschland ein „Entwicklungsland“?

Die 17 Ziele können nur durch eine starke globale Partnerschaft erreicht werden. Regierungen, die Zivilgesellschaft und Unternehmen müssen gemeinsam an ihrer Umsetzung arbeiten. „Niemanden zurücklassen“, ist das Hauptprinzip der Agenda 2030. Die Erreichung der 17 Ziele ist die Aufgabe und Verantwortung ALLER Staaten der Erde.

Quelle: 17ziele.de, Abgerufen am 05.01.2024 unter https://17ziele.de/downloads.html?file=files/17ziele/content/downloads/Forexplatten_2019_tu-du_NEU.pdf&cid=3498

Literatur- und Quellenverzeichnis für Unterrichtsstunde II

- Blum, J., Fritz, M., Taigel, J., Singer-Brodowski, M., Schmitt, M., Mathias, W. (2011). *Transformatives Lernen durch Engagement. Ein Handbuch für Kooperationsprojekte zwischen Schulen und außerschulischen Akteur*innen im Kontext von Bildung für nachhaltige Entwicklung*. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.
- Feige, E.-M., Lembens, A. (2021). Unterstützungsmöglichkeiten beim Erklären und Argumentieren im Physikunterricht. *MNU-Journal*, 73(5), 370-376.
- Parlamentarischer Beirat des Deutschen Bundestages (o.D). *Was ist Nachhaltigkeit?*. Abgerufen am 04.01.2024 unter https://www.bundestag.de/ausschuesse/weitere_gremien/pbne/vorstellung/was-ist-nachhaltigkeit-890694
- Pixabay. Abgerufen am 05.01.2024 unter <https://pixabay.com/de/>
- Pufé, I. (2014). Was ist Nachhaltigkeit? Dimensionen und Chancen. Bundeszentrale für politische Bildung. *Aus Politik und Zeitgeschichte* 64 (31-32). S. 15-21.
- Rahmenlehrplan für die gymnasiale Oberstufe [RLPBerSIIB] (2021). *Teil B, Fächerübergreifende Kompetenzentwicklung*. Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie Berlin; Ministerium für Bildung, Jugend und Sport des Landes Brandenburg (Hrsg.).
- Rahmenlehrplan Physik [RLPPhyBerSI] (2015). *Teil C, Physik*. Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie Berlin; Ministerium für Bildung, Jugend und Sport des Landes Brandenburg (Hrsg.).
- Schecker, H., Höttecke, D. (2021). *Unterrichtskonzeptionen für die Förderung prozessbezogener Kompetenzen*. In: T. Wilhelm, H. Schecker, M. Hopf (Hrsg.), *Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht*. Springer-Verlag, Springer Nature.

- Sander, H. (2017). *Orientierungen von Jugendlichen beim Urteilen und Entscheiden in Kontexten nachhaltiger Entwicklung. Eine rekonstruktive Perspektive auf Bewertungskompetenz in der Didaktik der Naturwissenschaften*. Berlin: Logos.
- Sperlich S, Geyer, S. (2018). *Die Perspektive der Umwelt: Soziale Normen und Rollen*. In: Deinzer, R., von dem Knesebeck, O. (Hrsg.). *Online Lehrbuch der Medizinischen Psychologie und Medizinischen Soziologie*. Berlin: German Medical Science GMS Publishing House.
- Thome, H. (2019). *Werte und Wertebildung aus soziologischer Sicht*. In: Verwiebe, R. (Hrsg.), *Werte und Wertebildung aus interdisziplinärer Perspektive*. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- Vereinte Nationen [UN] (2020). 17 Ziele. UNRIC, Regionales Informationszentrum der Vereinten Nationen. SDG Grafiken auf Deutsch. Abgerufen am 06.01.2024 unter <https://unric.org/de/17ziele/>
- 17ziele.de (2019). *17 Ziele-Tafeln*. Abgerufen am 05.01.2024 unter https://17ziele.de/downloads.html?file=files/17ziele/content/downloads/For_explatten_2019_tu-du_NEU.pdf&cid=3498

8.1.3 Unterrichtsstunde III

Dauer	90 min
Inhalt	Klimawirkung von Flugzeugen und deren physikalische Grundlagen (Strahlungsgleichgewicht, natürlicher und anthropogener Treibhauseffekt), um so die gesammelten Sachwissen-Argumente aus der Argumente-Kommode zu überprüfen und ggf. zu ergänzen.
Phase im Agency-Modell	Evaluierung

Kompetenzziele:

Die SuS können...

- den Begriff *Strahlungsgleichgewicht* durch das *Erdkugel-Glühstrahler-Modell* (aus dem Klimakoffer der LMU) erklären und dadurch beschreiben, dass sich die Erde in einem Strahlungsgleichgewicht befindet.
- die mittlere Gleichgewichtstemperatur der Erde ohne Atmosphäre vereinfacht mit dem Stefan-Boltzmann-Gesetz berechnen.
- den natürlichen Treibhauseffekt in eigenen Worten erklären und ihn vom anthropologischen Treibhauseffekt unterscheiden.
- die CO_2 -Klimawirkung von Flugzeugen in eigenen Worten beschreiben und einen Zusammenhang zum anthropologischen Treibhauseffekt herstellen.
- die weiteren Klimaauswirkungen (Nicht- CO_2 -Effekte) von Flugzeugen in eigenen Worten beschreiben und sie von dem CO_2 -Effekten (anthropogener Treibhauseffekt) unterscheiden.

Bezug zum Rahmenlehrplan (RLPPhyBerSI, 2015):

Die SuS können ...

Fachwissen

- die Entwicklung von Systemen qualitativ und in Ansätzen quantitativ beschreiben und erklären (Niveaustufe H, Teilkompetenz *System*, S. 17).

Erkenntnisgewinnung

- Untersuchungsergebnisse (auch erwartungswidrige) interpretieren (Niveaustufen F/G, Teilkompetenz *Naturwissenschaftliche Untersuchungen durchführen*, S. 20).
- mit Modellen naturwissenschaftliche Zusammenhänge erklären (Niveaustufen E/F, Teilkompetenz *Mit Modellen umgehen*, S. 20).
- Modelle aufgrund neuer Erkenntnisse über bzw. fehlender Passung zum naturwissenschaftlichen Sachverhalt ändern (Niveaustufen E/F, Teilkompetenz *Mit Modellen umgehen*, S. 20).
- vorgegebene Verfahren der Mathematik beim Umgang mit Gleichungen, chemischen Formeln, Reaktionsgleichungen, Diagrammen und Tabellen anwenden (Niveaustufen F/G, Teilkompetenz *Elemente der Mathematik anwenden*, S. 21).

Kommunizieren

- themenbezogen zu einem naturwissenschaftlichen Sachverhalt in verschiedenen Quellen recherchieren (Niveaustufen E/F, Teilkompetenz *Informationen erschließen*, S. 22).
- aus Diagrammen Trends ableiten (Niveaustufe F, Teilkompetenz *Informationen erschließen*, S. 22).
- grafische Darstellungen erläutern (Niveaustufe G, Teilkompetenz *Informationen erschließen*, S. 22).
- Hypothesen fachgerecht und folgerichtig mit Daten, Fakten oder Analogien begründen bzw. widerlegen (Niveaustufen F/G, Teilkompetenz *Argumentieren*, S. 23).
- Widersprüche in einer Argumentation erläutern (Niveaustufe H, Teilkompetenz *Argumentieren*, S. 23).

Benötigte Materialien:

Benötigt wird eine Tafel, ein Smartboard oder ein Beamer, um so die Tafelbilder zu zeigen. Um Tafelbilder interaktiv und gemeinsam mit den SuS zu erzeugen, wird ein Smartboard empfohlen.

Zur Ergebnissicherung werden zudem Plakate in A3-Format ausgedruckt benötigt.

Zudem werden die Arbeitsblätter (**Materialien MIII3 – MIII6**) zur individuellen Ergebnissicherung für alle SuS aus dem *Anhang zur Unterrichtsstunde III* ausgedruckt benötigt.

Für die Erarbeitungsphase (Gruppenarbeit) nach dem SuS-Experiment werden Laptops oder Tablets für die SuS benötigt, zudem müssen die **Materialien MIII7 – MIII11 (ggf. MIII12)** für jede Gruppe ausgedruckt werden.

Es werden die Experimentiermaterialien der Experimente zu den Aktivitäten 2 (Teil 1) und 5 (Teil 1) aus dem Klimakoffer der LMU benötigt (siehe Scorza et al., 2022, S. 83f., 91f.).

Für die Gruppenerarbeitungsphase in der zweiten Hälfte der Stunde werden zudem Laptops oder Tablets benötigt.

Ablauf der Stunde:

Zu Beginn der Stunde erläutert die Lehrkraft, dass nun die Sachargumente aus der vorherigen Stunde überprüft werden und fordert die SuS auf ihr Vorwissen in Form eines Brainstormings zur Klimaauswirkung von Flugzeugen zusammenzutragen. Hierbei leitet die Lehrkraft die Leitfrage ab, welche Klimaauswirkungen Flugzeuge haben und welche Rolle das CO_2 dabei spielt.

Nun erläutert die Lehrkraft, dass für ein Verständnis der Klimaauswirkungen physikalischen Grundlagen notwendig sind. Die Lehrkraft erklärt anschließend den Aufbau des ersten Experiments (Experiment aus der Aktivität 2 des LMU-Klimakoffers, siehe Scorza et al., 2022, S. 83f.) und fragt die SuS, ob sich die blaue Kugel immer weiter erwärmen wird. Nachdem die SuS Vermutungen äußern, führt die Lehrkraft das Experiment durch und notiert die Messwerte an der Tafel (ggf. können SuS als Assistenten die Lehrkraft bei der Messwertaufnahme unterstützen). Die SuS notieren sich diese auf einem ausgeteilten Arbeitsblatt (**Material MIII3**) und zeichnen die Messdaten anschließend in ein Diagramm ein. Die Lehrkraft stellt fest, dass sich eine Gleichgewichtstemperatur einstellt und die Temperatur nicht (wie von den SuS vermutlich erwartet) weiter ansteigt. Aus diesem kognitiven Konflikt (Gegensatz von Beobachtung und Erwartung) motiviert die Lehrkraft die SuS, sich mit der Erklärung zu beschäftigen. Die Lehrkraft erarbeitet in einem Unterrichtsgespräch die einzelnen Schritte (1. Erwärmung der Kugel, 2. Abstrahlung der Kugel, 3. Einstellung des Strahlungsgleichgewichts) an einem Tafelbild (**Material MIII1**). Nun stellt die Lehrkraft das Modell vor, in dem der Glühstrahler die Energiequelle Sonne und die Kugel die Erde darstellt und fordert die SuS auf, das Ergebnis des Experiments mit diesem Modell auf die Erde zu übertragen. Nachdem einige SuS ihre Formulierungen vorgestellt haben, erläutert die Lehrkraft zur Sicherung die Ergebnisse: Nach dem Modell befindet sich die Erde in einem Strahlungsgleichgewicht. Anschließend teilt die Lehrkraft den SuS mit, dass man die Gleichgewichtstemperatur auch berechnen kann: Dazu wird das Stefan-Boltzmann Gesetz ($I = \sigma T^4$) vorgestellt und erläutert, dass die Erde einen Teil der eintreffenden Sonnenstrahlung ($I = 340 \frac{W}{m^2}$) entsprechend ihrer Albedo ($\alpha = 0,3$), z.B. durch die Eisflächen, ins Weltall reflektiert und nur ein Teil ($I = 238 \frac{W}{m^2}$) zur Erwärmung der Erde beiträgt. Nach dem die SuS die mittlere Temperatur auf der Erdoberfläche berechnet haben, werden die Ergebnisse an der Tafel gesichert (**Material MIII2**).

Die Lehrkraft teilt den SuS mit, dass die Durchschnittstemperatur auf der Erde ca. 15°C beträgt, motiviert durch das abweichende Ergebnis ($T \approx -18^{\circ}\text{C}$) eine Erweiterung des Modells und erarbeitet in einem Unterrichtsgespräch die Existenz einer Atmosphäre. Anschließend sollen die SuS ein Arbeitsblatt zum natürlichen Treibhauseffekt (**Material MIII4**) bearbeiten, woraufhin die Ergebnisse im Plenum verglichen werden. Es sollte festgestellt werden, dass der natürliche Treibhauseffekt Leben auf der Erde ermöglicht.

Nun erläutert die Lehrkraft, dass die SuS durch ein Experiment den Einfluss des zusätzlich entstehenden CO_2 auf die Atmosphäre untersuchen sollen. Hierzu teilt die Lehrkraft die SuS in Gruppen auf, verändert die Tischordnung und teilt die Experimentiermaterialien zum zweiten Experiment (Experiment aus der Aktivität 5 des LMU-Klimakoffers, siehe Scorza et al., 2022, S. 91f.) und das dazugehörige Arbeitsblatt (**Material MIII5**) aus, wobei die Glühstrahler vorher aufgeheizt werden sollten. Nach der Durchführung des Experiments werden die Ergebnisse im Plenum besprochen, die Lehrkraft führt den Begriff des anthropogenen Treibhauseffekts ein und erläutert kurz Folgen (Klimawandel: Anstieg des Meeresspiegels durch Schmelzen der Polkappen, Versauerung der Ozeane, etc.).

Nun erläutert die Lehrkraft, dass dies die physikalischen Grundlagen der Klimawirkung von Flugzeugen sind und fordert die SuS auf in den Gruppen Übersichtsplakate zu erstellen, wobei nur die Hälfte eines A3-Plakats verwendet werden soll. Anschließend teilt die Lehrkraft in den Gruppen Laptops/Tablets aus und teilt den SuS mit, dass sie sich die Klimaauswirkungen von Flugzeugen gemeinsam mithilfe eines Arbeitsblatts (**Material MIII6**), der Website klimaschutzportal.aero und Grafiken (**Materialien MIII7-MIII11**) erarbeiten sollen. Die wichtigsten Aspekte sollen anschließend auf der zweiten Hälfte des Plakats anschaulich dargestellt werden.

Nach einer Erarbeitungsphase präsentieren die Gruppen kurz ihre Ergebnisse und Plakate, woraufhin ein Plakat begründet ausgewählt und im Klassenraum aufgehängt wird.

Eine mögliche Verlaufsplanung der Unterrichtsstunde III ist in Tabelle UIII1 dargestellt.

Hinweise und Anmerkungen sowie Potential zur Differenzierung

Zur Vorbereitung der Stunde sind die Arbeitsblätter (**Materialien MIII3 - MIII6**) und die Materialien für die Gruppenarbeit (**Materialien MIII7 - MIII11, ggf. MIII12**) im Anhang der Unterrichtsstunde III für die SuS auszudrucken.

Sollte keine Doppelstunde möglich sein, empfiehlt es sich die Doppelstunde in zwei Einzelstunden zu teilen. Eine geeignete Teilung empfiehlt sich etwa nach der Phase *Sicherung IV* (nach 40 min), da hier die Besprechung des Experiments und die hieraus resultierende Behandlung des natürlichen Treibhauseffekts abgeschlossen ist.

Der Keramik-Infrarotstrahler für das SuS-Experiment sollte vor der Unterrichtsstunde vorgeheizt werden, da das Einstellen einer Gleichgewichtstemperatur sonst bis zu 25 Minuten dauern kann (Scorza et al., 2022, S. 92).

Sollte es nicht möglich sein den Klimakoffer zu erwerben, bietet es sich an die recht einfachen Versuchsaufbauten selber mit anderen Materialien nachzubauen oder alternativ auf Videos zu den Experimenten zurückzugreifen. Unter folgenden Videos werden die Versuche durchgeführt und anschließend ausgewertet. Es würde sich anbieten die Videos an entsprechenden Stellen zum Arbeitsblatt zu stoppen, die SuS ihre Vermutungen und Messdaten auf den Arbeitsblättern notieren zu lassen und dann die Videos weiterlaufen lassen.

- Mögliches Video zum Demonstrationsexperiment (Experiment zum Strahlungsgleichgewicht aus dem LMU-Klimakoffer, Aktivität 2, Teil 1):
<https://klimawandel-schule.de/de/experiment/aktivitaet-2-die-erde-wird-bestrahit> (Video *1. Teilversuch: Strahlungsgleichgewicht auf der Erde*)
- Video zum SuS-Experiment (Experiment zur Wirkung von Treibhausgasen aus dem LMU-Klimakoffer, Aktivität 5, Teil 1):
<https://klimawandel-schule.de/de/experiment/aktivitaet-5-die-wirkung-von-treibhausgasen> (Video *Die Wirkung von Treibhausgasen*)

Zum Experiment 2 haben Scorza & Strähle (2022) die im **Material MIII12** dargestellten Messwerte aufgenommen, die den SuS während des Videos oder im Fall des Misslingens des SuS-Experiments ausgeteilt werden könnte.

Zur Differenzierung wurden beim Arbeitsblatt 2 zum natürlichen Treibhauseffekt (**Material MIII4**) zwei Varianten konzipiert, eine enthält noch einen Hinweis zur Strahlungsbilanz auf der Erdoberfläche und in der Atmosphäre. Ebenso wurden beim Arbeitsblatt 3 (**Material MIII5**) zwei Differenzierungsvarianten konzipiert, eine enthält noch einen Strukturierungshinweis der Erklärung mit der Erklärkette.

Tabelle UIII1: Möglicher Verlaufsplan der Unterrichtsstunde III

Zeit (min)	Phase	Geplantes LK-Verhalten	Geplantes SuS-Verhalten	Sozialform	Medien/Materialien	Kommentare
3	Einstieg	Die LK begrüßt die SuS und fordert sie auf sich die gesammelten Sachargumente aus der Argumente-Kommode anzuschauen und fordert zu einem Brainstorming zu den Klimaauswirkungen von Flugzeugen auf. LK leitet die Leitfrage ab, welche Klimaauswirkungen Flugzeuge haben und welche Rolle dabei das CO_2 spielt.	Die SuS hören zu und nennen ihr Vorwissen zur Klimawirkung von Flugzeugen.	UG		
6	Experimentierphase I	Die LK erläutert, dass für ein Verständnis der Klimaauswirkungen physikalische Grundlagen notwendig sind und erklärt den Versuchsaufbau (Experiment zur Aktivität 2, Teil 1 aus dem LMU-Klimakoffer). Die LK sammelt Vermutungen, ob sich die Kugel immer weiter erwärmen wird und teilt das Arbeitsblatt zum Strahlungsgleichgewicht aus (Material MIII3). Die LK führt das Experiment mit einzelnen SuS als Assistenten durch und notiert die Messdaten an die Tafel. Die LK stellt mit den SuS fest, dass sich eine Gleichgewichtstemperatur einstellt.	Die SuS hören zu und äußern Vermutungen zum Experiment. Die SuS notieren die Messdaten auf dem Arbeitsblatt und stellen fest, dass sich eine Gleichgewichtstemperatur einstellt.	UG	Arbeitsblatt zum Strahlungsgleichgewicht (Material MIII3)	Experiment I: Einzelne SuS können während des Demonstrationsexperiments als Assistenten fungieren. Das Experiment kann auch von einzelnen SuS durchgeführt werden.
2	Sicherung I	Die LK erarbeitet mit den SuS die einzelnen Schritte an einem Tafelbild (Material MIII1).	Die SuS äußern Vermutungen zur Versuchserklärung.	UG	Smartboard/Tafelbild (Material MIII1)	
3	Erarbeitung I	Die LK stellt das Modell Glühstrahler-Erdkugel vor und fordert die SuS auf das Versuchsergebnis auf das Modell zu übertragen, zuerst auf ihrem Arbeitsblatt und anschließend im Plenum.	Die SuS übertragen das Versuchsergebnis auf das Modell. Einzelne SuS präsentieren ihre Ergebnisse.	UG	Arbeitsblatt zum Strahlungsgleichgewicht (Material MIII3)	
2	Sicherung II	Die LK sichert die Ergebnisse: Nach dem Modell befindet sich die Erde in einem Strahlungsgleichgewicht.	Die SuS korrigieren ggf. ihre Formulierungen auf dem Arbeitsblatt.	LV	Arbeitsblatt Strahlungsgleichgewicht (Material MIII3)	

4	Vertiefung I	Anschließend teilt die LK den SuS mit, dass man die Gleichgewichtstemperatur auch berechnen kann: Dazu wird das Stefan-Boltzmann Gesetz vorgestellt und erläutert, dass die Erde einen Teil der eintreffenden Sonnenstrahlung entsprechend ihrer Albedo ins Weltall reflektiert und nur ein Teil zur Erwärmung der Erde beiträgt. Die LK fordert die SuS auf, die mittlere Temperatur auf der Erdoberfläche mit der Annahme eines Strahlungsgleichgewichts mit ihrem Sitznachbarn zu berechnen.	Die SuS hören zu und berechnen die mittlere Temperatur auf der Erdoberfläche.	PA		
3	Sicherung III	Die LK erarbeitet mit den Ergebnissen der SuS das Vorgehen an der Tafel (Material MIII2).	Die SuS präsentieren ihre Ergebnisse.	UG	Smartboard/ Tafelbild (Material MIII2)	
2	Erarbeitung II	Die LK teilt den SuS mit, dass die Durchschnittstemperatur auf der Erde ca. 15°C beträgt, motiviert durch das abweichende Ergebnis ($T \approx -18^\circ\text{C}$) eine Erweiterung des Modells und erarbeitet mit den SuS die Existenz einer Atmosphäre.	Die SuS äußern Vermutungen zur Abweichung von Theorie/Experiment und nennen die Atmosphäre als Erklärung.	UG		Erzeugung eines kognitiven Konflikts.
10	Erarbeitung III	Die LK teilt das Arbeitsblatt zum natürlichen Treibhauseffekt (Material MIII4) aus und fordert die SuS auf, dieses mit ihrem Sitznachbarn zu bearbeiten.	Die SuS bearbeiten das Arbeitsblatt.	PA	Arbeitsblatt natürlicher Treibhauseffekt (Material MIII4)	
5	Sicherung IV	Die LK fordert einzelne SuS auf, ihre Ergebnisse zu präsentieren und bespricht ggf. auftretende Fragen.	Einzelne SuS präsentieren ihre Ergebnisse.	UG		Natürlicher Treibhauseffekt ist notwendig.
Mögliche Teilung der Doppelstunde in 2 Einzelstunden						
1	Gelenk I	Die LK erläutert, dass die SuS durch ein Experiment den Einfluss des zusätzlich entstehenden CO_2 in der Atmosphäre untersuchen werden und teilt die SuS in Gruppen auf, verändert die Tischordnung und teilt die Experimentiermaterialien zum zweiten Experiment und das dazugehörige Arbeitsblatt (Material MIII5) aus.	Die SuS setzen sich in Gruppen um.		Experimentiermaterialien/ Arbeitsblatt anthropogener Treibhauseffekt (Material MIII5)	

10	Experimentierphase II	Die LK fordert die SuS auf, sich die Anweisungsschritte auf dem Arbeitsblatt durchzulesen und anschließend das Experiment durchzuführen. Die LK hilft Gruppen, die Probleme beim Experimentieren haben.	Die SuS führen das Experiment durch und bearbeiten das Arbeitsblatt.	GA	Experimentiermaterialien/ Arbeitsblatt anthropogener Treibhauseffekt (Material MIII5)	Experiment II
1	Gelenk II	Die LK führt den Begriff des anthropogenen Treibhauseffekts ein und erläutert kurz Folgen des Klimawandels.	Die SuS hören zu.	LV		
6	Sicherung V	Die LK teilt Plakate aus und fordert die SuS auf, auf der ersten Hälfte der Plakate die physikalischen Grundlagen der Klimaauswirkungen der Luftfahrt (Treibhauseffekt, etc.) anschaulich darzustellen.	Die SuS stellen die physikalischen Grundlagen auf einem Plakat dar.	GA	Plakate in A3-Format	Plakathälfte I erstellen
1	Gelenk III	Die LK teilt den SuS mit, dass nun die physikalischen Grundlagen erworben wurden und sie nun die Klimaauswirkungen auf der Website <i>klimaschutzportal.aero</i> selbstständig erarbeiten sollen.	Die SuS hören zu.			
15	Erarbeitung IV	Die LK teilt Laptops/Tablets, das Arbeitsblatt zu den Klimaauswirkungen der Luftfahrt (Material MIII6) und weitere Materialien (Materialien MIII7-MIII11) aus und erklärt den zur Recherche begleitenden Arbeitsauftrag.	Die SuS recherchieren und erarbeiten sich mit dem Arbeitsblatt die Klimawirkung.	GA	Tablets/ Laptops/ Arbeitsblatt zur Klimawirkung der Luftfahrt (Material MIII6) + Materialien MIII7-MIII11	Recherche
6	Sicherung VI	Die LK fordert die SuS auf, auf der zweiten Hälfte der Plakate die Klimaauswirkungen der Luftfahrt anschaulich darzustellen.	Die SuS stellen die Klimaauswirkungen auf dem Plakat dar.	GA	(beschriebene) Plakate in A3-Format	Plakathälfte II erstellen
10	Sicherung VII / Abschluss	Die LK fordert die Gruppen auf, ihre Ergebnisse kurz im Plenum vorzustellen. Die LK fordert die SuS auf, eines der erstellten Plakate begründet auszuwählen und hängt es dann im Klassenraum auf.	Die SuS stellen ihre Ergebnisse vor. Die SuS wählen begründet ein Plakat aus.	UG		Vorstellen, Auswählen und Aufhängen eines Plakats

Didaktische Begründung:

In dieser Stunde sollen die Sachwissen-Argumente aus der Argumente-Kommode der letzten Stunde überprüft und ggf. erweitert werden. Für die Entscheidung, ob und wieviel man fliegt, müssen die SuS Fachwissen über die Klimawirkung von Flugreisen erwerben, da Fachwissen die Grundlage für Bewertungskompetenz ist (KMK, 2004c, S. 7).

Um die Klimawirkung von Flugreisen zu verstehen, ist ein Verständnis der physikalischen Grundlagen des anthropogenen Treibhauseffekts notwendig. Diese sind sehr komplex und müssen daher didaktisch reduziert ausgewählt und vermittelt werden. Dafür wurde der LMU-Klimakoffer zum Klimawandel verwendet, dieser enthält ein ausführliches Handbuch mit den physikalischen Grundlagen und zudem 12 Aktivitäten mit diversen SuS-Experimenten (Scorza et al., 2022), welche die physikalischen Grundlagen des Klimawandels didaktisch reduziert und phänomenbasiert vermitteln. Aus dem Handbuch des Klimakoffers wurden deshalb drei physikalische Grundlagen zum Klimawandel gewählt, die für das Verständnis der Klimawirkung des Luftverkehrs notwendig sind: Das Strahlungsgleichgewicht der Erde, der natürliche Treibhauseffekt und der anthropogene Treibhauseffekt. Aus diesem Grund wurde das Experiment zur Gleichgewichtstemperatur aus der Aktivität 2 (Teil 1) des LMU-Klimakoffers gewählt. Um anschließend in einem Unterrichtsgespräch die Existenz einer Atmosphäre zu begründen, soll dieses Experiment als Demonstrationsexperiment durchgeführt werden. Dieses Experiment eignet sich gut, um ein grundlegendes Verständnis für das dynamische Gleichgewicht beim Klimawandel aufzubauen (Manthey, 2023). Um die Wirkung von zusätzlichen Treibhausgasen in der Atmosphäre (z.B. durch die Emission von CO_2 aus Flugzeugtriebwerken) auf die Gleichgewichtstemperatur zu demonstrieren, wurde das Experiment zur Wirkung von Treibhausgasen auf die Erdtemperatur (Aktivität 5, Teil 1 des LMU-Klimakoffers) gewählt. Damit die SuS die Grundlagen phänomenbasiert erkunden können und die Experimente selbst als SuS-Experimente angedacht sind, wird das Experiment als SuS-Experiment in Gruppen (4 - 5 Personen) eingesetzt. Zur Ergebnissicherung, Erarbeitung und Versuchsdokumentation wurden drei Arbeitsblätter zu je einem der drei Grundlagen erstellt. Das Arbeitsblatt zum Strahlungsgleichgewicht (**Material MIII3**) und das Arbeitsblatt zum anthropogenen Treibhauseffekt (**Material MIII5**) (d.h. zu den jeweiligen Versuchen) wurde aus dem Klimakoffer und den entsprechenden online verfügbaren konzipierten

Arbeitsblättern (Scorza et al., 2022, Scorza & Strähle, 2022, 2023) adaptiert und an die Unterrichtsstunde angepasst. Das Arbeitsblatt zum natürlichen Treibhauseffekt (**Material MIII4**) wurde auf Basis von Scorza et al. (2022) und UBA (2021) erstellt. Sollte es nicht möglich sein den Klimakoffer zu erwerben, wurde zudem über verlinkte Videos und Ersatzmessdaten (**Material MIII12**) Möglichkeiten erläutert, die Unterrichtsstunde auch ohne echte Experimente mit den konzipierten Materialien durchzuführen.

Zur Differenzierung wurden beim Arbeitsblatt 2 zum natürlichen Treibhauseffekt (**Material MIII4**) zwei Varianten konzipiert, eine enthält noch einen Hinweis zur Strahlungsbilanz auf der Erdoberfläche und in der Atmosphäre. Ebenso wurden beim Arbeitsblatt 3 (**Material MIII5**) zwei Differenzierungsvarianten der Seite 2 konzipiert, eine enthält noch einen Strukturierungshinweis der Erklärung mit der Erklärkette nach Tschentscher & Berger (2016). Die Erklärkette eignet sich nämlich als Methodenwerkzeug, um sachgerechtes Erklären bei den SuS zu fördern (Schecker & Höttecke, 2021).

Eine gute Übersicht und für SuS geeignete wissenschaftspropädeutische Erklärung über die komplexe Klimawirkung des Luftverkehrs (siehe z.B. Bopst et al., 2019 a, b) findet sich auf der Website *klimaschutz-portal.aero*, weshalb sich die SuS in einer Gruppen kollaborativ die Klimawirkung studieren sollen. Hierzu wurde ein begleitendes Arbeitsblatt erstellt, bei denen die SuS zentrale Aussagen zur Klimawirkung des Luftverkehrs als richtig oder falsch begründet einordnen sollen. Auf dem Arbeitsblatt (**Material MIII6**) wurde dies in Form einer Teilargumentation realisiert, da sich dieses Methodenwerkzeug für strukturierte Argumentationsanlässe und zur Förderung der Argumentationskompetenz empirisch bewährt hat (Schecker & Höttecke, 2021, Kraus, 2008a).

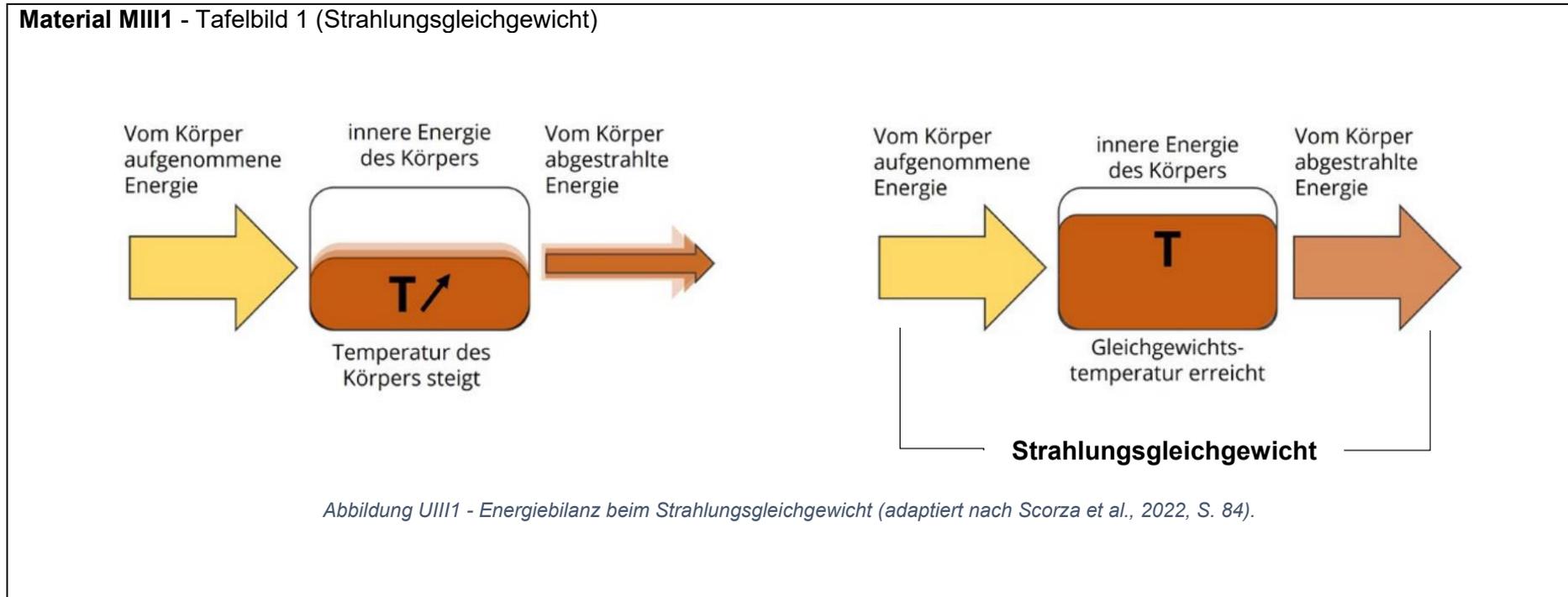
Neben der individuellen Ergebnissicherung über die Arbeitsblätter findet zudem durch das Anfertigen, die begründete Auswahl und das Aufhängen eines Plakats im Klassenraum die Visualisierung des kollaborativen Lernzuwachses statt.

Nach dem Agency-Modell sind für die Phase *Evaluieren* Fachwissen, prozessbegleitende Kompetenzen und Wertebildung notwendig. In dieser Stunde erwerben die SuS insbesondere Fachwissen über die Klimawirkung der Luftfahrt, um so eine fachliche Grundlage für die Entscheidung aufzubauen, ob und in welchem Ausmaß fliegen für sie in Ordnung ist und um in der Lage zu sein, Sachargumente auf fachliche Korrektheit zu prüfen.

Anhang zur Unterrichtsstunde III

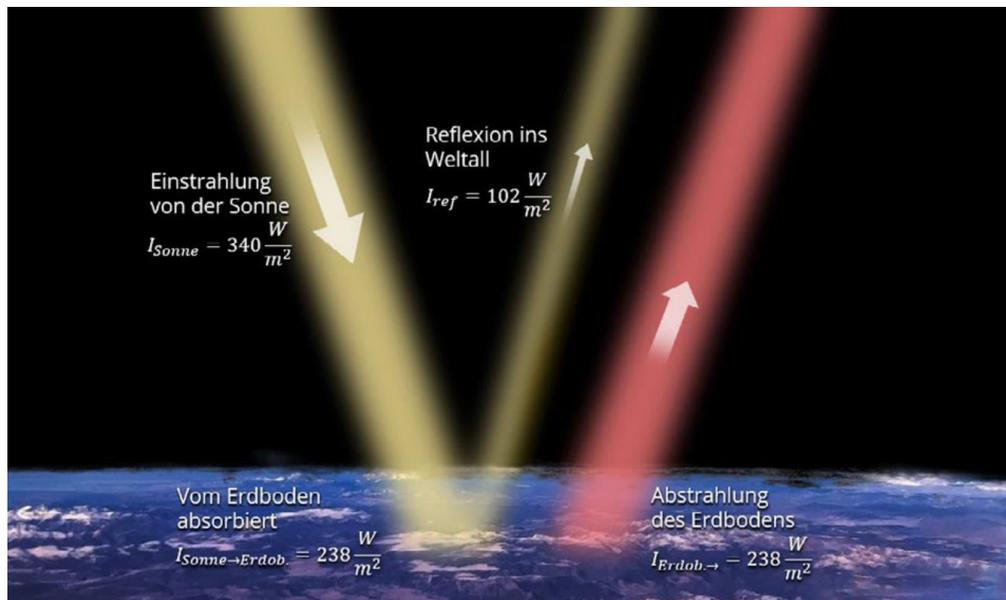
Tafelbilder

Tafelbild 1



Material IIII2 - Tafelbild 2 (Glühstrahler-Erdkugel-Modell)

Glühstrahler-Erdkugel-Modell



Stefan-Boltzmann-Gesetz:

$$I_{\text{Erdob.} \rightarrow} = \sigma T^4 \text{ mit } \sigma = 5,67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$$

Durch die Albedo $\alpha = 0,3$ gilt:

$$I_{\text{Sonne} \rightarrow \text{Erdob.}} = 340 * 0,7 \frac{W}{m^2} = 238 \frac{W}{m^2}$$

Strahlungsgleichgewicht:

$$I_{\text{Sonne} \rightarrow \text{Erdob.}} = I_{\text{Erdob.} \rightarrow}$$

$$238 \frac{W}{m^2} = \sigma T^4$$

Umstellen nach T ergibt:

$$T = \sqrt[4]{\frac{238 \frac{W}{m^2}}{5,67 * 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}}} \approx 255 K = -18^\circ C$$

Abbildung UIII2 - Tafelbild zum ersten Modell: Glühstrahler-Erdkugel ohne Atmosphäre
(Rechnung nach Scorza et al., 2022, Abbildung aus Scorza et al., 2022, S. 17, Credits: Strähle, Hohmann).

Arbeitsblätter

Arbeitsblatt 1 – Seite 1

Dieses Arbeitsblatt wurde aus dem LMU-Klimakoffer (Scorza et al., 2022, Scorza & Strähle, 2023) adaptiert und an die Unterrichtsstunde angepasst.

Material MIII3 - Arbeitsblatt zum Demonstrationsexperiment

Name : _____

Datum : _____

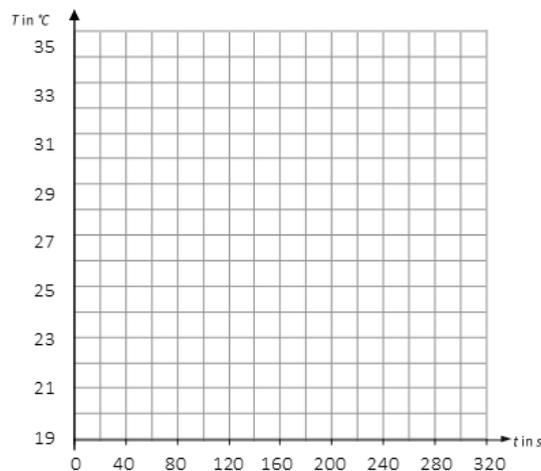
Physikalische Grundlagen der Klimaauswirkungen – Teil I (Strahlungsgleichgewicht)

Versuchsdurchführung: Der Glühstrahler wird eingeschaltet und erwärmt einen Ball. Die Temperatur im Inneren des Balls wird in Abhängigkeit der Zeit gemessen.

Aufgabe: Notiere die Messwerte von der Tafel in die Tabellen und zeichne sie anschließend in das darunter befindliche T-t-Diagramm.

t in s	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
T in °C										

t in s	200	220	240	260	280	300	320
T in °C							



Gleichgewichtstemperatur:

$T_{GG} =$

Versuchsergebnis:

1/2

Quelle: Adaptiertes Arbeitsblatt aus dem LMU-Klimakoffer (Scorza et al., 2022, Scorza & Strähle, 2023), Aktivität 2 (Teil 1).

Der Versuch kann auf ein Modell übertragen werden:

Der Ball steht in diesem Modell für die _____, der Glühstrahler für die _____.

Übertrage das Versuchsergebnis auf das Modell:

2/2

Quelle: Adaptiertes Arbeitsblatt aus dem LMU-Klimakoffer (Scorza et al., 2022, Scorza & Strähle, 2023), Aktivität 2 (Teil 1).

Material MIII4 - Arbeitsblatt zum natürlichen Treibhauseffekt

Name : _____

Datum : _____

**Physikalische Grundlagen der Klimaauswirkungen –
Teil II (Natürlicher Treibhauseffekt)**

Aufgabe 1) Lies dir den Text durch und erkläre anschließend deinem/deiner Sitznachbarn/Sitznachbarin den natürlichen Treibhauseffekt in 2-3 Sätzen.

Die Erde hätte ohne Atmosphäre eine Durchschnittstemperatur von $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, wodurch kein Leben möglich wäre. Die Erdatmosphäre absorbiert durch Treibhausgase wie z.B. CO_2 , Methan und Wasserdampf einen Teil der Wärmestrahlung des Erdbodens und erwärmt sich hierdurch. Die Moleküle der Treibhausgase werden nämlich durch die Wärmestrahlung in Schwingungen versetzt, wodurch diese Moleküle wiederum Wärmestrahlung in alle Richtungen emittieren. Ein Teil wird in das Weltall abgestrahlt, ein anderer Teil zum Erdboden. Hierdurch erwärmt sich die Erde zusätzlich, wodurch sie wiederum mehr Wärmestrahlung abgibt. Dieser, in Abbildung UIII3 dargestellte Effekt, wird natürlicher Treibhauseffekt genannt, da die Atmosphäre wie das Glas eines Treibhauses wirkt, welches die eintreffende Sonnenstrahlung „durchlässt“ und die Wärmestrahlung „festhält“. Durch den natürlichen Treibhauseffekt steigt die Durchschnittstemperatur der Erde um $33\text{ }^{\circ}\text{C}$, wodurch die Durchschnittstemperatur auf der Erde ca. $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ beträgt.

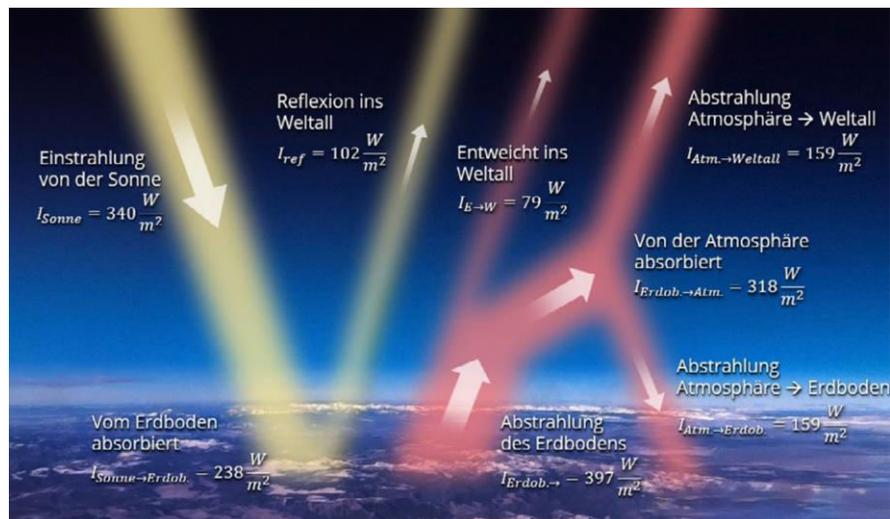


Abbildung UIII3 - Strahlungsmodell mit Atmosphäre (aus Scorza et al., 2022, S. 21).

Aufgabe 2) Erläutert mit Hilfe der Abbildung, warum die Erde in einem Strahlungsgleichgewicht ist, obwohl der Erdboden mehr Wärmestrahlung ($397 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$) aussendet als er von der Sonne erhält ($238 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$).

Material MIII4 - Arbeitsblatt zum natürlichen Treibhauseffekt

Name : _____

Datum : _____

**Physikalische Grundlagen der Klimaauswirkungen –
Teil II (Natürlicher Treibhauseffekt)**

Aufgabe 1) Lies dir den Text durch und erkläre anschließend deinem/deiner Sitznachbarn/Sitznachbarin den natürlichen Treibhauseffekt in 2-3 Sätzen.

Die Erde hätte ohne Atmosphäre eine Durchschnittstemperatur von $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, wodurch kein Leben möglich wäre. Die Erdatmosphäre absorbiert durch Treibhausgase wie z.B. CO_2 , Methan und Wasserdampf einen Teil der Wärmestrahlung des Erdbodens und erwärmt sich hierdurch. Die Moleküle der Treibhausgase werden nämlich durch die Wärmestrahlung in Schwingungen versetzt, wodurch diese Moleküle wiederum Wärmestrahlung in alle Richtungen emittieren. Ein Teil wird in das Weltall abgestrahlt, ein anderer Teil zum Erdboden. Hierdurch erwärmt sich die Erde zusätzlich, wodurch sie wiederum mehr Wärmestrahlung abgibt. Dieser, in Abbildung UIII3 dargestellte Effekt, wird natürlicher Treibhauseffekt genannt, da die Atmosphäre wie das Glas eines Treibhauses wirkt, welches die eintreffende Sonnenstrahlung „durchlässt“ und die Wärmestrahlung „festhält“. Durch den natürlichen Treibhauseffekt steigt die Durchschnittstemperatur der Erde um $33\text{ }^{\circ}\text{C}$, wodurch die Durchschnittstemperatur auf der Erde ca. $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ beträgt.

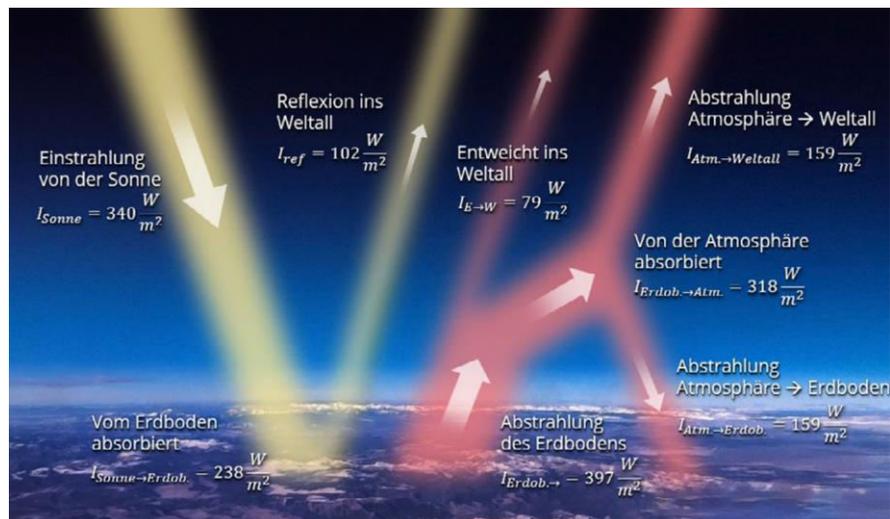


Abbildung III3 - Strahlungsmodell mit Atmosphäre (aus Scorza et al., 2022, S. 21).

Aufgabe 2) Erläutert mit Hilfe der Abbildung, warum die Erde in einem Strahlungsgleichgewicht ist, obwohl der Erdboden mehr Wärmestrahlung ($397 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$) aussendet als er von der Sonne erhält ($238 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$).

(Hinweis: Betrachtet die Strahlungsbilanzen auf der Erdoberfläche und in der Atmosphäre)

Dieses Arbeitsblatt wurde aus dem LMU-Klimakoffer (Scorza et al., 2022, Scorza & Strähle, 2022) adaptiert und an die Unterrichtsstunde angepasst.

Material MIII5 - Arbeitsblatt zum SuS-Experiment zum anthropogenen Treibhauseffekt

Name : _____

Datum : _____

**Physikalische Grundlagen der Klimaauswirkungen –
Teil III (Anthropogener Treibhauseffekt)**

In der Erdatmosphäre befinden sich Treibhausgase wie CO_2 , welche den für unser Leben notwendigen natürlichen Treibhauseffekt verursachen. In diesem Versuch (Klimakoffer, Aktivität 5) soll untersucht werden, welchen Einfluss das durch Menschen zusätzlich verursachte CO_2 auf die Durchschnittstemperatur der Erde hat.

Sicherheitshinweise:

Da der Keramik-Infrarotstrahler sehr heiß ist (Verbrennungsgefahr), darf der eingeschaltete Strahler nicht direkt berührt werden.

Da mit Chemikalien gearbeitet wird, ist eine Schutzbrille zu tragen.

Versuchsmaterialien:

Keramik-Infrarotstrahler im Schutzkorb, Pappröhre auf Holzhalterung, Stopfen, Frischhaltefolie und Gummis, Digitalthermometer, Erlenmeyerkolben mit Stopfen und Schlauch, Natron, Zitronensäure und Wasser.

Versuchsaufbau:

Geht zu den vorbereiteten Experimentierkästen (Achtung: Die Infrarot-Strahler sind bereits eingeschaltet). Verschließt die großen Öffnungen der Pappröhre mit Frischhaltefolie und Haushaltsgummis und befestigt die Pappröhre dann so mit Gummis auf der Holzhalterung, dass der Abstand zwischen Infrarotstrahler und Dose 8cm beträgt. Steckt das Thermometer in das kleine Loch in der Mitte (sodass die Spitze mittig in der Röhre ist) und verschließt die beiden anderen Löcher (CO_2 -Zufuhr und Luftauslass) mit je einem Stopfen.



Abbildung U114 -
Versuchsaufbau
(aus Scorza & Strähle, 2022, S. 91).

1/2

Quelle: Adaptiertes Arbeitsblatt aus dem LMU-Klimakoffer (Scorza et al., 2022, Scorza & Strähle, 2022), Aktivität 5 (Teil 1).

Versuchsdurchführung:

1. Beobachtet die Temperatur und notiert die sich einstellende Gleichgewichtstemperatur.
2. Mischt je zwei Teelöffel Natron und Zitronensäure im Erlenmeyerkolben.
3. Entfernt die beiden kleinen Stopfen aus der Dose, schiebt den Schlauch in eines der Löcher und befestigt dann am anderen Ende den großen Stopfen für den Erlenmeyerkolben.
4. Gebt jetzt ca. 30 ml Wasser zur Säure-Natron-Mischung hinzu und setzt den Stopfen mit Schlauch zügig auf den Erlenmeyerkolben auf.
5. Schwenkt den Erlenmeyerkolben leicht, sodass das CO_2 in die Dose geleitet wird.
6. Beobachtet die gemessene Temperatur in den nächsten Minuten und wartet, bis sich erneut eine Gleichgewichtstemperatur einstellt. Notiert deren Wert und vergleicht mit der vorigen Temperatur.

Versuchsauswertung:

$$T_{GG, \text{ ohne } CO_2} =$$

$$T_{GG, \text{ mit } CO_2} =$$

Ordnet die Teile des Experiments (links) den Entsprechungen in der Realität (rechts) zu.

Luft in der Dose

Zusätzliche Treibhausgase

Keramik-Infrarotstrahler

Atmosphäre der Erde mit normaler CO_2 Konzentration

Erlenmeyerkolben erzeugtes CO_2

Erdboden

Erklärt den Unterschied zwischen dem natürlichen und dem anthropogenen Treibhauseffekt.

2/2

Quelle: Adaptiertes Arbeitsblatt aus dem LMU-Klimakoffer (Scorza et al., 2022, Scorza & Strähle, 2022), Aktivität 5 (Teil 1).

Versuchsdurchführung:

1. Beobachtet die Temperatur und notiert die sich einstellende Gleichgewichtstemperatur.
2. Mischt je zwei Teelöffel Natron und Zitronensäure im Erlenmeyerkolben.
3. Entfernt die beiden kleinen Stopfen aus der Dose, schiebt den Schlauch in eines der Löcher und befestigt dann am anderen Ende den großen Stopfen für den Erlenmeyerkolben.
4. Gebt jetzt ca. 30 ml Wasser zur Säure-Natron-Mischung hinzu und setzt den Stopfen mit Schlauch zügig auf den Erlenmeyerkolben auf.
5. Schwenkt den Erlenmeyerkolben leicht, sodass das CO_2 in die Dose geleitet wird.
6. Beobachtet die gemessene Temperatur in den nächsten Minuten und wartet, bis sich erneut eine Gleichgewichtstemperatur einstellt. Notiert deren Wert und vergleicht mit der vorigen Temperatur.

Versuchsauswertung:

$$T_{GG, \text{ ohne } CO_2} =$$

$$T_{GG, \text{ mit } CO_2} =$$

Ordnet die Teile des Experiments (links) den Entsprechungen in der Realität (rechts) zu.

Luft in der Dose

Zusätzliche Treibhausgase

Keramik-Infrarotstrahler

Atmosphäre der Erde mit normaler CO_2 Konzentration

Erlenmeyerkolben erzeugtes CO_2

Erdboden

Erklärt den Unterschied zwischen dem natürlichen und dem anthropogenen Treibhauseffekt.
Hilfestellung: Für Erklärungen eignen sich häufig sogenannte Erklärketten. Die Grundstruktur einer Erklärung besteht demnach aus *Wenn..., dann..., weil...*

2/2

Quelle: Adaptiertes Arbeitsblatt aus dem LMU-Klimakoffer (Scorza et al., 2022, Scorza & Strähle, 2022), Aktivität 5 (Teil 1).

Material MIII6 - Arbeitsblatt zur Klimawirkung des Luftverkehrs

Name : _____

Datum : _____

Klimaauswirkungen des Luftverkehrs

Öffnet die Website <https://www.klimaschutz-portal.aero/> und lest euch den Artikel *Klimaauswirkungen der Luftfahrt* (<https://www.klimaschutz-portal.aero/klimakiller-nr-1/klimawirkung-des-luftverkehrs/>) gut durch. Macht euch dabei Notizen und besprecht in eurer Gruppe Unklarheiten.

Gebt anschließend an, ob die Aussage jeweils richtig oder falsch ist und begründet eure Entscheidung.

QR-Code zur Website:



1. Das bei der Verbrennung in den Triebwerken von Flugzeugen entstehende CO_2 wirkt als Treibhausgas.

Die Aussage ist...

	weil...
<input type="radio"/> richtig	_____

<input type="radio"/> falsch	_____

2. Das bei der Verbrennung in den Triebwerken von Flugzeugen entstehende CO_2 ist alleine für die Klimawirkung verantwortlich.

Die Aussage ist...

	weil...
<input type="radio"/> richtig	_____

<input type="radio"/> falsch	_____

3. Das Ausmaß der Klimawirkung von Flugzeugen ist bei jedem Flug gleich.

Die Aussage ist...

	weil...
<input type="radio"/> richtig	_____

<input type="radio"/> falsch	_____

4. Zur Angabe der Klimawirkung von kurzlebigen Emissionen (Nicht- CO_2 -Effekte) eignet sich die physikalische Größe Strahlungsantrieb.

Die Aussage ist...

	weil...
<input type="radio"/> richtig	_____

<input type="radio"/> falsch	_____

5. Stickoxide, die bei der Verbrennung von Kerosin entstehen, haben neben negativen Klimaauswirkungen auch positive Auswirkungen.

Die Aussage ist...

	weil...
<input type="radio"/> richtig	_____

<input type="radio"/> falsch	_____

6. Kondensstreifen entstehen in großen Flughöhen (ca. 10 km) innerhalb der Troposphäre.

Die Aussage ist...

	weil...
<input type="radio"/> richtig	_____

<input type="radio"/> falsch	_____

7. Kondensstreifen können zum anthropogenen Treibhauseffekt beitragen.

Die Aussage ist...

	weil...
<input type="radio"/> richtig	_____

<input type="radio"/> falsch	_____

8. Fliegen ist die klimaschädlichste Art sich fortzubewegen.

Die Aussage ist...

	weil...
<input type="radio"/> richtig	_____

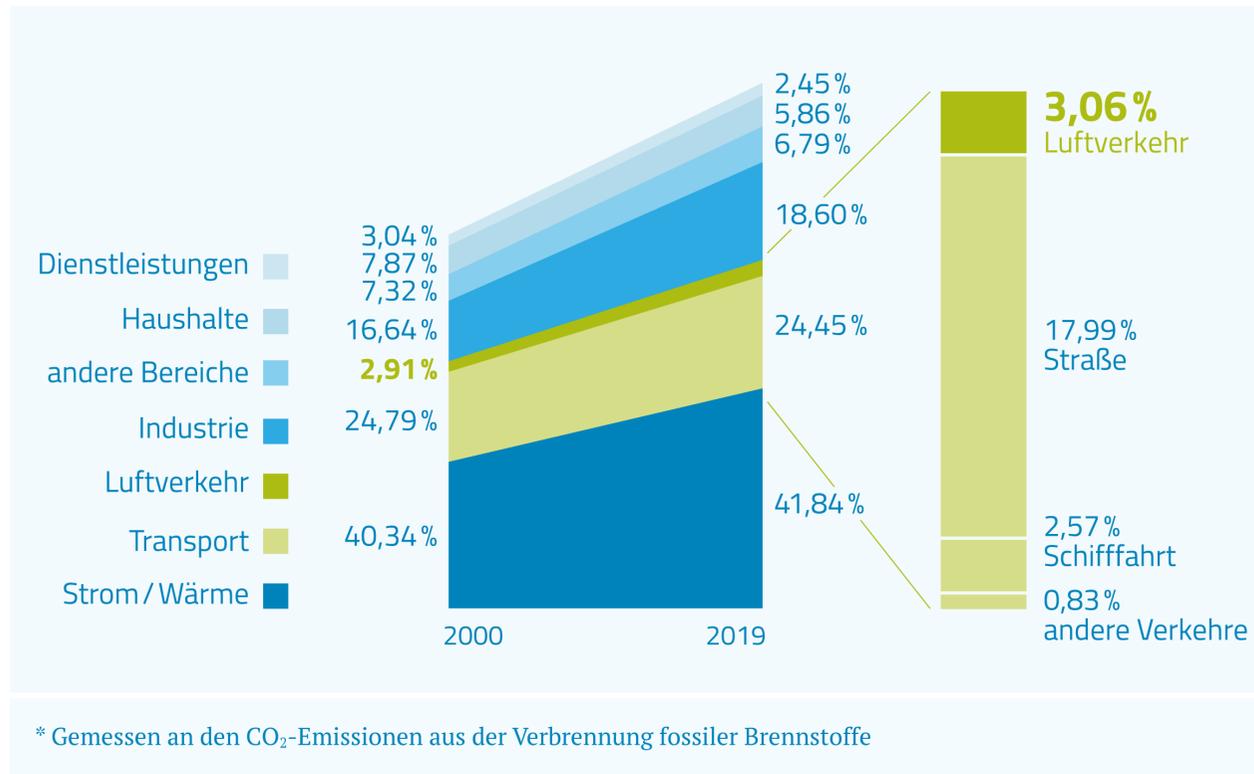
<input type="radio"/> falsch	_____

Materialien für die Gruppenarbeit

Grafik 1 auf der Website klimaschutz-portal.aero: Entwicklung der weltweiten CO₂-Emissionen

Material MIII7 - Entwicklung der weltweiten CO₂-Emissionen

ENTWICKLUNG DER WELTWEITEN CO₂-EMISSIONEN*



Quelle: Internationale Energieagentur (IEA) 2022, Daten für 2019

Klimaschutz-Portal.aero

Abbildung UIII5 - Entwicklung der weltweiten CO₂-Emissionen (Bildquelle: KP, o.D. a).

Material MIII8 - Luftverkehrsemissionen in der Übersicht

LUFTVERKEHRSEMISSIONEN IN DER ÜBERSICHT



Quelle: LTO-Angaben 2020 für nationale/internationale Flüge, Umweltbundesamt (UBA)

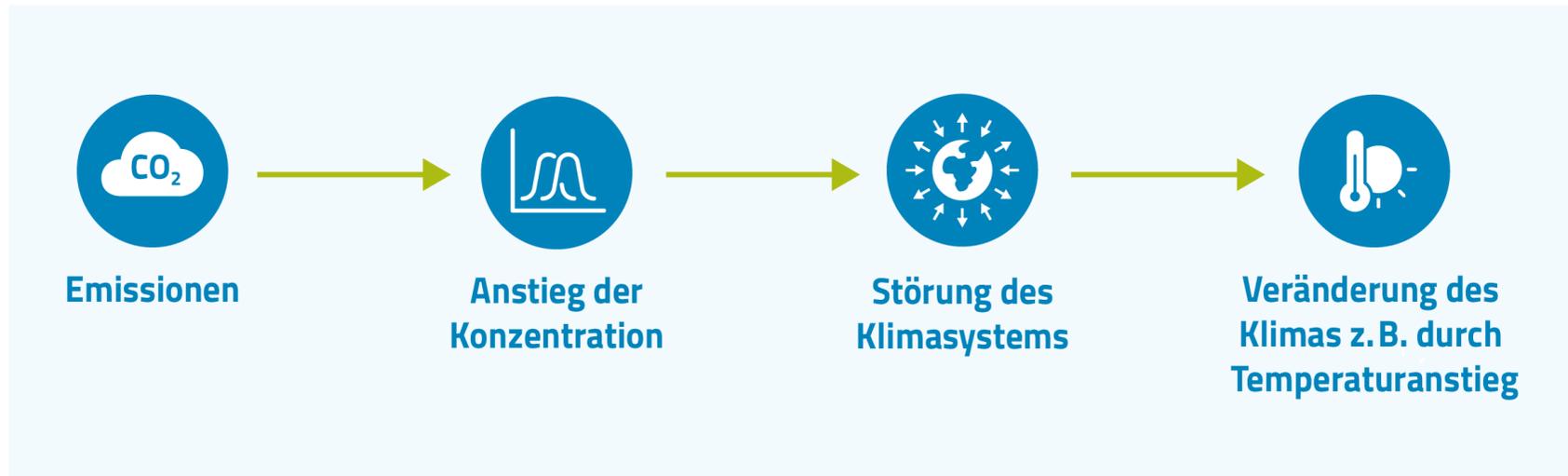
Klimaschutz-Portal.aero

Abbildung UIII6 -Luftverkehrsemissionen in der Übersicht (Bildquelle: KP, o.D. a)

Grafik 3 auf der Website klimaschutz-portal.aero: Wirkungskette der Luftverkehrsemissionen bis zur Klimawirkung

Material MIII9 - Wirkungskette der Luftverkehrsemissionen bis zur Klimawirkung

WIRKUNGSKETTE: VON DER EMISSION ZUR KLIMAWIRKUNG

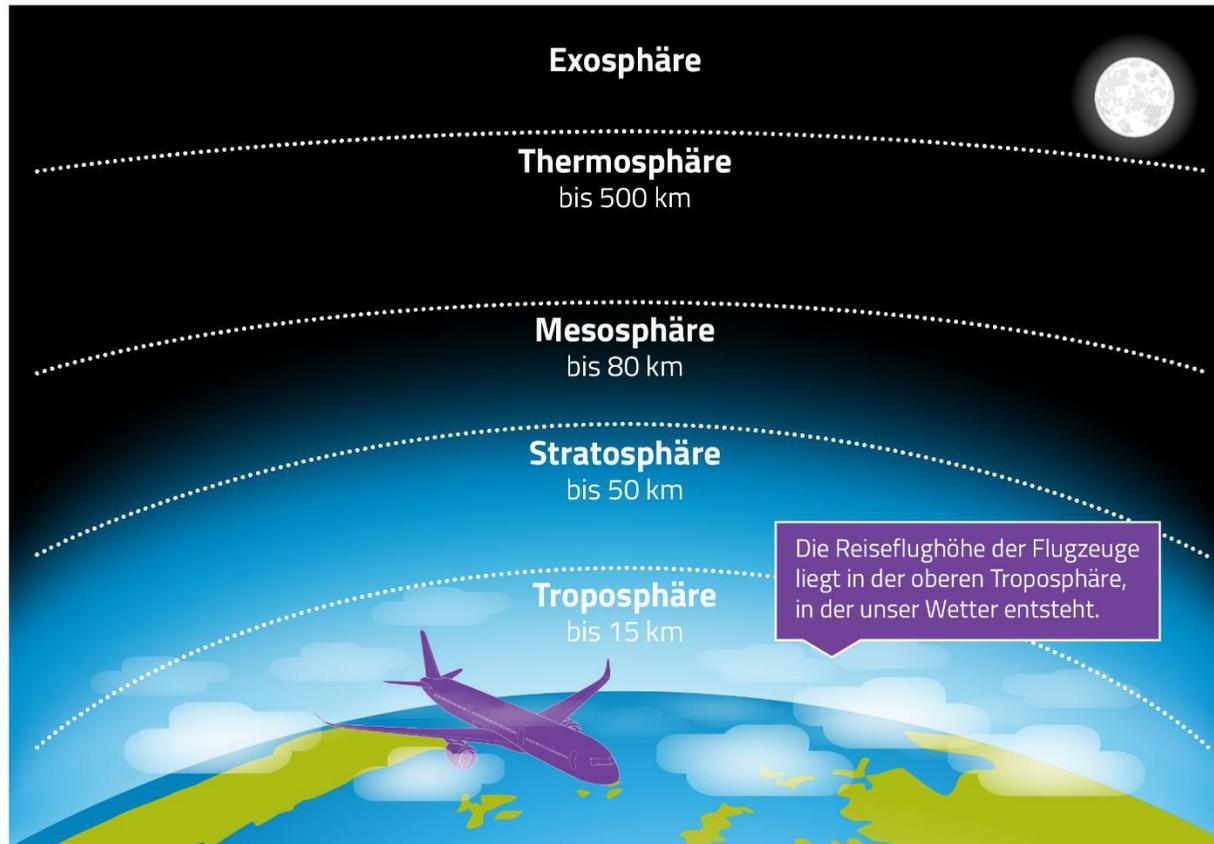


Klimaschutz-Portal.aero

Abbildung UIII7 - Wirkungskette der Luftverkehrsemissionen bis zur Klimawirkung (Bildquelle: KP, o.D. a)

Material MIII10 - Die Schichten der Erdatmosphäre

DIE SCHICHTEN DER ERDATMOSPHÄRE



Quelle: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

Klimaschutz-Portal.aero

Abbildung UIII8 - Die Schichten der Erdatmosphäre (Bildquelle: KP, o.D. b)

Grafik aus der Stiftung Warentest (Eigner, 2020)

Material MIII11 - Grafik aus der Stiftung Warentest

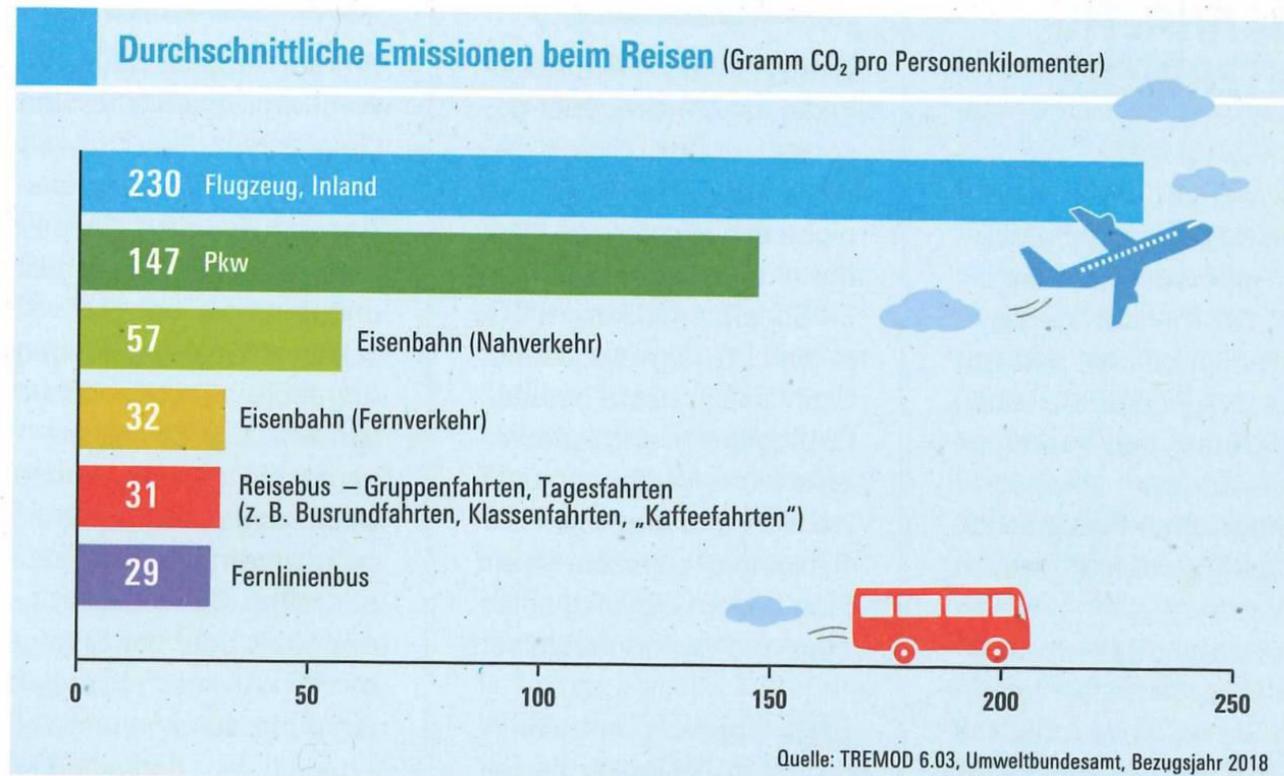


Abbildung UIII9 - Vergleich der durchschnittlichen CO₂-Emissionen verschiedenen Verkehrsmittel in Gramm pro Personenkilometer (Eigner, 2020, S. 193)

Ersatzmessdaten zum SuS-Experiment

Material MIII12 – Ersatzmessdaten zum SuS-Experiment

Exemplarischer Temperaturverlauf des Versuchs:

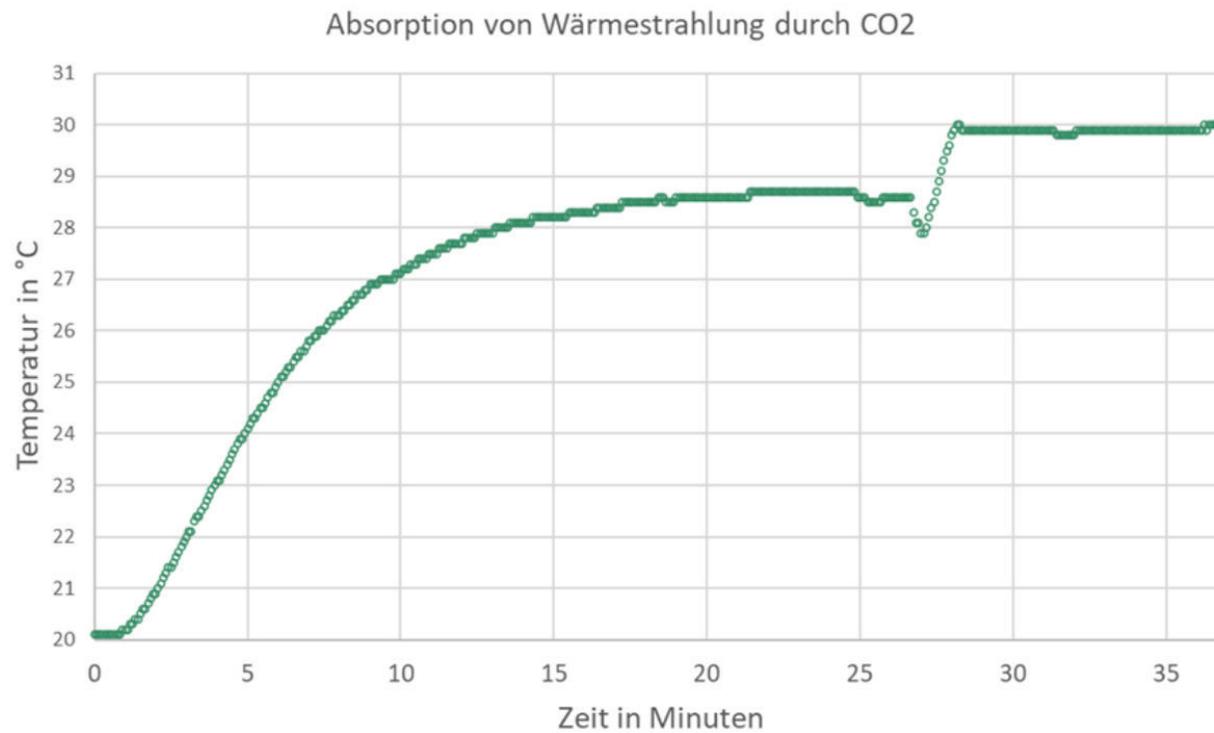


Abbildung ... - Exemplarischer Temperaturverlauf des SuS-Experiments (aus Scorza & Strähle, 2022).

Literatur- und Quellenverzeichnis für Unterrichtsstunde III

- Bopst, J., Herbener, R., Hözer-Schopohl, O., Lindmaier, J., Myck, T., Weiß, J. (2019a). *Umweltschonender Luftverkehr, lokal – national – international*. Umwelt Bundesamt. Text 130/2019. Dessau-Roßlau.
- Bopst, J., Herbener, R., Hözer-Schopohl, O., Lindmaier, J., Myck, T., Weiß, J. (2019b). *Wohin geht die Reise? Luftverkehr der Zukunft: umwelt- und klimaschonend, treibhausgasneutral, lärmarm*. Umwelt Bundesamt. Dessau-Roßlau.
- Eigner, C. (2020). *Grüner leben nebenbei. Was jeder für Klima und Umwelt tun kann*. Stiftung Warentest, Berlin.
- Klimaschutzportal [KP] (o.D. a). *Klimakiller Nr. 1?. Übersicht*. Klimaschutzportal der Luftfahrt. Abgerufen am 14.01.2024 unter <https://www.klimaschutz-portal.aero/klimakiller-nr-1/>
- Klimaschutzportal [KP] (o.D. b). *Klimakiller Nr. 1?. Klimawirkung des Luftverkehrs*. Klimaschutzportal der Luftfahrt. Abgerufen am 14.01.2024 unter <https://www.klimaschutz-portal.aero/klimakiller-nr-1/klimawirkung-des-luftverkehrs/>
- Kraus, M. E. (2008a). Argumentationsanlässe für den Mechanikunterricht. Kommunikation fördern durch Cartoons und Teilargumentationen. *Unterricht Physik*, 19(107), 4–7.
- Kraus, M. E. (2008b). Argumentationsanlässe im Unterricht. Hinweise und Anregungen zum Einsatz von Cartoons und Teilargumentationen. *Unterricht Physik*, 19(107), 8–10.
- Kraus, M. E. (2008c). Eine Kiste aus dem Hubschrauber abwerfen. *Unterricht Physik*, 19(107), 24–25.
- Kultusministerkonferenz [KMK] (2004c). *Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss*, Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 16.12.2004.

Rahmenlehrplan Physik [RLPPhyBerSI] (2015). *Teil C, Physik*.

Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie Berlin; Ministerium für Bildung, Jugend und Sport des Landes Brandenburg (Hrsg.).

Schecker, H., Höttecke, D. (2021). *Unterrichtskonzeptionen für die Förderung prozessbezogener Kompetenzen*. In: T. Wilhelm, H. Schecker, M. Hopf (Hrsg.), *Unterrichtskonzeptionen für den Physikunterricht*. Springer-Verlag, Springer Nature.

Scorza, C., Lesch, H., Strähle, M., Sörgel, D., 2022, *Der Klimawandel: Verstehen und handeln*, Handbuch. Fakultät für Physik der LMU München.

Scorza, C., Strähle, M. (2023). *Aktivität 2: Die Erde wird bestrahlt*. Materialien zur Aktivität. Kopiervorlage. Klimawandel verstehen und handeln. Abgerufen am 14.01.2024 unter

<https://klimawandel-schule.de/de/experiment/aktivitaet-2-die-erde-wird-bestraht>

Scorza, C., Strähle, M. (2022). *Aktivität 5: Die Wirkung von Treibhausgasen*.

Materialien zur Aktivität. Kopiervorlage. Klimawandel verstehen und handeln. Abgerufen am 14.01.2024 unter

<https://klimawandel-schule.de/de/experiment/aktivitaet-5-die-wirkung-von-treibhausgasen>

Tschentscher, C., Berger, R. (2016). Wie kann man gute Erklärungen mit Lernenden trainieren? Ein Blick auf das sachgerechte Erklären. *Unterricht Physik*, 27(152), 16–21.

Umweltbundesamt [UBA] (2021). *Wie funktioniert der Treibhauseffekt?*.

Abgerufen am 12.01.2024 unter

<https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/wie-funktioniert-der-treibhauseffekt>

8.1.4 Unterrichtsstunde IV

Dauer	90 min
Inhalt	Auseinandersetzung mit der Seriosität von Internetquellen und dem Umgang mit Desinformationen mit PLURV-Techniken, um so die gesammelten Interessen-Argumente aus der Argumente-Kommode zu überprüfen und ggf. zu ergänzen. Auseinandersetzung mit Handlungsoptionen bei unvermeidbaren Flügen, insbesondere mit der Möglichkeit der CO_2 -Kompensation.
Phase im Agency-Modell	Evaluierung

Kompetenzziele:

Die SuS können...

- eigenständig und zielgerichtet im Internet nach Informationen recherchieren und dabei die verwendeten Quellen mit (selbst festgelegten) Bewertungskriterien bewerten und hieraus Schlussfolgerungen zur Seriosität und Verlässlichkeit ziehen.
- PLURV-Techniken zur Untersuchung auf Desinformationen verwenden.
- die dem Fliegen zugrundeliegenden Interessen aus entsprechenden Argumenten herausarbeiten.
- Handlungsoptionen bei unvermeidbaren Flugreisen nennen und begründen.
- insbesondere die Funktionsweise, das Potential, die Kritik und die Qualitätsstandards von CO_2 -Kompensationen beschreiben.
- erläutern, weshalb Qualitätsstandards bei CO_2 -Kompensationen wichtig sind.

Bezug zum Rahmenlehrplan (RLPPhyBerSI, 2015):

Die SuS können ...

Kommunizieren

- Informationen aus einem Text aufgabengeleitet entnehmen und wiedergeben (Niveaustufe D, Teilkompetenz *Informationen erschließen*, S. 22).
- themenbezogen zu einem naturwissenschaftlichen Sachverhalt in verschiedenen Quellen recherchieren (Niveaustufen E/F, Teilkompetenz *Informationen erschließen*, S. 22).
- aus Diagrammen Trends ableiten (Niveaustufe F, Teilkompetenz *Informationen erschließen*, S. 22).
- die Seriosität und fachliche Relevanz von Informationen in verschiedenen Medien bewerten/hinterfragen (Niveaustufen G/H, Teilkompetenz *Informationen erschließen*, S. 22).

Bewerten

- alltagsbezogene Bewertungskriterien festlegen (Niveaustufe D, Teilkompetenz *Handlungsoptionen diskutieren und auswählen*, S. 24)
- vorgegebene Bewertungskriterien anwenden (Niveaustufe E, Teilkompetenz *Handlungsoptionen diskutieren und auswählen*, S. 24)
- Möglichkeiten und Folgen ihres Handelns beurteilen und Konsequenzen daraus ableiten (Niveaustufen G/H, Teilkompetenz *Handlungen reflektieren*, S. 24)

Benötigte Materialien:

Benötigt wird eine Tafel, ein Smartboard oder ein Beamer, um so die Tafelbilder zu zeigen. Um Tafelbilder interaktiv und gemeinsam mit den SuS zu erzeugen, wird ein Smartboard empfohlen. Zudem wird eine Flipchart benötigt.

Zur Ergebnissicherung werden zudem Plakate in A3-Format ausgedruckt benötigt.

Zudem werden die Arbeitsblätter (**Materialien MIV4, MIV5, MIV9, MIV15, MIV18, MIV21**) zur individuellen Ergebnissicherung für alle SuS aus dem *Anhang zur Unterrichtsstunde IV* ausgedruckt benötigt.

Für die Erarbeitungsphase (Gruppenarbeit) werden zur Recherche Laptops oder Tablets für die SuS benötigt, zudem können die **Materialien MIV6-MIV8** (sofern die Webseiten z.B. nicht mehr existieren oder bei technischen Problemen) ggf. für jede Gruppe ausgedruckt werden.

Auch für die Gruppe 4 (Atmosfair) in der zweiten Gruppenarbeitsphase werden Laptops oder Tablets benötigt, damit die SuS die Seite von *Atmosfair* (<https://www.atmosfair.de/de/>) analysieren können.

Ablauf der Stunde:

Zu Beginn der Stunde nimmt die Lehrkraft Bezug zur letzten Unterrichtsstunde und fragt die SuS wieso Menschen fliegen, obwohl bekannt ist, dass die Luftfahrt solch eine große Klimawirkung hat. Hierzu zeigt die Lehrkraft eine Statistik zur Flugpassagierentwicklung (**Material MIV1**). In einem kurzen Unterrichtsgespräch wird festgestellt, dass dies daran liegt, dass hierfür vor allem Interessen (z.B. persönliche, politische oder ökonomische) verantwortlich sind. Nachdem in den vorherigen Stunden die Werte und Normen- und Sachwissen-Argumente der Argumente Kommode analysiert wurden, soll in dieser Stunde die Auseinandersetzung mit den Interessen stattfinden, welche den (Pro-)Argumenten für das Fliegen, zugrunde liegen.

Die Lehrkraft wiederholt was Interessen sind und grenzt diese von Werten und Normen ab (siehe Tafelbild/Poster zu Werte und Normen, Unterrichtsstunde II).

Die Lehrkraft teilt den SuS mit, dass diese heute selbst online recherchieren sollen, um möglichst viele Argumente für das Fliegen zu ermitteln. Die Lehrkraft erarbeitet gemeinsam mit den SuS, dass Interessen sehr individuell und subjektiv sein können und es daher notwendig ist, den Inhalt entsprechender Internetquellen (Online-Artikel) kritisch zu hinterfragen und reflektiert zu bewerten.

Hierzu erarbeiten sich die SuS gemeinsam mit der Lehrkraft die Bewertungskriterien für Internetquellen (**Material MIV22**) in einem Unterrichtsgespräch durch Erstellung einer gemeinsamen Mind-Map. Die Lehrkraft strukturiert und ergänzt ggf. die von den SuS genannten Ideen an einer Flipchart (**Material MIV2**) und hängt diese anschließend im Klassenraum auf. Anschließend kann auch auf das Problem von und den Umgang mit Desinformationen im Internet eingegangen werden (Material MIV23).

Die Lehrkraft erläutert den Arbeitsauftrag: Die SuS sollen in Gruppen gemeinsam Pro-Argumente zum Fliegen recherchieren und die ihnen zugrundeliegenden Interessen herausarbeiten. Hierbei sollen auch die verwendeten Internetquellen notiert und (entsprechend der erarbeiteten Bewertungskriterien) bewertet werden.

Nun teilt die Lehrkraft die SuS in vier Gruppen ein, verändert die Tisch- und Sitzordnung und teilt Laptops/Tablets und das begleitende Arbeitsblatt zu den Interessen-Argumenten (**Material MIV4**) aus. Falls keine Laptops/Tablets zur Verfügung stehen sollten, kann die Lehrkraft auch drei ausgewählte Artikel

(Materialien MIV6-MIV8) austeilen. Die Lehrkraft teilt nach ca. 15 Minuten ein Poster in A3-Format aus und fordert die SuS auf, ein Poster zu den Argumenten und entsprechenden Interessen zu erstellen.

Die Gruppen präsentieren ihre Ergebnisse kurz im Plenum, woraufhin ein Poster begründet ausgewählt und im Klassenraum aufgehängt wird.

Die Lehrkraft fasst die Ergebnisse zusammen und stellt beispielsweise fest, dass Contra-Argumente oftmals auf Sachwissen (Klimawirkung) beruhen und Pro-Argumente oft interessengetrieben sind.

Die Lehrkraft nimmt Bezug zur Flugpassagierstatistik **(Material MIV1)** und zeigt, dass sich viele Menschen trotz der Sachargumente (Klimawirkung) interessengetrieben für das Fliegen entscheiden. Hierbei fragt sie die SuS ob und welche Handlungsmöglichkeiten des nachhaltigen Reisens es bei unvermeidbaren Flügen gibt. Die Lehrkraft notiert die gesammelten Ideen der SuS am Smartboard und erläutert, dass das folgende Video entsprechende Möglichkeiten aufzeigt. Die Lehrkraft teilt ein Arbeitsblatt zu diesen Möglichkeiten aus **(Material MIV5)** und fordert die SuS auf, dieses während des Anschauens des Videos zu bearbeiten. Nach Aufforderung durch die Lehrkraft tragen einzelne SuS die im Video genannten und weitere Möglichkeiten begründet zusammen. Die Lehrkraft stellt fest, dass eine wichtige und umstrittene Möglichkeit (die CO₂-Kompensation) im Video nicht genannt wurde und motiviert hierdurch die Auseinandersetzung mit dieser.

Die Lehrkraft erläutert, dass sich die Gruppen nun jeweils mit einem Aspekt der CO₂-Kompensation auseinandersetzen werden und teilt den Gruppen die entsprechenden Materialien **(Materialien MIV9-MIV21)** aus. Die Lehrkraft teilt nach ca. 15 Minuten ein Poster in A3-Format aus und fordert die SuS auf, ein Plakat zu ihrem Aspekt für einen Galeriergang zu erstellen. Nach der Gruppenarbeitsphase werden die erstellten Poster auf den Tischen platziert. Jeweils eine Person bleibt für eine Kurz-Präsentation bei dem Poster (diese Person sollte innerhalb der Gruppe durchwechseln), während sich die anderen Gruppenteilnehmer die Poster der anderen Gruppen anschauen und präsentieren lassen (Galeriergang).

Die Poster werden anschließend im Klassenraum aufgehängt.

Hinweise und Anmerkungen sowie Potential zur Differenzierung

Zur Vorbereitung der Stunde sind die Arbeitsblätter (**Materialien MIV4 und MIV5**) und die Materialien für die Gruppenarbeiten (**Materialien MIV9-MIV21, ggf. MIV6-MIV8**) im Anhang der Unterrichtsstunde IV für die SuS auszudrucken. Zudem sind Poster (4 Stück, sodass jede Gruppe ein Plakat hat) in DIN A3-Format mitzubringen.

Das Erklärvideo des Umweltbundesamts (UBA, 2022) ist abrufbar unter

<https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/mobilitaet/flugreisen#wie-sie-flugreisen-vermeiden-können>

Sollte keine Doppelstunde möglich sein, empfiehlt es sich die Doppelstunde in zwei Einzelstunden zu teilen. Eine geeignete Teilung empfiehlt sich etwa nach der Phase *Sicherung II* (nach 45 min), da hier die Interessen hinter den Argumenten für das Fliegen sowie die Handlungsmöglichkeiten für unvermeidbare Flugreisen erarbeitet und die Ergebnisse gesichert wurden. In der zweiten Unterrichtshälfte findet die Auseinandersetzung mit CO_2 -Kompensationen statt.

Zur Differenzierung wurden beim Arbeitsblatt für die Interessenargumente (**Material MIV4**) zwei Varianten erstellt, eine enthält in der Bewertungsspalte eine Strukturierungshilfe entsprechend der Bewertungskriterien (**Material MIV22**).

Bei der Behandlung der Seriosität von Internetquellen kann auch auf das Problem von Desinformationen im Internet eingegangen werden. So könnten sich SuS in die Rolle von Wissenschaftsleugnenden hineinversetzen und gezielt unter Verwendung von PLURV-Techniken (**P**seudo-Experten, **L**ogische Trugschlüsse, **U**nerfüllbare Erwartungen, **R**osinenpicken, **V**erschwörungsmymen) (Material MIV23) desinformative Internetbeiträge oder Graphiken erstellen, die anschließend von anderen SuS analysiert werden soll. Eine Übersicht zu den theoretischen Hintergründen zu den Möglichkeiten des Umgangs mit Desinformationen (Inokulation und Debunking) sind z.B. in Bernsteiner et al. (2024) nachlesbar.

Tabelle UIV1: Möglicher Verlaufsplan der Unterrichtsstunde IV

Zeit (min)	Phase	Geplantes LK-Verhalten	Geplantes SuS-Verhalten	Sozialform	Medien/Materialien	Kommentare
3	Einstieg	Die LK begrüßt die SuS, nimmt Bezug zur Argumente-Kommode und zeigt eine Statistik zur Flugpassagierentwicklung (Material MIV1). Die LK fordert die SuS auf diese Statistik zu beschreiben und fragt sie wieso Menschen fliegen, obwohl bekannt ist, dass die Luftfahrt solch eine große Klimawirkung hat. Die LK stellt gemeinsam mit den SuS fest, dass vor allem Interessen für das Fliegen verantwortlich sind und motiviert die SuS hierdurch sich damit auseinanderzusetzen.	Die SuS hören zu und beschreiben die Statistik.	UG	Smartboard/ Statistik zur Flugpassagierentwicklung (Material MIV1)	
3	Wiederholung	Die LK wiederholt was Interessen sind und grenzt diese von Werten und Normen ab (Poster aus Stunde II). Die LK fordert die SuS auf, Beispiele für Interessen zu nennen.	Die SuS hören zu und nennen Interessen.	UG	Poster zu Werten und Normen aus Stunde II	
5	Erarbeitung I	Die LK teilt den SuS mit, dass diese heute selbst online recherchieren sollen, um möglichst viele Argumente für das Fliegen zu ermitteln. Die LK erarbeitet gemeinsam mit den SuS, dass Interessen sehr individuell und subjektiv sein können und es daher notwendig ist, den Inhalt entsprechender Internetquellen (Online-Artikel) kritisch zu hinterfragen und reflektiert zu bewerten. Die LK erarbeitet gemeinsam mit den SuS die Bewertungskriterien für Internetquellen an einem Flipchart (Material MIV2)	Die SuS hören zu und nennen Bewertungskriterien für Internetquellen.	UG	Flipchart/ Mögliches „Tafelbild“ (Material MIV2)	Hier kann auch auf Desinformation im Internet eingegangen werden (Material MIV23), siehe Hinweise zur Stunde.
2	Gelenk I	Die LK erläutert den Arbeitsauftrag und teilt die SuS in vier Gruppen ein, verändert die Tisch- und Sitzordnung und teilt Laptops/Tablets und das Arbeitsblatt zu Interessen-Argumenten (Material MIV4) aus.			Laptops/ Tablets/ Arbeitsblatt zu Interessen-Argumenten (Material MIV4)	Ggf. kann die LK auch drei ausgewählte Artikel (Materialien MIV6-MIV8) austeilen.

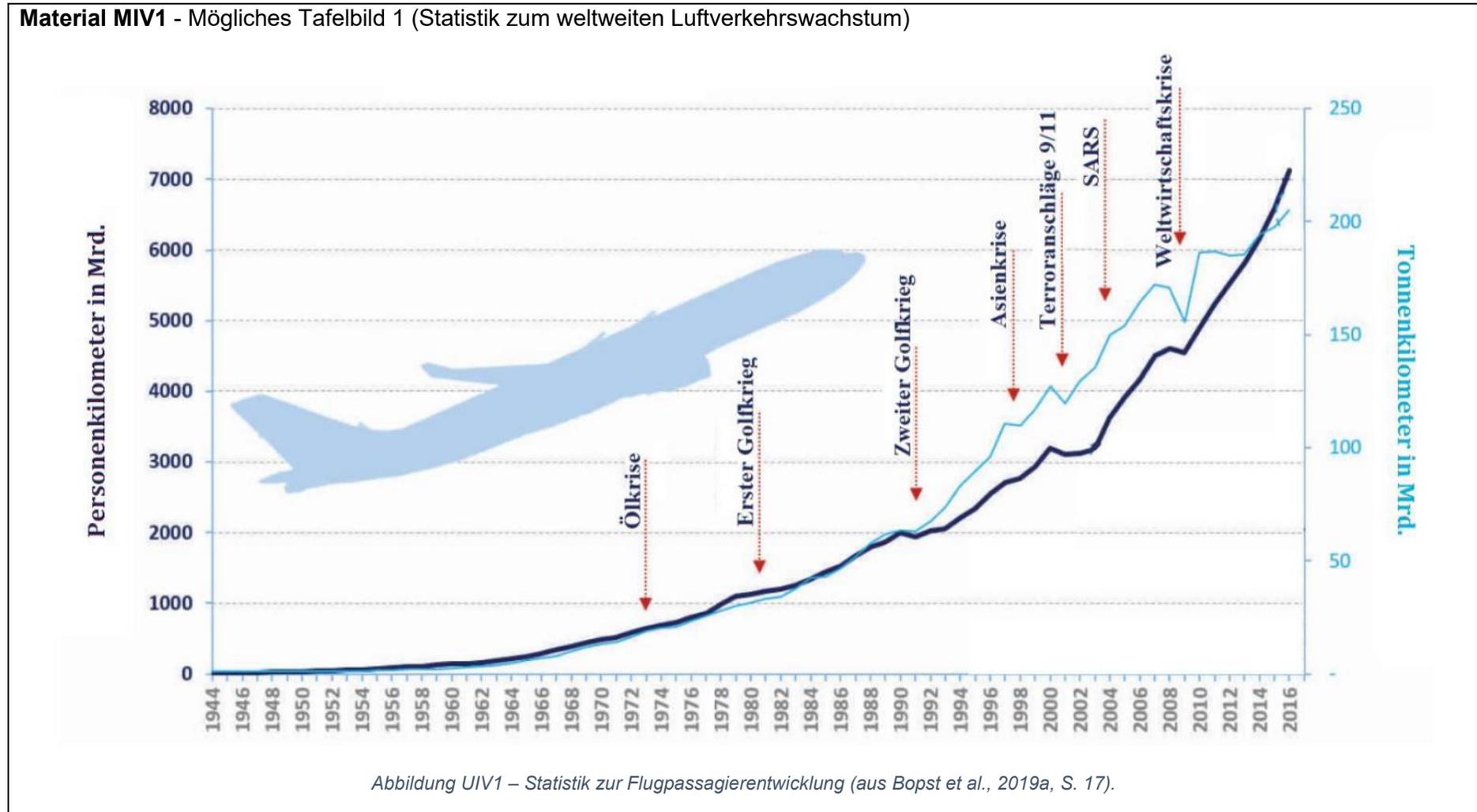
14	Erarbeitung II	Die LK hilft einzelnen Gruppen bei Bedarf.	Die SuS recherchieren kollaborativ und bearbeiten das Arbeitsblatt.	GA	Laptops/ Tablets/ Arbeitsblatt zu Interessen-Argumenten (Material MIV4)	
8	Sicherung I	Die LK teilt den Gruppen ein Poster in A3-Format aus und fordert sie auf, ein Poster zu den Argumenten und entsprechenden Interessen zu erstellen.	Die SuS erstellen kollaborativ ein Poster zu den Argumenten und entsprechenden Interessen.	GA	A3-Poster	
10	Sicherung II	Die LK fordert die SuS auf ihre Ergebnisse kurz zu präsentieren und diskutiert die Ergebnisse mit den SuS. Die LK fasst die Ergebnisse zusammen und stellt beispielsweise fest, dass Contra-Argumente oftmals auf Sachwissen (Klimawirkung) beruhen und Pro-Argumente oft interessengeleitet sind. Die LK fordert die SuS auf ein Plakat begründet auszuwählen. Die LK hängt das gewählte Plakat im Klassenraum auf.	Die Gruppen präsentieren ihre Ergebnisse kurz im Plenum. Die SuS wählen ein Poster begründet aus.	UG	A3-Poster	
Mögliche Teilung der Doppelstunde in 2 Einzelstunden						
3	Gelenk II	Die LK nimmt Bezug zur Flugpassagierstatistik und zeigt, dass sich viele Menschen trotz der Sachargumente (Klimawirkung) interessengeleitet für das Fliegen entscheiden. Die LK fragt die SuS ob und welche Möglichkeiten des nachhaltigen Reisens es bei unvermeidbaren Flügen gibt. Die LK notiert die gesammelten Ideen der SuS am Smartboard und erläutert, dass das folgende Erklärvideo des Umweltbundesamts zu Flugreisen entsprechende Möglichkeiten aufzeigt.	Die SuS hören zu und nennen Möglichkeiten des nachhaltigen Reisens bei unvermeidbaren Flügen basierend auf ihrem Vorwissen.	UG	Smartboard	Das Konzept der Nachhaltigkeit kann zur Aktivierung des Vorwissens kurz wiederholt werden, z.B. an dem dazu aufgehängten Poster.
5	Erarbeitung III	Die LK erläutert den Arbeitsauftrag, teilt das Arbeitsblatt zu Handlungsmöglichkeiten bei unvermeidbaren Flugreisen (Material MIV5) aus und startet anschließend das Erklärvideo des UBA.	Die SuS bearbeiten das Arbeitsblatt, während und nach dem Video.	EA	Smartboard/ Arbeitsblatt zu Handlungsmöglichkeiten (Material MIV5)	

3	Sicherung III	Die LK fordert die SuS auf die im Video genannten und weitere Handlungsmöglichkeiten zu nennen und zu begründen. Die LK sichert einzelne Ergebnisse am Smartboard.	Einzelne SuS nennen Handlungsmöglichkeiten und begründen diese.	UG	Smartboard	
2	Gelenk III	Die LK stellt fest, dass eine wichtige und umstrittene Möglichkeit (die CO ₂ -Kompensation) im Video nicht genannt wurde und motiviert hierdurch die Auseinandersetzung mit dieser. Die LK erfragt bei den SuS Vorwissen zu CO ₂ -Kompensation in Form eines kurzen Brainstormings und notiert dieses am Smartboard.	Die SuS hören zu und nennen ihr Vorwissen zu CO ₂ -Kompensation.	UG	Smartboard	
14	Erarbeitung VI	Die LK erläutert, dass sich die Gruppen nun jeweils mit einem Aspekt der CO ₂ -Kompensation auseinandersetzen werden und teilt den Gruppen die entsprechenden Arbeitsblätter und Materialien (Materialien MIV9 - MIV21) aus. Die LK hilft einzelnen Gruppen bei Bedarf.	Die SuS bearbeiten die Gruppenmaterialien kollaborativ.	GA	Laptops/Tablets/Arbeitsblätter und Gruppenmaterialien (Materialien MIV9 - MIV21)	Der Gruppe 4 (Atmosfair) müssen Laptops/Tablets ausgeteilt werden.
8	Sicherung IV	Die LK teilt den Gruppen ein A3-Poster aus und fordert die SuS auf, ein Poster zu ihrem Aspekt für einen Galerierundgang zu erstellen.	Die SuS erstellen ein Poster in A3-Format.	GA	A3-Poster	
10	Sicherung V	Die LK fordert die Gruppen auf, ihr Poster auf dem Gruppentisch zentral zu platzieren und erläutert den Ablauf des Galerierundgangs: Jeweils eine Person bleibt für eine Kurz-Präsentation bei dem Poster (diese Person sollte innerhalb der Gruppe durchwechseln), während sich die anderen Gruppenmitglieder die Poster der anderen Gruppen anschauen und präsentieren lassen. Die LK fordert die SuS auf, den Galerierundgang durchzuführen. Die LK klärt abschließend offene Fragen und hängt die Poster im Klassenraum auf.	Die SuS platzieren ihr Poster auf dem Gruppentisch und führen den Galerierundgang durch. Einzelne SuS bleiben an ihrem Gruppentisch und präsentieren den vorbeikommenden SuS kurz ihre Ergebnisse.	GRG	A3-Poster	Galerierundgang (GRG)

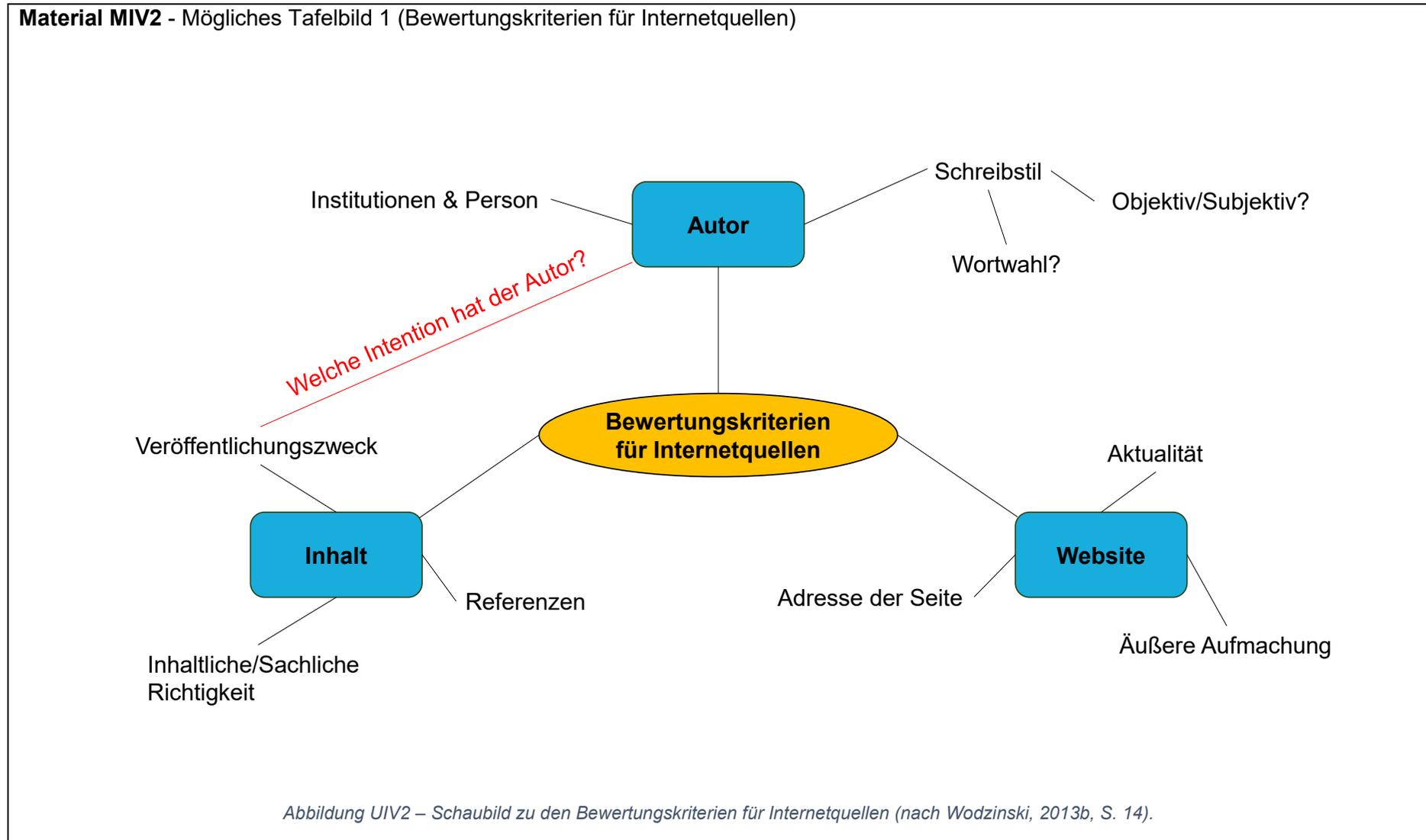
Anhang zur Unterrichtsstunde IV

Tafelbilder

Tafelbild 1: Statistik zum weltweiten Luftverkehrswachstum.



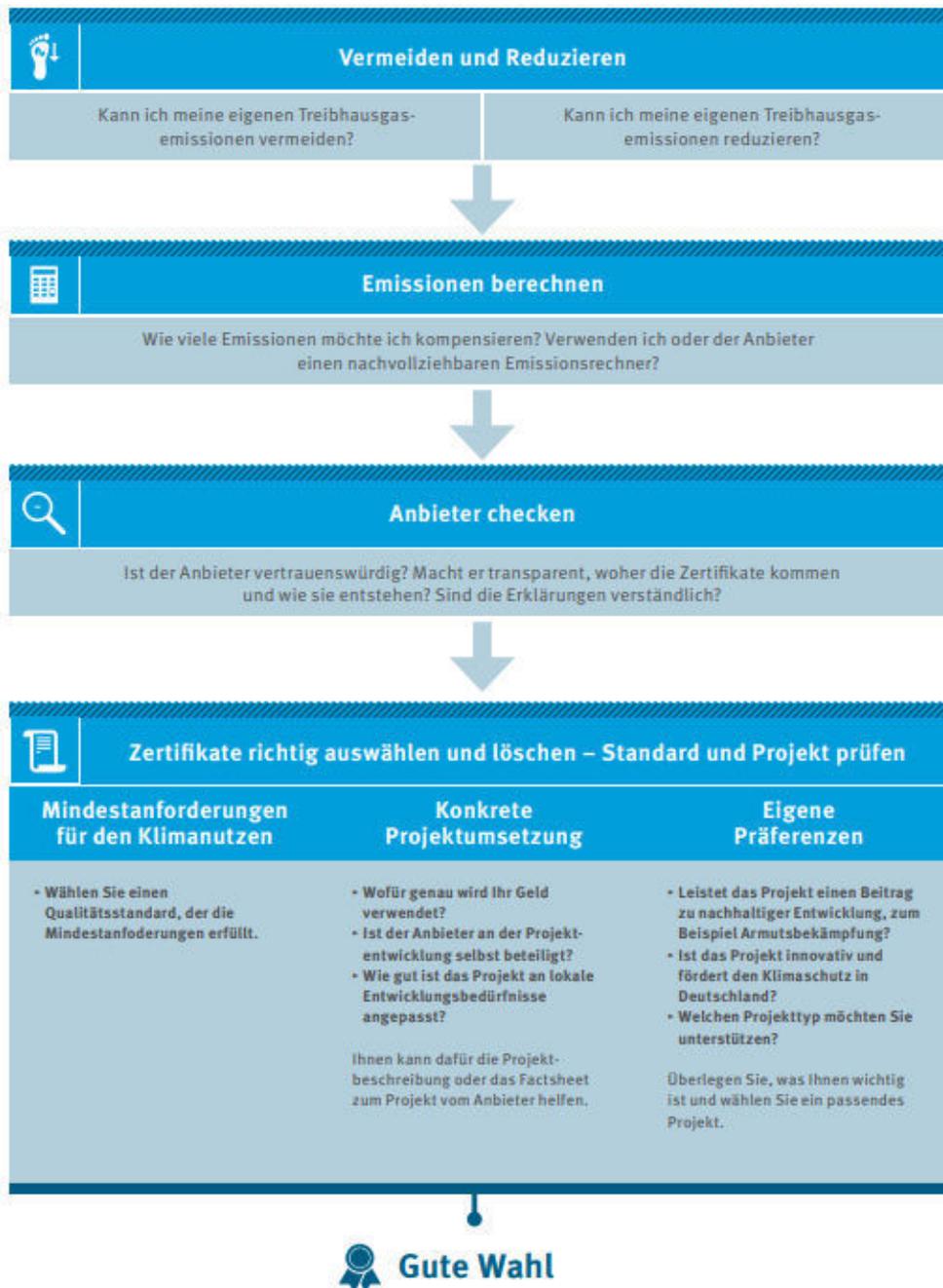
Tafelbild 2: Bewertungskriterien für Internetquellen.



Tafelbild 3: Zusammenfassung zur CO₂-Kompensation

Material MIV3 - Mögliches Tafelbild 3 (Zusammenfassung zur CO₂-Kompensation)

Zusammenfassung: Wie treffe ich eine gute Wahl?



Quelle: Auszug aus UBA (2018). *Freiwillige CO₂-Kompensationen durch Klimaschutzprojekte*. Ratgeber. S. 41.

Arbeitsblätter in der ersten Unterrichtshälfte

Arbeitsblatt 1: Arbeitsblatt zu den Interessen-Argumenten für das Fliegen – Variante 1.

Material MIV4 - Arbeitsblatt zu den Interessen-Argumenten für das Fliegen

Name : _____

Datum : _____

Interessen-Argumente für das Fliegen

Recherchiert im Internet Argumente, die für das Fliegen sprechen und nennt das/die zugrundeliegende/n Interesse/n. Notiert diese in die Tabelle.

Gebt zudem die Quelle an und bewertet diese mit den aufgestellten Bewertungskriterien.

<i>Argument</i>	<i>Interesse/n</i>	<i>Bewertung der Quelle</i>

Material MIV4 - Arbeitsblatt zu den Interessen-Argumenten für das Fliegen

Name : _____

Datum : _____

Interessen-Argumente für das Fliegen

Recherchiert im Internet Argumente, die für das Fliegen sprechen und nennt das/die zugrundeliegende/n Interesse/n. Notiert diese in die Tabelle.

Gebt zudem die Quelle an und bewertet diese mit den aufgestellten Bewertungskriterien.

<i>Argument</i>	<i>Interesse/n</i>	<i>Bewertung der Quelle</i>
		Website: Autor: Inhalt:

Arbeitsblatt 2: Arbeitsblatt zu den Handlungsmöglichkeiten bei Flugreisen.

Material MIV5 - Arbeitsblatt zu den Handlungsmöglichkeiten bei Flugreisen

Name : _____

Datum : _____

Handlungsmöglichkeiten bei (unvermeidbaren) Flugreisen

Nennt die im Video genannten Handlungsmöglichkeiten bei Flugreisen, um möglichst umweltbewusst zu reisen. Begründet anschließend, warum diese Maßnahme umweltbewusstes Reisen fördern kann.

Ergänzt und begründet weitere Handlungsmöglichkeiten.

<i>Handlungsmöglichkeit</i>	<i>Begründung für die Handlungsmöglichkeit</i>

Material MIV6 - Artikel 1: Pro-Argumente zum Fliegen (Artikel von *Der Spiegel*)

Lest euch den, auf der Online Präsenz der Zeitschrift *Der Spiegel* (Bereich: Spiegel Wirtschaft) veröffentlichten Artikel von Stefan Schultz durch.

Klimaschutz

Warum wir uns fürs Fliegen nicht schämen müssen

Von *Stefan Schultz*

Zurück in die Zukunft: So wollen - salopp gesagt - Union, Grüne und Linke das Klima retten. Eine ziemlich kurzsichtige Strategie.

29.07.2019, 17.48 Uhr

In der deutschen Politik scheint gerade ein neuer Wettstreit in Mode zu kommen: Grüne, Linke, sogar die CSU überbieten sich mit Vorschlägen, um das Fliegen unattraktiver zu machen. Grünen-Fraktionsvize Oliver Krischer würde gern sämtliche Subventionen für den Luftverkehr streichen. CSU-Chef Markus Söder fordert eine geringere Mehrwertsteuer auf Bahntickets. Linkenchef Bernd Riexinger wünscht sich gar die Verstaatlichung aller Fluggesellschaften. "Bahn vor Flieger" lautet die strategische Stoßrichtung der meisten Vorschläge - was gut zur wachsenden Flugscham passt, die Teile des Landes zu erfassen scheint. Zu den "Fridays for Future"-Demonstranten, die Fluggästen an deutschen Airports ein schlechtes Gewissen machen wollen. Zu den massiv steigenden Spenden, die bei CO2-Kompensationsagenturen wie Atmosfair eingehen. Zur Airline KLM, die ihren Kunden im Rahmen einer PR-Aktion teils selbst vom Fliegen abrät. "Attacke, Attacke - Fliegen ist Kacke", skandieren "Fridays for Future"-Aktivisten gern mal. Viele Politiker antworten darauf nun offenbar mit: "Zurück in die Zukunft". Mit ziemlich rückwärtsgewandten Ideen.

Der Vorschlag, mehr Bahn zu fahren und weniger zu fliegen, mag bei nicht allzu großen Distanzen ein Lösungsweg sein. In der Gesamtschau aber wird das längst nicht reichen. Das Versprechen, man könne das Fliegen komplett durch Züge ersetzen, ist ungefähr so glaubwürdig wie die Anregung, man möge das eigene Auto stehen lassen und wieder Postkutsche fahren. Realistisch scheint das nicht. Dafür hat der internationale Luftverkehr zu viele wirtschaftliche und gesellschaftliche Vorteile. Das Fliegen hat unser Grundverständnis von Distanzen verändert, unseren Radius bei der Job- und Partnerwahl massiv erweitert. Es ermöglicht einen umfassenderen gesellschaftlichen Wissenstransfer. Und es kann uns in der urdemokratischen Fähigkeit schulen, mit Unterschieden respektvoll umzugehen - zum Beispiel wenn wir uns bei Fernreisen für andere gesellschaftliche Konzepte öffnen. Wer das Fliegen bekämpft, bekämpft auch all diese Errungenschaften. Und noch viele weitere, die sich Verbraucher und Unternehmen nur ungern wieder wegnehmen lassen dürften.

Auch motivationspsychologisch erscheint die Verteufelung der Luftfahrt wenig geschickt. Kein Mensch lässt sich gern beschämen – schon gar nicht, wenn er nach monatelangem Job- und Alltagsstress endlich in den verdienten Sommerurlaub abreisen will. Wer Urlaubern an Airport-Terminals Beschimpfungen hinterherbrüllt, kann ihnen schon mal die Lust am Klimaschutz vergällen.

Es gibt zielführendere Wege, Menschen dazu zu bringen, ihr eigenes Verhalten zu hinterfragen und persönliche Konsequenzen zu ziehen. Man kann ihnen zum Beispiel aufzeigen, welche Vorteile ein Wandel zu einer CO_2 -freieren Wirtschaft hätte. Dafür braucht man aber zunächst einmal eine überzeugende Strategie, wie man diesen Zustand zu erreichen gedenkt.

In einer weitsichtigen Klimapolitik können Bahnreisen statt Inlandsflügen nur ein Baustein unter vielen sein, eine Sofortmaßnahme für die kommenden Jahre. Auch dass ein Teil der Verbraucher inzwischen auf Flugreisen verzichtet, ist zwar begrüßenswert, aber noch nicht ausreichend für eine systemische Lösung. Wir sollten zunächst einmal akzeptieren, dass wir uns zwar persönlich einschränken können (und sollten) - dass sich der Luftverkehr aber nicht mehr komplett abschaffen lassen dürfte. Was auch nicht schlimm ist. Denn das Fliegen selbst ist überhaupt nicht böse. Das Problem ist, dass wir es mit klimaschädlichem Kerosin tun - und dass dieses auch noch steuerlich subventioniert wird.

Das muss so nicht bleiben. Der Staat könnte auch klimaneutralen Treibstoff fördern. So wie er ja auch bei Autos lieber die Elektromobilität statt Postkutschen fördert. Ein möglicher Weg ist die massive Förderung von Batterieflugzeugen. Ein anderer die zunehmende Verwendung synthetischer Kraftstoffe, die zu einem beträchtlichen Teil aus Wasserstoff bestehen, der wiederum mit erneuerbaren Energien erzeugt wird.

Eine solche Luftverkehrswende könnte aus Sicht von Experten ziemlich schnell gehen. Der Bundesverband Erneuerbare Energien etwa schlägt bei Inlandsflügen eine Beimischungsquote für grünes Kerosin vor, die bis 2035 auf 100 Prozent steigt.

Inlandsflüge würden dadurch teurer - wie bei einer reinen Abschaffung der Subventionen für die Luftfahrt auch. Zusätzlich würden die Airlines nach und nach mehr grünen Treibstoff verwenden. Laut Forschern kann synthetisches Kerosin so designt werden, dass bei der Verbrennung viel weniger Rußpartikel entstehen, womit der heiße Wasserdampf, den Flieger ausstoßen, keine Anhaftungsflächen mehr hätte und weniger Kondensstreifen entstünden. So ließe sich gleich noch ein weiterer klimaschädlicher Effekt reduzieren.

Eine Beimischungsquote hätte zudem den Vorteil, dass technologische Innovationen vorangetrieben würden, mit denen die Bundesrepublik in Zukunft auch volkswirtschaftlich punkten kann. Vor allem aber würden künstliche Kraftstoffe an der Wurzel des Problems ansetzen. Beim Kerosin. Nicht beim Fliegen an sich.

Quelle: Schultz, S. (2019). Warum wir uns fürs Fliegen nicht schämen müssen. Spiegel Wirtschaft. Abgerufen am 20.01.2024 unter <https://www.spiegel.de/wirtschaft/soziales/klimaschutz-warum-wir-uns-fuers-fliegen-nicht-schaemen-muessen-a-1279493.html>

Zum Autor:

Jahrgang 1980, zwei Söhne. Studierte Medienkultur, Politik und britische Literatur in Hamburg und Lissabon. Stationen bei »Hamburger Abendblatt«, NDR, »Prinz«, »Deutschland International« und der portugiesischen Tageszeitung »24 Horas«. Seit 2007 Volontär, seit 2008 Redakteur im Ressort Wirtschaft. Ex-Korrespondent in San Francisco, New York und Peking. Mixedmedia-Reportagen aus aller Welt. Träger des Ernst-Schneider-Preises und des Georg-Holtzbrück-Preises für Wirtschaftspublizistik.

Zum Autor: <https://www.spiegel.de/impressum/autor-2608ca32-0001-0003-0000-000000010487>

Material MIV7 - Artikel 2: Pro-Argumente zum Fliegen (Artikel von *Travelbook*)

Lest euch den, auf der Website *Travelbook* - Deutschlands größtes Online-Reisemagazin veröffentlichten Artikel von Anna Wengel durch.

Meinung

Warum ich weiterhin fliegen werde – und das trotz Klimawandel richtig finde

Anna Wengel, Freie Autorin. 16.10.2022, 05:54 Uhr | Lesezeit: 6 Minuten

TRAVELBOOK-Autorin Anna Wengel verreist oft mit dem Flugzeug und hat deshalb ein schlechtes Gewissen. Wieso sie trotzdem weiterfliegt und findet, dass Fliegen unverzichtbar ist.

Fliegen ist ein bisschen wie Fleischessen: nach aktuellem Zeitgeist böse. Wer sich outet, findet sich schnell in einer Rechtfertigungs-Diskussion voller schlechtes-Gewissen-machen-wollen-Sprüche wieder oder schaut angesichts des Fliegens im Klimawandel mindestens in ein Paar missgünstig verzogene Augenbrauen. Das passiert dann, wenn der fleischfressende Vielflieger auf einen vegetarisch lebenden Inlands-Urlauber trifft. Die scheinen mehr zu werden. Genauso wie die Flugscham.

Ich bin eine dieser fleischfressenden Vielfliegerinnen. Und für beides habe ich, wie ich finde, gute Gründe. Die fürs Fliegen schreibe ich hier auf. Warum? Wahrscheinlich, weil ich Flugscham fühle und mich ein bisschen rechtfertigen möchte. Vor allem aber, weil ich finde, dass es wahnsinnig überzeugende Gründe für das Fliegen gibt – obwohl ich den Klimawandel ernst nehme.

Binge-Fliegen in Zeiten des Klimawandels ist bescheuert

Ich verstehe die Gründe für den Unmut. Ich liebe unsere Welt und möchte weder, dass sie im Plastikmüll verschwindet, noch von Naturkatastrophen zerstört wird oder an irgendeinem anderen Quatsch zugrunde geht. Trotzdem fliege ich. Und ja, ich habe ein schlechtes Gewissen deswegen. Ich weiß auch, dass Fliegen schlecht ist fürs Klima. Ich messe aber mit mehreren Maßstäben, weil ich glaube, dass es darauf ankommt, wie und warum jemand fliegt. Stichwort: Achtsamkeit. Wenn ich jedes Wochenende zum Shoppen nach Paris, London, Mailand und Co. jetten würde, weil's ja so günstig ist, wäre das schlichtweg bescheuert. Nur weil Flugtickets günstig sind, muss ich nicht Binge-Fliegen nach dem Motto „Ist ja grad im Angebot“. Auch im Inland finde ich Fliegen wegen des Klimawandels schwierig, weil es aufgrund der kurzen Strecke in der Regel ziemlich unnötig ist. Hier steht natürlich das Argument: Bahn fahren ist teurer als fliegen. Ein Unding, wie sich die meisten wohl einig sind. Da muss etwas passieren, völlig klar. Trotzdem fahre ich im Inland Bahn.

Reisen bildet und verbindet

Das Fliegen jedoch in Gänze zu verteufeln, halte ich nicht nur für falsch, sondern auch für gefährlich. Mein Hauptargument für das Fliegen trotz Klimawandel und übrigens der Grund, wieso das schlechte Gewissen mich nicht davon abhält: Ohne Flugzeug lerne ich die Welt nicht kennen. Ja klar, theoretisch geht das. Und so reizvoll ich eine Weltreise ohne Flugzeug finde, ganz praktikabel ist sie nicht. Zumindest nicht, wenn der Alltag zu Hause und die oft auftretende Weltsehnsucht regelmäßig verbunden werden wollen. Um weit entfernte Orte zu sehen, muss ich fliegen. Immer wieder stoße ich hier auf das Argument: Deutschland ist auch schön. Von mir aus. Aber die Welt lerne ich in Deutschland nicht kennen, sondern nur Deutschland. Die Welt möchte ich aber kennenlernen. Lernen, wie es woanders ist. Wie andere Menschen leben. Wie unfassbar schön dieser Planet an so vielen Ecken ist. Mein Hauptgrund auf zwei Worte komprimiert: Reisen bildet.

Ein anderer: Reisen verbindet. Ich glaube, dass viele Konflikte auf der Welt auch daher rühren, dass wir uns aus Angst abgrenzen. Wenn dann noch Panikmache vor „Fremden“ hinzukommt, ist das gefährlich. Wer reist – also weiter als zur Ostsee – der lernt die „anderen“ im besten Fall kennen und erkennt, dass sie auch einfach Menschen mit Gefühlen, Wünschen und auch Ängsten sind. Vor allem in für ihn fremden Kulturkreisen muss sich der Reisende über kurz oder lang irgendwie öffnen. Und wenn es auch nur ein bisschen ist. So entsteht Veränderung. Was will ich hier sagen? Andere Kulturen sind meistens eine Flugreise entfernt.

Bewusstsein schaffen statt einseitig verteufeln

Gleichzeitig muss es beim Reisen vielleicht auch nicht nur um den eigenen Genuss, das eigene Abschalten, den eigenen Spaß gehen. Ich hatte auf vielen Reisen irgendwann das Bedürfnis, irgendwie irgendetwas zurückzugeben. Einfach, weil Land und Menschen mir unfassbar tolle Momente beschert haben. Gerade in Sachen Klimawandel und Umweltschutz ist das einfach. Ein Beispiel: Der Süden Kambodschas ist zugemüllt mit Plastik. Gemeinsam mit einer Freundin habe ich irgendwann angefangen, Tüten mitzunehmen, um Plastikmüll einzusammeln. Das hat uns zahlreiche irritierte Blicke eingebracht. Und die Hilfe kleiner Kambodschaner, die unser Müllsammeln so spannend fanden, dass sie mitgemacht haben. Ich bilde mir ein, dass da in mindestens einem Kinder-Kopf eine Idee entstanden ist. Auch so beginnt Veränderung.

Und am Ende geht es eben um die Veränderung, das veränderte Bewusstsein, um etwas für Klima, Umwelt und Miteinander zu tun. Das kann damit anfangen, auf unnötige Billigflüge zu verzichten und Bahn zu fahren statt zu fliegen, wo es geht. Genauso wie das Fahrrad statt des Autos zu nehmen und das vielleicht sogar gegen eine Car-Sharing-Mitgliedschaft einzutauschen. Hilfreich können auch unbequeme Einsichten sein, wie etwa: Kreuzfahrten sind fürchterlich fürs Klima und das allabendliche Netflixen soll laut einer Studie gemeinsam mit allen anderen Datentransfers sogar für vier Prozent der CO₂-Emissionen sorgen – und sollte entsprechend vielleicht mal eingeschränkt werden. Es gibt so viel klimaschädlichen Quatsch, den ich mit Leichtigkeit sein lassen kann, wenn ich mich nur ein bisschen damit auseinandersetze. Dann ist auch Fliegen trotz Klimawandel okay, in Maßen und nach gesunden Maßstäben.

Quelle: Wengel, A. (2022). Warum ich weiterhin fliege und das trotz Klimawandel richtig finde. Meinung. Travelbook. Abgerufen am 20.01.2024 unter <https://www.travelbook.de/fliegen/fliege-trotz-klimawandel>

Zur Autorin: Anna Wengel hat sich nach Studium in Potsdam, NGO-Arbeit in Kabul und Volontariat in Berlin 2014 als Autorin und Journalistin selbstständig gemacht. Kurz darauf zog sie für einige Jahre nach Portugal. Es folgten Jahre des ständigen Reisens, immer mit dabei die Arbeit als freie Autorin für verschiedene Magazine und Agenturen. Inzwischen pendelt Anna zwischen Deutschland und Portugal hin und her und reist weiterhin so oft und weit wie möglich. Bei TRAVELBOOK schreibt sie gern und viel über Erfahrungen, die sie unterwegs in Portugal, Neuseeland, Australien, Indien, Sri Lanka, Südafrika, Kambodscha etc. gemacht hat oder widmet sich aktuellen Reisetemen aus der ganzen Welt. Neben ihrer Autorentätigkeit hat Anna 2019 die Ausbildung zum Life-und-Leadership-Coach absolviert – und hilft dort unter anderem, die Leidenschaften fürs Reisen und Schreiben zu verbinden.

Zur Autorin: <https://www.travelbook.de/autor/anna-wengel>

Material MIV8 - Artikel 3: Pro-Argumente zum Fliegen (Artikel von *Education First*)

Lest euch den, auf der Website *Education First* veröffentlichten Artikel von Kaisa Schreck durch.

Gründe warum Fliegen so toll ist
von Kaisa

In Reisen · 3 min. Lesedauer

Manche Menschen fürchten sich vorm Fliegen, andere lieben es. Manch einer durchschläft einen kompletten 12-Stunden-Flug, während sich ein anderer vier Filme am Stück ansieht, nur um die Zeit totzuschlagen. Leider gehöre ich zu letzteren. Ich habe noch nie mehr als eine Stunde lang im Flugzeug geschlafen (diese Sitze sind aber auch unbequem!). Und obwohl Flüge langweilig sein können, gibt es Möglichkeiten, sich die Stunden in der Luft zunutze zu machen (hier unsere 10 Top-Tipps, um Flugzeit totzuschlagen) und abzuschalten, zu relaxen und sich auf den bevorstehenden Trip zu freuen. Denn am Ende muss es einen Sinn haben, dass man, unfreiwillig hinter einem schreienden Baby sitzend, durch die Lüfte fliegt, richtig? Ich habe 5 Gründe zusammengestellt, warum Fliegen meiner Meinung nach so toll ist.

1. Die Chance abzuschalten

Wie häufig bekommt man heutzutage noch die Chance, das Handy ausschalten und sich aus Whatsapp und Instagram auszuloggen? Wir sind ununterbrochen online, teilen und chatten ständig. Im Flugzeug zu sitzen bietet die seltene und willkommene Gelegenheit, einmal das ganze Gequatsche abzuschalten und zu schlafen, zu relaxen, mal wieder in der Lieblingszeitschrift zu blättern, Musik zu hören, sich ein paar Serien anzuschauen und vielleicht endlich das Coldplay-Album zu hören, das du schon vor einer Ewigkeit heruntergeladen hast.

2. Überraschend gutes Essen (besonders wenn der Hunger gross ist!)

Ich weiß nicht wie es Euch geht, aber ich persönlich liebe diese kleinen Sandwiches, Snacks und Mini-Mahlzeiten, die man auf Flügen serviert bekommt. In der Regel habe ich einen solchen Hunger und Durst, wenn endlich etwas zu Essen serviert wird, dass ich fast alles in mich hineinfuttern würde — Käsesandwiches mit Beerenchutney (schweizerisch, was dachtest du denn?!) oder Pasta mit Hühnchen und komischer gelber Soße (Curry oder Käse? Keine Ahnung!) Spül alles mit einer dieser Mini-Dosen Cola oder einem Becher Kaffee herunter und das Gourmet-Erlebnis über den Wolken ist perfekt!

3. Man kann nie wissen, wem man begegnet

Ich bin in Flugzeugen schon faszinierenden Menschen begegnet. Natürlich spricht absolut nichts dagegen, sich mit sich selbst zu beschäftigen, zu schlafen, zu lesen oder Musik zu hören und die Person, die neben einem sitzt, komplett auszublenden. Wenn man sich dem anderen zuwendet, ihm ein Lächeln schenkt oder vielleicht sogar das ein oder andere Wort für ihn übrig hat, besteht jedoch die Chance, eine großartige Unterhaltung zu führen oder etwas Neues zu lernen. Einmal habe ich den Schritt gewagt und am Ende habe ich mehr über die Modeindustrie erfahren als ich es sonst jemals hätte!

Passende Worte, die dabei helfen, das Eis zu brechen: Bist du privat oder geschäftlich unterwegs? Was ist dein liebstes Reiseziel auf der ganzen Welt (besonders wenn du zu Orten wie LA, Honolulu, London oder Paris unterwegs bist)? Habst du irgendwelche Empfehlungen für (die Stadt, in die du reist)?

4. Mittel zum fantastischen Zweck

Fliegen ist deshalb so toll, weil es dich woanders hin bringt. Zugegeben, der Flug hin zum Reiseziel macht mehr Spaß als der Rückflug. Ich liebe das Gefühl der Vorfreude und die Aufregung, die entsteht, wenn man sich am ersten Urlaubstag auf den Weg zum Flughafen macht. Im Flughafen in der Warteschlange stehen ist kein Vergnügen aber sobald man das Flugzeug betritt und einen Blick aus dem kleinen Fenster wirft, ist es soweit — es kann losgehen!

5. Sorgt für Killer-Photos (und überwältigende Momente zum Geniessen!)

Schon mal am frühen Abend in LA gelandet? Oder morgens um 8 Uhr in London? Überwältigend, glaub mir, und definitiv den ein oder anderen Instagram-Schnappschuss Wert (auch wenn du erst am Boden wieder online bist und posten kannst!). Von atemberaubenden Sonnenuntergängen bis hin zum Überfliegen einer Stadt. Sich beim Check-in einen Fensterplatz zu sichern, ist bestimmt die beste Entscheidung, die man treffen kann!

Quelle: Schreck, K. (o.D.). *5 Gründe warum Fliegen so toll ist*. Education First. Reisen. Abgerufen am 20.01.2024 unter <https://www.ef.de/blog/language/5-grunde-warum-fliegen-so-toll-ist/>

Zur Autorin:

Ich bin eine saunaliebende, zimtbrötchenessende Finnin mit einem ernsthaften Fall von Wanderlust. Nach über 30 bereisten Ländern bin ich zu dem Schluss gekommen, dass zu Hause überall auf der Welt sein kann, solange ich meinen Ehemann und meine Kamera an meiner Seite habe. Ich arbeite bei EF im Digital Marketing, liebe es Konzerte zu besuchen und schaue gerne Dokumentationen. Ich bin erst kürzlich nach 6 Monaten Freiwilligenarbeit in Tansania in die Schweiz zurückgekehrt. Besuche meine Seite: www.kaisasd.com.

Zur Autorin: <https://www.ef.de/blog/language/author/kaisa-schreck/>

Material MIV10 -

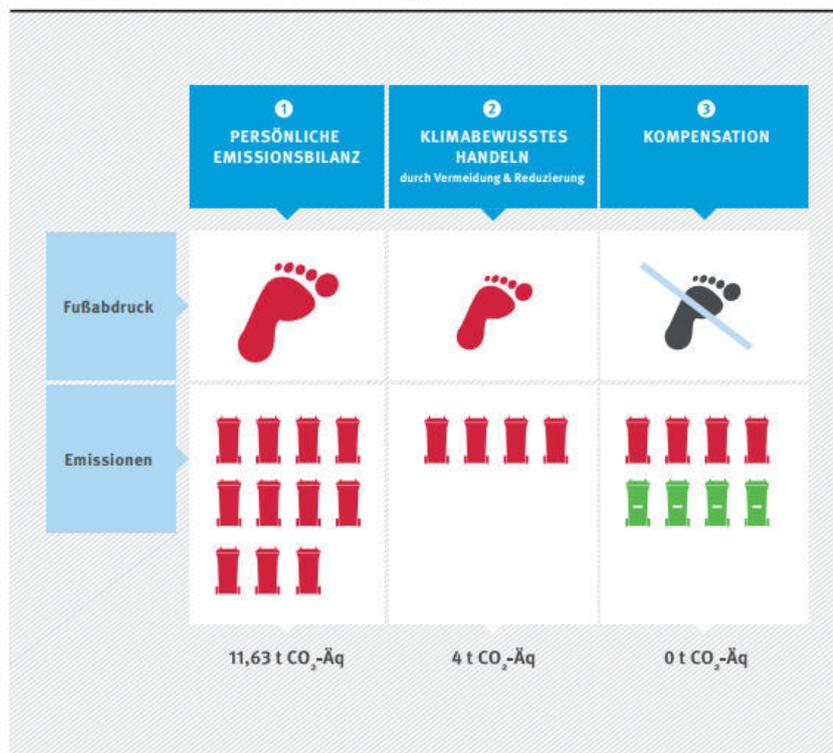
Auszug aus dem Ratgeber. *Freiwillige CO₂-Kompensationen durch Klimaschutzprojekte* des Umweltbundesamtes (UBA, 2018).

Wie funktioniert die freiwillige Kompensation von Emissionen?

Das Prinzip der Kompensation beruht auf dem Gedanken, dass es für das Klima nicht entscheidend ist, an welcher Stelle Treibhausgase ausgestoßen oder vermieden werden. Daher lassen sich an einer Stelle verursachte Emissionen auch an einer weit entfernten Stelle einsparen. Da die eigene Emissionsvermeidung einem späteren Ausgleich stets vorzuziehen ist, sollte die freiwillige Kompensation der letzte Schritt nach *vermeiden* und *reduzieren* sein. Zur freiwilligen Kompensation wird zunächst die Höhe der klimawirksamen Emissionen einer bestimmten Aktivität berechnet. Jede denkbare Aktivität, bei der Emissionen freigesetzt werden, kommt in Betracht: Flugreisen, Bahn- oder Autofahrten, der Gas-, Strom-

oder Heizenergieverbrauch zu Hause, die Herstellung von Printprodukten oder auch die Durchführung von Events. Die Kompensation erfolgt dann über Emissionszertifikate, mit denen dieselbe Emissionsmenge in Klimaschutzprojekten ausgeglichen wird. Wichtig ist es, dass es ohne den Mechanismus der Kompensation das Klimaschutzprojekt nicht gegeben hätte. Mit dem Zertifikatskauf werden beispielsweise Projekte zur Förderung erneuerbarer Energien oder zur Aufforstung von Wäldern finanziert. Viele dieser Projekte sind in Schwellen- und Entwicklungsländern angesiedelt. Voraussetzung ist stets, dass das jeweilige Projekt ohne die Zertifikatserlöse nicht hätte durchgeführt werden können (**• Zusätzlichkeit**).

Dreiklang: Vermeiden – Reduzieren – Kompensieren



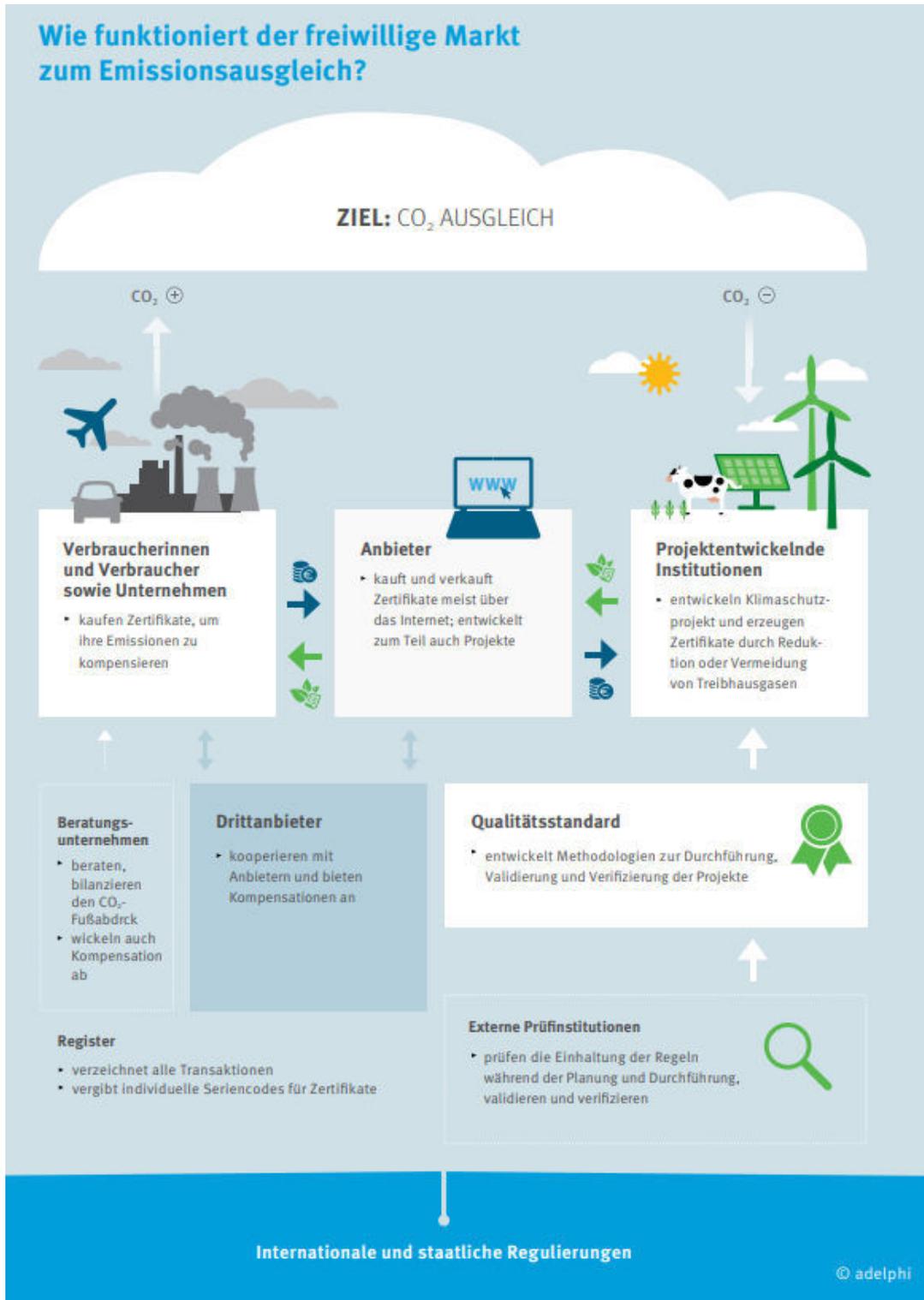
Durch klimabewusstes Handeln kann der eigene Fußabdruck – in diesem Beispiel durchschnittlich 11,63 t CO₂-Äq in Deutschland – deutlich reduziert werden. Die verbliebenen unvermeidlichen Emissionen – in diesem Beispiel 4 t CO₂-Äq – können darüber hinaus durch freiwillige Kompensation neutralisiert werden.

Quelle: adelphi/sustainable

Quelle: Auszug aus UBA (2018). *Freiwillige CO₂-Kompensationen durch Klimaschutzprojekte*. Ratgeber. S. 9f..

Material MIV11 -

Auszug aus dem Ratgeber. *Freiwillige CO₂-Kompensationen durch Klimaschutzprojekte* des Umweltbundesamtes (UBA, 2018).



Quelle: Auszug aus UBA (2018). *Freiwillige CO₂-Kompensationen durch Klimaschutzprojekte*. Ratgeber. S. 17.

Material MIV12 -

Ablauf der CO₂-Kompensation

Bei CO₂-Kompensationen werden grundsätzlich drei Schritte *Emissionsberechnung, Anbieterauswahl und Anbietercheck* sowie das *Auswählen und Löschen von Zertifikaten* durchgeführt.

Auszug aus dem Ratgeber. *Freiwillige CO₂-Kompensationen durch Klimaschutzprojekte* des Umweltbundesamtes (UBA, 2018).

1. Der Ausgangspunkt: Emissionsberechnung

Zunächst muss die Höhe der auszugleichenden Emissionen realistisch berechnet werden. Viele Anbieter betreiben eigene CO₂-Rechner. Je detaillierter und differenzierter die Berechnung erfolgt, desto genauer werden grundsätzlich die tatsächlich verursachten Treibhausgasemissionen erfasst. Bei der Berechnung des zu kompensierenden CO₂-Fußabdrucks von Produkten ist auch wichtig, welche Phasen des Produktzyklus – von der Herstellung und dem Vertrieb bis zur Nutzung und Entsorgung – untersucht werden.

2. Anbieterauswahl und Anbietercheck

Da es große Unterschiede in der Qualität von Anbietern gibt, sollten Verbraucherinnen und Verbraucher wachsam bei der Auswahl des Kompensationsanbieters sein. Seriöse Kompensationsdienstleister raten ihrer Kundschaft außerdem, Emissionen möglichst zu vermeiden oder wenigstens zu vermindern bevor sie kompensiert werden. Dadurch vermitteln sie einen ganzheitlichen Blick auf Klimaschutz und Nachhaltigkeit. Es muss auf der Anbieterseite verständlich erklärt werden, wie die Emissionsberechnung erfolgt, aus welchen Projekten und aus welchen Ländern die Zertifikate stammen. Weiterhin sollte der verwendete Qualitätsstandard klar benannt werden. Wenn Zweifel bestehen, sollten Sie den Anbieter kontaktieren. Das Kompensationsangebot soll möglichst transparent für einen anspruchsvollen und nachvollziehbaren Ausgleich sein.

3. Zertifikate auswählen und löschen

Bei der Auswahl von Zertifikaten sind drei Aspekte entscheidend: die Qualitätssicherung durch den Standard, projektspezifische Aspekte und gegebenenfalls eigene Kriterien

Quelle: Auszug aus UBA (2018). *Freiwillige CO₂-Kompensationen durch Klimaschutzprojekte*. Ratgeber. S. 18-20.

Möglichkeiten der CO₂-Kompensation

Auszug aus dem am 17.05.2023 auf der Plattform *Focus Online* veröffentlichten Artikel *Wie Sie mit gutem Gewissen fliegen und CO₂ ausgleichen* von Christian Masengarb.

Wer Flug-CO₂ ausgleicht, bezahlt seine Fluglinie oder einen externen Anbieter dafür, eines von vier Dingen zu tun:

1. Synthetische Kraftstoffe verwenden: Bei Lufthansa können Kunden ihr Flug-CO₂ ausgleichen, indem sie synthetisches Kerosin bezahlen, das die Airline innerhalb von sechs Monaten einsetzt. Synthetisches Kerosin wird mit erneuerbarem Strom aus Kohlendioxid und Wasser gewonnen und schafft so einen Kreislauf, ohne der Umwelt neue Treibhausgase zuzuführen – klimaneutrales Fliegen in Reinkultur. Ab 2050 will die Lufthansa ausschließlich mit synthetischem Treibstoff fliegen. Weil dessen Herstellung noch dreimal teurer ist und die Kapazitäten bei Weitem nicht für alle Flüge reichen, bieten bislang nur wenige Linien diese Option an.

2. CO₂ aus der Luft filtern: Einige Unternehmen betreiben Anlagen, die CO₂ aus der Luft filtern und in unterirdischen Speichern lagern. Dieses System schafft keinen Kreislauf, weil dabei weiter fossiles Kerosin verbrennt und die Treibhausgase in der Erde enden. Immerhin bleibt nach dem Flug nur so viel CO₂ in der Luft wie davor. Teure Technik und begrenzte Kapazitäten verurteilen diese Methode bislang ebenfalls zum Nischendasein.

3. Klimaprojekte fördern: Die meisten Unternehmen, die Emissionen ausgleichen, fördern derzeit Klimaschutz-Projekte, die besonders in Entwicklungsländern den CO₂-Ausstoß um die gleiche Menge senken, wie sie der Flug ausstößt: Diese Firmen ersetzen fossile Brennstoffe durch Solarenergie, verringern mit effizienteren Öfen in Entwicklungsländern die Waldabholzung oder ermöglichen durch Biogasanlagen das Kochen per Gas. Als Nebeneffekt mindern die Projekte die Armut. Die Kosten pro Tonne CO₂ betragen rund ein Vierzigstel derer von synthetischen Kraftstoffen.

4. CO₂-Zertifikate kaufen: Compensators, ein eingetragener Verein aus Berlin, kauft mit Spenden Zertifikate im europäischen Emissionshandel, stößt für sie aber kein CO₂ aus. Indem die Zertifikate für tatsächliche CO₂-Produzenten wegfallen, sinkt der weltweite CO₂-Ausstoß.

Endverbraucher gleichen ihren CO₂-Ausstoß derzeit meist bei Anbietern aus, die Klimaschutz-Projekte fördern. Einige Fluglinien bieten außerdem bei der Buchung synthetische Kraftstoffe und Carbon-Capture-Optionen an.

Quelle: Auszug aus Masengarb, C. (2023). *Wie Sie mit gutem Gewissen fliegen und CO₂ Ausgleichen*. Focus Online. Abgerufen am 20.01.2024 unter https://www.focus.de/finanzen/flug-emissionen-flug-co2-ausgleichen-nur-ein-anbieter-ueberzeugt_id_182744387.html

Zum Autor: Christian Masengarb ist Politikwissenschaftler, Autor und Redakteur bei BurdaForward. Seit 2018 hält er als Dozent für Politik und Philosophie Vorträge an Volkshochschulen. Sein Handwerk lernte er beim Münchener Merkur.

Zum Autor: https://www.focus.de/intern/impressum/autoren/christian-masengarb_id_159663707.html

Material MIV14 -

Auszug aus dem Ratgeber. *Freiwillige CO₂-Kompensationen durch Klimaschutzprojekte* des Umweltbundesamtes (UBA, 2018).

Welche Projekte können Sie unterstützen?

Zu den häufigsten Projekttypen zählen

Energieprojekte



Erneuerbare Energien (36 %)



Energieeffizienz (19 %)
Brennstoffwechsel (2 %)

Projekte zur Reduzierung oder zur Einbindung von CO₂



Landwirtschaft (17 %)



Wälder und Forstwirtschaft (17 %)



Moore (< 1 %)

Projekte zur Verringerung von Emissionen aus Entwaldung und Waldschädigung



vermeidene Entwaldung (4 %), auch „REDD“ genannt
(Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation)

Weitere Emissionsminderungsprojekte



Abfall und Deponiegas (2 %)



Industrie (1 %)



Transport (1 %)

Quelle: Auszug aus UBA (2018). *Freiwillige CO₂-Kompensationen durch Klimaschutzprojekte*. Ratgeber. S. 11.

Material MIV16 -

Auszug aus dem Ratgeber. *Freiwillige CO₂-Kompensationen durch Klimaschutzprojekte* des Umweltbundesamtes (UBA, 2018).

Was ist zukünftig zu erwarten?

Viele Standards bewegen sich hin zu einer ganzheitlicheren Betrachtung nachhaltiger Entwicklung. Im Zentrum stehen die von der UN-Generalversammlung verabschiedeten 17 Nachhaltigkeitsziele (► **Sustainable Development Goals, SDGs**), die nicht nur Armuts- und Hungerbekämpfung, sondern viele weitere Ziele nachhaltiger Entwicklung, wie zum Beispiel Bildung und Gleichberechtigung oder sauberes Wasser und Sanitäranlagen, umfassen. Im Sinne der SDGs erweitern und verfeinern Qualitätsstandards ihre Methodologien, um den größeren Zusammenhang von Klimaschutzprojekten zu erfassen. Beispiele für diesen Trend sind der Fairtrade-Klima-Standard, der Gold Standard for the Global Goals (GS4GG) und der SD VISTa des Verified Carbon Standard.



Gold Standard
for the **Global Goals**



FAIRTRADE

Fairtrade Carbon Credits

Fairtrade International verkauft seit Anfang 2017 durch den Gold Standard geprüfte Kompensationszertifikate, die ► **Fairtrade Carbon Credits (FCCs)**. Der Standard verbindet Fairtrade-Produzentenorganisationen und Gemeinden in Entwicklungs- und Schwellenländern mit Unternehmen und Organisationen, die ihre Emissionen kompensieren wollen. Nach eigener Darstellung sorgt er zusätzlich zu den Anforderungen des Gold Standards für existenzsichernde Mindestpreise sowie Prämien für die lokalen Arbeitskräfte. Die Fairtrade Carbon Credits sind in Deutschland, den Niederlanden und Belgien verfügbar. In Deutschland richtet sich der Standard derzeit an Unternehmen und nicht an Endkunden.



Weitere Informationen im Internet:

→ Informationen vom Umweltbundesamt zu den SDGs:

www.umweltbundesamt.de/themen/nachhaltigkeit-strategien-internationales/sdgs-herausforderung-fuer-die-1

→ Offizielle Internetseite der SDGs (auf Englisch):

sustainabledevelopment.un.org

→ Der Fairtrade-Klima-Standard:

www.fairtrade-deutschland.de/was-ist-fairtrade/fairtrade-standards/fairtrade-klima-standard.html

Quelle: Auszug aus UBA (2018). *Freiwillige CO₂-Kompensationen durch Klimaschutzprojekte*. Ratgeber. S. 11.

Material MIV17 -

Qualitätsstandards von CO₂-Kompensationen

Auszug aus dem Ratgeber. *Freiwillige CO₂-Kompensationen durch Klimaschutzprojekte* des Umweltbundesamtes (UBA, 2018).

Was macht die Qualität aus? Warum Standards wichtig sind!

Qualitätsstandards gewährleisten die Einhaltung bestimmter Kriterien. Sie sollen vor allem sicherstellen, dass Treibhausgasemissionen tatsächlich in der angestrebten Höhe ausgeglichen werden. Werden dank einer neuen Windkraftanlage tatsächlich am Ende insgesamt weniger Emissionen ausgestoßen als ohne sie? Gibt es nach der Aufforstung eines Waldes negative Nebeneffekte, die den Nutzen des Projekts untergraben? Und hätte sich die indonesische Stadtverwaltung nicht ohnehin um die schädlichen Abfälle gekümmert?

Was ist bei Qualitätsstandards zu beachten? Die Kriterien im Einzelnen

Um die Güte von Qualitätsstandards zu erfassen, müssen viele Eigenschaften geprüft werden. Die wichtigsten Kriterien werden im Folgenden erläutert.

Zusätzlichkeit

Projekte zur Minderung von Treibhausgasen müssen sicherstellen, dass ihre Reduktion, Vermeidung oder Speicherung von Emissionen zusätzlich ist. Das bedeutet, dass die Klimaschutzmaßnahme des Projekts ohne die zu erwarteten Erlöse aus dem Verkauf der Zertifikate nicht stattgefunden hätte. Maßnahmen, die bereits aus sich heraus wirtschaftlich sind und deshalb ohnehin durchgeführt worden wären, kommen daher zur Kompensation nicht in Betracht (finanzielle Zusätzlichkeit). Die Zusätzlichkeitsprüfung garantiert dies. Für den Nachweis gibt es verschiedene Tests, die Projekte im Hinblick auf ihre Zusätzlichkeit prüfen, zum Beispiel anhand einer Investitions- oder Barrierenanalyse, von definierten Vergleichsmaßstäben („Benchmarks“) oder Technologielisten. Darüber hinaus sollte die Minderung nicht gesetzlich vorgeschrieben sein (regulatorische Zusätzlichkeit) oder der gängigen Praxis in der Region oder dem jeweiligen Gastland entsprechen. Für kleine Projekte gibt es vereinfachte Verfahren, denn komplexe Tests können besonders kostspielig sein und Projektentwickler an der Umsetzung hindern.

Dauer der Emissionseinsparung (Permanenz)

Eine Emissionseinsparung muss dauerhaft sein. Bei Wald- und Moorschutzprojekten existieren Risiken wie Waldbrände, Schädlingsbefall oder illegale Abholzung. Diesem Risiko kann beispielsweise durch einen Puffer begegnet werden. Qualitätsstandards können Risikoanalysen einfordern, Puffer festlegen oder bestimmte besonders gefährdete Projekttypen ausschließen. Bei einer Puffer-Regelung ist ein Teil der ausgeschütteten Zertifikate auf ein zentrales Zertifikatekonto abzugeben, welches vom Qualitätsstandard verwaltet wird, um im Notfall die Minderung sicherzustellen.

Berechnung, Monitoring und Verifizierung von Emissionen

Das Monitoring findet in bestimmten, in der Projektdokumentation festgelegten Abständen (zum Beispiel jährlich) statt. Beim Monitoring werden die tatsächlich eingesparten Emissionen berechnet. Die Verifizierung bestätigt, dass die Datenbewertung einschließlich der Bestimmung der Emissionsminderung nach dem Monitoringplan durchgeführt wurde und dass die im Monitoringbericht angegebenen Treibhausgasminderungen tatsächlich erzielt wurden.

Transparenz und Regelwerk

Transparenz dient sowohl der Überprüfbarkeit und Nachvollziehbarkeit, soll jedoch auch Willkür und Korruption verhindern. Die Projektdokumentation, der Monitoring-, der Validierungs- und der Verifizierungsbericht sollten öffentlich einsehbar und frei zugänglich sein. Für die externe Kommunikation sollte darauf geachtet werden, dass Formulierungen verständlich und Informationen leicht auffindbar sind. Die Prüfinstitution, die die Zertifizierung eines Projekts vornehmen, sollten nach klaren Regeln zugelassen werden und regelmäßig überprüft werden. Ist ein Standard besonders anspruchsvoll, macht er die Prüfinstitution für die von ihnen verifizierten Emissionsminderungen haftbar

Zeitpunkt der Ausgabe

Klimaschutzprojekte können „ex ante“ Zertifikate (vor der realisierten Minderung) oder „ex post“ Zertifikate (nach der tatsächlichen Minderung) ausgeben. Bei einer Gutschreibung von Emissionsminderungen ex post wurde die Einsparung bereits erzielt, wenn sie an die Kundschaft verkauft wird. Nur verifizierte ex-post-Zertifikate garantieren Emissionseinsparungen sicher. Ex-ante-Kompensation ist mit dem Risiko verbunden, dass die Emissionsminderung nicht wie geplant realisiert werden kann, da die genaue Höhe der Einsparung lediglich eine Prognose ist. Solche Zertifikate sind nur bedingt zur Kompensation geeignet, da vergangene Emissionen dabei mit Minderungen in der Zukunft ausgeglichen werden.

Doppelzählung

Unter einer Doppelzählung wird ein negatives Szenario verstanden, in dem eine Emissionsreduktion zweimal geltend gemacht oder verkauft wird. Doppelzählung ist ein Risiko, das die Umweltintegrität untergraben kann. Dem kann wie folgt begegnet werden: Registrierung und Stilllegung: Die ausgegebenen Zertifikate eines Projekts sollten an zentraler Stelle registriert werden, in einem sogenannten Register. Register vergeben Seriennummern und verfolgen die Besitzverhältnisse der Emissionszertifikate. Die Information darüber, ob Zertifikate für Kompensationszwecke bereits genutzt und damit „stillgelegt“ wurden, ist hier öffentlich zugänglich. So wird vermieden, dass stillgelegte Zertifikate erneut verkauft oder weiter gehandelt werden können.

Einbindung von Beteiligten („Stakeholder“)

Ein Klimaschutzprojekt darf – um wirklich sinnvoll zu sein – nicht über die Köpfe der Menschen vor Ort hinweg geplant werden. Deswegen ist der Einbezug von lokalen und globalen Stakeholdern gute Praxis, genau wie die Zustimmung des Gastlandes zum Projekt.

Nachhaltige Entwicklung

Neben der Einsparung von Treibhausgasemissionen können Klimaschutzprojekte auch einen Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung am Projektstandort leisten sowie ein oder mehrere UN-Nachhaltigkeitsziele (► SDGs, siehe Seite 24) erfüllen. Diese stellen einen sehr wichtigen Mehrwert (auch „Co-Benefits“) für die Gastgeberländer dar. Wenn zum Beispiel Arbeitsplätze geschaffen werden, die lokale Bevölkerung Wissen aufbaut oder sich die Luftqualität verbessert, sollte dies den Klimaschutzprojekten positiv angerechnet werden. Wenn Menschenrechte verletzt werden oder die Biodiversität leidet, sollte dies zum Ausschluss führen. Standards haben hierzu Anforderungen definiert und achten darauf auch immer stärker. Untersucht wird beispielsweise der Einfluss auf die Artenvielfalt oder auf die Gesundheit und lokale Beschäftigungseffekte.

Quelle: Auszug aus UBA (2018). *Freiwillige CO₂-Kompensationen durch Klimaschutzprojekte*. Ratgeber. S. 21-30.

Material MIV19 -

1.1 KRITIK AN DER CO_2 -KOMPENSATION

Auszug aus dem am 17.02.2023 auf der Plattform *Utopia* veröffentlichten Artikel *CO_2 -Kompensation in der Kritik. Solltest du deine nächste Reise ausgleichen?*.

1.2 KRITIK AN CO_2 -KOMPENSATION

Zahlreiche Recherchen haben in den vergangenen Jahren Zweifel an CO_2 -Kompensation und diversen Klimaschutzprojekten geweckt. Die Zeit hatte zum Beispiel mehrmals Aussagen und Versprechungen der Baumpflanzorganisation Plant for the Planet widerlegt. Eine Recherche von Flip und der Wirtschaftswoche ergab, dass **ein Großteil der Klimaprojekte mit UN-Siegel dem Klima nicht nützen**. Die UN verkaufe unwirksame CO_2 -Zertifikate demnach sogar im eigenen Online-Shop.

Nicht nur an UN-Zertifikaten gibt es Kritik: Eine neue Recherche von Zeit und Guardian kritisierte Verra, den weltweit führenden Zertifizierer von CO_2 -Kompensationen. Der Vorwurf: In zahlreichen Regenwaldschutzprojekten von Verra soll demnach ihr Beitrag zum Klimaschutz vielfach überschätzt worden sein. **Erhebliche Teile der CO_2 -Zertifikate, mit denen Unternehmen weltweit ihre Emissionen kompensieren, wären folglich wertlos**. Utopia hat mit mehreren Expert:innen zu den Vorwürfen gegenüber Verra geredet. Alle hielten es für realistisch, dass 90 Prozent von Verras Regenwald-Kompensationsgutschriften wertlos fürs Klima sind. Mehr Informationen: **Nach Zeit-Recherche: Ist CO_2 -Kompensation noch sinnvoll?**

Das Problem: Beim Handel mit CO_2 -Zertifikaten mangelt es oft an Transparenz und es gibt viele Unklarheiten. Auch andere Analysen kommen zu dem Schluss, dass es massive Probleme mit der Integrität der Zertifikate gibt. Stefanie Rother vom Umweltbundesamt mahnt aber dazu, **nicht alle Anbieter, Standards und Projekttypen zu verurteilen**.

Ist der CO_2 -Ausgleich ein unsinniger Ablasshandel?

Unabhängig von der Seriösität der Zertifikate gibt es weitere Punkte, die gegen CO_2 -Kompensation sprechen:

Verschmutzungsrecht für Reiche:

Man geht davon aus, dass vor allem Besserverdiener:innen mehr CO_2 verursachen, schließlich können sie sich mehr leisten: größere Wohnungen (die zu beheizen sind), mehr Langstreckenflüge, mehr und größere Autos ... Gleichzeitig haben sie auch eher das Geld für einen CO_2 -Ausgleich. Zu Ende gedacht und etwas überspitzt formuliert räumen wir damit Besserverdiener:innen ein höheres Umweltzerstörungsrecht ein, meist auch noch

kompensiert mit Projekten in armen Ländern. (Nimmt man sie allerdings nicht in die Ausgleichspflicht, wäre dies auch nicht sinnvoll.)

Unklare Berechnung:

Wie beziffert man einen Klimaschaden denn eigentlich genau? Das macht jeder anders: Die Berechnung des ökologischen Fußabdrucks bringt höchst unterschiedliche Resultate zutage, wie die oben genannten Beispiele zeigen. Als sie die CO_2 -Emissionen derselben Strecke (vom Münchner Flughafen zum John F. Kennedy Flughafen in New York) berechneten, gelangten unterschiedliche Rechner zu unterschiedlichen Ergebnissen. Der Rechner von Climate Fair setzte zudem deutlich höhere Kosten an mit der Begründung, dass gängige Berechnungen nur die Treibhausgase, aber nicht andere „sozio-ökologische Folgekosten“ berücksichtigen. Die Frage bleibt: Ist es nun per se besser, „teurer“ auszugleichen – wenn dabei einige Nutzer:innen vielleicht abspringen und es ganz sein lassen?

Kompensieren vermeidet Vermeidung:

Viele Projekte zum CO_2 -Ausgleich finden in Ländern des globalen Südens statt, denn es ist billiger, dort zu kompensieren. Das macht es nicht automatisch schlechter, nur reduziert es unter Umständen die Motivation der Industrienationen, selbst Emissionen zu vermeiden. Schließlich ist es ja billiger, in Ländern des globalen Südens eine preiswerte CO_2 -Vermeidung oder Kohlendioxid-Bindung „einzukaufen“. Und rein ökonomisch mag das sogar zutreffen, es lenkt aber immerhin Geld von den reichen in die armen Länder.

Umweltprojekte greifen in fremde Länder ein:

Wenn Geld aus reichen Ländern für Umweltprojekte in arme Länder fließt, greift das natürlich unweigerlich in deren Strukturen ein. Was wir für gut und richtig halten, mag dann einen lokalen Anbieter in den Ruin treiben oder in der Region andere negative Folgen haben, die für uns letztlich nicht absehbar sind.

Quelle: Auszug aus Utopia (2023). *CO₂-Kompensation in der Kritik. Solltest du deine nächste Reise ausgleichen?*. Utopia. Ratgeber. Abgerufen am 20.01.2023 unter <https://utopia.de/ratgeber/fliegen-co2-kompensation-ausgleich/>

Material MIV20 -

Auszug aus dem Artikel *CO₂-Kompensation: Echter Klimaschutz oder Greenwashing?* von der gemeinnützigen Umweltorganisation Greenpeace.

CO₂-Kompensation: Echter Klimaschutz oder Greenwashing?

Greenpeace, 28 June 2023.

Die Nachfrage nach möglichen CO₂-Kompensationen steigt. Selbst Fluggesellschaften machen mit. Handelt es sich dabei also um ein wirksames Instrument zur Eindämmung der globalen Erwärmung oder doch nur um eine PR-Masche?

Es ist und bleibt Greenwashing

Im Grunde werden Unternehmen also dazu ermutigt, ihre Emissionen zu kompensieren, anstatt sie zu reduzieren. Anstatt das eigene Geschäftsmodell oder die eigenen Aktivitäten zu hinterfragen und auf diese Weise wirklich etwas zum Klimaschutz beizutragen, spendet ein Unternehmen einen (kleinen) Teil seines Gewinns an „umweltfreundliche“ Projekte, um sich selbst zu rehabilitieren und die Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit umzulenken. In Wahrheit handelt es sich hierbei, wie so oft, um nichts anderes als Greenwashing.

Der große Verlierer: die südlichen Staaten

Wie immer sind es die Ärmsten, die für die Reichsten einbüßen müssen. Projekte, die „dank“ des CO₂-Ausgleichs entstehen, gehen oft auf Kosten von Entwicklungsländern und haben weitreichende Folgen für Biodiversität (Anpflanzung nicht einheimischer Baumarten, Monokulturen...) und Menschenrechte (Enteignung, keine Einbeziehung der lokalen Bevölkerung).

Einem Oxfam-Bericht zufolge könnte der rasante Anstieg der „Netto-Null-Emissionen“-Verpflichtungen die Nachfrage nach Land um ein Vielfaches erhöhen und nicht nur zu Massenvertreibungen führen, sondern auch die Ernährungssicherheit vieler Menschen gefährden. Derselbe Bericht schätzt, dass die Gesamtfläche, die zur Kohlenstoffbindung benötigt wird, fünfmal größer sein könnte als die Fläche Indiens.

Länder mit niedrigem Einkommen, die nicht nur die ersten Opfer der globalen Erwärmung sind, sondern auch am wenigsten dazu beitragen, zahlen also den Preis für die Aktivitäten der am stärksten industrialisierten Länder. Ein Problem der Ethik und der Klimagerechtigkeit.

Ist das Pflanzen von Bäumen die wirksamste Form der CO₂-Kompensation?

Bäume pflanzen, Aufforstung, Forstwirtschaft – solche Projekte werden oft als Mittel zur Reduzierung oder Bindung von Kohlenstoff angepriesen. Dabei ist das Pflanzen von Bäumen, die wohl bekannteste Möglichkeit zur Kompensation von CO₂-Emissionen, äußerst fragwürdig. Zunächst einmal brauchen die gepflanzten Bäume Jahrzehnte, bis sie ausgewachsen sind und tatsächlich einen Ausgleich schaffen können. Vorausgesetzt, die Bäume sterben nicht vorzeitig ab (z. B. durch Brände, Überschwemmungen oder Dürren) und schaffen es tatsächlich, den Kohlenstoff wie ursprünglich geplant zu binden.

Darüber hinaus bestehen auch weitere Risiken bei dieser Art von Vorhaben. Die biologische Vielfalt könnte durch die Anpflanzung von Bäumen beeinträchtigt werden (durch die Veränderung eines Ökosystems in eine Baumplantage, die oft aus Monokulturen besteht).

Letztendlich ist es sehr schwierig, den durch die eine oder andere Maßnahme "kompensierten" Kohlenstoff genau zu beziffern. Wie soll es ohne akkurate Analysen möglich sein, die tatsächlichen Auswirkungen des Kohlenstoffausgleichs auf das Klima zu messen?

CO₂-Emissionen alleine sind nicht das Problem

Leider genügt es nicht, die klimaschädlichen Aktivitäten einer Organisation oder eines Unternehmens nur auf ihre CO₂-Emissionen zu reduzieren. Umweltschädliche Unternehmen stoßen nicht nur Treibhausgase aus, sie gefährden darüber hinaus unsere Umwelt, indem sie Ökosysteme aus dem Gleichgewicht bringen, verdrängen oder zerstören. Sie schaden der biologischen Artenvielfalt, indem sie Tier- und Pflanzenarten in Mitleidenschaft ziehen, bedrohen unsere Gesundheit und die Menschenrechte.

Reduzieren nicht Kompensieren

Obwohl der IPCC (Weltklimarat) die Bindung und Speicherung von Kohlenstoff als unerlässlich für die Eindämmung der globalen Erwärmung bewertet, darf diese Tatsache nicht als Einladung verstanden werden, immer mehr zu produzieren.

CO₂ staut sich in der Atmosphäre an, und selbstverständlich müssen die bereits freigesetzten Treibhausgase kompensiert werden. Wir haben allerdings nicht die Wahl zwischen Reduzieren und Kompensieren: Um den Herausforderungen des Klimawandels zu begegnen und die im Pariser Klimaschutzabkommen festgelegten Ziele zu erreichen, bedarf es beidem.

Großkonzerne und Institutionen müssen von unseren Regierungen umgehend zur Umsetzung konkreter Reduktionsziele für ihre Treibhausgasemissionen verpflichtet werden (und dies nicht nur durch oberflächliche Kohlenstoffgutschriften). Nicht ein einziger Euro darf mehr in die Hände von umweltverschmutzenden Unternehmen fließen. Es geht um unser Überleben.

Der Energie-, Wirtschafts- und Sozialwandel unserer Konsumgesellschaft darf nicht länger auf sich warten lassen. Unsere Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen kann nicht von Dauer sein.

Quelle: Auszug aus Greenpeace (2023). *CO₂-Kompensation: Echter Klimaschutz oder Greenwashing?*. Abgerufen am 21.01.2024 unter <https://www.greenpeace.org/luxembourg/de/aktualitaet/18955/co%E2%82%82-kompensation-echter-klimaschutz-oder-greenwashing/>, geringfügig adaptiert.

Material MIV21 -

Auszug aus dem Artikel *CO₂-Kompensation: Greenwashing oder nachhaltige Chance?* von Herolé, einem der größten Veranstalter für Klassenfahrten in Deutschland.

Greenwashing: Was ist das überhaupt?

Das englische Kunstwort Greenwashing bedeutet übersetzt „Grünwaschen“ und ist eine Weiterentwicklung des bekannten Ausdrucks Whitewashing, mit dem auf Englisch das Schönfärben oder Reinwaschen bezeichnet wird. Beim Greenwashing geben sich Unternehmen einen grünen Anstrich, mit dem sie sich umweltbewusst und nachhaltig zeigen wollen. Allerdings zeigt sich beim näheren Hinsehen, dass die Aussagen oftmals nur teilweise stimmen oder Nachweise für das vermeintlich nachhaltige Engagement fehlen. Einige Unternehmen engagieren sich auch werbewirksam in einer einzigen Aktion, während sie in ihrem Alltagsgeschäft weiterhin der Umwelt schaden.

Sowohl globale Großkonzerne als auch kleine und mittelständische Betriebe können Greenwashing betreiben. Allein die Eingabe von „Greenwashing Beispiele“ bei Google liefert zahlreiche Fälle aus unterschiedlichen Branchen.

Wie kann ich Greenwashing erkennen?

Nicht immer ist auf den ersten Blick erkenntlich, ob ein Unternehmen wirklich Greenwashing betreibt oder nicht. Meist wirkt der Internetauftritt zunächst durchaus überzeugend, doch können die getroffenen Aussagen bei genauerer Betrachtung auch durch konkrete Aktionen oder zuverlässige Kooperationspartner aus dem Bereich Klima- und Umweltschutz bewiesen werden?

Einen guten Anhaltspunkt für den „Greenwashing-Check“ bieten spezielle Label oder Güte- und Prüfsiegel, wie beispielsweise das Umweltsiegel Blauer Engel oder das speziell für die Reisebranche entwickelte TourCert-Zertifikat.

Die **Vergabe aller Label oder Prüfsiegel erfolgt immer nach vorheriger Prüfung** von unabhängigen Dritten. Wichtig: Manche Firmen schmücken sich mit eigens erfundenen Prüfsiegeln, die denen echter Organisationen ähneln. Mit Hilfe neutraler Websites wie SIEGELKLARHEIT.DE lässt sich dies schnell und unkompliziert prüfen.

1.3 CO₂-KOMPENSATION UND GREENWASHING

Auch im Zusammenhang mit CO₂-Kompensationen von Unternehmen wird oft von Greenwashing oder CO₂-Ablasshandel gesprochen. Nicht, weil die Aufforstung von Wäldern oder die Unterstützung von Klimaschutzprojekten per se schlecht wäre, sondern weil die eigentliche Ursache der entstandenen CO₂-Emissionen nicht nachhaltig bekämpft wird. Bevor CO₂-Kompensationen geleistet werden, sollten mögliche CO₂-Reduktionsmaßnahmen im eigenen Unternehmen durchgeführt werden. Dies können beispielsweise überarbeitete energiesparende Prozesse oder Investitionen in grüne Energieträger sein. Bleiben dann immer noch unvermeidbare CO₂-Emissionen, ist deren Kompensation natürlich besser, als gar nichts zu tun. Wichtig ist dabei nur, dass es sich um transparente und langfristig nachhaltige Projekte handelt.

Quelle: Herolé (2023). *CO₂-Kompensation: Greenwashing oder nachhaltige Chance?*. Herolé Ratgeber. Abgerufen am 24.01.2024 unter <https://www.herole.de/blog/co2-kompensation-greenwashing/>

Materialien für die Gruppe 4: Atmosfair

Arbeitsblatt Gruppe 4 – Seite 1

Material MIV21 - Arbeitsblatt Gruppe 4

Name : _____

Datum : _____

Arbeitsblatt Gruppe 4: Atmosfair

Atmosfair ist eine bekannte Klimaschutz-Organisation, die CO_2 -Kompensationen anbietet. Im Jahr 2022 wurde sie Testsieger bei der Stiftung Warentest und war dort als einziger CO_2 -Kompensationsanbieter *Sehr gut* (Stiftung Warentest, 2022).

Öffnet die Website von Atmosfair (<https://www.atmosfair.de/de/>).

Fasst die Leitsätze zu CO_2 -Kompensationen zusammen und erläutert hierbei, warum sich Inlandsflüge über Atmosfair nicht kompensieren lassen.

Hinweis: Schaut hier nach: https://www.atmosfair.de/de/gruenreisen/flugreisen_leitsaetze/

Nennt einige Klimaschutzprojekte, die Atmosfair fördert und erläutert, wieso nur Projekte in Entwicklungsländern gefördert werden.

Erläutert auch, warum Waldprojekte nicht gefördert werden.

Hinweis: Schaut z.B. bei den FAQs nach (<https://www.atmosfair.de/de/faqs/>).

Bewertungskriterien für Internetquellen (für das Tafelbild 2)

Material MIV22 -Bewertungskriterien für Internetquellen (aus Wodzinski, 2013b, S. 14).

Bewertungskriterien für Internetquellen	
Kriterium	Fragen zum Kriterium
Autor	<ul style="list-style-type: none"> • Ist der Autor des Textes angegeben? • Sind die Interessen des Seitenbetreibers erkennbar die die Auswahl oder Betonung bestimmter Sachverhalte nahelegen?
Adresse der Seite	<ul style="list-style-type: none"> • Von wem wurde die Internetseite veröffentlicht? Handelt es sich um die offizielle Publikation einer anerkannten Organisation? Sind die Kontaktdaten (Adresse, Telefonnummer) angegeben? • Lässt der Servername auf den Namen einer Behörde, Firma oder öffentlichen Institution schließen?
Veröffentlichungszweck	<ul style="list-style-type: none"> • Mit welchem Zweck/aus welchem Anlass wurde die Information veröffentlicht? • Welche Zielgruppe soll angesprochen werden?
Äußere Aufmachung	<ul style="list-style-type: none"> • Ist die Aufmachung der Seite seriös (Farbe, Layout, Gestaltung)? • Ist auf der Seite Werbung zu finden? Welche? Ist Sie deutlich vom Inhalt der Seite getrennt?
Aktualität und Kontinuität	<ul style="list-style-type: none"> • Wann wurde die Seite zuletzt inhaltlich überarbeitet? • Welchen Stand haben die Informationen? • Ist die Internetseite längerfristig verfügbar?
Schreibstil	<ul style="list-style-type: none"> • Ist das Dokument sachlich, neutral und objektiv geschrieben? • Werden sprachliche Mittel benutzt, um den Leser zu beeinflussen? • Ist die Seite sprachlich korrekt?
Inhalt/ sachliche Richtigkeit	<ul style="list-style-type: none"> • Lassen sich Aussagen überprüfen? • Ist die Information plausibel? Stimmt sie mit Informationen aus anderen Quellen überein? • Auf welche Quellen wird verwiesen, welche werden zitiert? • Wohin führen die Links?
Referenzen	<ul style="list-style-type: none"> • Gibt es andere Dokumente, die sich auf das gefundene Dokument beziehen? • Von welchen Seiten wird auf die gefundene Seite verlinkt? • Verweist das Dokument auf andere Quellen? • Funktionieren die Links und sind sie aktuell? • Gibt es Kommentare von Nutzern (bzgl. Qualität, Zuverlässigkeit, ...)?

PLURV-Techniken zum Umgang mit Desinformationen im Internet durch Inokulation und Debunking.

Material MIV23 - PLURV-Techniken zum Umgang mit Desinformationen im Internet durch Inokulation und Debunking.

Techniken der Wissenschaftsleugnung

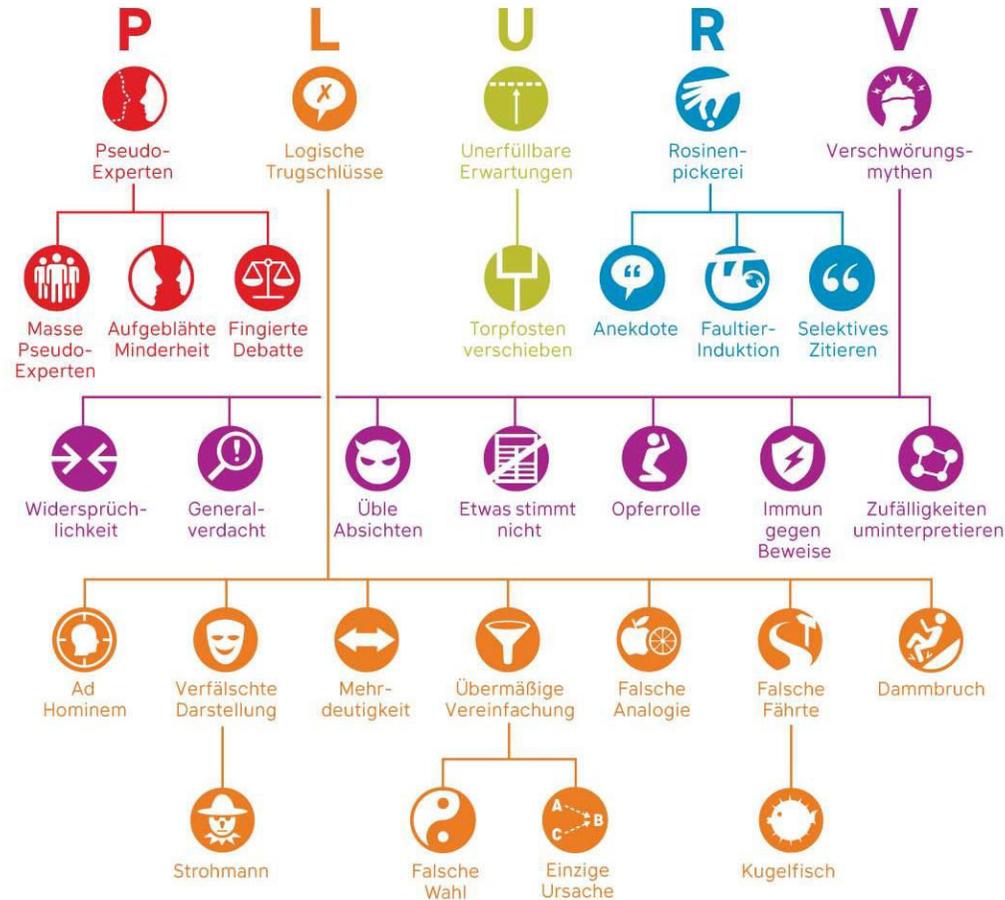


Abbildung UIV3 – PLURV-Techniken zum Umgang mit Desinformationen (aus WIKIWL, 2024, Urheber: Skeptical Science).

Literatur- und Quellenverzeichnis für Unterrichtsstunde VI

- Bernsteiner, A., Schubatzky, T., Haagen-Schützenhofer, C. (2024). *Förderung eines kritischen Umgangs mit (Des-)Informationen durch aktive Inokulation und Debunking*. In: Graulich, N., Arnold, J., Kubsch, M. (Hrsg.). *Lehrkräftebildung von morgen Beiträge der Naturwissenschaftsdidaktiken zur Förderung überfachlicher Kompetenzen*. Waxmann Verlag GmbH. Münster.
- Bopst, J., Herbener, R., Hözer-Schopohl, O., Lindmaier, J., Myck, T., Weiß, J. (2019a). *Umweltschonender Luftverkehr, lokal – national – international*. Umwelt Bundesamt. Text 130/2019. Dessau-Roßlau.
- Bopst, J., Herbener, R., Hözer-Schopohl, O., Lindmaier, J., Myck, T., Weiß, J. (2019b). *Wohin geht die Reise? Luftverkehr der Zukunft: umwelt- und klimaschonend, treibhausgasneutral, lärmarm*. Umwelt Bundesamt. Dessau-Roßlau.
- Greenpeace (2023). *CO₂-Kompensation: Echter Klimaschutz oder Greenwashing?*. Greenpeace. Abgerufen am 21.01.2024 unter <https://www.greenpeace.org/luxembourg/de/aktualitaet/18955/co%E2%82%82-kompensation-echter-klimaschutz-oder-greenwashing/>
- Herolé (2023). *CO₂-Kompensation: Greenwashing oder nachhaltige Chance?*. Herolé Ratgeber. Abgerufen am 24.01.2024 unter <https://www.herole.de/blog/co2-kompensation-greenwashing/>
- Kultusministerkonferenz [KMK] (2020c). *Bildungsstandards im Fach Physik für die Allgemeine Hochschulreife*, Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 18.06.2020.
- Laage, P. (2019). *Der Umwelt zuliebe aufs Fliegen verzichten?*. Frankfurter Rundschau. Abgerufen am 17.12.2023 unter <https://www.fr.de/wissen/umwelt-zuliebe-aufs-fliegen-verzichten-11012365.html>

Masengarb, C. (o.D.). FOCUS online-Redakteur Christian Masengarb. Abgerufen am 21.01.2024 unter

https://www.focus.de/intern/impressum/autoren/christian-masengarb_id_159663707.html

Masengarb, C. (2023). *Wie Sie mit gutem Gewissen fliegen und CO₂*

Ausgleichen. Focus Online. Abgerufen am 20.01.2024 unter

https://www.focus.de/finanzen/flug-emissionen-flug-co2-ausgleichen-nur-ein-anbieter-ueberzeugt_id_182744387.html

Rahmenlehrplan Physik [RLPPhyBerSI] (2015). *Teil C, Physik*.

Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie Berlin; Ministerium für Bildung, Jugend und Sport des Landes Brandenburg (Hrsg.).

Schreck, K. (o.D.). Kaisa. Abgerufen am 21.01.2024 unter

<https://www.ef.de/blog/language/author/kaisa-schreck/>

Schreck, K. (o.D.). *5 Gründe warum Fliegen so toll ist*. Education First. Reisen.

Abgerufen am 20.01.2024 unter

<https://www.ef.de/blog/language/5-grunde-warum-fliegen-so-toll-ist/>

Schubarth, W. (2019). *Wertebildung in der Schule*. In: Verwiebe, R. (Hrsg.),

Werte und Wertebildung aus interdisziplinärer Perspektive. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.

Schultz, S. (o.D.). Zum Autor: Stefan Schultz. Abgerufen am 20.01.2024 unter

<https://www.spiegel.de/impressum/autor-2608ca32-0001-0003-0000-000000010487>

Schultz, S. (2019). *Warum wir uns fürs Fliegen nicht schämen müssen*. Spiegel

Wirtschaft. Abgerufen am 20.01.2024 unter

<https://www.spiegel.de/wirtschaft/soziales/klimaschutz-warum-wir-uns-fuers-fliegen-nicht-schaemen-muessen-a-1279493.html>

Stiftung Warentest (2022). Ausgleich für die Klimasünde. *Finanztest* 11/2022,

S. 12-17.

Umweltbundesamt [UBA] (2018). *Freiwillige CO₂-Kompensationen durch*

Klimaschutzprojekte. Ratgeber. Abgerufen am 21.01.2024 unter

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikation/ratgeber_freiwillige_co2_kompensation_final_internet.pdf

- Umweltbundesamt [UBA] (2022). *Flugreisen möglichst vermeiden und Alternativen nutzen*. UBA-Erklärfilm: Flugreisen und Klimawirkung. Abgerufen am 22.01.2024 unter <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/mobilitaet/flugreisen#wie-sie-flugreisen-vermeiden-können>
- Utopia (2023). *CO2-Kompensation in der Kritik. Solltest du deine nächste Reise ausgleichen?*. Utopia. Ratgeber. Abgerufen am 20.01.2023 unter <https://utopia.de/ratgeber/fliegen-co2-kompensation-ausgleich/>
- Wengel, A. (o.D.). Autorin Anna Wengel. Abgerufen am 21.01.2024 unter <https://www.travelbook.de/autor/anna-wengel>
- Wengel, A. (2022). *Warum ich weiterhin fliege und das trotz Klimawandel richtig finde*. Meinung. Travelbook. Abgerufen am 20.01.2024 unter <https://www.travelbook.de/fliegen/fliege-trotz-klimawandel>
- Wissenschaftsleugnung [WIKIWL] (2024, 5. Februar). In *Wikipedia*. Abgerufen am 08.02.2024 unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Wissenschaftsleugnung>
- Wodzinski, R. (2013b). Bewertungskompetenz im Unterricht anbahnen. Ein Überblick über geeignete Methoden. *Unterricht Physik*, 24(134), 13-16.

8.1.5 Unterrichtsstunde V

Dauer	90 min
Inhalt	<p>Auseinandersetzung mit Entscheidungsstrategien (intuitiv-rechtfertigend, kompensatorisch, non-kompensatorisch, Mischstrategie) im Alltag und bei komplexen Problemstellungen wie Socio-scientific issues (SSI).</p> <p>Anwenden kompensatorischer Entscheidungsstrategien bei der Entscheidung, ob man zu seinem Lieblingsreisziel fliegen sollte und was man beachten sollte (SSI <i>Fliegen</i>), inklusive dem Erwerb von Kenntnissen zum Socio-scientific reasoning (SSR).</p> <p>Formulierung und anschließende Reflexion einer kriteriengeleiteten Entscheidung zum SSI <i>Fliegen</i>.</p>
Phase im Agency-Modell	Evaluierung

Kompetenzziele:

Die SuS können...

- Kontroverse Kontexte mit naturwissenschaftlichem und gesellschaftlichem Bezug als SSI identifizieren und deren Merkmale benennen.
- anhand der Merkmale erläutern, dass das Fliegen ein solcher kontroverser Kontext (SSI) ist.
- Merkmale von intuitiv-rechtfertigenden, non-kompensatorischen und kompensatorischen Entscheidungsstrategien benennen, kriteriengeleitet vergleichen und hinsichtlich Qualität und Angemessenheit bewerten.
- erläutern, dass bei komplexen Problemen wie z.B. SSI kompensatorische Entscheidungen angemessen und notwendig sind.
- Bewertungskriterien in einer Entscheidungssituation aufstellen und gewichten.
- zwischen Pro- und Contra-Argumenten unterscheiden und diese den Bewertungskriterien zuordnen.
- Folgen von Handlungsoptionen bewerten.
- aufgestellte Argumente entsprechend der Gewichtung der Kriterien gegeneinander abwägen.
- eine kriteriengeleitete Entscheidung treffen und schriftlich angemessen formulieren.
- aus verschiedenen Perspektiven (unter Berücksichtigung der zugrundeliegenden Interessen) eine kriteriengeleitete Entscheidung treffen.
- erläutern, dass bei SSI eine multiperspektive Betrachtung notwendig ist.
- Handlungsempfehlungen zu Flugreisen situationsangemessen formulieren.
- einen Entscheidungsbaum zu einer Entscheidungssituation zeichnen.

Bezug zum Rahmenlehrplan (RLPPhyBerSI, 2015):

Die SuS können ...

Bewerten

- alltagsbezogene Bewertungskriterien festlegen (Niveaustufe D, Teilkompetenz *Handlungsoptionen diskutieren und auswählen*, S. 24).
- vorgegebene Bewertungskriterien anwenden (Niveaustufe E, Teilkompetenz *Handlungsoptionen diskutieren und auswählen*, S. 24).
- in einem Entscheidungsprozess relevante Bewertungskriterien anwenden (Niveaustufe F, Teilkompetenz *Handlungsoptionen diskutieren und auswählen*, S. 24).
- die Relevanz von Bewertungskriterien für Handlungsoptionen erläutern (Niveaustufe G/H, Teilkompetenz *Handlungsoptionen diskutieren und auswählen*, S. 24).
- Handlungsoptionen kriterienorientiert vergleichen (Niveaustufe D, Teilkompetenz *Handlungsoptionen diskutieren und auswählen*, S. 24).
- in einer Entscheidungssituation zwischen mehreren Handlungsoptionen begründet F auswählen (Niveaustufen E/F, Teilkompetenz *Handlungsoptionen diskutieren und auswählen*, S. 24).
- unter Berücksichtigung verschiedener Perspektiven Kompromisse entwickeln (Niveaustufen G/H, Teilkompetenz *Handlungsoptionen diskutieren und auswählen*, S. 24).
- Möglichkeiten und Folgen ihres Handelns beurteilen und Konsequenzen daraus ableiten (Niveaustufen G/H, Teilkompetenz *Handlungen reflektieren*, S. 24).

Benötigte Materialien:

Benötigt wird eine Tafel, ein Smartboard oder ein Beamer, um so die Tafelbilder zu zeigen. Um Tafelbilder interaktiv und gemeinsam mit den SuS zu erzeugen, wird ein Smartboard empfohlen.

Zur Ergebnissicherung werden zudem Poster in A3-Format ausgedruckt benötigt.

Zudem werden die Arbeitsblätter und Hinweiskarten (**Materialien MV6 - MV8**) zur individuellen Ergebnissicherung für alle SuS aus dem *Anhang zur Unterrichtsstunde V* ausgedruckt benötigt.

Außerdem sollte als Strukturierungshilfe bei den Gruppenarbeiten das Tafelbild zum Ablauf einer kompensatorischen Entscheidung in A3-Format ausgedruckt werden (**Material MV4**).

Ablauf der Stunde:

Zu Beginn der Stunde nimmt die Lehrkraft Bezug zur letzten Unterrichtsstunde und fasst zusammen, dass das Fliegen eine komplexe Thematik mit vielen Interessen und Argumenten ist.

Anschließend erläutert die Lehrkraft mit einem Tafelbild (**Material MV1**) kontroverse Kontexte mit naturwissenschaftlichen und gesellschaftlichen Bezug und führt diese als Socio scientific issues (SSI) mit den zugehörigen Merkmale ein. Die Lehrkraft fordert die SuS auf, begründet Stellung zu nehmen, ob das Fliegen (nach den Merkmalen) ein solcher Kontext (SSI) ist. Nachdem festgestellt wurde, dass das Fliegen ein SSI ist, fragt die Lehrkraft die SuS, wie man die Entscheidung treffen könnte, ob man an sein Lieblingsreiseziel fliegen und was man hierbei ggf. beachten sollte. Nachdem die SuS Ideen geäußert haben, zeigt die Lehrkraft einen Cartoon (**Material MV2**) und fordert die SuS auf die Entscheidungen der drei Personen zu beschreiben und zu vergleichen. Anschließend erarbeiten sich die SuS gemeinsam mit der Lehrkraft die verschiedenen Entscheidungsstrategien (intuitiv-rechtfertigend, non-kompensatorisch, kompensatorisch) und deren Qualitäten und reflektierenden Angemessenheit in verschiedenen Situationen (Zeitaufwand, Komplexität und Auswirkungen der Entscheidung, etc.) (**Material MV3**). Aus der Reflexion der Entscheidungsstrategien sollte hervorgehen, dass für komplexe Fragestellungen wie z.B. SSI (und damit insbesondere das Fliegen) kompensatorische Entscheidungsstrategien am angemessensten sind. Die Lehrkraft fragt die SuS, wie man eine kompensatorische Entscheidung treffen kann und sammelt Ideen. Darauf aufbauend ergänzt die Lehrkraft fehlende Elemente und stellt den Ablauf einer kompensatorischen Entscheidung am Smartboard vor (**Material MV4**). Dieses, zuvor in A3 Format ausgedruckte, Tafelbild kann nun im Klassenraum aufgehängt werden.

Die Lehrkraft teilt anschließend das Arbeitsblatt 1 (**Material MV6**) aus und fordert die SuS auf, eine kriteriengeleitete Entscheidung zu treffen, ob sie zu ihrem Lieblingsreiseziel fliegen würden und was dabei ggf. beachten würden. Die Lehrkraft bietet den SuS eine Hinweiskarte (**Material MV7**) als Hilfestellung an, die sich die SuS bei Bedarf nehmen können. Die SuS sollen sich hierzu die Inhalte, die gesammelten Argumente und Methoden der letzten Unterrichtsstunden anschauen. Nach ca. 15 Minuten fordert die Lehrkraft einzelne SuS auf, ihre Entscheidung begründet vorzustellen. Anschließend regt die Lehrkraft eine kurze

Pro- und Contra-Diskussion unter den SuS an, in der die SuS ihre Entscheidung verteidigen sollen. Anschließend soll diese, angeregt durch 4 Fragen (Wer hat sich in der Diskussion durchgesetzt? Welche Rolle haben (sachliche) Argumente gespielt? Wie könnte man für die eigene Position noch überzeugender werben? Inwieweit war die Diskussion realistisch?) reflektiert werden.

Nun soll eine kurze Reflexion über die getroffenen Entscheidungen stattfinden: Die SuS sollen den Entscheidungsprozess und die verwendeten Kriterien reflektieren. Es kann z.B. festgestellt werden, dass die verwendeten Kriterien nicht alle Perspektiven abdecken und bei weiteren Diskussionen andere Kriterien ergänzt werden müssen.

Danach teilt die Lehrkraft den SuS mit, dass sie sich nun in Gruppen in eine der drei Personen in den verschiedenen Situationen hineinversetzen sollen, eine kriteriengeleitete Entscheidung treffen und anschließend Handlungsempfehlungen an die Person formulieren sollen. Hierzu teilt die Lehrkraft nach der Gruppeneinteilung (und der Zuweisung der Gruppen zu einer Situation) das Arbeitsblatt 2 (**Material MV8**) aus. Nach ca. 10 Minuten schließen sich je 1 bis 2 SuS aus den Gruppen, die die Situationen 1, 2 und 3 bearbeitet haben, zu einer neuen Gruppe zusammen und stellen sich gegenseitig die Entscheidungen und Handlungsempfehlungen vor und reflektieren ihre Entscheidungen. Nach einem kurzen Vergleich im Plenum weist die Lehrkraft darauf hin, dass es bei unterschiedlichen Situationen zu unterschiedlichen Entscheidungen kommen kann und daher immer eine multiperspektive Betrachtung von komplexen Problemstellungen wie SSI notwendig ist.

Anschließend teilt die Lehrkraft den SuS den nächsten Arbeitsauftrag mit: Die SuS sollen in den Gruppen einen Entscheidungsbaum erstellen, mit denen andere SuS der Schule eine Entscheidungshilfe und Handlungsempfehlungen erhalten, ob sie fliegen sollten und worauf sie ggf. achten sollten. Die LK zeigt hierzu beispielhaft einen Entscheidungsbaum am Smartboard (**Material MV5**) und beantwortet ggf. auftretende Fragen. Anschließend teilt die Lehrkraft A3-Poster aus und fordert die Gruppen zum Arbeiten auf. Nach ca. 16 Minuten fordert die Lehrkraft die Gruppen auf, ihre Ergebnisse kurz im Plenum vorzustellen. Anschließend sollen die SuS ein Plakat begründet auszuwählen und es ggf. (durch Ideen anderer Gruppen) ergänzen.

Das ausgewählte A3-Poster wird im Klassenraum aufgehängt.

Hinweise und Anmerkungen sowie Potential zur Differenzierung

Zur Vorbereitung der Stunde sind die Arbeitsblätter (**Materialien MV6 - MV8**) im Anhang der Unterrichtsstunde V für die SuS auszudrucken. Zudem sind Poster in DIN A3-Format mitzubringen.

Der Begriff *Socio-scientific issue* (SSI) sollte als kontroverser Kontext mit naturwissenschaftlichem und gesellschaftlichem Bezug eingeführt werden. Es ist empfehlenswert auch andere SSI als Beispiele zu nennen bzw. die SuS aufzufordern, sich weitere SSI zu überlegen (z.B. der Bau eines Windrads oder eines Atomkraftwerks).

Das Tafelbild zum Ablauf einer kompensatorischen Entscheidung (**Material MV4**) sollte vor der Stunde in A3-Format ausgedruckt werden, um es nach der Vorstellung in der Stunde im Klassenraum aufzuhängen.

Sollte keine Doppelstunde möglich sein, empfiehlt es sich die Doppelstunde in zwei Einzelstunden zu teilen. Eine geeignete Teilung empfiehlt sich etwa nach der Phase *Reflexion* (nach 45 min), da hier die Reflexion der Pro- und Contra-Diskussion sowie der verwendeten Kriterien bei der individuellen Entscheidung stattgefunden hat und anschließend die multiperspektive Auseinandersetzung stattfindet.

Zur Differenzierung wurde eine Hinweiskarte zum Arbeitsblatt 1 (**Material MV7**) erstellt, auf dem mögliche Kriterien für die Entscheidung in die Tabelle eingefügt wurden. Zudem wurde die Tabelle durch einen kurzen Hinweistext erläutert.

Tabelle UV1: Möglicher Verlaufsplan der Unterrichtsstunde V

Zeit (min)	Phase	Geplantes LK-Verhalten	Geplantes SuS-Verhalten	Sozialform	Medien/Materialien	Kommentare
4	Einstieg	Die LK begrüßt die SuS, nimmt Bezug zur letzten Stunde und fasst zusammen, dass das Fliegen eine komplexe Thematik ist. Anschließend erläutert die LK an einem Tafelbild (Material MV1), dass SSI kontroverse Kontexte mit naturwissenschaftlichem und gesellschaftlichem Bezug sind und erläutert, welche Merkmale sie ausmachen. Die LK fordert die SuS auf, begründet Stellung zu nehmen, ob das Fliegen ein SSI ist.	Die SuS hören zu und nehmen begründet mit den Merkmalen von SSI Stellung, ob das Fliegen ein SSI ist.	UG	Smartboard/ Tafelbild (Material MV1)	Der Begriff SS/ sollte als kontroverser Kontext anhand von Beispielen (z.B. ein Atomkraftwerkbau) eingeführt werden.
5	Gelenk I	Die LK nimmt Bezug zur Fragestellung, ob man zu seinem Lieblingsreiseziel fliegen sollte und fragt die SuS, wie man eine solche Entscheidung treffen könnte. Die LK zeigt anschließend einen Cartoon (Material MV2) und fordert die SuS auf diesen zu beschreiben.	Die SuS äußern Ideen, wie man eine Entscheidung treffen kann und beschreiben den Cartoon.	UG	Smartboard/ Tafelbild (Material MV2)	
6	Erarbeitung I	Die LK fordert die SuS auf, die Entscheidungsstrategien der drei Personen im Cartoon zu vergleichen. Die LK erarbeitet gemeinsam mit den SuS die verschiedenen Entscheidungsstrategien und vergleicht deren Qualität und Angemessenheit anhand eines Tafelbildes (Material MV3).	Die SuS vergleichen die Entscheidungsstrategien der Personen im Cartoon und erarbeiten sich die Merkmale der Strategien. Die SuS diskutieren über die Angemessenheit und Qualität der Strategien.	UG	Smartboard/ Tafelbild (Material MV3)	Es sollte festgestellt werden, dass für SSI kompensatorische Entscheidungsstrategien am angemessensten sind.
5	Erarbeitung II	Die LK fordert die SuS auf Ideen zu äußern, wie man eine kompensatorische Entscheidung treffen kann. Die LK notiert die Ideen am Smartboard, ergänzt fehlende Elemente und stellt anschließend den Ablauf einer kompensatorischen Entscheidung mit dem Schaubild (Material MV4) vor. Die LK hängt das Schaubild in A3-Format auf.	Die SuS äußern Ideen, wie man eine kompensatorische Entscheidung treffen kann.	UG	Smartboard/ Schaubild (Material MV4) als Tafelbild und in A3-Format	

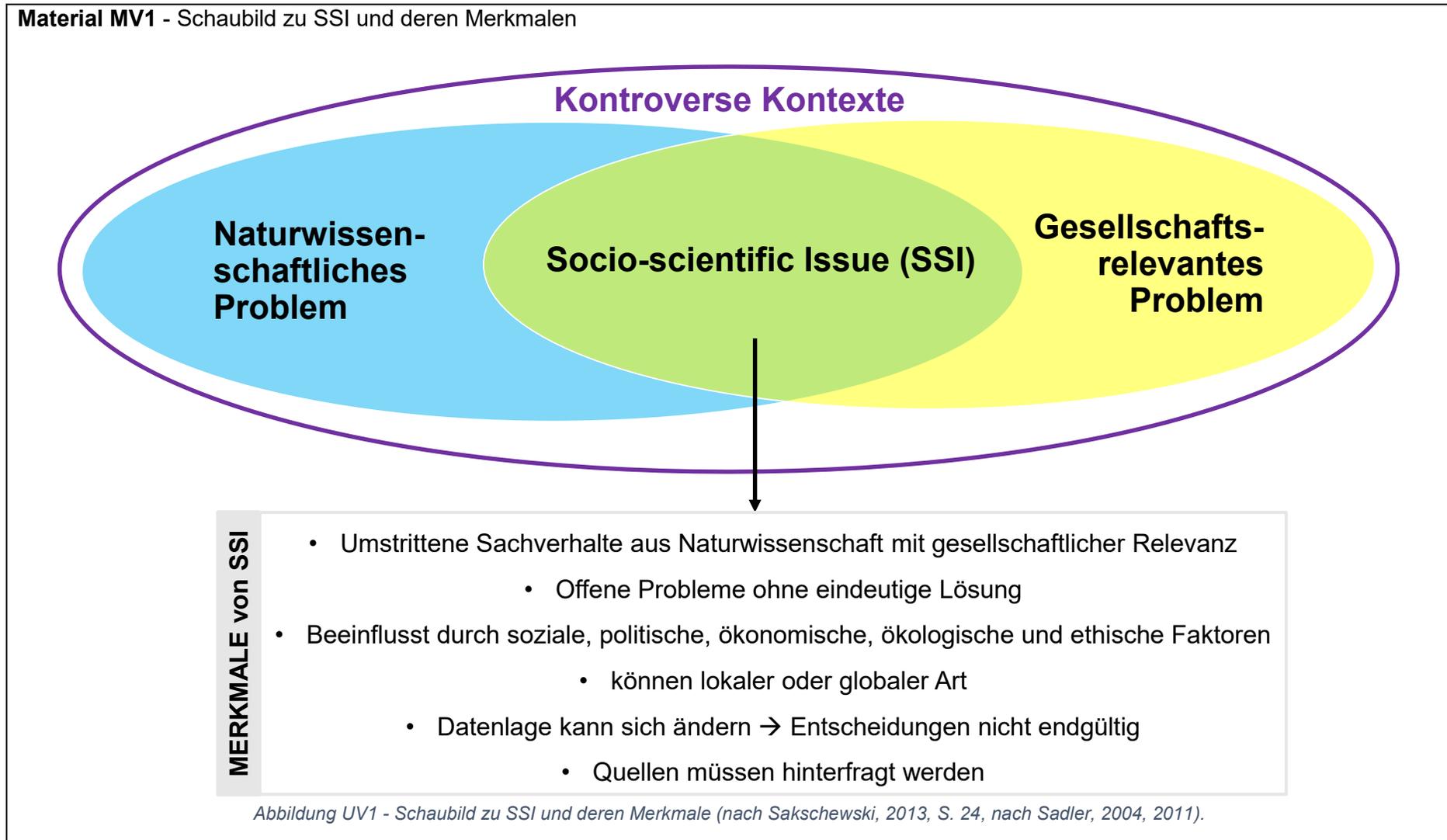
15	Erarbeitung III	Die LK erläutert den Arbeitsauftrag: Die SuS sollen eine kriteriengeleitete kompensatorische Entscheidung treffen, ob sie zu ihrem Lieblingsreisziel fliegen würden und worauf sie dabei achten würden. Die LK teilt anschließend das Arbeitsblatt 1 (Material MV6) aus und bietet die zugehörige Hinweiskarte (Material MV7) als Hilfestellung an. Die LK fordert die SuS auf, das Arbeitsblatt zu bearbeiten.	Die SuS hören zu und bearbeiten das Arbeitsblatt. Die SuS formulieren eine kriteriengeleitete Entscheidung.	EA	Arbeitsblatt 1 (Material MV6)/ Hinweiskarte zum Arbeitsblatt 1 (Material MV7)	
10	Reflexion	Die LK fordert einzelne SuS auf ihre Entscheidung begründet im Plenum vorzustellen. Die LK regt anschließend eine Pro- und Contra-Diskussion an. Die LK fordert die SuS mit den 4 Fragen auf, die Pro- und Contra-Diskussion zu reflektieren: Wer hat sich in der Diskussion durchgesetzt und aus welchem Grund? Welche Rolle haben (sachliche) Argumente gespielt? Wie könnte man für die eigene Position noch überzeugender werben? Inwieweit war die Diskussion realistisch? Die LK fordert zu einer Reflexion über die getroffenen Entscheidungen (inklusive einer Reflexion der verwendeten Kriterien) an.	Einzelne SuS stellen ihre Entscheidungen begründet vor. Die SuS führen eine Pro- und Contra-Diskussion und reflektieren diese. Die SuS reflektieren den Entscheidungsprozess und die verwendeten Kriterien.	UG		Bei der Reflexion über die getroffene Entscheidung sollten insbesondere die verwendeten Kriterien reflektiert werden. Haben die Kriterien ausgereicht? Welche Kriterien haben ggf. gefehlt?
Mögliche Teilung der Doppelstunde in 2 Einzelstunden						
1	Gelenk II	Die LK teilt den SuS mit, dass sie sich nun in Gruppen in eine Situation hineinversetzen sollen, eine kriteriengeleitete Entscheidung treffen und anschließend Handlungsempfehlungen an die Person formulieren sollen. Die LK teilt nach der Gruppeneinteilung (und Situationszuweisung) das Arbeitsblatt 2 (Material MV8) aus.	Die SuS hören zu.		Arbeitsblatt 2 (Material MV8)	
8	Erarbeitung IV	Die LK fordert die SuS auf, die Gruppenarbeit zu beginnen und begleitend die Tabelle auf dem Arbeitsblatt 2 auszufüllen.	Die Gruppen bearbeiten das Arbeitsblatt 2 (Material MV8).	GA	Arbeitsblatt 2 (Material MV8)	

1	Gelenk III	Die LK fordert die SuS auf ihre Gruppen aufzulösen und sich in neuen Gruppen so zusammenzufinden, dass jeweils mindestens eine Person eine der Situationen bearbeitet hat.	Die SuS setzen sich um und bilden neue Gruppen.			
5	Vertiefung	Die LK fordert die SuS auf sich ihre Entscheidungen und empfohlenen Handlungsoptionen gegenseitig in den neuen Gruppen zu präsentieren und Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu besprechen.	Die SuS präsentieren sich in den Gruppen ihre Ergebnisse aus der vorherigen Gruppenarbeit.	GA		
3	Sicherung I	Die LK fordert zu einem Vergleich im Plenum auf und vergleicht ausgewählte Ergebnisse. Die LK hält fest, dass es bei unterschiedlichen Situationen zu unterschiedlichen Entscheidungen kommen kann und daher immer eine multiperspektive Betrachtung von komplexen Problemstellungen wie SSI notwendig ist.	Einzelne SuS präsentieren Ergebnisse im Plenum.	UG		
3	Gelenk IV	Die LK teilt den SuS den nächsten Arbeitsauftrag mit: Die SuS sollen in den Gruppen einen Entscheidungsbaum erstellen, mit denen andere SuS der Schule eine Entscheidungshilfe und Handlungsempfehlungen erhalten, ob sie Fliegen sollten und worauf sie ggf. achten sollten. Die LK zeigt beispielhaft einen Entscheidungsbaum am Smartboard (Material MV5) und beantwortet ggf. auftretende Fragen.	Die SuS hören zu.	LV	Smartboard/ Tafelbild (Material MV5)	
16	Erarbeitung V	Die LK teilt A3-Poster aus und fordert die Gruppen zum Arbeiten auf.	Die SuS arbeiten in Gruppen und erstellen kollaborativ auf dem ausgeteilten A3-Poster einen Entscheidungsbaum.		A3-Poster	Die SuS sollten den Entscheidungsbaum zuerst auf einem A4-Blatt zeichnen.
11	Sicherung II	Die LK fordert die Gruppen auf, ihre Ergebnisse kurz im Plenum vorzustellen. Die LK fordert die SuS anschließend auf, ein Poster begründet auszuwählen und es ggf. (durch Ideen anderer Gruppen) zu ergänzen.			A3-Poster	Das ausgewählte A3-Poster wird im Klassenraum aufgehängt.

Anhang zur Unterrichtsstunde V

Tafelbilder

Tafelbild 1: Schaubild zu SSI und deren Merkmale.



Tafelbild 2: Cartoon zu Entscheidungsstrategien.

Material MV2 - Cartoon zu Entscheidungsstrategien



Abbildung UV2 - Cartoon zu Entscheidungsstrategien.

Tafelbild 3: Schaubild zu Entscheidungsstrategien.



Tafelbild 4: Schaubild zum Ablauf für kompensatorischen Entscheidungsstrategien.

Material MV4 - Schaubild zum Ablauf für kompensatorischen Entscheidungsstrategien



Abbildung UV4 - Ablauf einer kompensatorischen Entscheidungsstrategie (nach Knittel & Mikelskis-Seifert, 2013, Höttecke, 2013a, Bertsch & Haberstroh, 2005).

Tafelbild 5: Entscheidungsbaum (Beispiel als Orientierungshilfe für SuS).

Material MV5 - Entscheidungsbaum (Beispiel *Sollte ich essen bestellen oder selbst kochen?* als Orientierungshilfe für SuS)

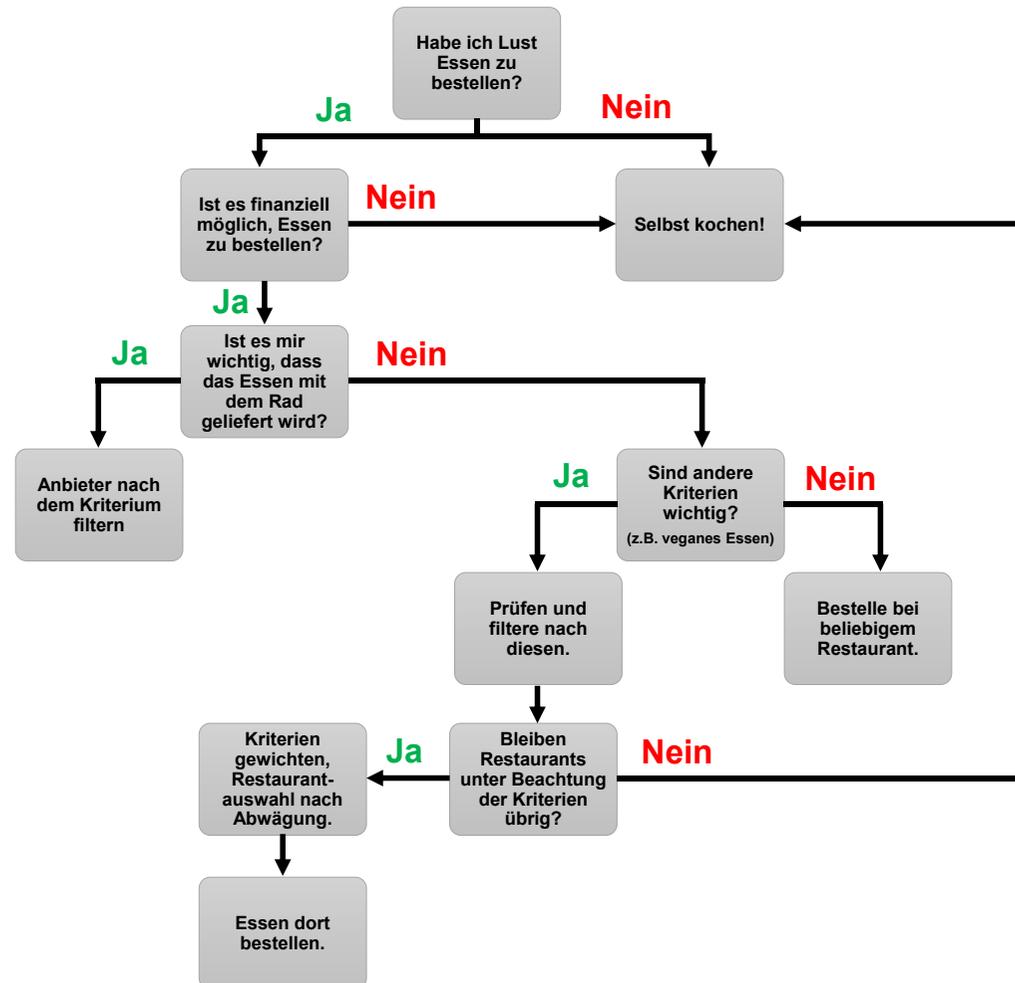


Abbildung UV5 - Entscheidungsbaum zur Frage *Sollte ich essen bestellen oder selbst kochen?*.

Arbeitsblätter

Arbeitsblatt 1: Arbeitsblatt zur kriteriengeleiteten Entscheidung.

Material MV6 - Arbeitsblatt zur kriteriengeleiteten Entscheidung

Kriteriengeleitete Entscheidung zur Frage:

Sollte man zu seinem Lieblingsreisziel fliegen und worauf sollte man ggf. achten?

Nach dem ihr in den letzten Unterrichtsstunden das Fliegen als SSI kennengelernt, von mehreren Perspektiven betrachtet, Argumente und Informationen gesammelt und geordnet habt, sollt ihr nun eine kriteriengeleitete Entscheidung zur oben genannten Frage treffen.

Als Strukturierungshilfe kann euch das Hinweisblatt (Material MV7) sowie das Schaubild zum Ablauf für kompensatorischen Entscheidungsstrategien dienen.

Aufgaben:

1. Beschreibe, warum die Fragestellung eine Problemstellung im Sinne eines Socio scientific issue (SSI) darstellt.

2. Leite Handlungsmöglichkeiten aus der Fragestellung ab.

Berücksichtige hierbei auch die Ergebnisse der letzten Unterrichtsstunden.

1/3

3. Lege Bewertungskriterien fest, anhand derer du deine Entscheidung begründen kannst.
Trage diese in die unten stehende Tabelle ein.

4. Sammle nun anhand der festgelegte Kriterien Pro- und Contra- Argumente und berücksichtige hierbei die Folgen/Konsequenzen der Handlungsmöglichkeiten.

Kriterien (Gewichtung)	Pro-Argumente (Argumente, die <u>für</u> das Fliegen sprechen)	Contra-Argumente (Argumente, die <u>gegen</u> das Fliegen sprechen)
<input type="text"/>		

Material MV7 - Hinweiskarte zum Arbeitsblatt 1

Strukturierungshilfe für eine kriteriengeleitete Entscheidung

Folgende Tabelle soll dir eine Strukturierungshilfe für die kriteriengeleitete Entscheidung geben, ob und wie man ggf. zu seinem Lieblingsreisziel fliegen sollte.

In der ersten Spalte sind mögliche Kriterien aufgelistet, anhand derer man Argumente sammeln und ordnen kann, die für (2. Spalte) oder gegen das Fliegen (3. Spalte) sprechen. Hinweis: Du kannst die Liste auch mit weiteren Kriterien ergänzen.

Kriterien (Gewichtung)	Pro-Argumente (Argumente, die <u>für</u> das Fliegen sprechen)	Contra-Argumente (Argumente, die <u>gegen</u> das Fliegen sprechen)
Nachhaltigkeit (ökologisch, ökonomisch, sozial) <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>		
Umweltauswirkungen <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>		
Persönliche Entwicklung <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>		
Freiheit <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>		
Komfort <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>		
<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>		
<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/>		

Material MV8 - Arbeitsblatt zu Entscheidungssituationen

Lest euch eine der Situationen durch und versetzt euch in die Lage der jeweiligen Person.

Situation 1: Nadja, Physik-Studentin aus Australien

Nadja ist für ihr Physik-Studium nach Deutschland gekommen und kann ihre Familie in Australien nur einmal im Jahr in den Semesterferien besuchen. Für sie ist es sehr wichtig ihre Familie zu sehen, weshalb sie einmal im Jahr nach Australien fliegt.



Bildquelle: Pixabay

Situation 2: Herr Dr. Lennert, Wirtschaftsprüfer

Herr Dr. Lennert ist Wirtschaftsprüfer bei einer internationalen Kanzlei und muss daher viele Unternehmen auf der ganzen Welt prüfen. Innerhalb von Deutschland erhält er über seine Kanzlei Flugtickets in der Business-Class, außerhalb erhält er aufgrund der langen Flugdauer sogar First-Class-Tickets.



Bildquelle: Pixabay, adaptiert

Situation 3: Frau von Greif, wohlhabende Erbin

Frau von Greif hat das Unternehmen ihres Vaters geerbt und ist daher sehr wohlhabend. Sie fliegt wöchentlich an ihre Lieblingsreiseziele auf der ganzen Welt. Da sie genug Geld hat und ihr Leben in vollen Zügen genießen will, nutzt sie bei kommerziellen Fluggesellschaften grundsätzlich die First-Class oder bei Bedarf auch ihren Privat-Jet.



Bildquelle: Pixabay

Notiert die folgenden Schritte in die Tabelle auf der nächsten Seite.

Überlegt euch als erstes, welche Interessen ihr als die Person hättet. Formuliert nun als diese Person eine kriteriengeleitete Entscheidung, ob ihr in dieser Situation fliegen würdet.

Formuliert anschließend objektiv Handlungsempfehlungen (z.B. Alternativen) für die Person in der Situation.

Material MV8 - Arbeitsblatt zu Entscheidungssituationen		
Situation 1	Situation 2	Situation 3
<i>Interessen</i>		
<i>Kriteriengeleitete Entscheidung</i>		
<i>Handlungsempfehlungen</i>		

2/2

Literatur- und Quellenverzeichnis für Unterrichtsstunde V

- Betsch, T., & Haberstroh, S. (Hrsg.). (2005). *The routines of decision making*. Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- Bögeholz, S., Hößle, C., Höttecke, D., Menthe, J. (2018). *Bewertungskompetenz*. In: D. Krüger, I. Parchmann & H. Schecker (Hg.), *Theorien in der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung* (S. 261–280). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Eggert, S., Bögeholz, S. (2006). Göttinger Modell der Bewertungskompetenz – Teilkompetenz "Bewerten, Entscheiden und Reflektieren" für Gestaltungsaufgaben Nachhaltiger Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, 177-197.
- Höttecke, D. (2013a). Bewerten – Urteilen – Entscheiden. Ein Kompetenzbereich des Physikunterrichts. *Unterricht Physik*, 24(134), 4-12.
- Knittel, C. & Mikelskis-Seifert, S. (2013). Lohnt sich eine Photovoltaikanlage auf dem Dach? Einbettung eines expliziten Bewertungstrainings in den Elektrizitätsunterricht der Sekundarstufe 1. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 24 (134), 22–26.
- Pixabay. Abgerufen am 05.01.2024 unter <https://pixabay.com/de/>
- Rahmenlehrplan Physik [RLPPhyBerSI] (2015). *Teil C, Physik*.
Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie Berlin; Ministerium für Bildung, Jugend und Sport des Landes Brandenburg (Hrsg.).
- Sakschewski, M. T. (2013). *Bewertungskompetenz im Physikunterricht: Entwicklung eines Messinstruments zum Themenfeld Energiegewinnung, -speicherung und -nutzung*. Dissertation. Georg-August-Universität Göttingen.
- Sadler, T. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching*, 41, 513–536.
- Sadler, T.D. (2011). *Socio-Scientific Issues in the Classroom*. Springer-Verlag, New York.
- Sander, H. (2017). *Orientierungen von Jugendlichen beim Urteilen und Entscheiden in Kontexten nachhaltiger Entwicklung. Eine rekonstruktive Perspektive auf Bewertungskompetenz in der Didaktik der Naturwissenschaften*. Berlin: Logos.
- Wodzinski, R. (2013b). Bewertungskompetenz im Unterricht anbahnen. Ein Überblick über geeignete Methoden. *Unterricht Physik*, 24(134), 13-16.

8.1.6 Unterrichtsstunde VI

Dauer	90 min
Inhalt	Auseinandersetzung mit dem aktuellen Stand der Technik von Flugzeugtriebwerken (Strahltriebwerke) und insbesondere mit alternativen Zukunftsantriebstechnologien des Luftverkehrs (Elektrische-, hybridelektrische, wasserstoffbetriebene-, solarbetriebene Flugzeuge wie auch mit nachhaltigen Luftfahrtkraftstoffen (SAF) betriebene Flugzeuge), einschließlich einer kriteriengeleiteten multiperspektiven Bewertung der Technologien durch selbst aufgestellte Bewertungskriterien.
Phase im Agency-Modell	Evaluierung

Kompetenzziele:

Die SuS können...

- erläutern, wie ein Strahltriebwerk funktioniert.
- erläutern, dass Wärmekraftmaschinen wie Strahltriebwerke und Verbrennungsmotoren einen nach oben begrenzten thermischen Wirkungsgrad η_{therm} besitzen.
- den thermischen Wirkungsgrad von Wärmekraftmaschinen berechnen, indem sie die Gleichung $\eta_{therm} = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}}$ anwenden.
- alternative Zukunftsantriebstechnologien der Luftfahrt (Elektrische-, hybridelektrische, wasserstoffbetriebene-, solarbetriebene Flugzeuge wie auch mit nachhaltigen Luftfahrtkraftstoffen (SAF) betriebene Flugzeuge) benennen.
- fachliche und überfachliche Bewertungskriterien aufstellen, mit denen die Zukunftsantriebstechnologien miteinander verglichen und deren Potentiale und Risiken bewertet werden können.
- die Funktionsweise sowie Vor- und Nachteile der Zukunftsantriebstechnologien durch vorgegebene Steckbriefe, Vertiefungstexte und eigenständige Recherchen erläutern und anhand der aufgestellten Bewertungskriterien miteinander vergleichen und bewerten.
- durch die kriteriengeleitete Bewertung ein Fazit formulieren und die Entscheidung anschließend in einer *Pro- und Contra-Diskussion* verteidigen.

Bezug zum Rahmenlehrplan (RLPPhyBerSI, 2015):

Die SuS können ...

Fachwissen

- die Umwandlung von Energieformen in Natur und Technik beschreiben (Niveaustufe D, Teilkompetenz *Energie*, S. 19).
- Energieumwandlungen bei physikalischen Vorgängen verbal und mithilfe von Energieflussschemata beschreiben (Niveaustufe E, Teilkompetenz *Energie*, S. 19).
- zwischen regenerativen und erschöpfbaren Energiequellen unterscheiden (Niveaustufe E, Teilkompetenz *Energie*, S. 19).
- verschiedene Möglichkeiten der Energiegewinnung vergleichen und bewerten (Niveaustufe F, Teilkompetenz *Energie*, S. 19).
- Wirkungsgrade bei Energieumwandlungen berechnen und bewerten (Niveaustufen G/H, Teilkompetenz *Energie*, S. 19).

Kommunizieren

- Informationen aus einem Text aufgabengeleitet entnehmen und wiedergeben (Niveaustufe D, Teilkompetenz *Informationen erschließen*, S. 22).
- themenbezogen zu einem naturwissenschaftlichen Sachverhalt in verschiedenen Quellen recherchieren (Niveaustufen E/F, Teilkompetenz *Informationen erschließen*, S. 22).
- die Seriosität und fachliche Relevanz von Informationen in verschiedenen Medien bewerten/hinterfragen (Niveaustufen G/H, Teilkompetenz *Informationen erschließen*, S. 22).

Bewerten

- alltagsbezogene Bewertungskriterien festlegen (Niveaustufe D, Teilkompetenz *Handlungsoptionen diskutieren und auswählen*, S. 24).
- vorgegebene Bewertungskriterien anwenden (Niveaustufe E, Teilkompetenz *Handlungsoptionen diskutieren und auswählen*, S. 24).
- die Relevanz von Bewertungskriterien für Handlungsoptionen erläutern (Niveaustufe G/H, Teilkompetenz *Handlungsoptionen diskutieren und auswählen*, S. 24).
- Handlungsoptionen kriterienorientiert vergleichen (Niveaustufe D, Teilkompetenz *Handlungsoptionen diskutieren und auswählen*, S. 24).
- Schlussfolgerungen mit Verweis auf Daten oder auf der Grundlage von naturwissenschaftlichen Informationen ziehen (Niveaustufen E/F, Teilkompetenz *Handlungen reflektieren*, S. 24).
- Sicherheitsrisiken einschätzen und neue Sicherheitsmaßnahmen ableiten (Niveaustufen G/H, Teilkompetenz *Werte und Normen reflektieren*, S. 25).

Benötigte Materialien:

Benötigt wird eine Tafel, ein Smartboard oder ein Beamer, um so die Tafelbilder zu zeigen. Um Tafelbilder interaktiv und gemeinsam mit den SuS zu erzeugen, wird ein Smartboard empfohlen.

Zur Ergebnissicherung werden zudem Plakate in A3-Format ausgedruckt benötigt.

Zudem werden die Materialien für die Gruppenarbeit (**Materialien MVI6 - MVI14**) und das begleitende Arbeitsblatt (**Material MVI4**) im *Anhang der Unterrichtsstunde VI* für alle SuS aus dem *Anhang zur Unterrichtsstunde VI* ausgedruckt benötigt.

Ablauf der Stunde:

Zu Beginn der Stunde nimmt die Lehrkraft Bezug zu den letzten Unterrichtsstunden und fragt die SuS, ob sie Zukunftstechnologien im Luftverkehr kennen, mit denen sie nachhaltig an ihr Lieblingsreiseziel fliegen könnten. Nach dem die SuS ihre Ideen geäußert haben, erläutert die Lehrkraft, dass es in der Luftverkehrsforschung zwei Möglichkeiten gibt: Zum einen kann die bereits bestehende Technologie (Strahl- und Manteltriebwerke) optimiert oder zum anderen können alternative Antriebsmöglichkeiten genutzt werden. Die Lehrkraft motiviert dadurch die Beschäftigung mit der bereits bestehenden Technologie und fragt die SuS, wie ein Strahltriebwerk funktioniert. Nach dem die SuS ihr Vorwissen genannt haben, zeigt die Lehrkraft das Tafelbild (**Material MVI1**) zu Strahltriebwerken, erläutert deren Funktionsweise und erklärt, dass Mantelstromtriebwerke aufgrund ihres geringeren Treibstoffverbrauchs in der zivilen Luftfahrt genutzt werden. Hierbei geht die Lehrkraft insbesondere darauf ein, dass an Ultra-High-Bypass-Ration (UHBR)- Triebwerken geforscht wird, bei denen das Nebenstromverhältnis (Verhältnis Nebenstrom zu Kernstrom durch „inneres“ Strahltriebwerk) sehr groß ist. Anschließend zeigt die Lehrkraft ein weiteres Tafelbild (**Material MVI2**) und fordert die SuS auf, dieses zu beschreiben. Anschließend erklärt die Lehrkraft, dass es sich beim Strahltriebwerk und beim Otto-Motor um Wärmekraftmaschinen handelt, d.h. um Maschinen (Energiewandler), die kontinuierlich Wärme in mechanische Arbeit umwandeln. Die Lehrkraft erläutert an einem Tafelbild (**Material MVI3**), dass bei Wärmekraftmaschinen thermodynamische Kreisprozesse durchlaufen werden, d.h. es kommt zu einer Abfolge von Zustandsänderungen, bei der der Ausgangszustand wieder erreicht wird. Die Lehrkraft erläutert weiter, dass Wärme (im Allgemeinen und insbesondere bei Kreisprozessen) nicht vollständig in mechanische Arbeit umgewandelt werden kann, führt den maximalen Wirkungsgrad einer Wärmekraftmaschine (thermischer Carnot-Wirkungsgrad) ein und erläutert an der Gleichung, dass dieser nur von den Temperaturen bei der Wärmezufuhr und bei Wärmeabgabe abhängt. Beispielhaft nennt die Lehrkraft auftretende Temperaturen im Strahltriebwerk und fordert die SuS auf, den thermischen Wirkungsgrad eines Strahltriebwerks zu berechnen. Nach einem Vergleich an der Tafel erläutert die Lehrkraft, dass reale Triebwerke aufgrund von Reibung und unerwünschter Wärmeabgabe an die Umgebung deutlich geringere Wirkungsgrade (ca. 40%) haben.

Die Lehrkraft fordert die SuS anschließend auf alternative klimafreundliche Antriebsmöglichkeiten bei Kraftfahrzeugen zu nennen und Vermutungen aufzustellen, ob auch Flugzeuge diese nutzen können. Anschließend teilt die Lehrkraft den SuS mit, dass sie sich nun in fünf Gruppen mit den einzelnen Zukunftstechnologien auseinandersetzen werden, um zu prüfen, ob es nicht zukünftig möglich ist klimaneutral an ihr Lieblingsreiseziel zu reisen. Um am Ende auszuwählen welche Zukunftstechnologien das größte Potential haben, teilt die Lehrkraft den SuS mit, dass diese miteinander verglichen werden müssen und fragt die SuS, wie dies möglich wäre. Anschließend werden im Plenum Kriterien zusammengetragen, mit denen die Technologien miteinander verglichen werden können und an der Tafel notiert. Anschließend teilt die Lehrkraft die Gruppen ein und teilt jeder Gruppe ein begleitendes Arbeitsblatt (**Material MVI4**) mit einer Tabelle aus, in der sie die Technologien kriteriengeleitet vergleichen können. Außerdem werden jeder Gruppe Materialien (**Materialien MVI6 – MVI14**) zu einer Zukunftstechnologie ausgeteilt. Die SuS haben den Arbeitsauftrag die zu ihrer Technologie gehörende Spalte in der Tabelle auf dem Arbeitsblatt auszufüllen. Die Lehrkraft fordert die SuS nach einer Erarbeitungsphase auf, zu ihrer Technologie ein A3-Poster zu erstellen. Die Lehrkraft fordert die SuS nun zu einem Galerierundgang auf, bei der eine Person aus der Gruppe bei dem Poster verbleibt und die Technologie kurz vorstellt, so dass die anderen SuS die Tabelle hinsichtlich der anderen Technologien vervollständigen können. Nach dem Galerierundgang hängt die Lehrkraft die Poster im Klassenraum auf und fordert die SuS auf sich zurück in die Gruppen zu begeben und die Technologien nun kriterienorientiert zu vergleichen und ein Fazit zu formulieren, welche Technologien Potential für den zivilen Passagierluftverkehr bieten. Abschließend fordert die Lehrkraft die SuS zu einer Pro- und Contra- Diskussion zu den Technologien im Plenum auf. Dazu fordert sie einzelne Gruppen auf, ihr Fazit begründet vorzustellen und regt die anderen SuS an, zu dem Fazit Stellung zu nehmen.

Die Lehrkraft fasst die Ergebnisse der Stunde zusammen und verdeutlicht, dass es im Bereich der künftigen Luftfahrttechnologien große Forschungsbestrebungen gibt und es in Zukunft vermutlich klimafreundlichere Antriebe geben wird. Da dies jedoch teilweise noch sehr lange dauern wird, ist es unter dem Aspekt der Klimawandels und der weltweit steigenden Nachfrage nach Flügen trotzdem wichtig, die Entscheidung zu fliegen gut abzuwägen.

Hinweise und Anmerkungen sowie Potential zur Differenzierung

Zur Vorbereitung der Stunde sind die Materialien für die Gruppenarbeit (**Materialien MVI6 – MVI14**) und das begleitende Arbeitsblatt (**Material MVI4**) im Anhang der Unterrichtsstunde VI für die SuS auszudrucken. Zudem sind Poster in DIN A3-Format mitzubringen.

Sollte keine Doppelstunde möglich sein, empfiehlt es sich die Doppelstunde in zwei Einzelstunden zu teilen. Eine geeignete Teilung empfiehlt sich etwa nach der Phase *Erarbeitung IV* (nach 50 min), da die SuS sich nach dieser Phase die Technologien erarbeitet und diese auf A3-Poster notiert haben. Anschließend findet ein Galerierundgang statt, der in der zweiten Unterrichtshälfte durchgeführt werden sollte, da dieser ca. 20 Minuten dauert.

Beim Aufstellen der Bewertungskriterien in der Phase *Erarbeitung III* sollte insbesondere die Energiedichte (massen- und volumenbezogen) definiert, als wichtiges Kriterium erläutert und notiert werden.

Zur Differenzierung wurden für einige Technologien Vertiefungsmöglichkeiten durch Informationstexte (**Materialien MVI7, MVI10, MVI12**) zu den Hintergründen und Funktionsweisen der Energiewandler der zugrundeliegenden Technologien (Elektromotor, Solarzelle, Brennstoffzelle) bereitgestellt, welche die SuS zur Vertiefung nutzen können.

Tabelle UV11: Möglicher Verlaufsplan der Unterrichtsstunde VI

Zeit (min)	Phase	Geplantes LK-Verhalten	Geplantes SuS-Verhalten	Sozialform	Medien/Materialien	Kommentare
3	Einstieg	Die LK begrüßt die SuS, nimmt Bezug zur letzten Stunde und fragt die SuS, ob sie Zukunftstechnologien im Luftverkehr kennen, mit denen sie nachhaltig an ihr Lieblingsreisziel fliegen könnten.	Die SuS äußern Ideen zu alternativen Zukunftstechnologien, die sie kennen.	UG		
2	Gelenk I	Die LK erläutert, dass es in der Luftverkehrsforschung zwei Möglichkeiten gibt: Zum einen kann die bestehende Technologie (Strahltriebwerke) optimiert oder zum anderen können alternative Antriebsmöglichkeiten genutzt werden. Die LK erläutert, dass hierzu ein genaueres Verständnis der bereits bestehenden Technologie notwendig ist.	Die SuS hören zu.	LV		
5	Erarbeitung I	Die LK fragt die SuS, wie Strahltriebwerke funktionieren und fordert sie auf Ideen zu nennen. Die LK zeigt anschließend das Schaubild zu Strahltriebwerken (Tafelbild: Material MV11) und fordert die SuS auf, dieses zu beschreiben und zu erläutern, wie ein Strahltriebwerke funktionieren könnte und was der Mantelstrom bewirkt. Die LK ergänzt die Ideen der SuS und erläutert die Funktionsweise von Strahltriebwerken und erläutert, dass in der zivilen Luftfahrt aufgrund des geringeren Treibstoffverbrauchs Mantelstromtriebwerke verwendet werden. Die LK erläutert, dass aktuell an Mantelstromwerken mit sehr großen Nebenstromverhältnis (UHBR-Triebwerke) geforscht wird.	Die SuS äußern basierend auf ihrem Vorwissen und anschließend mit dem Schaubild zu Strahltriebwerken Ideen, wie Strahltriebwerke funktionieren.	UG	Smartboard/ Tafelbild (Material MV11)	
2	Gelenk II	Die LK zeigt ein weiteres Tafelbild (Material MV12) und fordert die SuS auf dieses zu beschreiben. Die LK erläutert anschließend, dass es sich bei Strahltriebwerken und beim Otto-Motor um Wärmekraftmaschinen handelt, d.h. um Maschinen (Energiewandler), die kontinuierlich Wärme in mechanische Arbeit umwandelt.	Die SuS beschreiben das Tafelbild und hören zu.		Smartboard/ Tafelbild (Material MV12)	

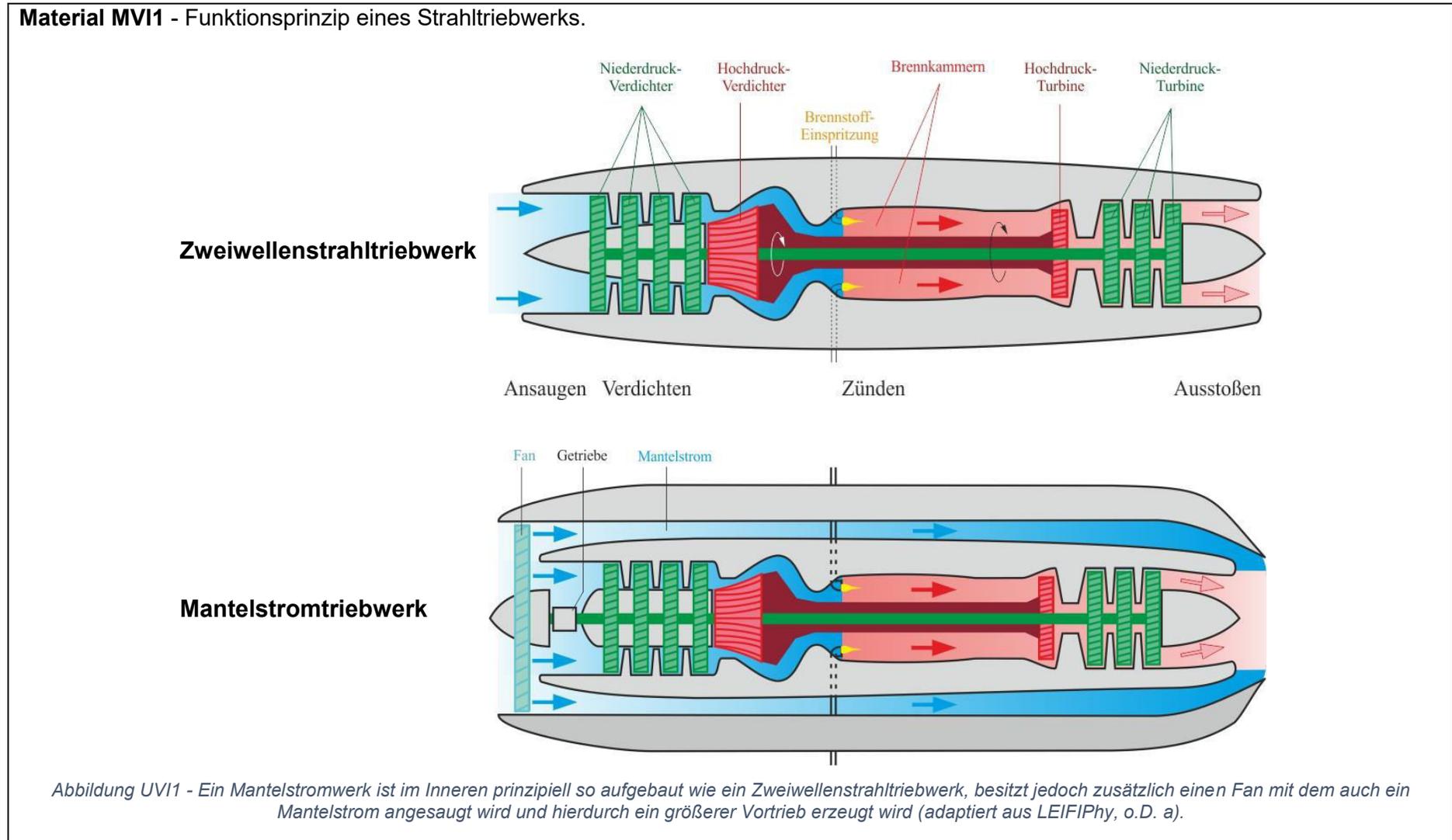
5	Erarbeitung II	<p>Die LK zeigt ein weiteres Tafelbild (Material MVI3) und erläutert, dass bei Wärmekraftmaschinen oftmals thermodynamische Kreisprozesse durchlaufen werden, d.h. eine Abfolge von Zustandsänderungen, bei der der Ausgangszustand wieder erreicht wird.</p> <p>Die LK fragt die SuS was der Wirkungsgrad aussagt.</p> <p>Die LK erläutert, dass Wärme nicht vollständig in mechanische Arbeit umgewandelt werden kann und dass es bei Wärmekraftmaschinen einen maximalen thermischen Wirkungsgrad (Carnot-Wirkungsgrad) gibt. Sie grenzt diesen vom allgemeinen Wirkungsgrad ab und erläutert, dass der Carnot-Wirkungsgrad eine obere Grenze für den Wirkungsgrad darstellt, der in der Realität nicht erreicht werden kann.</p>	Die SuS hören zu und äußern ihr Vorwissen zum Wirkungsgrad.	UG	Smartboard/ Tafelbild (Material MVI3)	
5	Vertiefung I	<p>Die LK fordert die SuS auf den thermischen Wirkungsgrad eines Strahltriebwerks ($\eta_{therm} \approx 0,89$) mit gegebenen Werten zu berechnen und erläutert nach einem Vergleich am Smartboard, dass der reale Wirkungsgrad bei ca. 40% liegt.</p> <p>Die LK erfragt bei den SuS, warum sich die Werte so unterscheiden und erfragt, wieso Wirkungsgrade von Wärmekraftmaschinen stets kleiner sind als der Carnot-Wirkungsgrad.</p> <p>Die LK erläutert anschließend ggf., dass dies an unerwünschter Wärmeabgabe durch Reibung an die Umgebung geschieht.</p>	Die SuS berechnen den Carnot-Wirkungsgrad eines Strahltriebwerks, diskutieren das Ergebnis und äußern Ideen, wieso Wirkungsgrad von (realen) Wärmekraftmaschinen kleiner als der Carnot-Wirkungsgrad ist.	UG	Smartboard	
3	Gelenk III	Die LK fordert die SuS auf, alternative (klimafreundliche) Antriebsmöglichkeiten bei Autos zu nennen und anschließend Vermutungen aufzustellen, ob diese auch bei Flugzeugen verwendet werden können.	Die SuS äußern Möglichkeiten basierend auf ihrem Vorwissen und äußern Vermutungen.	UG		
5	Erarbeitung III	<p>Die LK teilt den SuS den Arbeitsauftrag mit: In Gruppen werden sie sich mit den einzelnen Technologien auseinandersetzen.</p> <p>Die LK fragt die SuS wie man die Technologien miteinander vergleichen und anschließend bewerten kann.</p> <p>Die LK fordert die SuS auf, Bewertungskriterien für Zukunftstechnologien aufzustellen, notiert und ergänzt diese ggf.</p>	<p>Die SuS hören zu und äußern die Idee, dass Bewertungskriterien aufgestellt werden müssen.</p> <p>Die SuS stellen Bewertungskriterien auf.</p>	UG	Smartboard	Die Energiedichte soll erklärt und als Kriterium notiert werden.

20	Erarbeitung IV	Die LK teilt die fünf Gruppen ein und teilt jeder Gruppe Materialien zur Technologie (Materialien MVI6-MVI14) und ein begleitendes Arbeitsblatt (Material MVI4) aus. Die LK teilt den Gruppen mit, dass sie mit den Materialien die ihrer Technologie gehörende Spalte in der Tabelle des Arbeitsblatts ausfüllen sollen. Die LK fordert nach ca. 12 min die Gruppen auf, zu ihrer Technologie ein anschauliches A3-Poster zu erstellen und teilt den Gruppen jeweils ein A3-Poster aus.	Die SuS erarbeiten sich in Gruppen jeweils eine Technologie mit den Materialien und dem begleitenden Arbeitsblatt.	GA	Arbeitsblatt (Material MVI4)/ Materialien für GA (Materialien MVI6-MVI14)/ A3-Poster	Mögliche Musterlösung befindet sich in Material MVI5.
Mögliche Teilung der Doppelstunde in 2 Einzelstunden						
20	Galerierundgang (GRG)	Die LK fordert die SuS nun zu einem Galerierundgang auf, bei der eine Person aus der Gruppe bei dem Poster beleibt und die Technologie kurz (max. 4 min) vorstellt, so dass die anderen SuS die Tabelle hinsichtlich der anderen Technologien vervollständigen können.	Die SuS hören zu.	GRG	A3-Poster/ Arbeitsblatt (Material MVI4)	
10	Vertiefung II	Die LK fordert die SuS auf, sich zurück in die Gruppen zu begeben, die Technologien kriterienorientiert zu vergleichen und anschließend ein begründetes Fazit schriftlich zu formulieren, welche Technologien Potential für den künftigen zivilen Passagierluftverkehr haben.	Die SuS vergleichen mit der ausgefüllten Tabelle in Gruppen die Technologien kriterienorientiert und formulieren schriftlich ein begründetes Fazit.	GA	Arbeitsblatt (Material MVI4)	
8	Diskussion	Die LK fordert einzelne Gruppen auf, ihr Fazit begründet vorzustellen und regt anschließend zu einer Pro- und Contra-Diskussion zu den Technologien auf, bei der sie ihr Fazit verteidigen sollen.	Die SuS stellen begründet ihr Fazit vor. Die SuS verteidigen ihr Fazit in einer Pro- und Contra-Diskussion.	UG		Ggf. kann die Diskussion reflektiert werden.
2	Sicherung	Die LK fasst die Ergebnisse der Stunde zusammen und erläutert, dass es große Forschungsbestrebungen im Bereich der Zukunftstechnologien des Fliegens gibt und, dass dies auch charakteristisch für ein SSI ist. Die LK erläutert, dass es unter dem Aspekt des Klimawandels und der weltweit steigenden Nachfrage nach Flügen trotz der möglichen (kurz- und langfristigen) Zukunftstechnologien wichtig ist, die Entscheidung zu fliegen gut abzuwägen und den Wert der Nachhaltigkeit zu berücksichtigen.	Die SuS hören zu.	LV		

Anhang zur Unterrichtsstunde VI

Tafelbilder

Tafelbild 1: Funktionsprinzip eines Strahltriebwerks.



Tafelbild 2: Vergleich der Arbeitsprozesse in einem Strahltriebwerk und einem mit dem Otto-Verfahren betriebenen Kolbenmotors.

Material MVI2 - Vergleich der Arbeitsprozesse in einem Strahltriebwerk und einem mit dem Otto-Verfahren betriebenen Kolbenmotors.

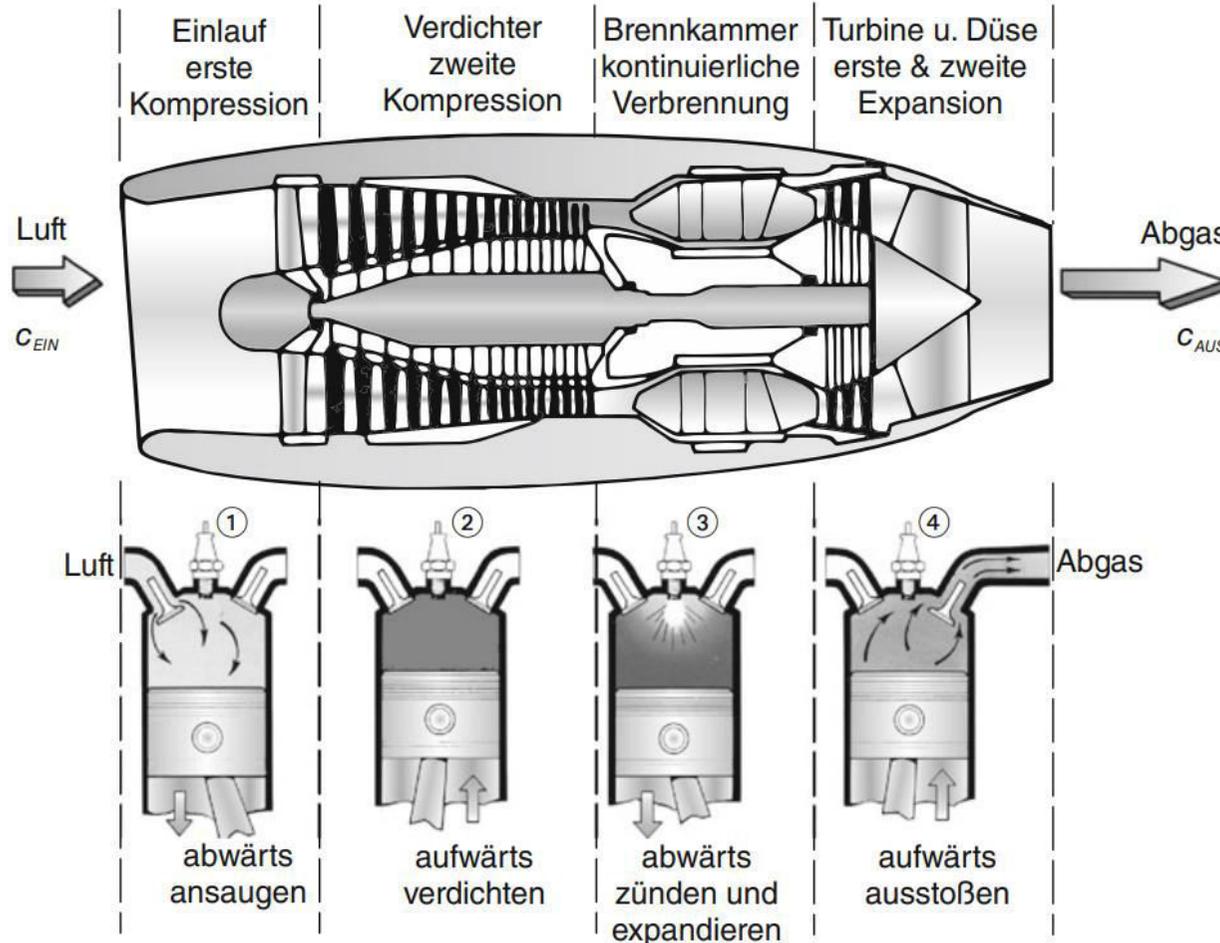
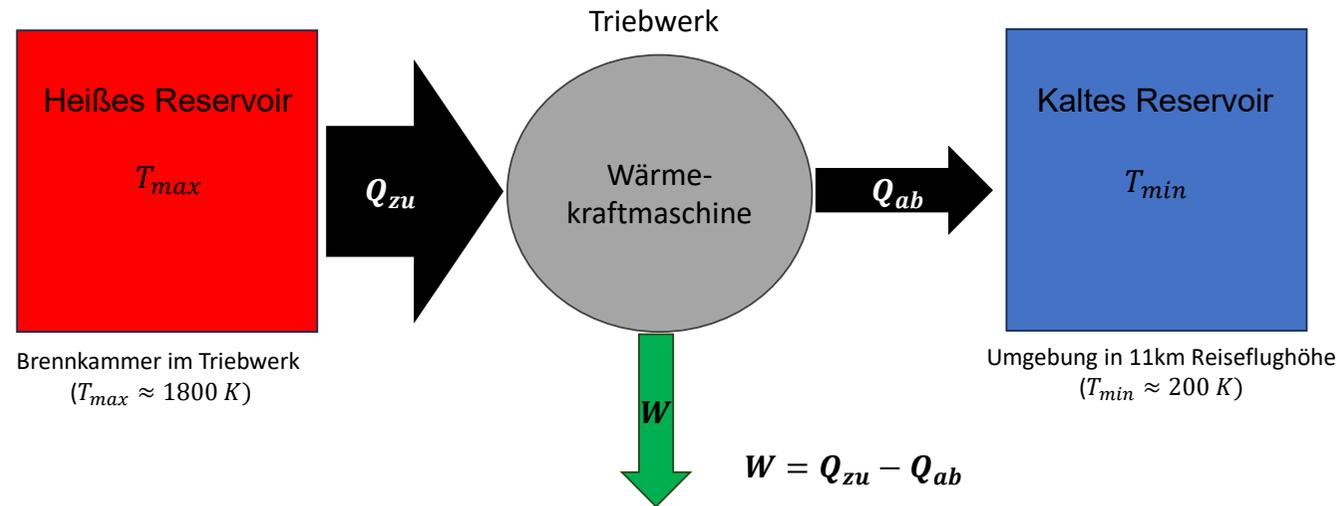


Abbildung UVI2 - Vergleich der Arbeitsprozesse bei einem Kolbenmotor nach dem Otto-Verfahren (konstantes Volumen, Gleichraumverbrennung) und dem einer Gasturbine (konstanter Druck, Gleichdruckverbrennung) (aus Bräuling, 2015, S. 116).

Tafelbild 3: Strahltriebwerk als Wärmekraftmaschine, thermischer Wirkungsgrad als obere Schranke für Wirkungsgrade.

Material MVI3 -

Strahltriebwerk als Wärmekraftmaschine, thermischer Wirkungsgrad als obere Schranke für Wirkungsgrade.



Der Wirkungsgrad einer Wärmekraftmaschine ist nach oben durch den thermischen Wirkungsgrad η_{therm} begrenzt:

$$\eta_{therm} = 1 - \frac{T_{min}}{T_{max}}$$

T_{min} : Minimale Temperatur beim Carnot-Kreisprozess (Temperatur bei Wärmezufuhr)

T_{max} : Maximale Temperatur beim Carnot-Kreisprozess (Temperatur bei Wärmeabgabe)

Abbildung UVI3 - Das Strahltriebwerk besitzt als Wärmekraftmaschine einen nach oben beschränkten thermischen Wirkungsgrad (nach Bräuling, 2015, Hoche et al., 2020).

Arbeitsblätter

Begleitendes Arbeitsblatt

Material MVI4 – Begleitendes Arbeitsblatt

Begleitendes Arbeitsblatt:

Zukunftstechnologien der Luftfahrt

Arbeitet aus dem Steckbrief die Funktionsweise eurer Technologie heraus und formuliert die Funktionsweise in eigenen Worten. Beschreibt hierbei auftretende Energieumwandlungen.

Notiert die im Plenum besprochenen Kriterien zum Vergleich von Zukunftstechnologien in die Tabelle und ergänzt diese ggf. durch Weitere.

Tragt anschließend die im Steckbrief beschriebenen Eigenschaften eurer Technologie in die Spalte eurer Technologie und in die Zeile des jeweiligen Kriteriums ein.

Arbeitet aus dem Steckbrief Vor- und Nachteile eurer Technologie heraus.

Ergänzt ggf. weitere Vor- und Nachteile durch eine Internet-Recherche. Beachtet dabei die Bewertungskriterien für Internetquellen.

<i>Vorteile</i>	<i>Nachteile</i>

Erstellt ein A3-Poster zu eurer Technologie, auf dem deren Funktionsweise sowie Vor- und Nachteile anschaulich dargestellt sind.

Material MVI4: Tabelle zum kriteriengeleiteten Vergleich (zum Arbeitsblatt).

	Gasturbine mit Kerosin	Gasturbine mit PtL-Kerosin	Elektrisch (Batterie)	Hybrid (Elektrisch + Gasturbine mit Kerosin)	Wasserstoff		Solar
					Direkte Verbrennung	Brennstoffzelle mit Elektromotor	
Energiedichte (massebezogen)	43 $\frac{MJ}{kg}$						
Energiedichte (volumenbezogen)	35 $\frac{MJ}{l}$						
Wirkungsgrad	33-42 %						
CO ₂ -Emission (ggf. wie viel)	Ja						
Nicht-CO ₂ -Effekte	Ja						

Material MVI5: Mögliche Musterlösung zum kriteriengeleiteten Vergleich (zum Arbeitsblatt).

	Gasturbine mit Kerosin	Gasturbine mit PtL-Kerosin	Elektrisch (Batterie)	Hybrid (Elektrisch + Gasturbine mit Kerosin)	Wasserstoff		Solar
					Direkte Verbrennung	Brennstoffzelle mit Elektromotor	
Energiedichte (massebezogen)	$43 \frac{MJ}{kg}$	wie Kerosin	$0,72 \frac{MJ}{kg}$	Mischung aus elektrisch und Kerosin	$142 \frac{MJ}{kg}$		$0,009 \frac{MJ}{kg}$
Energiedichte (volumenbezogen)	$35 \frac{MJ}{l}$	wie Kerosin	$1,26 \frac{MJ}{l}$	Mischung aus elektrisch und Kerosin	Gasförmig: $4,5-5,3 \frac{MJ}{l}$ Flüssig (LH2): $8,5 \frac{MJ}{l}$		Keine Angaben gefunden.
Wirkungsgrad	33-42 %	15 %	ca. 90 %	ca. 38%	ca. 30-40 %	50-60%	ca. 16 %
CO₂-Emission (ggf. wie viel)	Ja	Ja, aber CO ₂ -neutral	Nein	Ja, weniger als Kerosin	Nein	Nein	Nein
Nicht-CO₂--Effekte	Ja	Ja	Nein	Ja, weniger als Kerosin	Ja, wie Kerosin	Ja, wie Kerosin	Nein
Stickoxid-emission	Ja	Ja	Nein	Ja, weniger als Kerosin	Ja, technisch minimierbar	Nein	Nein
Lärmemission	110-140 dB(A)	wie Kerosin	Starke Reduktion gegenüber Kerosin	Reduktion gegenüber Kerosin	wie Kerosin	Starke Reduktion gegenüber Kerosin	Starke Reduktion gegenüber Kerosin
Wetterabhängig	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja
Kosten (aktuell)	ca. $2,5 \frac{€}{l}$ bzw. $0,07 \frac{€}{MJ}$	4 - $4,5 \frac{€}{l}$ bzw. $0,1 \frac{€}{MJ}$	ca. $0,4 \frac{€}{kWh}$ bzw. $0,1 \frac{€}{MJ}$	Mischung aus elektrisch und Kerosin	Ca. $3 \frac{€}{kg}$	bzw. $0,02 \frac{€}{MJ}$	Keine
Kleinflugzeug	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Passagier-flugzeug	Ja	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein
Kurzstrecke	Ja	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein
Mittelstrecke	Ja	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein
Langstrecke	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein

Material MVI6 - Steckbrief 1: Elektrische Antriebe

Elektrische Antriebe in der Luftfahrt

Bei elektrischen Antrieben werden Elektromotoren verwendet, die einen Propeller antreiben.

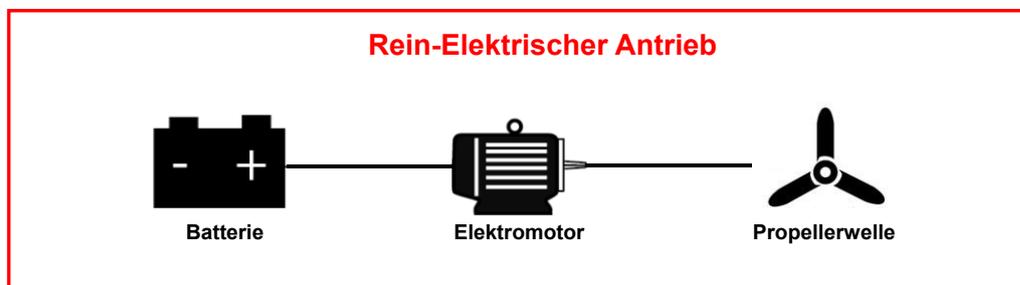


Abbildung UV14 – Rein-elektrischer Antrieb (adaptiert nach WIKIHYBRID, 2023).

Elektrische Antriebe emittieren keine Treibhausgase und kaum Schall, wodurch sich Lärmemissionen im Vergleich zu herkömmlichen Triebwerken reduzieren lassen und weder CO_2 -Effekte noch Nicht- CO_2 -Effekte entstehen. Voraussetzung für die Treibhausgasneutralität (und damit die neutrale Klimawirkung) ist jedoch, dass die in den Batterien gespeicherte Energie aus erneuerbaren Energien erzeugt wird.

Der Wirkungsgrad von Elektromotoren beträgt bis zu ca. 90% und ist damit deutlich größer als der von Wärmekraftmaschinen wie Verbrennungsmotoren oder Strahltriebwerken.

Bereits heute gibt es Forschungsprojekte zu Elektroflugzeugen und Klein- und Sportflugzeuge, die rein-elektrisch angetrieben werden.



Abbildung UVI5 - Elektroflugzeug Velis Electro von Pipistrel
(aus WIKIELEKTRO, 2024, Airjuice Photography, 03. Juni 2020).

Als Energiespeicher werden Batterien verwendet.

Energiedichten von Batterien:

Energiedichte (massebezogen)	0,2 kWh/kg ($0,72 \frac{MJ}{kg}$)
Energiedichte (volumenbezogen)	0,35 kWh/l ($1,26 \frac{MJ}{l}$)

Zum Vergleich: Kerosin besitzt Energiedichten von $43 \frac{MJ}{kg}$ und $35 \frac{MJ}{l}$.

Elektrische Antriebe müssten damit deutlich schwerer sein und würden deutlich mehr Volumen in Anspruch nehmen als Kerosin, um die gleiche Menge an Energie zu speichern.

Zudem ist auch die Abwärme der elektrischen Verbindungen problematisch, da diese bei hohen Antriebsleistungen abgeführt werden muss.

Elektrische Triebwerke liefern nach aktuellem Technologiestand zudem nur eine Leistung von ca. 2 MW. Für Passagierflugzeuge (ca. 180 Personen) werden aber mindestens ca. 30 MW Leistung benötigt, weshalb sich rein-elektrische Flugzeuge für Passagierflugzeuge und damit für die kommerzielle Luftfahrt nicht eignen.

Funktion Elektromotor

Material MV17 - Funktion Elektromotor

Vertiefung: Funktion Elektromotor

Ein Elektromotor wandelt elektrische Energie in Rotationsenergie um.

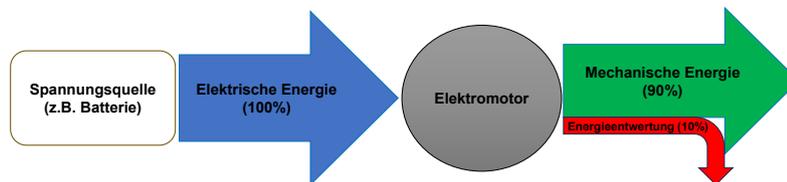


Abbildung UVI6 - Energieflussdiagramm Elektromotor.

Der Aufbau eines Gleichstrommotors ist in Abbildung UVI17 dargestellt.

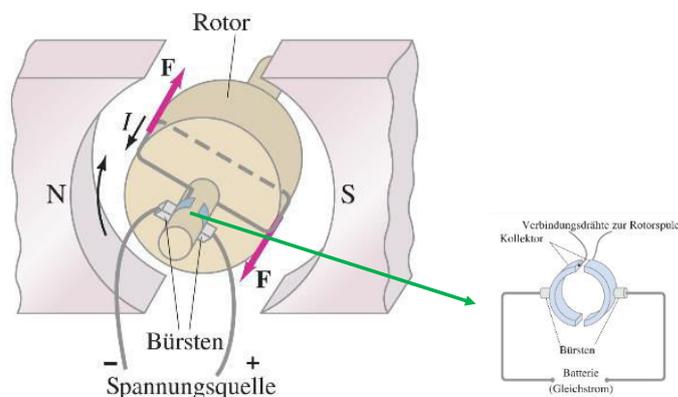


Abbildung UVI7 - Prinzipieller Aufbau eines Gleichstrommotors (links). Durch Kollektoren und Bürsten (rechts) wird eine kontinuierliche Rotation des Rotors ermöglicht (adaptiert nach Giancoli, 2009, S. 932).

Eine stromdurchflossene und an einem Rotor angeschlossene Drahtspule ist dem Magnetfeld eines Magneten (in Abbildung UVI17 ein Permanentmagnet) ausgesetzt. Durch die hierdurch entstehende Lorentzkraft wirkt auf die Drahtspule (in Abbildung UVI17 eine Leiterschleife) ein Drehmoment und der Rotor beginnt zu drehen. Damit sich der Rotor kontinuierlich dreht und nicht nach einer halben Umdrehung stoppt, werden Kollektoren und Bürsten verwendet. Die mit der Spannungsquelle fest verbundenen Bürsten streifen die an der Rotorachse befestigten Kollektoren, so dass sich die Stromrichtung nach einer halben Umdrehung ändert, wie in Abbildung UVI17 dargestellt. Bei Wechselstrommotoren sind Kollektoren nicht notwendig, da sich die Stromrichtung automatisch ändert. Der Elektromotor ist somit das Gegenstück zum Generator, der mechanische (Rotations-)Energie in elektrische Energie umwandelt.

Reale Elektromotoren (z.B. in Autos oder Flugzeugen) sind deutlich komplexer aufgebaut, beruhen jedoch auf diesem grundlegenden Prinzip.

Materialien für Gruppe 2:

Steckbrief 2: Hybridelektrische Antriebe

Material MVI8 - Steckbrief 2: Hybridelektrische Antriebe

Hybridelektrische Antriebe in der Luftfahrt

Um die Flexibilität von Batterien und die Energiedichte chemischer Energieträger (wie Kerosin) zu verbinden, wird auch an Hybridantriebskonzepten geforscht. So sollen im Reiseflug vorwiegend chemische Energieträger (Gasturbine mit Kerosin) und bei Manövern wie dem Start oder der Landung elektrische Antriebe (Elektromotor) verwendet werden, um so die Reichweite zu erhöhen und den Fluglärm zu reduzieren.

Unterschieden wird bei Hybridantrieben im Wesentlichen zwischen zwei Grundansätzen: Dem seriell hybriden Ansatz und dem parallel hybriden Ansatz. Bei einem parallelen Hybridantrieb wird der Propeller parallel von einem Elektromotor und von einer konventionellen mit Kerosin betriebenen Gasturbine angetrieben, die sich im Rumpf des Flugzeugs befindet. Dabei treibt der Elektromotor den Propeller an und/oder die Gasturbine treibt den Propeller direkt über ein mechanisches Getriebe an.

Bei einem seriellen Hybridantrieb treibt eine Gasturbine einen Generator an und speist die dadurch entstehende elektrische Energie in einen elektrischen Speicher (Batterie) oder direkt in einen Elektromotor ein. Der Elektromotor wird somit von der Batterie oder dem elektrischen Bordnetz betrieben und treibt den Propeller an.

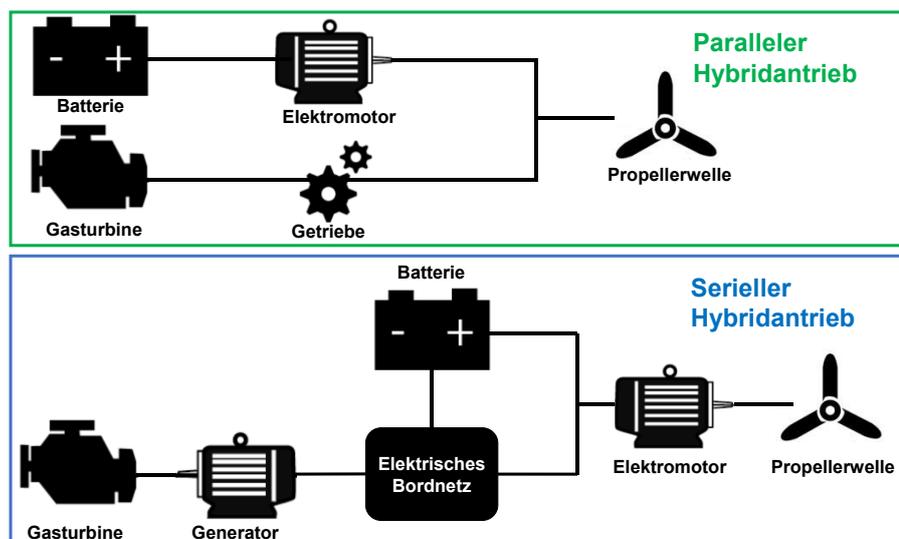


Abbildung UV18 - Hybridantriebstypen (adaptiert nach WIKIHYBRID, 2023, Klöckner, 2017).

Hybridelektrische Antriebe reduzieren die Lärmemission, in dem zum einen das hohe Drehmoment des Elektromotors genutzt wird, um die Propeller mit niedrigeren Drehzahlen anzutreiben und zum anderen Lärmquellen der Gasturbine abgeschirmt werden können.

Durch den elektrischen Anteil bleibt jedoch die Problematik der großen Batteriemasse aufgrund der geringen Energiedichte von Batterien, weshalb bei hybridelektrischen Antrieben in Zukunft der Anteil der chemischen Energieträger größer sein wird.

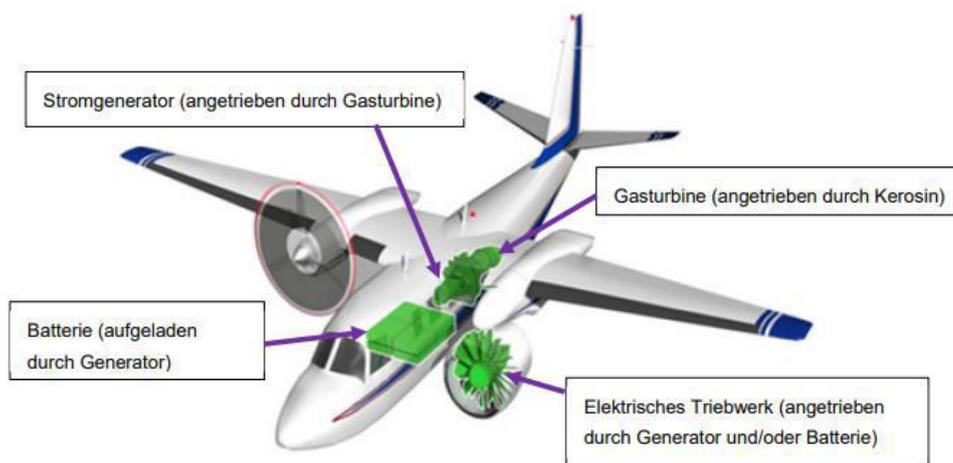


Abbildung UV19 - Flugzeug mit hybridelektrischem Antrieb (aus BAZL, 2020, S. 2).

Der Wirkungsgrad von hybridelektrischen Antrieben beträgt ca. 38 %. Dadurch, dass eine Gasturbine mit Kerosin betrieben wird, sind auch CO_2 -Effekte als auch Nicht- CO_2 -Effekte vorhanden, auch wenn sie weniger ausgeprägt sind als bei herkömmlichen mit Kerosin betriebenen Triebwerken. Gleiches gilt auch für die Stickoxidemission.

Experten gehen davon aus, dass hybridelektrische Antriebe für Kurz- und Mittelstreckenflüge geeignet sein werden. Für Langstreckenflüge werden sie aufgrund des hohen Gewichts der Batterien für den elektrischen Anteil nicht geeignet sein.

Materialien für Gruppe 3:

Steckbrief 3: Wasserstoffantriebe

Material MVI9 - Steckbrief 3: Wasserstoffantriebe

Wasserstoffantriebe in der Luftfahrt

Bei Wasserstoffantrieben wird Wasserstoff als Brennstoff verwendet und die in ihm gespeicherte chemische Energie zum Vortrieb des Flugzeugs verwendet.

Energiedichten von Wasserstoff:

Energiedichte (massebezogen)	$142 \frac{MJ}{kg}$
Energiedichte (volumenbezogen)	$4,5-5,3 \frac{MJ}{l}$ (gasförmig) $8,5 \frac{MJ}{l}$ (flüssig)

Experten sind sich sicher: Die Wasserstofftechnologie und Energiewandler, welche die chemische Energie des Treibstoffs in elektrische Energie umwandeln, sind für künftige Antriebstechnologien relevant.

Zum einen kann Wasserstoff als Brennstoff direkt verbrannt werden: Wasserstoffverbrennungsmotoren besitzen einen Wirkungsgrad von ca. 30-40 %. Bei der Verbrennung entsteht neben Wasserdampf zwar kein CO_2 , dafür jedoch Stickoxide. Die Stickoxidemission ist jedoch durch eine geeignete Verbrennungsführung minimierbar. Bei der direkten Verbrennung entstehen vergleichbare Lärmemissionen wie bei herkömmlichen mit Kerosin betriebenen Triebwerken (ca. 110-140 dB(A)). Der für die Verbrennungsmotoren nutzbare Wasserstoff kostet aktuell ca. $3 \frac{€}{kg}$. Neben der direkte Verbrennung können auch Brennstoffzellen verwendet werden, welche die im Wasserstoff gespeicherte chemische Energie in elektrische Energie umwandeln. Hierbei entsteht als Endprodukt Wasser, weshalb die Reaktion CO_2 -neutral ist und (im Gegensatz zur direkten Verbrennung) auch keine Stickoxide entstehen. Der Wirkungsgrad von elektrisch betriebenen Motoren mit Wasserstoff-Brennstoffzellen beträgt ca. 50-60%.

Auf Reiseflughöhe entsteht in den Triebwerken jedoch Wasserdampf, wodurch es bei Wasserstoffbetriebenen Flugzeugen auch zu Nicht- CO_2 -Effekten kommt, die mit denen eines mit Kerosin betriebenen Flugzeugs vergleichbar sind.

Wasserstoff besitzt eine sehr große massebezogene Energiedichte und kann daher viel Energie speichern. Durch die geringe volumenbezogene Energiedichte ist er in flüssiger Form zwar ein gut transportierbarer Energiespeicher, benötigt aber sehr viel Volumen verglichen mit Kerosin. Hierfür müssten Flugzeuge und Triebwerke umgebaut werden und bestehende Technologien könnten nicht weiter genutzt werden, weshalb Wasserstoff bei den nachhaltigen hergestellten Luftfahrzeugtreibstoffen (Sustainable Aviation Fuels, kurz SAF) zu den sogenannten non-drop-in Kraftstoffen gehört. Das Umstellen der Technologie kann viele Jahre, wenn nicht Jahrzehnte dauern und ist zudem mit enormen Kosten verbunden, da nicht nur die Flugzeuge, sondern auch die Infrastruktur an Flughäfen weltweit umgebaut werden müsste. Zudem sind zur Erzeugung des Wasserstoffs erneuerbare Energien notwendig, da die Klimawirkung sonst mindestens genauso groß ist, wie bei Kerosin betriebenen Flugzeugen.

Bereits heute gibt es Forschungsprojekte zu Wasserstoffflugzeugen und Klein- und Sportflugzeuge, die mit Wasserstoff betrieben werden.

Trotz der Herausforderungen sehen viele Experten in Wasserstoff langfristig (mehrere Jahrzehnte) die einzige Möglichkeit klimaverträgliches kommerzielles Fliegen zu erreichen. Wasserstoffbetriebene Flugzeuge besitzen langfristig das Potential Kerosin auf Kurz-, und Mittelstreckenflüge zu ersetzen. Langstreckenflüge sind jedoch aufgrund der geringen volumenbezogenen Energiedichte sehr unrealistisch.

Funktion einer Brennstoffzelle:

Material MVI10 – Funktion einer Brennstoffzelle

Vertiefung: Funktion Brennstoffzelle

Eine Brennstoffzelle ist ein Beispiel für eine Galvanische Zelle, in der die chemische Energie eines Brennstoffs in elektrische Energie umgewandelt wird. Ein großer Vorteil ist neben ihrem hohen Wirkungsgrad, dass sie bei vielen Temperaturen (auch bei Zimmertemperatur) und mit verschiedenen Brennstoffen arbeiten können. Die einfachste Brennstoffzelle ist die Wasserstoff-Brennstoffzelle, die in Abbildung UVI10 gezeigt ist und für deren Wirkung die Brennstoffe Wasserstoff und Sauerstoff vorhanden sein müssen.

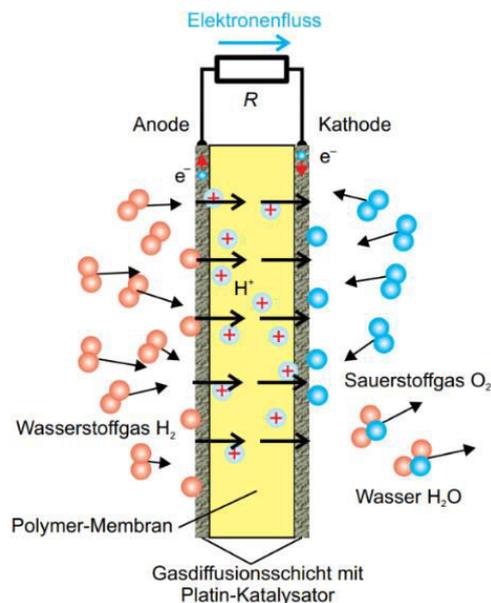


Abbildung UVI10 - Aufbau einer Wasserstoff/Sauerstoff-Brennstoffzelle
(aus Nienhaus, 2019, S. 113).

Das Wasserstoffgas trifft auf die Anode, das Sauerstoffgas auf die Kathode in der Brennstoffzelle, die mit einem elektrischen Kabel verbunden sind. Der Wasserstoff wird durch einen Katalysator mit Diffusionsschicht gespalten und oxidiert (Reaktionsgleichung: $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$), wodurch die entstehenden Elektronen an die Anode abgegeben werden, sich ein elektrischer Außenstromkreis bildet und die Wasserstoffatome ionisiert werden. Die Wasserstoffionen passieren eine trennende Membran (die nur Wasserstoffionen durchlässt) und gelangen zur Kathode, an der sie mit dem katalytisch getrennten Sauerstoff zu Wasser reduziert (Reaktionsgleichung: $\frac{1}{2}O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O$) werden.

Material MVI11 - Steckbrief 4: Solarantriebe

Solarantriebe in der Luftfahrt

Solarbetriebene Flugzeuge beruhen auf der Funktion von Solarzellen:
Solarzellen wandeln die Energie der von der Sonne kommenden Strahlung in elektrische Energie um.

Der Aufbau und die Funktionsweise einer Solarzelle ist in Abbildung UV111 dargestellt und auf dem Material *Vertiefung zur Solarzelle* genauer erläutert.

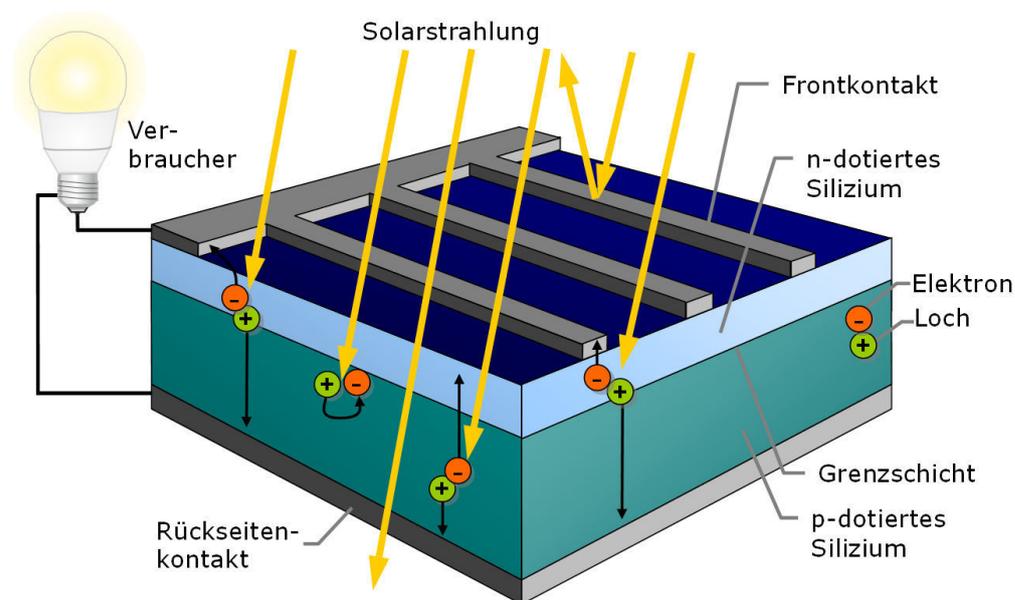


Abbildung UV111 - Schaubild zum Aufbau und zur Funktionsweise einer Solarzelle (adaptiert aus Quaschnig, 2024).

Die elektrische Energie kann direkt genutzt und überschüssige Energie kann in einer Batterie gespeichert werden. Hier zeigt sich jedoch die gleiche Problematik wie bei elektrisch betriebenen Flugzeugen: Die geringe Energiedichte von Batterien. Batterien besitzen nämlich nur Energiedichten von $0,72 \frac{MJ}{kg}$ (massebezogen) und $1,26 \frac{MJ}{l}$ (volumenbezogen). Kerosin hat eine Energiedichten von $43 \frac{MJ}{kg}$ und $35 \frac{MJ}{l}$, weshalb Batterien eine sehr große Masse besitzen und viel Raum benötigen müssten.

Ein Forschungsprojekt ist das in der Schweiz hergestellte *Solar Impulse 2*: Das Flugzeug hat etwa 17.000 Solarzellen, fliegt mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von ca. $76 \frac{km}{h}$, hat eine siebzehn-ettapige Weltumrundung geschafft und legte dabei ca. 35.000 km zurück. Die Spannweite beträgt 72 Meter und ist damit länger als die Spannweite eines Jumbo-Jets, der Boeing 747 (aus WIKISI, 2023).



Abbildung UVI12 - Einsitziges Solarbetriebenes Flugzeug Solar Impulse 2 am 13. November 2014 (Bild: Milko Vuille in WIKISI, 2023).

Solarbetriebene Flugzeuge sind in größeren Höhen effizienter, da die Sonnenstrahlung dort intensiver ist. Solche Flugzeuge sind treibhausgasemissionslos und erzeugen nur durch die angetriebenen Rotoren und den Luftwiderstand Lärm. Der Wirkungsgrad von verwendeten Solarzellen auf Tragflügeln für Segelflugzeuge beträgt ca. 16%.

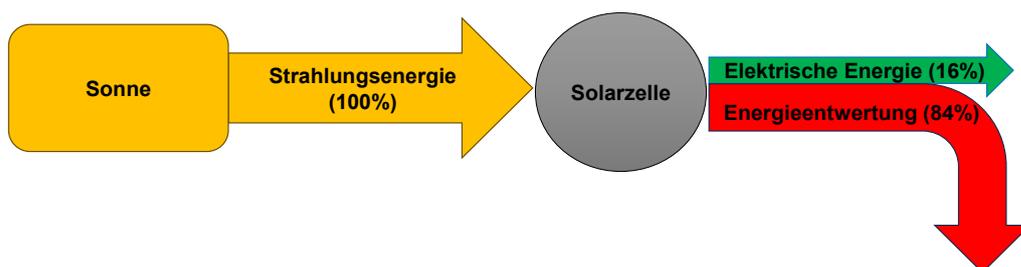


Abbildung UVI13 - Energieflussdiagramm einer Solarzelle.

Solarbetriebene Antriebe eignen sich jedoch nicht für die kommerzielle Luftfahrt, da sehr große Flächen benötigt würden, um die notwendige Energiemenge bereitzustellen. So beträgt die massebezogene Energiedichte von Solarzellen üblicherweise $0,009 \frac{MJ}{kg}$.

Zudem sind sie stark wetterabhängig, was ein Sicherheitsrisiko darstellt.

Material MVI12 - Vertiefung zur Solarzelle

Vertiefung zur Solarzelle

Ein grundlegender Bestandteil von Solarzellen sind Halbleiter-Materialien.

Halbleiter haben eine temperaturabhängige Leitfähigkeit. Nicht dotierte Halbleiter haben bei Raumtemperatur eine geringe Leitfähigkeit. Durch Beimischung anderer Stoffe (Dotierung) kann diese jedoch gezielt beeinflusst werden, was sie von Metallen unterscheidet. Bei Solarzellen wird ein 4-wertiger (4 Valenzelektronen) Halbleiter wie Silizium n- und p- dotiert.

Bei der n-Dotierung werden dem Silizium Phosphor-Atome beigemischt. Da Phosphor 5-wertig ist, ist die n-dotierte Schicht zwar nach außen hin neutral, das fünfte überschussige Valenzelektron kann sich aufgrund der kristallinen Struktur des Siliziums jedoch relativ frei im Material bewegen. Bei der p-Dotierung werden dem Silizium Bor-Atome beigemischt. Da Bor 3-wertig ist, ist die p-dotierte Schicht zwar auch nach außen hin neutral, das fehlende Valenzelektron erzeugt jedoch ein positives Loch in der kristallinen Struktur.

Bei Dioden wie z.B. einer Solarzelle werden ein p-dotierter und ein n-dotierter Halbleiter miteinander verbunden. Zu Beginn (Zeitpunkt 1 in der Abbildung UVI14) sind die Halbleiter elektrisch neutral. An der Grenzschicht zwischen den dotierten Materialien entsteht ein sogenannter p-n-Übergang: Aufgrund der verschiedenen Dotierungen tritt ein Konzentrationsgefälle zwischen den beiden Halbleitern auf, wodurch die Elektronen aus der n-dotierten Grenzschicht in die p-dotierte Grenzschicht diffundieren und mit den dort befindlichen positiven Löchern rekombinieren. Hierdurch entsteht (Zeitpunkt 2 in Abbildung UVI14) in der n-dotierten Grenzschicht ein Elektronenmangel und in der p-dotierten Grenzschicht ein Elektronenüberschuss, wodurch eine Spannung entsteht. Die n-dotierte Grenzschicht ist also (im p-n-Übergang) elektrisch positiv, die p-dotierte Grenzschicht elektrisch negativ geladen und zwischen ihnen besteht ein elektrisches Feld (Zeitpunkt 2 in Abbildung UVI14). Durch die Spannung baut sich ein elektrisches Feld auf.

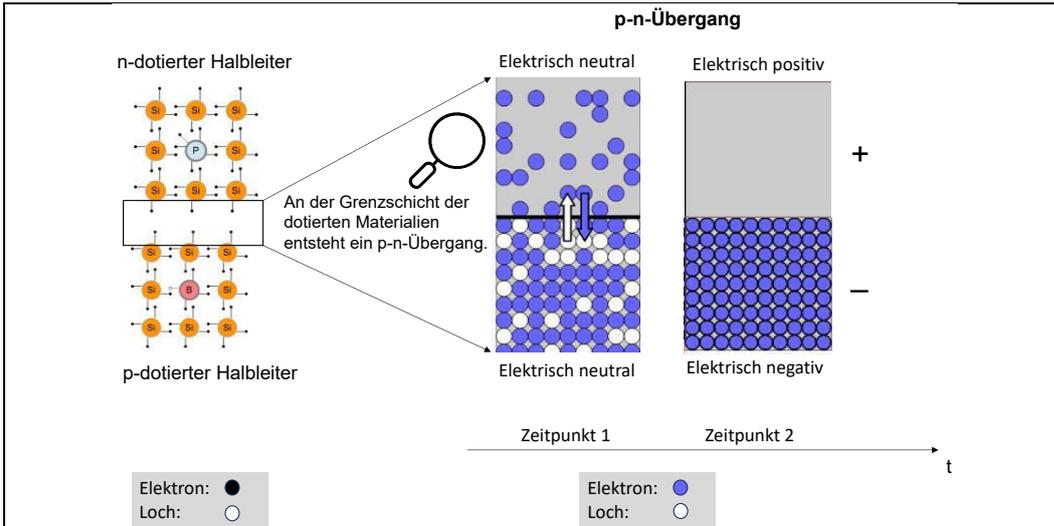


Abbildung UVI14 - Entstehung des p-n-Übergangs in einer Solarzelle (adaptiert aus PHYSKI, 2019).

Trifft nun Licht auf die Solarzelle und somit insbesondere auf den p-n-Übergang, so löst das Licht die Elektronen aus den Bindungen der p-dotierten Grenzschicht heraus, was als innerer Photoeffekt bezeichnet wird. Die nun frei-beweglichen Elektronen bewegen sich in den positiv geladenen n-dotierten Bereich des p-n-Übergangs und die positiven Löcher analog in den negativ geladenen p-dotierten Bereich (Zeitpunkt 3 in Abbildung UVI15). Die Elektronen (und analog die Löcher) bewegen sich nun durch den Halbleiter und an den Enden entsteht eine elektrische Spannung, die nun über Kontakte abgegriffen und zur Erzeugung von elektrischen Strom genutzt werden kann (Zeitpunkt 4 in Abbildung UVI15). Das ganze funktioniert nur so lange, wie Sonnenlicht einstrahlt, da sonst die Elektronen nicht herausgelöst werden können.

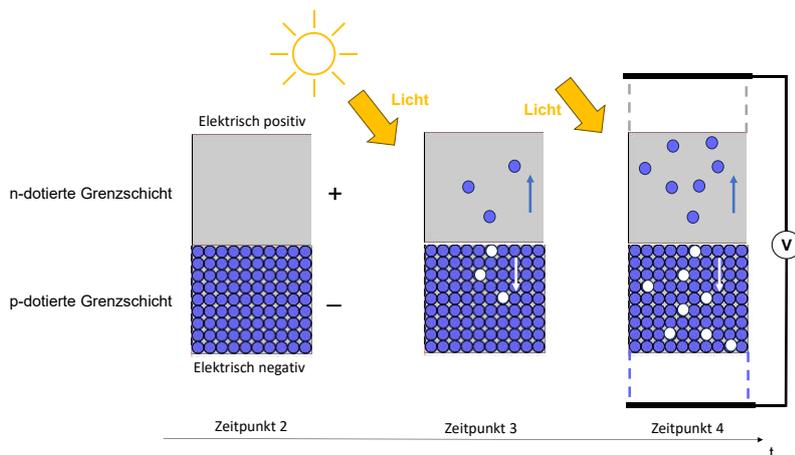


Abbildung UVI15 - Wechselwirkung von Licht im p-n-Übergang in einer Solarzelle (adaptiert nach PHYSKI, 2019).

Material MVI13 - Steckbrief 5: SAF und PtL-Kerosin

SAF in der Luftfahrt

Derzeit wird ein „Fuel Switch“ von fossilen Brennstoffen wie Kerosin zu nachhaltigen hergestellten Luftfahrzeugtreibstoffen (Sustainable Aviation Fuels, kurz SAF) diskutiert. Man unterscheidet bei den SAF zwischen Drop-in und non-drop-in-Kraftstoffen. Drop-in Kraftstoffe können mit den bereits heute existierenden Technologien ohne große Veränderung genutzt werden (sind daher für Kurz-, Mittel- und Langstreckenflüge geeignet), während für non-Drop-in-Kraftstoffe (z.B. Wasserstoff) eine neue Versorgungsinfrastruktur geschaffen und neue Flugzeug- und Triebwerkstypen entwickelt werden müssen. Drop-in-Kraftstoffe haben daher ein größeres Potential, um die Klimawirkung des Luftverkehrs in den nächsten Jahren zu reduzieren, während es bei non-Drop-in-Kraftstoffen noch mehrere Jahrzehnte dauern wird. Drop-in-Kraftstoffe sind nicht fossile Treibstoffe wie synthetisch hergestellte Kohlenwasserstoffe mit hohen Energiedichten oder Biokraftstoffe, die ähnliche Eigenschaften wie Kerosin haben. Biokraftstoffe eignen sich eher nicht, da der Wirkungsgrad gering ist und für deren Herstellung viele Treibhausgasemissionen notwendig und sie daher für die gesamte Klimabilanz ungeeignet sind.

PtL-Kerosin

Vielversprechend ist jedoch das PtL (Power-to-Liquid)- Kerosin, welches auch E-Kerosin (engl.: E Fuel) genannt wird, da dieses aus Strom, Wasser und CO_2 erzeugt wird.

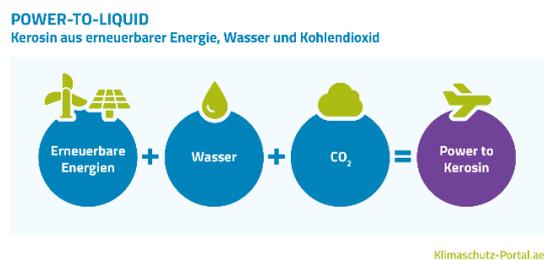


Abbildung UVI16 - Herstellung von PtL-Kerosin (aus KP, o.D. d).

Um PtL-Kerosin herzustellen wird zunächst Wasserstoff mit elektrischem Strom hergestellt (Elektrolyse) und anschließend mit aus der Luft entnommenen CO_2 in einem chemischen Prozess (Fischer-Tropsch-Synthese) verbunden. Wird das PtL Kerosin dann verbrannt, so wird das hierbei entstehende CO_2 wieder an die Luft abgegeben, wodurch ein „ CO_2 neutraler“ Kreislauf entsteht.

Damit PtL-Kerosin treibhausgasneutral ist, muss der für die Elektrolyse verwendete Strom aus erneuerbaren Energien stammen und eine treibhausgasneutrale Kohlenstoffquelle für seine Herstellung verwendet werden, d.h. das CO_2 sollte z.B. aus der Luft entnommen werden.

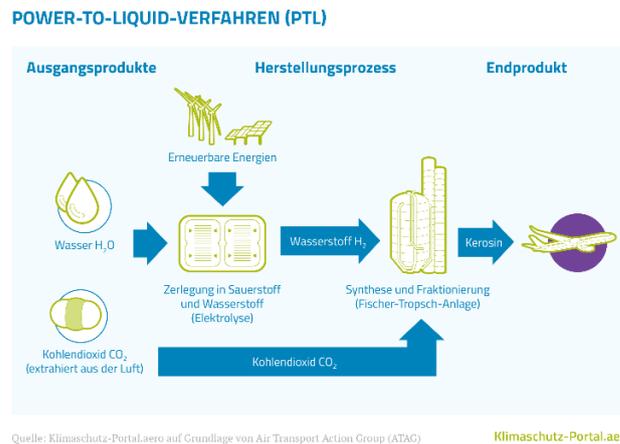


Abbildung UVI17 - Bei der Herstellung von PtL-Kerosin sollte Strom aus erneuerbaren Energiequellen verwendet werden und das CO_2 aus der Luft extrahiert werden (aus KP, o.D.d.).

Das PtL-Kerosin kann herkömmlichem Kerosin beigemischt werden, zudem besitzt es aufgrund der ähnlichen Eigenschaften wie fossil hergestelltes Kerosin in etwa die gleichen Energiedichten:

Energiedichte (massebezogen)	$43 \frac{MJ}{kg}$
Energiedichte (volumenbezogen)	$35 \frac{MJ}{l}$

Der Wirkungsgrad ist aufgrund der großen Energieumwandlungskette geringer als bei fossil hergestelltem Kerosin (ca. 33-42%) und liegt bei ca. 15 %. Zwar ist PtL-Kerosin „ CO_2 neutral“, erzeugt aber aufgrund der ähnlichen Eigenschaften wie fossil hergestelltes Kerosin etwa die gleichen Nicht- CO_2 -Effekte wie herkömmliches Kerosin. Die Klimawirkung von PtL-Kerosin betriebenen Flugzeugen entspricht aufgrund der Nicht- CO_2 -Effekte daher ca. 2/3 derer von Kerosin. Insbesondere kommt es daher bei der Verwendung von PtL-Kerosin auch zu Stickoxidemissionen wie bei fossil hergestellten Kerosin. Problematisch sind zudem die aktuell noch recht hohen Produktionskosten für PtL-Kerosin, was sich auch in den Kaufpreisen für PtL-kerosin bemerkbar macht: Während normales Kerosin etwas 2,5 € pro Liter kostet, kostet PtL-Kerosin mit 4-4,5 € pro Liter fast doppelt so viel. Da PtL-Kerosin in herkömmlichen Triebwerken verwendet wird, ist auch die Lärmemission die Gleiche wie bei der Verwendung von fossil hergestelltem Kerosin.

Material MVI14 - Nachhaltigkeitskriterien für alternative Flugkraftstoffe

Vertiefung: Nachhaltigkeitskriterien für alternative Flugkraftstoffe

Auszug aus dem Text *Nachhaltigkeitskriterien für alternative Flugkraftstoffe* vom Klimaschutzportal klimaschutz-portal.aero.

1.3.1.1.1 Ökologische Nachhaltigkeit

Ökologisch nachhaltig bedeutet, dass die Produktion von alternativen Flugkraftstoffen die natürlichen Ressourcen schonen muss. So dürfen zum Beispiel für den Anbau von Biomasse keine sensiblen Landflächen genutzt werden. Das heißt, dass besonders keine ökologisch wertvollen Flächen wie Regenwald vernichtet werden dürfen. Denn durch die Rodung von Regenwald wird einerseits viel CO₂ freigesetzt und andererseits die Artenvielfalt vernichtet. Aus diesem Grund untersagt die deutsche Gesetzgebung für Biokraftstoffe, dass es beim Anbau zu direkten Landnutzungsänderungen (LUC) kommt. Der Anbau von Pflanzen zur Kraftstoffproduktion muss nachhaltig geschehen und darf keine Landflächen, die für den Nahrungsmittelanbau gedacht sind, verdrängen. Weitere Aspekte, die unter die ökologischen Nachhaltigkeitskriterien fallen, sind die Sicherung der Biodiversität, die Wasserqualität und nachhaltige Wassernutzung sowie der Erhalt der Bodenqualität. Auch sollte vermieden werden, Monokulturen anzubauen, die den Boden zerstören.

1.3.1.1.2 Soziale Nachhaltigkeit

Der wichtigste Aspekt bei den sozialen Kriterien ist, dass die für die Herstellung von alternativen Flugkraftstoffen genutzten Rohstoffe nicht in Konkurrenz zu Nahrungsmitteln stehen. Sie dürfen folglich die Versorgungssicherheit der Gesellschaft mit Lebensmitteln nicht einschränken. Daher darf kein Wettbewerb zwischen der Produktion von alternativen Kraftstoffen und Lebensmitteln entstehen. Dazu gehört auch, dass der Anbau von Biomasse bzw. Energiepflanzen nicht dazu führen darf, dass Lebensmittelpreise und somit die Kosten für den Lebensunterhalt für ärmere Menschen steigen.

Unter die sozialen Aspekte fallen aber auch Kriterien wie faire Arbeitsbedingungen und Löhne sowie die Beachtung von Wasserrechten. Auch darf die Produktion von synthetischen Kraftstoffen, wie PtL, keinen negativen Einfluss auf die Energiesicherheit haben. Die Kraftstoffproduktion sollte der lokalen Bevölkerung Arbeitsplätze bieten. Ferner sollten Landrechte der lokalen Bevölkerung eingehalten werden, damit beispielsweise Agrarflächen für Lebensmittel nicht von Anbauflächen für Biomasse verdrängt werden. Zudem sollte ein sozialer Mehrwert geschaffen werden. Dazu gehören Investitionen in die Infrastruktur, die medizinische Versorgung und die Einrichtung von Schulen und Kindergärten.

1.3.1.1.3 Ökonomische Nachhaltigkeit

Unter ökonomischen Kriterien müssen alternative Flugkraftstoffe möglichst energieeffizient produziert werden. Durch den Anbau von Biomasse oder die Produktion synthetischer Kraftstoffe darf den entsprechenden Regionen, meist in Schwellen- und Entwicklungsländern, kein ökonomischer Nachteil entstehen. Vielmehr muss die Kraftstoffproduktion einen gesellschaftlichen Mehrwert schaffen. Dazu gehören zum Beispiel brachliegende Flächen wieder wirtschaftlich zu machen, für Arbeit und Einkommen bei der lokalen Bevölkerung zu sorgen sowie in Wissen und Bildung zu investieren. Es müssen folglich Maßnahmen ergriffen werden, um Armut dauerhaft zu bekämpfen. Besonders der Aufbau von Wissen ist ein wichtiger Aspekt, um die Bevölkerung nachhaltig an den wirtschaftlichen Entwicklungen teilhaben zu lassen.

Quelle: Auszug aus Klimaschutzportal [KP] (o.D. c). *Nachhaltigkeitskriterien für alternative Flugkraftstoffe*. Klimaschutzportal der Luftfahrt. Abgerufen am 14.01.2024 unter <https://www.klimaschutz-portal.aero/klimaneutral-fliegen/alternative-kraftstoffe/nachhaltigkeitskriterien/>

Literatur- und Quellenverzeichnis für Unterrichtsstunde VI

- Betsch, T., & Haberstroh, S. (Hrsg.). (2005). *The routines of decision making*. Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- Bopst, J., Herbener, R., Hözer-Schopohl, O., Lindmaier, J., Myck, T., Weiß, J. (2019b). *Wohin geht die Reise? Luftverkehr der Zukunft: umwelt- und klimaschonend, treibhausgasneutral, lärmarm*. Umwelt Bundesamt. Dessau-Roßlau.
- Bräuling, W.J.G. (2015). *Flugzeugtriebwerke. Grundlagen, Aero-Thermodynamik, Ideale und reale Kreisprozesse, Thermische Turbomaschinen, Komponenten, Emissionen und Systeme (4. Auflage)*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Bundesamt für Zivilluftfahrt [BAZL] (2020). *Faktenmaterial Elektrisches Fliegen*. Abgerufen am 08.12.2023 unter https://www.bazl.admin.ch/dam/bazl/de/dokumente/Politik/Umwelt/faktenblatt_elektrisches_fliegen.pdf.download.pdf/Faktenmaterial%20Elektrisches%20Fliegen.pdf
- Dahlmann, D. (2023). E-Fuels oder Brennstoffzelle: Wer gewinnt das Rennen um den umweltfreundlichsten Flugzeugantrieb. Buissnes Insider. Gründerszene. Abgerufen am 10.12.2023 unter <https://www.businessinsider.de/gruenderszene/automotive-mobility/drehmoment-flugzeug-antrieb-e-fuels-brennstoffzelle/#:~:text=Biokraftstoff%20noch%20fast%20doppelt%20so,derzeit%20%2C50%20Euro%20an>
- Dahlmann, K. , Matthes, S. , Plohr, M., Niklaß, J., Scheelhaase, D., Wozny, F. (2023). *Klimawirkung des Luftverkehrs. Wissenschaftlicher Kenntnisstand, Entwicklungen und Maßnahmen*. Umweltbundesamt. Fachgebiet I 2.7-Kraftstoffe und Energie im Verkehr. Dessau-Roßlau.
- Demaco Hydrogen [DEMACO] (o.D.). *Die Energiedichte von Wasserstoff: eine einzigartige Eigenschaft*. Abgerufen am 08.12.2023 unter <https://demaco-cryogenics.com/de/blog/die-energiedichte-von-wasserstoff-eine-einzigartige-eigenschaft/>
- Elektroflugzeug [WIKIELEKTRO] (2024, 04. Februar). In Wikipedia. Abgerufen am 05.02.2024 unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Elektroflugzeug>
- Grießhammer, R. (2023). *Die E-Fools. Frankfurter Rundschau*. Abgerufen am 10.12.2023 unter <https://www.fr.de/politik/die-fools-92185219.html>

- Hoche, D., Kühlbeck, J., Meyer, L., Reichwald, R., Schmidt, G.-D., Schwarz, O., Spitz, C. (2020). *Physik. Basiswissen Schule. Abitur. (5. überarbeitete und aktualisierte Auflage)*. Meyer, L., Schmidt, G.-D. (Hrsg.). Dudenverlag Berlin.
- Hocke, D. [BDLI] (2020). *Nachhaltige und Klimaneutrale Luftfahrt aus Deutschland für die Energiewende am Himmel*. Technologiestrategie der deutschen Luftfahrtindustrie (Aktualisierte und erweiterte Ausgabe 2020). Bundesverband der Deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie e.V. (BDLI).
- Höttecke, D. (2013a). Bewerten – Urteilen – Entscheiden. Ein Kompetenzbereich des Physikunterrichts. *Unterricht Physik*, 24(134), 4-12.
- Hybridelektroflugzeug [WIKIHYBRID] (2023, 20. Juni). In *Wikipedia*. Abgerufen am 05.02.2024 unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Hybridelektroflugzeug>
- Klell, M., Eichseder, H., Trattner, A. (2018). *Wasserstoff in der Fahrzeugtechnik. Erzeugung, Speicherung, Anwendung*. Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Klimaschutzportal [KP] (o.D. c). *Nachhaltigkeitskriterien für alternative Flugkraftstoffe*. Klimaschutzportal der Luftfahrt. Abgerufen am 14.01.2024 unter <https://www.klimaschutz-portal.aero/klimaneutral-fliegen/alternative-kraftstoffe/nachhaltigkeitskriterien/>
- Klimaschutzportal [KP] (o.D. d). *Keine Zukunftsmusik: Kerosin aus Wasser und CO₂*. Klimaschutzportal der Luftfahrt. Abgerufen am 14.01.2024 unter <https://www.klimaschutz-portal.aero/klimaneutral-fliegen/alternative-kraftstoffe/kerosin-aus-wasser-und-co2/#:~:text=PtL%2DKraftstoff%20ist%20bereits%20als,gemischt%20werden%20oder%20dieses%20ersetzen>
- Klößner, A. (2017). Die Zukunft fliegt elektrisch! Vom Lufttaxi bis zum Regionaljet. *Luft- und Raumfahrt*, 4, S. 22-25.
- Knittel, C. & Mikelskis-Seifert, S. (2013). Lohnt sich eine Photovoltaikanlage auf dem Dach? Einbettung eines expliziten Bewertungstrainings in den Elektrizitätsunterricht der Sekundarstufe 1. *Naturwissenschaften im Unterricht Physik*, 24 (134), 22–26.
- LEIFPhy (o.D. a). Strahltriebwerke. Strömungslehre. Abgerufen am 04.02.2024 unter <https://www.leifiphysik.de/mechanik/stroemungslehre/ausblick/strahltriebwerke>

- Lang, P. (2023). *Was E-Autos dem Verbrenner voraus haben*. Auto Motor und Sport. Abgerufen am 08.12.2023 unter <https://www.auto-motor-und-sport.de/tech-zukunft/elektroauto-energie-technik-wirkungsgrad-sparen/>
- Leuschner, U. (o.D.). *Die Gasturbine funktioniert wie ein Strahltriebwerk*. Abgerufen am 08.12.2023 unter <https://www.udo-leuschner.de/basiswissen/SB105-06.htm>
- Meschede, D. (2015). *Gerthsen Physik (25. Auflage)*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Nienhaus, H. (2019). *Physik für das Lehramt. Band 2: Elektrodynamik und Optik*. Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston.
- Pixabay. Abgerufen am 05.01.2024 unter <https://pixabay.com/de/>
- Pn-Übergang [PHYSKI] (2019, 12. November). In *Physki*. Abgerufen am 05.02.2024 unter https://www2.physki.de/PhysKi/index.php/Pn-%C3%9Cbergang#Bewegliche_Ladungstr.C3.A4ger_und_Nettoladungsv_erteilung
- Quaschnig, V. (2018). *Erneuerbare Energien und Klimaschutz (4., überarbeitete und erweiterte Auflage)*. Carl Hanser Verlag München.
- Quaschnig, V. (2024). So funktioniert eine Solarzelle. Abgerufen am 06.02.2024 unter <https://www.volker-quaschnig.de/artikel/pv-grundlagen/index.php>
- Rahmenlehrplan Physik [RLPPhyBerSI] (2015). *Teil C, Physik*.
Senatsverwaltung für Bildung, Jugend und Familie Berlin; Ministerium für Bildung, Jugend und Sport des Landes Brandenburg (Hrsg.).
- Scholz, D. (2021). *Umweltschutz in der Luftfahrt – Hintergründe und Argumente zur aktuellen Diskussion*. Bericht. Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Aircraft Design and Systems Group (AERO).
- Scholz, D. (2022). Argumente zum Umweltschutz in der Luftfahrt. *Luft- und Raumfahrt*, 3, S. 22-25.
- Solar Impulse [WIKISI] (2023, 14. Dezember). In *Wikipedia*. Abgerufen am 05.02.2023 unter https://de.wikipedia.org/wiki/Solar_Impulse
- Solarni Paneli [SOLARNIPA] (o.D.). *Überraschende Gründe, warum Flugzeuge keine Sonnenkollektoren besitzen*. Abgerufen am 08.12.2023 unter <https://solarnipaneli.energy/de/uberraschende-grunde-warum-flugzeuge-keine-sonnenkollektoren-haben/>

8.1.7 Unterrichtsstunde VII

Dauer	90 min
Inhalt	Vorbereitung, Durchführung und anschließende Reflexion eines Planspiels zu einer fiktiven Petition zum Thema <i>Veränderung beim Fliegen JETZT</i> .
Phase im Agency-Modell	Evaluierung

Kompetenzziele:

Die SuS können...

- sich in eine vorgegebene Rolle hineinversetzen, aus dieser Sicht Argumente formulieren und diese mit dem Methodenwerkzeug *Argumente-Kommode* ordnen.
- unter Anleitung der Lehrkraft ein Planspiel durchführen.
- eine Diskussion unter Einhaltung von zuvor demokratisch beschlossenen Diskussionsregeln durchführen und hierbei insbesondere zwischen persönlicher und Rollen-Meinung unterscheiden.
- im Rahmen eines Planspiels eine Pro- und Contra-Diskussion führen und anschließend unter multiperspektiver Betrachtung (Kompromiss-) Lösungen entwickeln und beschließen.
- die verwendeten Bewertungsstrukturen im durchgeführten Planspiel sowie den Nutzen von Planspielen reflektieren.

Bezug zum Rahmenlehrplan (RLPPhyBerSI, 2015):

Die SuS können ...

Fachwissen

- verschiedene Möglichkeiten der Energiegewinnung vergleichen und bewerten (Niveaustufe F, Teilkompetenz *Energie*, S. 19).
- Wirkungsgrade bei Energieumwandlungen berechnen und bewerten (Niveaustufen G/H, Teilkompetenz *Energie*, S. 19).

Kommunizieren

- zu einer Aussage eine passende Begründung formulieren, in der die stützenden Daten oder Fakten erläutert werden (Niveaustufen E/F, Teilkompetenz *Argumentieren – Interaktion*, S. 23).
- themenbezogen zu einem naturwissenschaftlichen Sachverhalt in verschiedenen Quellen recherchieren (Niveaustufen E/F, Teilkompetenz *Informationen erschließen*, S. 22).
- die Seriosität und fachliche Relevanz von Informationen in verschiedenen Medien bewerten/hinterfragen (Niveaustufen G/H, Teilkompetenz *Informationen erschließen*, S. 22).

Bewerten

- Handlungsoptionen kriterienorientiert vergleichen (Niveaustufe D, Teilkompetenz *Handlungsoptionen diskutieren und auswählen*, S. 24).
- Schlussfolgerungen mit Verweis auf Daten oder auf der Grundlage von naturwissenschaftlichen Informationen ziehen (Niveaustufen E/F, Teilkompetenz *Handlungen reflektieren*, S. 24).
- Sicherheitsrisiken einschätzen und neue Sicherheitsmaßnahmen ableiten (Niveaustufen G/H, Teilkompetenz *Werte und Normen reflektieren*, S. 25).
- in einer Entscheidungssituation zwischen mehreren Handlungsoptionen begründet auswählen (Niveaustufen E/F, Teilkompetenz *Handlungsoptionen diskutieren und auswählen*, S. 24).
- unter Berücksichtigung verschiedener Perspektiven Kompromisse entwickeln (Niveaustufe G/H, Teilkompetenz *Handlungsoptionen diskutieren und auswählen*, S. 24).

Benötigte Materialien:

Benötigt wird eine Tafel, ein Smartboard oder ein Beamer, um so die Tafelbilder zu zeigen und die Äußerungen der SuS (z.B. die Diskussionsregeln) am Smartboard festzuhalten. Um Tafelbilder interaktiv und gemeinsam mit den SuS zu erzeugen, wird ein Smartboard empfohlen.

Es werden die Planspielmaterialien (**Materialien MVII2 – MVII12**) im für alle SuS aus dem *Anhang zur Unterrichtsstunde VII* ausgedruckt benötigt.

Ablauf der Stunde:

Zu Beginn der Stunde nimmt die Lehrkraft Bezug zu den letzten Unterrichtsstunden und teilt den SuS mit, dass es die (fiktive) Petition *Veränderung beim Fliegen JETZT* gegeben hat, die es in den Petitionsausschuss des Bundestags geschafft hat. Hierzu zeigt die Lehrkraft das Tafelbild 1 (**Material MVII1**).

Die Lehrkraft teilt den SuS mit, dass der Petitionsausschuss deshalb Experten/innen und Interessenvertretende sowie Journalisten/innen zu einer Konferenz eingeladen hat, bei der über die Zukunft des Luftverkehrs in Deutschland diskutiert und Handlungsmaßnahmen beschlossen werden sollen. Da die Petition erfolgreich war und das öffentliche Interesse immer größer wird, müssen auf der Konferenz Lösungen beschlossen werden.

Die Lehrkraft teilt den SuS mit, dass sie nun diese Konferenz als Planspiel durchführen, um den realen Entscheidungsprozess zu simulieren. Anschließend stellt die Lehrkraft den Ablauf des Planspiels vor und teilt begleitend die Hinweise zum Spielverlauf (**Material MVII2**) aus:

In einer fünfzehnminütigen *Lesephase* sollen die SuS sich in ihre Rolle in Einzelarbeit einlesen (**Materialien MVII6 – MVII11**) und sich einen Überblick über die anderen Rollen verschaffen (**Material MVII3**). Zudem sollen sie die erstellen Poster aus den vergangenen Stunden überfliegen und passende Aspekte zu ihrer Rolle herausarbeiten.

In der anschließenden fünfzehnminütigen Phase der *Rollenfindung* sollen die SuS sich in ihren Rollen-Gruppen treffen, ihre Situation analysieren und Ziele und Handlungsmöglichkeiten überlegen. Zudem sollen sie ihre Argumente auf einem begleitenden Arbeitsblatt (**Material MVII5**) mit der Argumente-Kommode ordnen.

Danach sollen die SuS in die zehnminütige Phase *Lösungen vordenken und Vorbereitungen treffen* übergehen, in der (Kompromiss-)Lösungen für die Konferenz überlegt werden. Außerdem soll ein/e Vertreter/in aus der Gruppe für die Konferenz demokratisch gewählt werden.

Anschließend sollen die SuS in der zehnminütigen Phase *Diskussionsregeln festlegen* gemeinsam mit der Lehrkraft Diskussionsregeln festlegen und demokratisch beschließen.

Dann wird in der dreiundzwanzigminütigen Phase *Die Konferenz* die eigentliche Konferenz durchgeführt, in der nach einer Vorstellungsrunde eine Diskussion geführt und Lösungsmöglichkeiten gefunden werden sollen. Diese werden am Ende der Diskussion durch die Ausschussmitglieder durch einen kompensatorischen Entscheidungsprozess beschlossen. Nach zehn Minuten interveniert die Lehrkraft und fordert die SuS auf, nun ihre Rollen zu tauschen und die Diskussion anschließend fortzuführen. Nach weiteren zehn Minuten sollen die Ausschussmitglieder in den letzten drei Minuten Lösungen treffen und diese verkünden.

Abschließend wird das Planspiel in der zehnminütigen *Auswertungsphase* reflektiert und die Ergebnisse zusammengefasst.

Die Lehrkraft teilt den SuS mit, dass die nicht an der Konferenz teilnehmenden SuS das Planspiel mit dem Analysebogen (**Material MVII12**) beobachtend analysieren.

Zudem wird die Sitz- und Tischordnung für die Konferenz verändert, so dass die Vertreter/innen in einem Halbkreis zueinander zugewandt sitzen und das Publikum die Konferenzteilnehmer/innen gut beobachten kann. Die Lehrkraft verteilt vor der Konferenz die Namensschilder für die Vertreter/innen der Rollen-Gruppen.

Anschließend werden Fragen geklärt und die Phasen nacheinander durchgeführt.

Abschließend hält die Lehrkraft die notwendige Multiperspektivität bei SSI wie dem Fliegen fest.

Hinweise und Anmerkungen sowie Potential zur Differenzierung

Zur Vorbereitung der Stunde sind die Materialien für die Gruppenarbeit (**Materialien MVII6 – MVII11**), das begleitende Arbeitsblatt (**Material VII5**) und der Analysebogen für die nicht an der Konferenz teilnehmenden SuS (**Material MVII12**) im Anhang der Unterrichtsstunde VII für die SuS auszudrucken.

Bei schüchternen SuS empfiehlt es sich in der Phase *Lösungen vordenken und Vorbereitungen treffen* zusätzlich zum/r Gruppenvertreter/in noch eine/n Stellvertreter/in zu wählen, der/die in der Konferenz eingewechselt werden oder unterstützen kann.

Die Lehrkraft sollte während der Konferenz eine beobachtende Funktion einnehmen und nur eingreifen, wenn Diskussionsregeln nicht eingehalten werden oder die Diskussion nach mehreren Minuten nicht vorangeht.

Die Lehrkraft sollte zudem in der Phase *Diskussionsregeln festlegen* betonen, dass jede/r in der Rolle die jeweilige Meinung vertritt und diese grundsätzlich nicht die persönliche Meinung der Person widerspiegelt. Alle Aussagen und Handlungen in der Konferenz stellen nur die Rolle dar und sollten keinesfalls auf die Persönlichkeit der SuS zurückgeführt werden. Hierdurch kann ein sicherer Diskussionsraum für alle SuS ermöglicht werden. Es sollte ein Signal (z.B. akustisch über einen Gong-Ton) festgelegt werden, mit dem die Lehrkraft die Konferenz einläuten, unterbrechen oder beenden kann.

Der Rollenwechsel in der Phase *Die Konferenz* kann z.B. durch einfaches Weiterrücken der Konferenzteilnehmenden nach rechts/links erfolgen, oder durch Einnahme von entgegengesetzten Rollen (z.B. Tausch des Umweltaktivisten mit dem Vertreter der Fluggesellschaft).

Sollte keine Doppelstunde möglich sein, empfiehlt es sich die Doppelstunde in zwei Einzelstunden zu teilen. Eine geeignete Teilung empfiehlt sich etwa nach der Phase *Lösungen vordenken und Vorbereitungen treffen* (nach 40 min), da die SuS nach dieser Phase die Konferenz vorbereitet haben und es sinnvoll ist die Diskussionsregeln kurz vor der Konferenz festzulegen.

Tabelle UVII1: Möglicher Verlaufsplan der Unterrichtsstunde VII

Zeit (min)	Phase	Geplantes LK-Verhalten	Geplantes SuS-Verhalten	Sozialform	Medien/Materialien	Kommentare
3	Einstieg	Zu Beginn der Stunde nimmt die LK Bezug zu den letzten Unterrichtsstunden und teilt den SuS mit, dass es die (fiktive) Petition <i>Veränderung beim Fliegen JETZT</i> gegeben hat, die es in den Petitionsausschuss des Bundestags geschafft hat. Hierzu zeigt die LK das Tafelbild 1 (Material MVII1).	Die SuS hören zu.	LV	Smartboard/ Tafelbild (Material MVII1)	
5	Ablauf des Planspiels	Die LK teilt den SuS mit, dass sie nun diese Konferenz als Planspiel durchführen, um den realen Entscheidungsprozess zu simulieren. Anschließend stellt die LK den Ablauf des Planspiels vor und teilt begleitend die Hinweise zum Spielverlauf (Material MVII2) aus.	Die SuS hören zu.	LV	Hinweise zum Spielverlauf (Material MVII2)	
10	Lese-phase	Die LK teilt den SuS Rollen zu und fordert sie auf mit der <i>Lese-phase</i> zu beginnen. Sie teilt den SuS das Übersichtsblatt über alle Rollen (Material MVII3) sowie die zu den Gruppen gehörenden Materialien (Materialien MVII6 – MVII11) aus. Die LK fordert die SuS zudem auf, sich die Poster der letzten Unterrichtsstunden anzuschauen und für die Rolle relevante Erkenntnisse herauszuarbeiten.	Die SuS lesen sich das Material zu ihrer Rolle und zudem das Übersichtsblatt zu allen Rollen durch und notieren sich erste Ideen. Zudem schauen sie sich die Poster der letzten Unterrichtsstunden an und arbeiten relevante Erkenntnisse bezüglich ihrer Rolle heraus.	EA	Übersichtsblatt über alle Rollen (Material MVII3) / Materialien Rollen (Materialien MVII6 – MVII11)	
12	Rollenfindung	Die LK fordert die SuS auf, in die Phase der <i>Rollenfindung</i> überzugehen. Die LK teilt das begleitende Arbeitsblatt (Material MVII5) aus.	Die treffen sich in ihren Rollen-Gruppen, analysieren ihre Situation und überlegen sich Handlungsmöglichkeiten. Die Argumente ordnen sich mit der Argumente-Kommode.	GA	Arbeitsblatt für Rollen-Gruppen (Material MVII5)	

10	Lösungen vordenken und Vorbereitungen treffen	Die LK fordert die SuS auf, in die Phase <i>Lösungen vordenken und Vorbereitungen treffen</i> überzugehen.	Die SuS überlegen sich mögliche (Kompromiss-) Lösungen für die Konferenz und wählen eine/n Vertreter/in für die Konferenz.	GA	Arbeitsblatt für Rollen-Gruppen (Material MVII5)	Hier kann ggf. auch ein/e Stellvertreter/in gewählt werden, welche/r den/die Vertreter/in ggf. unterstützen/ ablösen kann.
Mögliche Teilung der Doppelstunde in 2 Einzelstunden						
7	Diskussionsregeln festlegen	Die LK erfragt bei den SuS, welche Diskussionsregeln ihnen bei einer Konferenz wichtig sind, ergänzt die Äußerungen und weist explizit auf den Unterschied zwischen persönlicher und der Rollen-Meinung hin. Die LK hält die Diskussionsregeln auf dem Smartboard fest und lässt die Regeln demokratisch von den SuS beschließen.	Die SuS äußern Vorschläge für Diskussionsregeln. Die SuS beschließen die Diskussionsregeln demokratisch.	UG	Smartboard	
2	Gelenk	Die LK fordert die SuS auf, die Sitz- und Tischordnung für die Konferenz zu verändern und teilt den Gruppen die Namensschilder für die Konferenz (Material MVII4) aus.	Die SuS verändern die Sitz- und Tischordnung.		Namensschilder zur Konferenz (Material MVII4)	
23	Konferenz (KF)	Die LK teilt den beobachtenden SuS den Analysebogen zum Planspiel (Material MVII12) aus. Die LK fordert die SuS auf mit der Konferenz zu beginnen und übergibt die Leitung an die Ausschussmitglieder. Die LK interveniert nach zehn Minuten und fordert die SuS auf, nun ihre Rollen zu tauschen und die Diskussion anschließend fortzuführen. Die LK teilt den SuS 3 Minuten vor Ende der Konferenzphase mit, dass nun Lösungen durch die Ausschussmitglieder beschlossen werden müssen und die anderen Teilnehmenden nun nur noch passiv teilnehmen und zuhören.	Die vertretenden SuS führen die Konferenz durch. Die restlichen SuS beobachten die Diskussion und analysieren diese mit dem Analysebogen.	KF	Analysebogen zum Planspiel (Material MVII12)	Bei Problemen geht die LK auf die Stellvertreter/innen zu oder pausiert notfalls mit einem akustischen Signal die Konferenz.

15	Auswertungsphase	Die LK beendet die Konferenzphase und fordert die SuS zu einer Reflexion des Planspiels auf. Zuerst sollen die vertretenden SuS äußern, was sie empfunden haben und ob sie ihre Rolle gut umsetzen konnten. Anschließend sollen die beobachtenden SuS die wichtigsten Aspekte ihres Analysebogen als Reflexion vorstellen. Die LK regt eine kurze Diskussion über den Nutzen sowie von Vor- und Nachteilen von Planspielen an und notiert diese am Smartboard.	Die vertretenden SuS äußern ihre Empfindungen und reflektieren ihre Rolle. Die beobachtenden SuS stellen ihre Analyse anhand des Analysebogens zum Planspiel vor. Die SuS reflektieren den Nutzen sowie Vor- und Nachteile von Planspielen.	UG	Smartboard/ Analysebogen zum Planspiel (Material MVII12)	
3	Abschluss	Die LK hält abschließend die notwendige Multiperspektivität bei SSI wie dem Fliegen fest und betont, dass der Entscheidungsprozess in der Realität hierdurch sehr zeitintensiv ist und immer ein Teil der vorhandenen Interessen oder Werte und Normen unberücksichtigt bleibt.	Die SuS hören zu.	LV		

Anhang zur Unterrichtsstunde VII

Tafelbild: Fiktive Petition *Veränderung beim Fliegen JETZT*.

Material MVII1 - Fiktive Petition *Veränderung beim Fliegen JETZT*

Veränderung beim Fliegen



JETZT



Wir fordern:

- Verbot von Inlandsflügen
- Anzahl der jährlichen Flugreisen pro Person limitieren
- Investition in klimaneutrale Antriebstechnologien
- Einführung einer Kerosinsteuer
- Subvention von Bahnunternehmen



Unterzeichne!

Wir müssen aufgrund des Klimawandels **jetzt handeln!**

Abbildung UVII1 – Fiktive Petition *Veränderung beim Fliegen JETZT* (Bilder aus Pixabay).

Material MVII2- Ablauf des Planspiels

Hinweise zum Spielverlauf

Lesephase (10 Minuten)

- a) Lies dir den Text zu deiner Rolle durch und markiere dir die wichtigsten Informationen und mögliche Unklarheiten.
- b) Schau dir die erstellten Plakate der letzten Unterrichtsstunden an und notiere dir wichtige Punkte auf einem Blatt.
- c) Überfliege die Texte der anderen Gruppen, so dass du weißt welche anderen Rollen es noch gibt.

Rollenfindung (12 Minuten)

- a) Trefft euch nun in den Rollen-Gruppen.
- b) Versetzt euch in eure Rollen hinein und diskutiert eure Situation.
- c) Notiert eure Interessen, Ziele und Möglichkeiten und überlegt euch, wie ihr zur *Petition Veränderung beim Fliegen JETZT* steht.
- d) Notiert eure Argumente und ordnet diese mit der *Argumente-Kommode*.

Lösungen vordenken und Vorbereitungen treffen (10 Minuten)

- a) Stellt basierend auf der ausgefüllten *Argumente-Kommode* mögliche Lösungen zum Problem zusammen.
- b) Notiert auch Kompromisslösungen, die ihr in der Konferenz eingehen würdet.
- c) Wählt in eurer Rollen-Gruppe demokratisch eine/n Vertreter/in, der/die in der Konferenz eure Interessen vertritt.

Diskussionsregeln festlegen (7 Minuten)

- a) Legt gemeinsam mit der Lehrkraft Diskussionsregeln fest. Überlegt euch hierzu, was euch in einer Diskussion wichtig ist (z.B. Aussprechen lassen etc.).

Die Konferenz (23 Minuten)

- a) Nach der Eröffnung der Konferenz durch die Lehrkraft stellen sich alle Konferenzteilnehmenden in der jeweiligen Rolle vor.
- b) Zu Beginn äußert jede/r Konferenzteilnehmer/in seine/ihre Sichtweise zur *Petition* und untermauert diese mit überzeugenden Argumenten.
- c) Anschließend folgt eine Diskussion, in der Lösungen und Kompromisse diskutiert werden sollen.
- d) Nach zehn Minuten werden die Rollen gewechselt und die Diskussion fortgeführt. Dabei bleibt das *Begleitende Arbeitsblatt in den Rollen-Gruppen* jeweils am Platz und kann vom nachfolgenden Rollenvertretenden genutzt werden.
- e) Die Regierungsausschussmitglieder treffen zum Ende eine Entscheidung, die sie anschließend begründen.
Hinweis: Während dieser Phase sollen die anderen Konferenzteilnehmenden nicht sprechen und die Regierungsausschussmitglieder ihre Entscheidung treffen lassen.

Auswertungsphase (15 Minuten)

- a) Die Rollen werden abgelegt und jede/r ist wieder er/sie selbst.
- b) In einer Abschlussdiskussion werden die Ergebnisse zusammengefasst und das Planspiel an sich reflektiert.

Material MVII3- Übersichtsblatt Rollen

Rollen im Planspiel

Im Planspiel gibt es 6 verschiedene Rollen, die hier vorgestellt werden.

Lest euch die Texte durch und verschafft euch damit einen Überblick über die Rollen und deren Interessen.

Rolle 1: Herr Müller

Herr Müller ist Vorstandsvorsitzender der German-Airlines, der größten deutschen Fluggesellschaft die monatlich ca. 12,5 Millionen Passagiere transportiert und einen Jahresumsatz von ca. 32,8 Milliarden Euro macht. Die German-Airlines besitzt ca. 110.000 Mitarbeitende, für die er verantwortlich ist.

German Airlines



Abbildung UVII2 – Logo German Airlines (erstellt mit Microsoft Designer – Bildgenerierungstool, 2024).

Rolle 2: Herr Wolniak

Herr Wolniak ist Klimaaktivist von der transnationalen non-profit Organisation Earthpeace, die die Petition initiiert und intensiv für sie geworben hat. Earthpeace wurde 1973 gegründet, ist in 55 Ländern vertreten und besitzt über drei Millionen Mitglieder. Zielsetzung von Earthpeace ist es, sich mit gewaltfreien Aktionen für den Schutz der Umwelt einzusetzen.



Abbildung UVII3 – Logo Earthpeace (erstellt mit Microsoft Designer – Bildgenerierungstool, 2024).

Rolle 3: Frau Anders

Frau Anders ist Pressesprecherin des Touristikkonzerns TOURI, welcher mit 1200 Reisebüros, 120 Flugzeugen und 16 Kreuzfahrtschiffen touristische Reisen für jährlich ca. 21 Millionen Menschen organisiert. Der Konzern hat ca. 60.000 Mitarbeitende und erwirtschaftet einen Jahresumsatz von ca. 16,5 Milliarden Euro.



Abbildung UVII4 – Logo TOURI (erstellt mit Microsoft Designer – Bildgenerierungstool, 2024).

Rolle 4: Frau Dr. Hochfeld

Frau Dr. Hochfeld hat Physik studiert und forscht im Bereich des Klimawandels am Klima-Institut. Sie ist Klimaexpertin, genießt aufgrund ihrer Forschungsergebnisse hohes Ansehen in Wissenschaft und Politik und wird daher oft bei politischen Entscheidungen bezüglich der Klimapolitik zu Rate gezogen.

Klima-Institut



Abbildung UVII5 – Logo Klima-Institut (erstellt mit Microsoft Designer – Bildgenerierungstool, 2024).

Rollen 5,6,7: Frau Rothe, Herr Meier, Frau Pipping

Frau Rothe, Herr Meier und Frau Pipping sind Mitglieder des Petitionsausschusses des Bundestags, die über die gestellte Petition entscheiden werden. Sie laden zur Konferenz ein und leiten diese. Da die Petition ein großes öffentliches Interesse besitzt, stehen sie unter großem Entscheidungsdruck.



Abbildung UVII6 – Logo Bundestag (erstellt mit Microsoft Designer – Bildgenerierungstool, 2024).

Rollen 8,9: Herr Fleige, Frau John

Herr Fleige und Frau John sind Journalisten, die kritische Nachfragen während der Konferenz stellen und anschließend über diese berichten. Sie sind das Bindeglied zwischen Experten/Interessenvertretern, Politikern und der zu informierenden Öffentlichkeit.



Abbildung UVII6 – Hand mit Mikrofon (aus Pixabay).

Namensschilder zum Ausdrucken und Falten

Rolle 1: Herr Müller, Vorstandsvorsitzender German Airlines (**Material MVII4**)

Herr Müller
Vorstandsvorsitzender
German-Airlines



Abbildung UVII7 – Logo German Airlines (erstellt mit Microsoft Designer – Bildgenerierungstool, 2024).

Rolle 2: Herr Wolniak, Klimaaktivist Earthpeace (**Material MVII4**)

Herr Wolniak

Klimaaktivist Earthpeace



Abbildung UVII8 – Logo Earthpeace (erstellt mit Microsoft Designer – Bildgenerierungstool, 2024).

Rolle 3: Frau Anders, Pressesprecherin TOURI (**Material MVII4**)

Frau Anders

Pressesprecherin TOURI



Abbildung UVII9 – Logo TOURI (erstellt mit Microsoft Designer – Bildgenerierungstool, 2024).

Rolle 4: Frau Dr. Hochfeld, Klimaexpertin am Klima-Institut (**Material MVII4**)

Frau Dr. Hochfeld
Klimaexpertin
Klima-Institut

Klima-Institut



Abbildung UVII10 – Logo Klima Institut (erstellt mit Microsoft Designer – Bildgenerierungstool, 2024).

Rolle 5: Frau Rothe, Petitionsausschussmitglied (**Material MVII4**)

Frau Rothe

Petitionsausschussmitglied



Abbildung UVII11 – Logo Petitionsausschuss
(erstellt mit Microsoft Designer – Bildgenerierungstool, 2024).

Rolle 6: Herr Meier, Petitionsausschussmitglied (**Material MVII4**)

Herr Meier

Petitionsausschussmitglied



Abbildung UVII12 – Logo Petitionsausschuss
(erstellt mit Microsoft Designer – Bildgenerierungstool, 2024).

Rolle 7: Frau Pipping, Petitionsausschussmitglied (**Material MVII4**)

Frau Pipping

Petitionsausschussmitglied



Abbildung UVII13 – Logo Petitionsausschuss
(erstellt mit Microsoft Designer – Bildgenerierungstool, 2024).

Rolle 8: Herr Fleige, Journalist (**Material MVII4**)

Herr Fleige

Journalist



Abbildung UVII14 – Hand mit Mikrofon (aus Pixabay).

Rolle 9: Frau John, Journalistin (**Material MVII4**)

Frau John

Journalistin

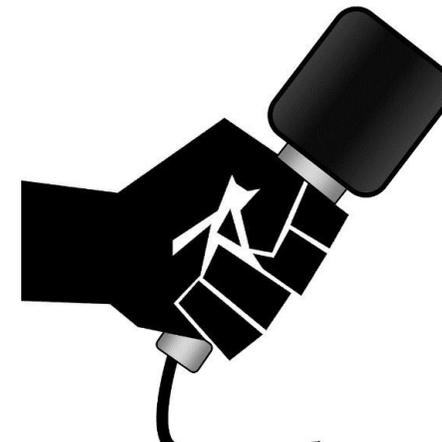


Abbildung UVII15 – Hand mit Mikrofon (aus Pixabay).

Begleitendes Arbeitsblatt in den Rollen-Gruppen.

Material MVII5 - Begleitendes Arbeitsblatt in den Rollen-Gruppen

Begleitendes Arbeitsblatt in den Rollen-Gruppen

Notiert Interessen, Ziele und Möglichkeiten eurer Rollen.

Ordnet die gesammelten Argumente in die *Argumente-Kommode* ein.

Sachwissen <i>Argumente, die auf „objektiven“ Sachwissen beruhen.</i>
Werte & Normen <i>Argumente, die auf persönlichen oder gesellschaftlichen Werten und Normen beruhen.</i>
Interessen <i>Argumente, die auf Interessen (z.B. wirtschaftlichen) beruhen.</i>

Notiert mögliche Lösungen und Kompromisse, die ihr bereit wärt einzugehen.

Materialien für die Rollen

Rolle 1: Herr Müller, Vorstandsvorsitzender German Airlines

Material MVII6 - Herr Müller, Vorstandsvorsitzender German Airlines

Rolle 1: Herr Müller, Vorstandsvorsitzender German Airlines



Abbildung UVII16 – Logo German Airlines (erstellt mit Microsoft Designer – Bildgenerierungstool, 2024).

Das ist eure Rolle:

Herr Müller ist Vorstandsvorsitzender der German Airlines, der größten deutschen Fluggesellschaft die monatlich ca. 12,5 Millionen Passagiere transportiert und einen Jahresumsatz von ca. 32,8 Milliarden Euro macht. Die German Airlines besitzt ca. 110.000 Mitarbeitende, für die er verantwortlich ist.

Zusatzinformationen und Denkanstöße:

Die German Airlines bietet beim Kauf von Flugtickets CO_2 -Kompensationen an, die zum eigentlichen Ticket zusätzlich gegen Entgelt erworben werden können. Mit diesem Geld wird CO_2 eingespart und die Emission ausgeglichen, hierbei werden anerkannte Standards beachtet. Zudem wird in die Forschung von alternativen Antriebstechnologien investiert: So wird in nachhaltige Flugzeugkraftstoffe (SAF) investiert, z.B. in Power-to-Liquid Kerosin aus erneuerbaren Energien wie z.B. der Solarenergie (sogenanntes Sun-to-Liquid Kerosin). Die German Airlines investiert außerdem in weitere Umweltforschung (z.B. zur Fluglärminderung), da die Flugpassagierzahlen in den nächsten Jahren weiter ansteigen werden und sie sich der daraus resultierenden Verantwortung bewusst sind. Aufgrund der Globalisierung sind aus Sicht der German Airlines, Flüge notwendig, neben touristischen Reisen insbesondere auch Geschäftsreisen sowie Lufttransportflüge internationaler Güter (insbesondere verderbliche Güter). Die German Airlines ist gegen eine nationale Kerosinsteuer, da sonst ein Wettbewerbsnachteil gegenüber internationalen Fluggesellschaften entsteht, welche dann ihr Kerosin im Ausland steuerfrei erwerben können.

Das könnt ihr tun:

- Darauf hinweisen, dass es die Möglichkeit der CO_2 -Kompensation gibt.
- Vorschlagen, dass es eine CO_2 -Kompensationspflicht gibt. Diese wäre dann mit höheren Preisen verbunden.
- Darauf hinweisen, dass es alternative Antriebstechnologien gibt, die in Zukunft den Luftverkehr klimaneutral machen werden.
- Die wirtschaftliche Bedeutung des Luftverkehrs aufgrund der Globalisierung und der hohen Anzahl an Beschäftigten im Luftfahrtbereich (Fluggesellschaften, Flughäfen, Flugzeughersteller, usw.) verdeutlichen.
- ...

Material MVII7 - Herr Wolniak, Klimaaktivist Earthpeace

Rolle 2: Herr Wolniak, Klimaaktivist Earthpeace



Abbildung UVII17 – Logo Earthpeace (erstellt mit Microsoft Designer – Bildgenerierungstool, 2024).

Das ist eure Rolle:

Herr Wolniak ist Klimaaktivist von der transnationalen non-profit Organisation Earthpeace, die die Petition initiiert und intensiv für sie geworben hat. Earthpeace wurde 1973 gegründet, ist in 55 Ländern vertreten und besitzt über drei Millionen Mitglieder. Zielsetzung von Earthpeace ist es, sich mit gewaltfreien Aktionen für den Schutz der Umwelt einzusetzen.

Zusatzinformationen und Denkanstöße:

Earthpeace befürwortet Maßnahmen, die das Fliegen nachhaltig gestalten. Aufgrund des Klimawandels und des nicht ausreichenden Handelns der aktuellen Umweltpolitik und Regierung fordert Earthpeace jedoch, dass es jetzt grundlegende Veränderung beim Fliegen geben muss. So fordert Earthpeace ein Verbot von Inlandsflügen und die Einführung einer Kerosinsteuer. Zudem sollen Bahnfahrten finanziell subventioniert und damit grundsätzlich günstiger als Flugreisen werden. Außerdem sollen die durchgeführten Flüge nachhaltig stattfinden, weshalb in klimaneutrale Antriebstechnologien investiert werden soll. Trotzdem muss sich das Konsumverhalten der Flugreisenden verändern und die Nachfrage an Flugreisen sinken, weshalb Earthpeace fordert, dass die jährliche Anzahl an durchgeführten Flugreisen pro Person grundsätzlich limitiert wird.

Das könnt ihr tun:

- Darauf hinweisen, dass der Klimawandel ein für die aktuelle und künftige Generationen zentrales Problem ist. Es darf nicht nur geredet, sondern es muss auch gehandelt werden – individuell wie auch gesellschaftlich.
- Die Klimawirkung des Luftverkehrs (CO_2 - und Nicht- CO_2 -Effekte) erläutern.
- Betonen, dass das gesellschaftliche Überleben über den individuellen Bedürfnissen stehen sollte, weshalb Flugreisen grundsätzlich limitiert werden sollten.
- Lieber regionale Produkt kaufen und regional mit dem Zug verreisen, um so die Umwelt zu schonen und nicht notwendige Flugreisen/Lufttransportflüge zu vermeiden.
- ...

Rolle 3: Frau Anders, Pressesprecherin TOURI

Material MVII8- Rolle 3: Frau Anders, Pressesprecherin TOURI

Rolle 3: Frau Anders, Pressesprecherin TOURI



Abbildung UVII18 – Logo TOURI (erstellt mit Microsoft Designer – Bildgenerierungstool, 2024).

Das ist eure Rolle:

Frau Anders ist Pressesprecherin des Touristik Konzerns TOURI, welcher mit 1200 Reisebüros, 120 Flugzeugen und 16 Kreuzfahrtschiffen touristische Reisen für jährlich ca. 21 Millionen Menschen organisiert. Der Konzern hat ca. 60.000 Mitarbeitende und erwirtschaftet einen Jahresumsatz von ca. 16,5 Milliarden Euro.

Zusatzinformationen und Denkanstöße:

Die Tourismusbranche schafft Arbeitsplätze (international und besonders für die Menschen vor Ort) und bietet Weiterbildungsmöglichkeiten, wodurch sie einen wichtigen Beitrag zum weltweiten Wohlstand leistet. TOURI hat eine Nachhaltigkeitsagenda, die auf den drei Bausteinen *People* (Entwicklung von Arbeitsplätzen und der damit verbundenen Bildung), *Planet* (Reduktion des ökologischen Fußabdrucks von Reisen) und *Progress* (Ermöglichung nachhaltiger Reiseentscheidungen und Handlungsmöglichkeiten für Reisende) basiert. Diese Grundbausteine orientieren sich an den 17 Nachhaltigkeitszielen der UN. TOURI ist gegen eine Limitierung von Flugreisen, da es nachhaltige Reisemöglichkeiten gibt und weitere entwickelt werden.

Das könnt ihr tun:

- Auf die positiven sozialen und ökonomischen Folgen des Tourismus hinweisen.
- Die (persönlichen) Interessen von (Privat-)Reisenden verteidigen, z.B. der jährliche Besuch der Familie im Ausland oder die jährliche Urlaubsreise einer Familie (Work-Life-Balance).
- Nachteile von Bahn- und Busreisen aufzeigen (Unpünktlichkeit, lange Reisedauer bei größeren Entfernungen, Komfort, Stau, etc.)
- Vorschlagen, dass Bahntickets subventioniert, das Bahnnetz ausgebaut und Bahnfahrten komfortabler gestaltet werden müssten.
- ...

Material MVII9- Rolle 4: Frau Dr. Hochfeld, Klimaexpertin Klima-Institut

**Rolle 4: Frau Dr. Hochfeld, Klimaexpertin
Klima-Institut**



Abbildung UVII19 – Logo Klima-Institut (erstellt mit Microsoft Designer – Bildgenerierungstool, 2024).

Das ist eure Rolle:

Frau Dr. Hochfeld hat Physik studiert und forscht im Bereich des Klimawandels am Klima-Institut. Sie ist Klimaexpertin, genießt aufgrund ihrer Forschungsergebnisse hohes Ansehen in Wissenschaft und Politik und wird daher oft bei politischen Entscheidungen bezüglich der Klimapolitik zu Rate gezogen

Zusatzinformationen und Denkanstöße:

Das Klima-Institut wurde 1992 gegründet, ist als ein gemeinnütziger Verein organisiert und wird als Teil der Leibnitz-Gesellschaft vom Bund und vom Land Brandenburg finanziert. Insgesamt sind rund 400 Mitarbeitende beschäftigt, davon ca. 260 Wissenschaftler/innen. Am Klima-Institut werden die Ursachen und Folgen des natürlichen und insbesondere des anthropogenen Treibhauseffekts untersucht und analysiert. Frau Dr. Hochfeld arbeitet aktuell an einem Projekt zum Strahlungsantrieb durch die Luftfahrt und zur ökologischen Bewertung von zukünftigen Antriebsalternativen zum (mit herkömmlichem Kerosin betriebenen) Mantelstromtriebwerk.

Das könnt ihr tun:

- Darauf hinweisen, dass und warum Flugreisen die klimaschädlichste Form des Reisens sind.
- Die Klimawirkung von Flugreisen verdeutlichen, insbesondere die Nicht- CO_2 -Effekte, die ca. 2/3 der Klimawirkung ausmachen.
- Die in der Diskussion vorkommenden Antriebsalternativen auf die ökologische Dimension der Nachhaltigkeit bewerten, z.B. ob es neben der CO_2 -Reduktion auch zu einer Reduktion der Nicht- CO_2 -Effekte kommt oder erneuerbare Energiequellen zur Produktion bzw. zum Betrieb verwendet werden.
- Betonen, dass aufgrund des fortschreitenden menschengemachten Klimawandels jetzt ein großer Handlungsbedarf besteht und es neben der Investition in langjährige Forschung jetzt eine Einschränkung der Luftverkehrsemissionen und damit von Flugreisen geben muss.
- ...

Rollen 5, 6, 7: Frau Rothe, Herr Meier, Frau Pipping,
Petitionsausschussmitglieder

Material MVII10- Rollen 5, 6, 7: Frau Rothe, Herr Meier, Frau Pipping,
Petitionsausschussmitglieder

**Rollen 5, 6, 7: Frau Rothe, Herr Meier, Frau Pipping,
Petitionsausschussmitglieder**



Abbildung UVII20 – Logo Petitionsausschuss (erstellt mit Microsoft Designer – Bildgenerierungstool, 2024).

Das ist eure Rolle:

Frau Rothe, Herr Meier und Frau Pipping sind Mitglieder des Petitionsausschusses des Bundestags, die über die gestellte Petition entscheiden werden. Sie laden zur Konferenz ein und leiten diese. Da die Petition ein großes öffentliches Interesse besitzt, stehen sie unter großem Entscheidungsdruck.

Zusatzinformationen und Denkanstöße:

Eine Petition ist eine Bitte oder Beschwerde zu einem bestimmten Sachverhalt von Bürger/innen an den Staat. Der Petitionsausschuss des Bundestags ist der diesbezügliche Vertreter für den Bund, welcher die Bitte/ Beschwerde in Form einer Petition entgegennimmt. Wenn eine Petition innerhalb von 4 Wochen das Quorum (Mindestanzahl) von 50.000 Unterstützern erreicht, wird das Thema in einer öffentlichen Ausschusssitzung besprochen. Der Beschluss im Petitionsausschuss wird als Beschlussempfehlung an den Deutschen Bundestag weitergeleitet. Nach der Entscheidung im Bundestag wird der/die Petent/in (Initiator/in der Petition) über den Ausgang der Petition informiert.

Das könnt ihr tun:

- Nach der Eröffnung der Konferenz könnt ihr die Konferenzteilnehmenden zu einer Vorstellungsrunde und einem kurzen Statement zur Petition auffordern.
- Da ihr die Konferenz leitet, müsst ihr darauf achten, dass die Diskussionsregeln eingehalten werden.
- Ihr moderiert die Diskussion und stellt Nachfragen, da ihr am Ende der Konferenz unvoreingenommen eine Entscheidung treffen müsst.
- Um eine Entscheidung treffen zu können, wendet ihr den Ablauf einer kompensatorischen Entscheidungsstrategie an. Schaut euch hierfür diesen Ablauf noch einmal an.
- ...

Material MVII11- Rolle 8, 9: Herr Fleige, Frau John, Journalisten

Rolle 8, 9: Herr Fleige, Frau John, Journalisten

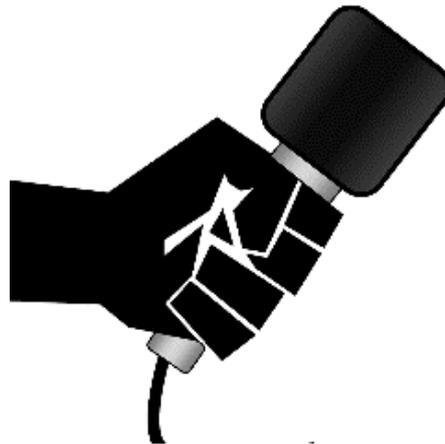


Abbildung UVII21 – Hand mit Mikrofon (aus Pixabay).

Das ist eure Rolle:

Herr Fleige und Frau John sind Journalisten, die kritische Nachfragen während der Konferenz stellen und anschließend über diese berichten. Sie sind das Bindeglied zwischen Experten/Interessenvertretern, Politikern und der zu informierenden Öffentlichkeit.

Zusatzinformationen und Denkanstöße:

Als Journalist/in seid ihr an einer transparenten Berichterstattung interessiert, weshalb stets (kritische) Nachfragen an alle Konferenzteilnehmenden gestellt werden sollten. Dabei bleibt ihr stets respektvoll, sprecht aber dennoch „unangenehme“ Fragen an. In Vorbereitung auf die Konferenz informieren sich die Journalist/innen über die Konferenzteilnehmenden und überlegen sich kritische Fragen. Hierzu ist es nötig, sich in die Rolle der Teilnehmenden hineinzusetzen und mögliche Argumente aus deren Perspektive zu überlegen.

Das könnt ihr tun:

- Kritische Nachfragen an alle Konferenzteilnehmende stellen.
- Neutrale, unvoreingenommene Sichtweise bewahren, um so eine multiperspektive Berichterstattung zu ermöglichen.
- Stellt Nachfragen zu Nachweisen von geäußerten Behauptungen und deren Seriosität. Hinterfragt auch die zugrundeliegenden Interessen.
- ...

Analysebogen für nicht an der Diskussion beteiligte SuS:

Material MVII12 - Analysebogen für nicht an der Diskussion beteiligten SuS

Analysebogen zum Planspiel

Beobachte deine Mitschüler/innen und analysiere ihr Vorgehen in der Konferenz. Beantworte hierzu während der Beobachtung folgende Fragen.

Welche Hauptargumente wurden verwendet und was hat sie stark gemacht?

Haben die Rollenspielenden ihre Positionen ad hoc/intuitiv oder eher auf kritisches Nachdenken und Entscheidungs-Finden gegründet?

Haben die Rollenspielenden nur ihre eigene Rolle und deren Argumente wahrgenommen oder haben sie sich auch auf andere Rollen eingelassen oder sogar in sie hineinversetzen können?

1/2

Hat sich jemand durchgesetzt? Wenn ja, wie? Mit Argumentieren, oder weil die Rolle mit Macht und Reputation ausgestattet war?

Sind Handlungsoptionen von allen Rollen wahrgenommen und eventuell auch erweitert worden? Ist man also auf neue Möglichkeiten gekommen?

Wurde das Ergebnis so ausgehandelt, dass Konsens erzielt wurde?

2/2

Quelle: Fragen entnommen aus Höttecke & Hartmann-Mrochen, 2013, S. 33.

Literatur- und Quellenverzeichnis für Unterrichtsstunde VII

Bundestag (o.D. a). Logo. Abgerufen am 26.02.2024 unter

https://www.bundestag.de/static/appdata/migration/includes/images/logo_bundestag.jpg

Bundestag (o.D. b). Petitionen. Service und Informationen. Abgerufen am 26.02.2024 unter

<https://epetitionen.bundestag.de/epet/service.???rubrik.oeffentlichePetitionen.html#sicontent>

Bundeszentrale für politische Bildung [BPD] (o.D). Petition/Petitionsrecht.

Abgerufen am 26.02.2024 unter

<https://www.bpb.de/kurz-knapp/lexika/lexikon-in-einfacher-sprache/249998/petition-petitionsrecht/>

Deutscher Bundestag [DBT] (2016, 01. September). Petitionen: Der

Petitionsausschuss [Video]. YouTube. Abgerufen am 26.02.2024 unter

<https://www.youtube.com/watch?v=AHn6D2KxZVo>

Greenpeace [GREENP] (o.D.). Über uns. Greenpeace stellt sich vor. Abgerufen

am 26.02.2024 unter <https://www.greenpeace.de/ueber-uns>

Greenpeace [WIKIGP] (2024, 21 Februar). In *Wikipedia*. Abgerufen am

26.02.2024 unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Greenpeace>

Höttecke, D. , Hartmann-Mrochen , M. (2013). „Flugobst“ unter der Lupe. Mit einem Planspiel urteilen und entschieden lernen.

Unterricht Physik, 24(134), 17-18.

Lufthansa [WIKILH] (2024, 19. Februar). In *Wikipedia*. Abgerufen am 26.02.2024

unter <https://de.wikipedia.org/wiki/Lufthansa>

Lufthansa Group [LHG] (o.D.). Verantwortung. Klima und Umwelt. Abgerufen am

26.02.2024 unter

<https://www.lufthansagroup.com/de/verantwortung/klima-umwelt.html#cid11321>

Microsoft Designer (2024). Bildgenerierungstool (Image Creator). Microsoft.

Abgerufen am 29.03.2024 unter

<https://designer.microsoft.com/image-creator>

Pixabay. Abgerufen am 05.01.2024 unter <https://pixabay.com/de/>

Potsdam Institut für Klimafolgenforschung [PIK] (o.D. a). Startseite. Abgerufen

am 26.02.2024 unter <https://www.pik-potsdam.de/de/startseite>

Potsdam Institut für Klimafolgenforschung [PIK] (o.D. b). Institut. Über uns.

Abgerufen am 26.02.2024 unter

<https://www.pik-potsdam.de/de/institut/ueber>

TUI Group [TUI] (2024a). *Über die TUI Group*, Abgerufen am 26.02.2024 unter

<https://www.tuigroup.com/de-de/ueber-uns/ueber-die-tui-group>

TUI Group [TUI] (2024b). *TUI Nachhaltigkeitsagenda*, Abgerufen am 26.02.2024

unter <https://www.tuigroup.com/de-de/verantwortung/nachhaltigkeit>

Wodzinski, R. (2013b). Bewertungskompetenz im Unterricht anbahnen. Ein

Überblick über geeignete Methoden. *Unterricht Physik*, 24(134), 13-16.

8.1.8 Unterrichtsstunde VIII

Dauer	90 min
Inhalt	Kollaborative Planung und Umsetzung einer Handlung, um die Umwelt aktiv mitzugestalten und Verantwortung zu übernehmen, z.B. die Erstellung und anschließende Veröffentlichung eines Flyers zum Thema <i>Fliegen als Kontroverser Kontexte mit naturwissenschaftlichem und gesellschaftlichen Bezug (Socio-scientific issue)</i> .
Phase im Agency-Modell	Durchführung

Kompetenzziele:

Die SuS können...

- andere SuS adressatengerecht und präzise zu einem Thema informieren.
- einen Flyer kollaborativ erstellen und für dessen Veröffentlichung werben.
- Handlungsschritte zur Veröffentlichung des Flyers erläutern und ausführen.
- die Notwendigkeit des aktiven Handelns und Möglichkeiten für den aktiven Einsatz für die Umwelt erklären.
- durch die Weiterführung des Projekts Verantwortung übernehmen.

Bezug zum Rahmenlehrplan (RLPPhyBerSI, 2015):

Die SuS können ...

Kommunizieren

- grafische Darstellungen zu Sachverhalten entwerfen (Niveaustufe F, Teilkompetenz *Informationen weitergeben - Testproduktion*, S. 22).
- naturwissenschaftliche Sachverhalte unter Verwendung der Alltagssprache und unter Einbeziehung von Fachbegriffen beschreiben (Niveaustufe D, Teilkompetenz *Informationen weitergeben - Testproduktion*, S. 22).
- naturwissenschaftliche Sachverhalte mit geeigneten bildlichen, sprachlichen oder mathematischen Darstellungsformen veranschaulichen (Niveaustufen E/F, Teilkompetenz *Informationen weitergeben - Testproduktion*, S. 22).
- naturwissenschaftliche Sachverhalte adressaten- und sachgerecht in verschiedenen Darstellungsformen erklären (Niveaustufen G/H, Teilkompetenz *Informationen weitergeben - Testproduktion*, S. 22).
- zu einer Aussage eine passende Begründung formulieren, in der die stützenden Daten oder Fakten erläutert werden (Niveaustufe E, Teilkompetenz *Argumentieren - Interaktion*, S. 23).
- zwischen alltags- und fachsprachlicher Beschreibung von Sachverhalten unterscheiden (Niveaustufe D, Teilkompetenz *Über (Fach-)Sprache nachdenken - Sprachbewusstheit*, S. 23).
- Zusammenhänge zwischen naturwissenschaftlichen Sachverhalten und Alltagserscheinungen herstellen und dabei bewusst Fachsprache in Alltagssprache übersetzen und umgekehrt (Niveaustufen G/H, Teilkompetenz *Über (Fach-)Sprache nachdenken - Sprachbewusstheit*, S. 23).

Benötigte Materialien:

Benötigt wird eine Tafel, ein Smartboard oder ein Beamer, um so die Tafelbilder zu zeigen und die Äußerungen der SuS am Smartboard festzuhalten. Um Tafelbilder interaktiv und gemeinsam mit den SuS zu erzeugen, wird ein Smartboard empfohlen.

Zur Erstellung des Flyers benötigen die SuS Tablets/Laptops und einen Internetzugang, um so ihren Flyerabschnitt online bearbeiten zu können.

Es werden die Materialien für die Gruppenarbeit (**Materialien MVIII1 – MVIII5**) für alle SuS aus dem *Anhang zur Unterrichtsstunde VIII* ausgedruckt benötigt.

Ablauf der Stunde:

Zu Beginn der Stunde teilt die Lehrkraft den SuS mit, dass sie die in der Unterrichtseinheit erworbenen Erkenntnisse nun in konkrete Handlungen umsetzen werden, um diese zur aktiven Gestaltung ihrer Umwelt zu nutzen. Hierzu erfragt die Lehrkraft bei den SuS, welche Möglichkeiten des Handelns sie selbst besitzen und sammelt Ideen am Smartboard. Hierbei können die Handlungsmöglichkeiten verglichen werden, z.B. mit Kriterien wie *Reichweite*, *Aufwand/Ressourcen*, *Medium*, *Nutzen* etc.. Man kann feststellen, dass sich verschiedene Handlungsmöglichkeiten hinsichtlich dieser Kriterien unterscheiden und eine geeignete Maßnahme für die Lerngruppe z.B. die Erstellung und (regionale, z.B. schulinterne) Verbreitung eines Flyers zum Thema *Fliegen als SSI* ist. Zielsetzung sollte die Informierung über die physikalischen Grundlagen der Klimawirkung des Fliegens und die Aufklärung über die gesellschaftliche Relevanz sein. Darüber hinaus soll der Flyer eine Hilfestellung für persönliche Entscheidungen und Handlungen im Kontext von Flugreisen für andere SuS sein.

Die Lehrkraft erläutert, dass zur Erstellung des Flyers eine Arbeitsteilung notwendig ist und erfragt bei den SuS, wie der Flyer strukturiert sein soll und wie dieser in Arbeitsteilung erstellt werden kann. Nachdem die SuS Vorschläge geäußert haben, werden diese von der Lehrkraft auf dem Smartboard notiert. Anschließend werden demokratisch die Struktur des Flyers und Aufgaben für die Gruppen festgelegt. Eine Übersicht für eine mögliche Gruppeneinteilung ist in Tabelle UVIII1 dargestellt.

Tabelle UVIII1: Aufgabenverteilung der Gruppen zur Erstellung des Flyers.

Gruppe	Aufgabe
Gruppe 1	Die SuS sollen das Fliegen als SSI und die Relevanz nachhaltigen Handelns erläutern.
Gruppe 2	Die SuS sollen die Klimaauswirkungen des Luftverkehrs erläutern.
Gruppe 3	Die SuS sollen eine Entscheidungshilfe für Flugreisen in Form eines Entscheidungsbaums entwickeln.
Gruppe 4	Die SuS sollen Handlungsempfehlungen für unvermeidbare Flugreisen erläutern.
Gruppe 5	Die SuS sollen einen Brief an die Schulleitung verfassen, indem sie die Zielsetzung des Flyers vorstellen und um (finanzielle) Unterstützung zum Ausdrucken und Veröffentlichen des Flyers (z.B. im Schulfoyer oder/und auf der Schulwebsite) bitten.

Die Lehrkraft erläutert, dass die Gruppen 1 – 4 hierdurch jeweils einen Flyerabschnitt gestalten werden. Hierbei kann die Lehrkraft auf die Vorlage **(Material MVIII6)** verweisen, die z.B. in einer Cloud wie Google Drive simultan und kollaborativ von allen Gruppen bearbeitet werden kann.

Die Lehrkraft erläutert Hinweise zur Erstellung eines Flyers, z.B.:

- Formulierung einer prägnanten Überschrift.
- Informationen verständlich und adressatengerecht (für andere SuS) darlegen/darstellen.
- Formatierung der Vorlage beachten.
- Abschnitt übersichtlich gestalten.
- Verwendung korrekter Rechtschreibung, Zeichensetzung und Grammatik.
- ...

Die Lehrkraft teilt die SuS in die Gruppen ein, fordert sie auf, die Sitz- und Tischordnung so zu verändern, dass die Gruppen jeweils gemeinsam arbeiten können, und fordert sie nach Aushändigung der begleitenden Gruppenmaterialien **(Materialien MVIII1 – MVIII5)** zur Bearbeitung ihrer Aufgabe auf. Die Lehrkraft teilt zudem Laptops/Tablets aus, damit die Gruppen ihre Erkenntnisse nach der Bearbeitung in die gemeinsame Formatvorlage eintragen können.

Die Gruppen tragen nun Informationen zu ihrer Aufgabenstellung zusammen, indem sie die letzten Unterrichtsstunden mit Hilfe der aufgehängten Poster reflektieren. Anschließend erstellen die Gruppen kollaborativ die Texte/Schemata/Briefe und tragen diese in die digitale Vorlage ein.

Abschließend präsentiert jede Gruppe kurz ihre Texte/Schemata/Briefe im Plenum, hierfür kann die Vorlage am Smartboard eingeblendet werden. Die vorgestellten Texte/Schemata/Briefe werden diskutiert, adaptiert und passend formatiert.

Zum Ende der Stunde wird der Brief an die Schulleitung per Mail gesendet und über weitere Handlungsmöglichkeiten (z.B. die Gründung einer Klima AG in der Schule oder sich dafür einsetzen, dass Klassenfahrten nachhaltig nicht mit dem Flugzeug durchgeführt werden) diskutiert. Zudem wird festgelegt, welche SuS die Leitung des Flyer-Projekts übernehmen, und die Lerngruppe bei Rücksprachen mit der Schulleitung vertreten.

Hinweise und Anmerkungen sowie Potential zur Differenzierung

Zur Vorbereitung der Stunde sind die Materialien für die Gruppenarbeit (**Materialien MVIII1 – MVIII5**) im Anhang der Unterrichtsstunde VIII für die SuS auszudrucken.

Zudem ist die Flyervorlage (**Material MVIII6**) zu optimieren und für die Lerngruppe anzupassen. Außerdem muss die Vorlage auf einer geeigneten Plattform, z.B. Google Drive, hochgeladen und für die Lerngruppe zugänglich sein. Dies setzt auch das Austeilen von Tablets/Laptops mit Internetzugang voraus.

Sollte keine Doppelstunde möglich sein, empfiehlt es sich die Doppelstunde in zwei Einzelstunden zu teilen. Eine geeignete Teilung empfiehlt sich etwa nach der Phase *Erarbeitung II* (nach 55 min), da die SuS nach dieser Phase ihren Flyerabschnitt kollaborativ erstellt haben und dieser in der nächsten Phase präsentiert und adaptiert wird.

Als Format für den Flyer wird ein A4-Querformat gewählt, da dieses z.B. in der Schule einfach beidseitig bedruckt und anschließend, wie ein Flyer gefaltet werden kann. Die Faltkanten sind in der Vorlage mit grau-gestrichelten Linien dargestellt. An der gestrichelten Linien auf der Vorderseite zwischen Deckseite und dem Text für Gruppe 1 wird nach außen und an der gestrichelten Linien zwischen den Texten der Gruppen 1 und 2 wird nach innen gefaltet.

Tabelle UVIII2: Möglicher Verlaufsplan der Unterrichtsstunde VIII

Zeit (min)	Phase	Geplantes LK-Verhalten	Geplantes SuS-Verhalten	Sozialform	Medien/Materialien	Kommentare
8	Einstieg	Die LK begrüßt die SuS und teilt ihnen mit, dass sie die in der Unterrichtseinheit erworbenen Erkenntnisse nun in konkrete Handlungen umsetzen werden, um diese zur aktiven Gestaltung ihrer Umwelt zu nutzen. Die LK erfragt bei den SuS, welche Möglichkeiten des Handelns und der Verantwortungsübernahme sie selbst besitzen und sammelt Ideen am Smartboard. Die LK fordert die SuS auf die geäußerten Handlungsmöglichkeiten durch geeignete Kriterien miteinander zu vergleichen.	Die SuS äußern Handlungsmöglichkeiten, um ihre Umwelt aktiv mitzugestalten. Die SuS vergleichen die Handlungsmöglichkeiten kriteriengeleitet.	UG	Smartboard	Geeignete Kriterien für den Vergleich sind z.B. Reichweite, Aufwand/Ressourcen, Medium, Nutzen, etc..
5	Gelenk I	Die LK fordert die SuS auf eine geeignete Handlungsmöglichkeit begründet auszuwählen, z.B. die Erstellung und anschließende Veröffentlichung eines Flyers zum Thema <i>Fliegen als SSI</i> , der andere SuS über die Klimawirkung von Flugreisen informiert, die gesellschaftliche Relevanz verdeutlicht und eine Hilfestellung für persönliche Entscheidungen und Handlungen ist.	Die SuS wählen begründet eine Handlungsmöglichkeit aus.	UG		Handlungsmöglichkeit ist hier z.B. die Erstellung eines Flyers. Viele andere Möglichkeiten sind denkbar.
7	Erarbeitung I	Die LK erläutert, dass zur Erstellung des Flyers eine Arbeitsteilung notwendig ist und erfragt bei den SuS, wie der Flyer strukturiert sein soll und wie dieser in Arbeitsteilung erstellt werden kann. Die LK sammelt geäußerte Vorschläge auf dem Smartboard. Die LK fordert die SuS auf, eine Struktur demokratisch zu beschließen. Die LK teilt den SuS mit, dass sie in Gruppen den Flyer kollaborativ erstellen und anschließend veröffentlichen werden. Eine mögliche Gruppeneinteilung ist z.B.: - Gruppe 1: Fliegen als SSI - Gruppe 2: Klimawirkung des Luftverkehrs - Gruppe 3: Entscheidungshilfe - Gruppe 4: Handlungsempfehlung für Flugreisen - Gruppe 5: Brief an Schulleitung	Die SuS äußern Vorschläge zur Strukturierung des Flyers. Die SuS beschließen eine Struktur demokratisch.	UG	Smartboard	

5	Gelenk II	<p>Die LK verweist auf die Online-Vorlage für den Flyer (Material MVIII) und teilt die SuS in die 5 Gruppen ein. Die LK erfragt bei den SuS Hinweise zur Erstellung eines Flyers und ergänzt diese ggf.:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Formulierung einer prägnanten Überschrift. - Informationen verständlich und adressatengerecht (für andere SuS) darlegen/darstellen. - Formatierung der Vorlage beachten. - Abschnitt übersichtlich gestalten. - Verwendung korrekter Rechtschreibung, Zeichensetzung und Grammatik. - ... <p>Die LK fordert die SuS auf, die Sitz- und Tischordnung so zu verändern, dass die Gruppen jeweils gemeinsam arbeiten können. Die LK teilt zudem Laptops/Tablets aus, damit die Gruppen ihre Erkenntnisse nach der Bearbeitung in die gemeinsame Formatvorlage eintragen können.</p>	Die SuS äußern Ideen, was bei der Gestaltung des Flyers berücksichtigt werden sollte. Die SuS verändern die Sitz- und Tischordnung.	UG	Online-Vorlage (Material MVIII8)	
30	Erarbeitung II	Die LK fordert sie nach Aushändigung der begleitenden Gruppenmaterialien (Materialien MVIII1 – MVIII5) zur Bearbeitung ihrer Aufgabe auf.	Die SuS erstellen in Gruppen jeweils einen Flyerabschnitt bzw. den Brief.	GA	Tablets/ Laptops/ Gruppenmaterialien (Materialien MVIII1 – MVIII5)	
Mögliche Teilung der Doppelstunde in 2 Einzelstunden						
20	Sicherung	Die LK fordert die Gruppen auf ihre Ergebnisse am Smartboard anhand der ausgefüllten Vorlage im Plenum zu präsentieren. Die LK fordert nach jeder Vorstellung zu einer kurzen Diskussion und Adaption des jeweiligen Flyerabschnitts auf.	Die SuS präsentieren ihren Flyerabschnitt bzw. Brief.	UG	Smartboard	

15	Abschluss	<p>Die LK fordert die SuS auf den Brief ggf. weiter zu optimieren und anschließend an den Brief (und den erstellten Flyer als Anhang) per Mail an die Schulleitung zu senden.</p> <p>Die LK erfragt bei den SuS weitere Handlungsmöglichkeiten, welche die SuS nach der Unterrichtsreihe künftig ausführen können.</p> <p>Die LK fordert die SuS abschließend auf, einzelne SuS festzulegen, welche die Leitung des Flyerprojekts übernehmen, und die Lerngruppe bei Rücksprachen mit der Schulleitung vertreten können.</p>	<p>Die SuS optimieren den Brief an die Schulleitung und senden diesen anschließend per Mail ab.</p>	UG	Smartboard	<p>Weitere Handlungsmöglichkeiten sind z.B. die Veröffentlichung des Flyers in anderen Schulen, die Gründung einer Klima AG oder sich dafür einzusetzen, dass Klassenfahrten nicht mit dem Flugzeug durchgeführt werden.</p>
----	-----------	--	---	----	------------	--

Anhang zur Unterrichtsstunde VIII

Material MVIII1 – Aufgabenstellung Gruppe 1 (Fliegen als SSI und die Relevanz nachhaltigen Handelns)

Gruppe 1: Fliegen als SSI und die Relevanz nachhaltigen Handelns

Erstellt einen Flyerabschnitt, aus dem hervorgeht, was Kontroverse Kontexte mit naturwissenschaftlichem und gesellschaftlichen Bezug (Socio-scientific issues, kurz SSI) ausmachen und weshalb das Fliegen ein solches SSI ist. Zudem soll hervorgehen, wieso nachhaltiges Handeln eine gesellschaftliche Norm darstellen sollte.

Berücksichtigt dabei die Merkmale von SSI (Abbildung UVIII1) und überträgt diese hierzu auf das Fliegen. Berücksichtigt zudem die analysierten Nachhaltigkeitsmodelle.

Als Hilfestellung könnt ihr euch die Poster der letzten Unterrichtsstunden anschauen.

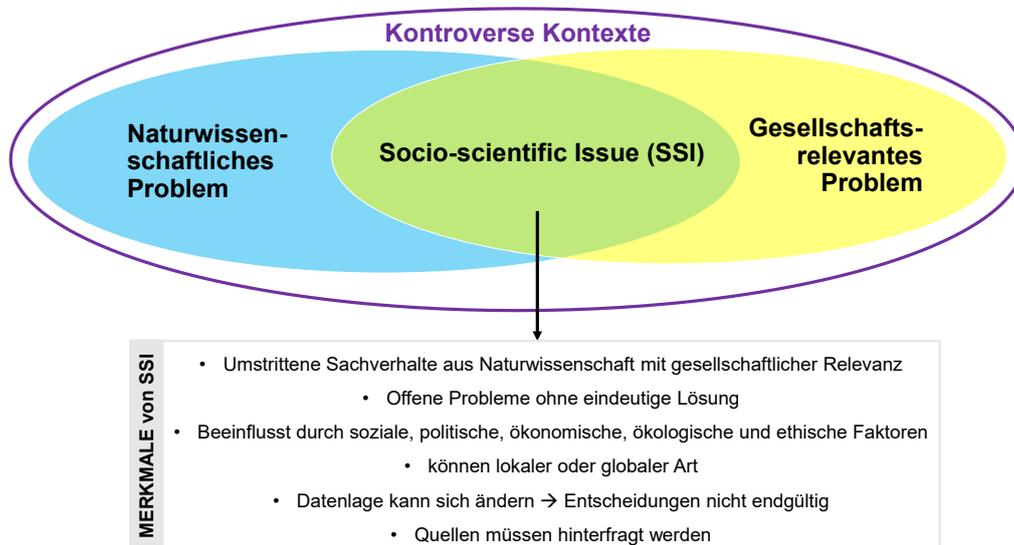


Abbildung UVIII1 - Schaubild zu SSI und deren Merkmale (nach Sakschewski, 2013, S. 24, nach Sadler, 2004, 2011).

Formuliert aus euren Ergebnissen einen anschaulichen und adressatengerechten Flyerabschnitt und tragt diesen in die Formatvorlage ein. Beachtet dabei folgende Aspekte:

- Formuliert eine prägnante Überschrift.
- Stellt die Informationen verständlich und adressatengerecht (für andere SuS) dar.
- Beachtet, dass ihr nur begrenzten Platz habt und beschränkt euch deshalb auf das Wesentliche.
- Beachtet die Formatierung der Vorlage.
- Gestaltet euren Abschnitt übersichtlich und ansprechend.
- Achtet auf korrekte Rechtschreibung, Zeichensetzung und Grammatik und formuliert nicht zu lange Sätze.
- ...

Material MVIII2 – Aufgabenstellung Gruppe 2 (Klimaauswirkungen des Fliegens)

Gruppe 2: Klimaauswirkungen des Fliegens

Erstellt einen Flyerabschnitt, aus dem die Klimaauswirkungen des Fliegens hervorgehen.

Berücksichtigt hierbei neben den Effekten (CO_2 und Nicht- CO_2 -Effekten) insbesondere deren physikalischen Grundlagen (natürlicher und anthropogener Treibhauseffekt, Strahlungsgleichgewicht, etc.).

Als Hilfestellung könnt ihr euch die Poster der letzten Unterrichtsstunden anschauen, insbesondere das in der Unterrichtsstunde III (Unterrichtsstunde, in der ihr euch mit der Klimawirkung des Fliegens und deren physikalischen Grundlagen auseinandergesetzt habt) erstellte Poster zur Klimawirkung von Flugreisen.

Formuliert aus euren Ergebnissen einen anschaulichen und adressatengerechten Flyerabschnitt und tragt diesen in die Formatvorlage ein. Beachtet dabei folgende Aspekte:

- Formuliert eine prägnante Überschrift.
- Stellt die Informationen verständlich und adressatengerecht (für andere SuS) dar.
- Beachtet, dass ihr nur begrenzten Platz habt und beschränkt euch deshalb auf das Wesentliche.
- Beachtet die Formatierung der Vorlage.
- Gestaltet euren Abschnitt übersichtlich und ansprechend.
- Achtet auf korrekte Rechtschreibung, Zeichensetzung und Grammatik und formuliert nicht zu lange Sätze.
- ...

Material MVIII3 – Aufgabenstellung Gruppe 3 (Entscheidungshilfe für Flugreisen)

Gruppe 3: Entscheidungshilfe für Flugreisen

Erstellt einen Flyerabschnitt mit einer Entscheidungshilfe für Flugreisen.

Erstellt hierzu u.a. einen Entscheidungsbaum, unter welchen Umständen man unter der Norm nachhaltigen Handelns fliegen sollte oder nicht.

Berücksichtigt hierbei Entscheidungsstrategien und erläutert, weshalb bei solch einer Entscheidung eine kompensatorische Entscheidungsstrategie angemessen ist, und erläutert den Ablauf einer solchen Entscheidungsstrategie anhand des Entscheidungsbaums.

Als Hilfestellung könnt ihr euch die Poster der letzten Unterrichtsstunden anschauen, insbesondere den erstellten Entscheidungsbaum aus der Unterrichtsstunde V (Unterrichtsstunde, in der ihr euch mit Entscheidungsstrategien auseinandergesetzt habt). Diesen könnt ihr verwenden und optimieren.

Formuliert aus euren Ergebnissen einen anschaulichen und adressatengerechten Flyerabschnitt und tragt diesen in die Formatvorlage ein. Beachtet dabei folgende Aspekte:

- Formuliert eine prägnante Überschrift.
- Stellt die Informationen verständlich und adressatengerecht (für andere SuS) dar.
- Beachtet, dass ihr nur begrenzten Platz habt und beschränkt euch deshalb auf das Wesentliche.
- Beachtet die Formatierung der Vorlage.
- Gestaltet euren Abschnitt übersichtlich und ansprechend.
- Achtet auf korrekte Rechtschreibung, Zeichensetzung und Grammatik und formuliert nicht zu lange Sätze.
- ...

Material MVIII4 – Aufgabenstellung Gruppe 4 (Handlungsempfehlungen für unvermeidbare Flugreisen)

Gruppe 4: Handlungsempfehlungen für unvermeidbare Flugreisen

Erstellt einen Flyerabschnitt mit Handlungsempfehlungen für möglichst nachhaltiges Reisen bei unvermeidbaren Flugreisen.

Begründet diese Handlungsempfehlungen unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit und geht insbesondere auf das Potenzial und die Risiken von CO_2 -Kompensationen ein und erläutert, worauf man bei CO_2 -Kompensationen achten sollte.

Erläutert zudem kurz potentiell-geeignete alternative Antriebstechnologien, an denen aktuell geforscht wird.

Als Hilfestellung könnt ihr euch die Poster der letzten Unterrichtsstunden anschauen, insbesondere den erstellten Entscheidungsbaum aus der Unterrichtsstunde V (Unterrichtsstunde, in der ihr euch mit Entscheidungsstrategien auseinandergesetzt habt) und die Handlungsempfehlungen aus Unterrichtsstunde IV.

Formuliert aus euren Ergebnissen einen anschaulichen und adressatengerechten Flyerabschnitt und tragt diesen in die Formatvorlage ein. Beachtet dabei folgende Aspekte:

- Formuliert eine prägnante Überschrift.
- Stellt die Informationen verständlich und adressatengerecht (für andere SuS) dar.
- Beachtet, dass ihr nur begrenzten Platz habt und beschränkt euch deshalb auf das Wesentliche.
- Beachtet die Formatierung der Vorlage.
- Gestaltet euren Abschnitt übersichtlich und ansprechend.
- Achtet auf korrekte Rechtschreibung, Zeichensetzung und Grammatik und formuliert nicht zu lange Sätze.
- ...

Material MVIII5 – Aufgabenstellung Gruppe 5 (Brief an die Schulleitung)

Gruppe 5: Brief an die Schulleitung

Verfasst einen Brief an die Schulleitung, indem ihr die Zielsetzung des Flyers vorstellt und um (finanzielle) Unterstützung zum Ausdrucken und Veröffentlichen des Flyers (z.B. im Schulfoyer oder/und auf der Schulwebsite) bittet.

Fasst hierzu auch die Erkenntnisse der letzten Unterrichtsstunden kompakt zusammen und begründet damit die Notwendigkeit einer Unterstützung durch die Schulleitung.

Als Hilfestellung könnt ihr euch die Poster der letzten Unterrichtsstunden anschauen.

Beachtet bei der Erstellung des Briefs folgende Aspekte:

- Formuliert den Brief in einem adressatenrechten Ausdruck.
- Der Adressat ist die Schulleitung, weshalb der Brief formal aufgebaut und ein formaler Ausdruck gewählt werden sollte.
- Achtet deshalb auch auf korrekte Rechtschreibung, Zeichensetzung und Grammatik.
- Zu einem formalen Aufbau gehört ein Briefkopf aus Empfängeranschrift und Datum, einem Betreff (Überschrift mit eurem Anliegen), der formalen Anrede („*Sehr geehrte/r Herr/Frau, ...*“), dem eigentlichen Anschreiben (gegliedert in sinnvolle Absätze) und einer formalen Grußformel („*Mit freundlichen Grüßen ...*“) zum Schluss.
- Werbt um die Unterstützung durch die Schulleitung, in dem ihr eure Forderungen begründet. Beschränkt euch jedoch auch auf das Wesentliche und schreibt nicht mehr als zwei DIN-A4 Seiten.
- ...

Fliegen – Fluch oder Segen?



Abbildung UVIII2 – Bild aus Pixabay.

Wie viel Fliegen ist ok?

**Wie kann ich nachhaltig Reisen und
worauf sollte ich bei Flugreisen
achten?**

Gruppe 1 Titel

Text Text Text
Text Text
Text

Gruppe 2 Titel

Text Text Text
Text Text
Text

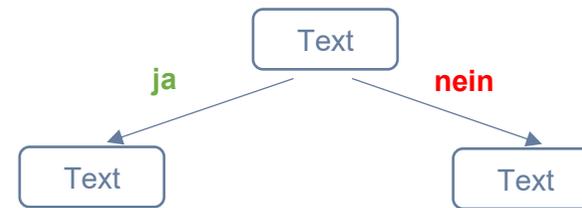
Material MVIII6: Formatvorlage für den Flyer

Gruppe 4 Titel

Text Text Text
Text Text
Text

Gruppe 3 Titel

Text Text Text
Text Text
Text



Literatur- und Quellenverzeichnis für Unterrichtsstunde VIII

- Ben-Horin, H., Kali, Y., Tal, T. (2023). The Fifth Dimension in Socio-Scientific Reasoning: Promoting Decision-Making about Socio-Scientific Issues in a Community. *Sustainability* 2023, 15(12).
- Blum, J., Fritz, M., Taigel, J., Singer-Brodowski, M., Schmitt, M., Mathias, W. (2011). *Transformatives Lernen durch Engagement. Ein Handbuch für Kooperationsprojekte zwischen Schulen und außerschulischen Akteur*innen im Kontext von Bildung für nachhaltige Entwicklung*. Umweltbundesamt. Dessau-Roßlau.
- de Haan, G. (2008). *Gestaltungskompetenz als Kompetenzkonzept der Bildung für nachhaltige Entwicklung*. In I. Bormann & G. d. Haan (Hrsg.), *Kompetenzen der Bildung für nachhaltige Entwicklung* (S. 23–43). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Pixabay. Abgerufen am 01.03.2024 unter <https://pixabay.com/de/>
- Sadler, T. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of Research in Science Teaching*, 41, 513–536.
- Sadler, T.D. (2011). *Socio-Scientific Issues in the Classroom*. Springer-Verlag, New York.
- Sakschewski, M. T. (2013). *Bewertungskompetenz im Physikunterricht: Entwicklung eines Messinstruments zum Themenfeld Energiegewinnung, -speicherung und -nutzung*. Dissertation. Georg-August-Universität Göttingen.
- Wyrwich, T., Neumann, K., Kubsch, M. (2023). *Beyond Literacy: Förderung von Agency im Physikunterricht*.

