

WOHIN MIT DEM ATOMMÜLL?

Unterrichtsmaterial zur
Endlagersuche – Physik



Schulwettbewerb: Das strahlt ja ewig!

Warum nicht radioaktiven Müll ins Weltall schießen? Oder in einen Vulkan kippen? Oder in den tiefsten Schluchten der Weltmeere verschwinden lassen? So einfach ist es leider nicht. Die Entsorgung hochradioaktiver Abfälle ist bis heute eine große Herausforderung für die Forschung. Endlagerkonzepte müssen größtmögliche Sicherheit für eine Million Jahre bieten und gewährleisten, dass möglichst wenige radioaktiven Stoffe in die Biosphäre gelangen. Viele Endlagerkonzepte wurden in den letzten Jahrzehnten geprüft und verworfen. Nur wenige Optionen werden wissenschaftlich weiterverfolgt oder umgesetzt. Aber welche? Und warum?

In dieser Unterrichtseinheit legen Ihre Schülerinnen und Schüler Kriterien für die sichere Entsorgung von hochradioaktivem Abfall fest, entwickeln kreative Ideen für Endlagerungskonzepte und prüfen anhand des derzeitigen Forschungsstandes, ob diese Optionen den Kriterien für eine sichere Endlagerung standhalten.

Inhalt

- 3. Einleitung Lernziele**
- 5. Materialien**
- 12. Aufgaben**
- 15. Unterrichtsvorschlag**
- 17. Didaktischer Kommentar**
- 20. Impressum**

Einleitung und Lernziele

In den 1950er Jahren entwickelten Physiker eine Idee: Man könne die hochradioaktiven Abfälle am Südpol lagern. Die Abwärme durch den radioaktiven Zerfall würde den Eisschild abschmelzen, der Müll würde sich somit unter den Eisschild fressen und auf diese Weise isoliert werden. Alternativ biete sich die Tiefsee als Endlagerstätte an: Fässer mit hochradioaktivem Abfall würden dabei in den Meeresgrund gedrückt und kämen nicht mehr an die Oberfläche. Beide Vorschläge, die uns heute geradezu irrsinnig vorkommen, wurden tatsächlich ernsthaft erforscht, aber glücklicherweise verworfen. Viele weitere Entsorgungskonzepte werden aber nach wie vor in der Wissenschaft und in der Öffentlichkeit diskutiert. Dabei gibt es unrealistische oder unsichere Optionen wie die Entsorgung des Atommülls im Weltraum, in Subduktionszonen oder in Vulkanen. Und es gibt aber technisch nicht ausgereifte Ansätze wie Transmutation und Partitionierung, die zu einem Wiedereinstieg in die Nutzung der Kernenergie führen würden.

Auch nach dem Ausstieg aus der Kernenergie in Deutschland ist die Frage der Endlagerung des Atommülls noch ungelöst. Es handelt sich dabei um eine gesellschaftliche Aufgabe, die nicht immer weiter in die Zukunft verschoben werden kann, da die bisherige Praxis der Zwischenlagerung hochradioaktiver Abfälle keine dauerhaft sichere Lösung darstellt. Aus diesem Grunde hat der Bundestag im Jahr 2013 einen Beschluss zur Endlagerung gefasst. Ziel ist es, in einem wissenschaftsbasierten Verfahren unter Beteiligung der Öffentlichkeit einen Standort für die dauerhafte Endlagerung hochradioaktiver Abfälle tief unter der Erdoberfläche zu finden. Die Lagerung in tiefen Gesteinsschichten ist nach heutigem Stand von Wissenschaft und Technik die einzig sichere Entsorgungsoption für hochradioaktive Abfälle. Aber warum? Und warum wurden andere Vorschläge ausgeschlossen?

In dieser Unterrichtseinheit gehen die Schülerinnen und Schüler diesen Fragen nach und untersuchen verschiedene Entsorgungskonzepte aus naturwissenschaftlicher Perspektive. Dabei spiegeln sie in ihrem Lern- und Rechercheprozess auch den historischen Forschungs- und Bewertungsprozess der Endlagerung wider, indem sie unvoreingenommen Thesen entwickeln und diese am heutigen Forschungsstand prüfen.

Die Schülerinnen und Schüler ...

- ... begründen, warum hoch radioaktive Abfälle aus Atomkraftwerken gefährlich sind und für einen extrem langen Zeitraum sicher gelagert werden müssen, um Menschen und Umwelt nicht zu gefährden.
- ... legen dar, warum die Atommülllagerung/Endlagersuche eine schwierige gesellschaftliche Aufgabe ist, die höchste Sicherheitsmaßnahmen für den Zeitraum von 1 Million Jahre erfordert.
- ... arbeiten heraus, welche Voraussetzung eine Endlagerstätte erfüllen muss, damit möglichst wenige radioaktive Stoffe in die Biosphäre gelangen.
- ... entwickeln in einem Brainstorming-Prozess „Stammtischideen“ für Endlagerkonzepte.
- ... recherchieren zu einem der genannten Vorschläge, stellen Vor- und Nachteile des Konzeptes heraus und bewerten die Idee hinsichtlich Umsetzbarkeit und Sicherheit.
- ... begründen anhand ihrer Arbeitsergebnisse, welche Endlagerkonzepte nach dem heutigen Stand der Forschung sinnvoll sind, welche dauerhaft verworfen werden sollten und welche Themen zukünftige Forschungsfelder sein könnten.
- ... sind in der Lage, alternative Vorschläge zur Endlagersuche fakten- und forschungsgerecht einzuschätzen, die öffentliche Debatte darüber mit ihren neu erworbenen Kompetenzen nachzuvollziehen und begründet Stellung zu nehmen.
- ... bereiten als Challenge in einem Projekt ihre Rechercheergebnisse als Science-Kurzvideo auf.



Materialien

M1 – Video – Warum ist radioaktiver Müll so problematisch?

- 1 Mit der Abschaltung der Kernkraftwerke in Deutschland ist das Thema „Kernenergie“ längst nicht vom Tisch. 27.000 m³ hochradioaktive Abfälle, unter anderem Kernbrennstäbe, aber auch verglaste Abfälle aus der Wiederaufbereitung und bis zu 620.000 m³ schwach- und mittelradioaktive Abfälle aus dem Rückbau der Atomkraftwerke, der Medizin, der Industrie, der Forschung, aber auch radioaktive Abfälle
- 5 aus der Schachanlage Asse II warten noch auf ihre Endlagerung. In Langzeitsicherheitsanalysen werden Zeiträume von 1 Million Jahre betrachtet. Das Video stellt Gefahren, Konzepte, Kriterien und Lösungsansätze für die Standortsuche vor.

www.planet-schule.de/frage-trifft-antwort/video/detail/warum-ist-radioaktiver-muell-so-problematisch-1.html

Quelle: Frage trifft Antwort | Planet Schule (Länge: 03:40 min)

M2 – Gefahren durch radioaktive Abfälle

- 10 Alles Leben auf der Erde hat sich unter dem Einfluss natürlicher Strahlung entwickelt. Es ist bekannt, dass ionisierende Strahlung – egal ob natürlichen oder künstlichen Ursprungs – schädigende Wirkung auf Zellen ausüben kann, indem sie die DNA der lebenden Zelle verändert oder zerstört. Radioaktive Abfälle, wie sie in Atomkraftwerken entstehen, haben ein hohes Gefahrenpotenzial und müssen aufwändig gesichert werden, um Mensch und Umwelt nicht zu gefährden. Da hochradioaktive
- 15 Abfallstoffe extrem lange starke ionisierende Strahlung aussenden, muss man zum einen die Direktstrahlung abschirmen und zum anderen die Freisetzung der radioaktiven Stoffe verhindern. Und das für eine unglaublich lange Zeit, denn von einem Endlager darf auch für nachfolgende Generationen keine Gefahr ausgehen. Von zentraler Bedeutung für den Endlagerstandort ist die Langzeitsicherheit. Um die Betrachtungen und Modellierungen der Langzeitsicherheitsanalysen durchführen zu können, ist ein fundiertes Verständnis
- 20 der (möglicherweise) ablaufenden Prozesse, sowohl im Endlager als auch in dessen Umgebung notwendig. Möglichkeiten zur Endlagerung hochradioaktiver Abfälle werden seit den 1950er Jahren diskutiert und von Expertinnen und Experten geprüft. Viele Ideen halten den Anforderungen an eine sichere Endlagerung nicht stand und wurden verworfen, nur wenige Alternativen werden in Forschungsprojekten weiterverfolgt, und nur eine Option erscheint derzeit als umsetzbar und sicher.

- 25 www.endlagersuche-infoplattform.de/webs/Endlagersuche/DE/Radioaktiver-Abfall/Entsorgungsoptionen/Verworfen-Optionen/verworfen-optionen.html
https://www.endlagersuche-infoplattform.de/webs/Endlagersuche/DE/Radioaktiver-Abfall/Radioaktivitaet/radioaktivitaet_artikel.html
www.base.bund.de/DE/themen/fa/soa/endlagersuche_node.html

Quelle: Auszüge aus: endlagersuche-infoplattform.de, Bundesamt für die Sicherheit der Nuklearen Entsorgung

M3 – Vorlage für die „Stammtischrunde“ – Wie man radioaktiven Abfall entsorgt

„Man könnte den Atommüll doch einfach ...“

Das könnte ungefähr so funktionieren/umgesetzt werden:

Das verspreche ich mir von dieser Entsorgungs-/Endlager-Methode

M4 – Recherchedokumentation zu einem Entsorgungskonzept

Die Ursprungsidee:

Argumente für diese Idee aus Sicht der Forschung:

Pro

Kontra

<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>
<hr/>	<hr/>

Genutzte Quellen

Mein Fazit und Begründung: Ist das eine gute Idee?

(Ihren Text einfügen: ca. 900 Zeichen inklusive Leerzeichen
oder: eine Minute Sprechzeit)

-  dauerhaft
verwerfen
-  weiter
erforschen
-  umsetzbare
Lösung

M5 – Linkliste für die Recherche zu Entsorgungskonzepten

Sonne

Was, wenn wir den Müll der Menschheit in der Sonne entsorgen würden? | Niklas Kolorz #Shorts
www.youtube.com/shorts/KaAMmCOAMGM

Weltall/Sonne

Warum schießen wir Atommüll nicht einfach ins Weltall? | Dinge Erklärt – Kurzgesagt:
www.youtube.com/watch?v=awwCj4NnGdk

Sonne

Warum schießen wir den Atommüll nicht zur Sonne? | rnd
www.dw.com/de/fukushima-das-meer-als-perfektes-endlager-f%C3%BCr-atomm%C3%BCll/a-52444866

Vulkan

Was, wenn wir den Müll der Menschheit in Vulkanen entsorgen würden? | Niklas Kolorz #Shorts
www.youtube.com/shorts/oNrkaO8kWNq

Endlagersuche allgemein: Antarktis, Tiefsee, Weltall, tiefe Gesteinsschichten

Wohin mit dem Atommüll? | Harald Lesch
www.youtube.com/watch?v=WXihQMFu6rk

Endlagersuche allgemein: Bohrlöcher, Langzeitzwischenlager, Partitionierung und Transmutation, Weltraum

Alternative und verworfene Entsorgungsoptionen hochradioaktiver Abfälle | Endlagersuche Infoplattform
www.endlagersuche-infoplattform.de/webs/Endlagersuche/DE/Radioaktiver-Abfall/Entsorgungsoptionen/Verworfene-Optionen/verworfene-optionen.html

Transmutation

Transmutation hochradioaktiver Abfälle | BASE
www.base.bund.de/DE/themen/kt/kta-deutschland/p_und_t/partitionierung-transmutation.html

Transmutation/Recyclen

Können wir Atommüll recyceln? | Breaking Lab
www.youtube.com/watch?v=KKCE-_viJAE

Transmutation

So könnte man Atommüll recyceln | Quarks & Co
www.quarks.de/technik/energie/so-koennte-man-atommuell-recyceln-transmutation/

M5 – Linkliste für die Recherche zu Entsorgungskonzepten

Wiederaufbereitung

Wiederaufarbeitung: Die wichtigsten Fakten | Spektrum der Wissenschaft

www.spektrum.de/news/die-fuenf-wichtigsten-fragen-zur-wiederaufarbeitung/1331703

BGE-Videos

Tiefsee

Warum entsorgen wir den Atommüll nicht auf dem Meeresgrund oder in Subduktionszonen?

www.youtube.com/watch?v=mqRb07nbitk

Bohrlöcher

Warum versenken wir die Abfälle nicht in tiefen Bohrlöchern?

www.youtube.com/watch?v=KChOjm3IEHc

Transmutation - Abwarten

Warum warten wir nicht ein paar Jahre und machen die Abfälle dann per Transmutation unschädlich?

www.youtube.com/watch?v=cu8Y7-2_IVA

M6 – Die Endlagersuche in Deutschland

Der hochradioaktive Atommüll - vor allem verbrauchte Brennelemente aus Kernkraftwerken - macht nur etwa fünf Prozent der Gesamtmenge der in Deutschland anfallenden radioaktiven Abfälle aus, dafür aber 99 Prozent der Strahlung. Frühere Versuche, einen Endlager-Standort für diese Abfälle zu finden, sind gescheitert. 2013 wurde die Endlagersuche deshalb wieder auf Null gesetzt. Der Deutsche Bundestag sprach sich 2017 mit breiter Mehrheit für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in tiefen Gesteinsschichten aus. Der Entscheidung 2017 waren intensive Diskussionen in der Endlagerkommission vorausgegangen. Sie hatten zum Ergebnis, dass aus wissenschaftlicher Sicht derzeit keine andere Entsorgungsoption mit einem so hohen Sicherheitsniveau wie die tiefengeologische Endlagerung zur Verfügung steht. Es gibt drei potenziell geeignete Wirtsgesteinstypen für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle: Steinsalz, Tongestein und Kristallingestein.

Die Europäische Union hat sich darauf geeinigt, dass jeder Mitgliedsstaat, der radioaktive Abfälle erzeugt, auch für die sichere Beseitigung oder dauerhafte sichere Lagerung dieser Abfälle verantwortlich ist. Zuständig für die Endlagersuche in Deutschland ist die Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE). Ausgehend von einer weißen Landkarte, also ohne Vorfestlegungen, überprüft sie seit 2017 ganz Deutschland auf Endlagertauglichkeit - zunächst auf Basis geologischer Daten über den tiefen Untergrund, später mittels oberirdischer sowie unterirdischer Erkundungsprogramme. Ablauf, Kriterien und Rahmenbedingungen sind im Standortauswahlgesetz festgelegt. Das Verfahren soll vergleichend, wissenschaftsbasiert und transparent sein. Im Verfahren soll fortlaufend gelernt werden, auch indem sich die Akteure selbst in Frage stellen oder in Frage stellen lassen. Die Standortsuche soll unter früher Einbeziehung der Öffentlichkeit ablaufen. In jedem Verfahrensschritt fallen Gebiete durch das Suchraster, weil sie ungeeignet oder weniger geeignet sind als andere. Am Ende bleibt der Standort mit der bestmöglichen Sicherheit übrig.

www.bge.de/de/endlagersuche/

www.endlagersuche-infoplattform.de/webs/Endlagersuche/DE/Radioaktiver-Abfall/Entsorgungsoptionen/Verworfenen-Optionen/verworfenen-optionen.html

Quelle: BGE, endlagersuche-infoplattform.de



Aufgaben

Einstieg

1. Herausforderungen bei der Entsorgung von Atommüll herausarbeiten

- a. Betrachten Sie gemeinsam im Plenum das Video „Warum ist radioaktiver Müll so problematisch?“ **(M1)**. Notieren Sie Aspekte, die Sie nicht verstehen, und klären Sie diese.
- b. Stellen Sie heraus, worin sich schwach- und mittelradioaktiver Abfall von hochradioaktivem Abfall unterscheidet.
- c. Erklären Sie, wobei hochradioaktiver Müll in Kernkraftwerken anfällt und wie derzeit mit diesen Stoffen umgegangen wird.
- d. Arbeiten Sie heraus, welche Herausforderungen sich bei der Entsorgung von hochradioaktivem Abfall stellen.
- e. Fassen Sie den aktuellen Stand der Endlagersuche bzw. Entsorgung radioaktiver Abfälle zusammen.

Transfer

2. Kriterien für eine sichere Lagerung/Entsorgung von hochradioaktivem Abfall entwickeln

Erschließen Sie anhand des Videos „Warum ist radioaktiver Müll so problematisch?“ (M1) und des Infokastens „Gefahren durch radioaktive Abfälle“ **(M2)** Vorgaben für die Entsorgung von hochradioaktivem Atommüll. Notieren Sie an der Tafel, welche Sicherheitskriterien erfüllt sein müssen, und begründen Sie, warum diese Maßnahmen oder Bedingungen notwendig sind.

Erarbeitung und Präsentation

3. Ein Brainstorming zu Entsorgungsideen abhalten und ein vorläufiges, ungeprüftes Konzept entwickeln.

- a. Bilden Sie Gruppen für eine „Stammtischrunde“. Finden Sie an ihrem Stammtisch eine Idee für die Entsorgung von hochradioaktivem Atommüll. Legen Sie sich dabei keine Denkverbote auf und ziehen sie auch sehr ungewöhnliche Konzepte in Betracht: Science-Fiction-Vorschläge sind genauso willkommen wie realistische Szenarien. Notieren Sie Ihr Entsorgungskonzept stichpunktartig in die Vorlage „Wie man radioaktiven Abfall entsorgt“ **(M3)**
- b. Präsentieren Sie Ihre Idee unter dem Motto „Man könnte den Atommüll doch einfach ...“ in einer Blitzlichtrunde.

Hausaufgabe

4. Ein Entsorgungskonzept aus Sicht des heutigen Forschungsstands bewerten

- a. Bilden Sie Arbeitsgruppen, die je eine der Entsorgungsmöglichkeiten aus Aufgabe 3 näher untersuchen. Ihre Aufgabe ist es, diese These zu verifizieren oder falsifizieren. Finden Sie dafür heraus, wie der Vorschlag aus Sicht der Forschung aktuell bewertet wird. Die „Linkliste für die Recherche zu Entsorgungskonzepten“ (M5) hilft ihnen bei der Recherche.
- b. Stellen Sie mithilfe der Vorlage für die Recherchedokumentation (M4) stichpunktartig Vor- und Nachteile Ihrer Entsorgungsidee gegenüber.
- c. Ziehen Sie ein Fazit: Ist das eine gute Idee, auf diese Weise mit hochradioaktivem Atommüll zu verfahren? Notieren Sie Ihre Abwägung auf der Vorlage, (M4) und begründen Sie Ihre Einschätzung.

Ihr Text sollte etwa 900 Zeichen lang sein beziehungsweise innerhalb einer Minute vorgetragen werden können. Dieser Text bildet später die Grundlage für ein Voiceover Ihrer Challenge, in der Sie ein TikTok-Video oder YouTube-Short entwickeln. Sie können daher Ihr Fazit lebendig und unterhaltsam für ein imaginäres Publikum formulieren.

Präsentation

5. Die Arbeitsergebnisse aus der Hausaufgabe vortragen und besprechen

- a. Geben Sie Ihre Recherchedokumentation (M4) als Handouts aus, und präsentieren Sie Ihre Rechercheergebnisse aus der Hausaufgabe/Aufgabe 4 im Plenum.
- b. Besprechen Sie jedes Entsorgungskonzept im Plenum, und bewerten Sie den Vorschlag in einem Ampelschema: rot = Option endgültig verwerfen, gelb = Option nicht durchführbar, aber weiter erforschen, grün = Option umsetzbar.
- c. Sammeln Sie zum Abschluss alle grün bewerteten Entsorgungskonzepte.

Abschlussdiskussion

6. Aktuelle fachliche Endlagersuche erörtern und Stellung beziehen

- a. Lesen Sie den Text: „Die Endlagersuche in Deutschland“ (M6). Begründen Sie, warum der Deutsche Bundestag sich für die Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in tiefen Gesteinsschichten aussprach.
- b. Vergleichen Sie diese Entscheidung mit Ihren Rechercheergebnissen zu den verschiedenen Entsorgungsmöglichkeiten.
- c. Beziehen Sie Stellung zu der Endlagersuche in tiefen Gesteinsschichten, und erörtern Sie gegebenenfalls Alternativen.
- d. Leiten Sie aus Ihrer Debatte ab, welche Aufgaben hinsichtlich der Endlagersuche auf die Politik, die Bevölkerung, die Wissenschaft und die mit der Endlagersuche beauftragten Institutionen zukommen könnten.

Projektaufgabe/Challenge

7. Ein Science-Kurzvideo produzieren

Erstellen Sie ein Erklärvideo im TikTok- oder YouTube Shorts-Format, das über eine Endlagermöglichkeit oder auch -unmöglichkeit für hochradioaktiven Atommüll informiert. Erklären Sie darin aus wissenschaftlicher Perspektive, welche Chance diese Idee hat, verwirklicht zu werden und was dafür beziehungsweise dagegen spricht.

- Verfassen Sie zunächst ein Storyboard mit dem Text, der eingesprochen werden soll. Beziehen Sie sich dabei auf Ihre Rechercheergebnisse und Besprechung der Aufgaben 4, 5 und 6. Nutzen Sie auch Ihren Einsprechttext, den Sie in Aufgabe 4 formuliert haben, und korrigieren Sie diesen gegebenenfalls. Das Video selbst können Sie mit Ihrem Smartphone aufnehmen und auf den Schulserver bzw. eine Videoplattform hochladen.

- **Links zur Inspiration für die Wissenschaftsclips:**

Niklas Kolorz, www.youtube.com/shorts/KaAMmCOAMGM

Breaking Lab/Jacob Beautemps, www.youtube.com/watch?v=KKCE-_viJAE

@DoktorWhatson, www.youtube.com/shorts/6vrwCvIVu_Y

- **Linktipps für den Videodreh:**

Klickwinkel: Filmen mit dem Smartphone

<https://klickwinkel.de/tutorials/filmen-mit-dem-smartphone/>

Klickwinkel: Videos schneiden – das müsst ihr wissen

<https://klickwinkel.de/tutorials/videos-schneiden-das-muesst-ihr-wissen/>

So geht Medien: How to Tutorialreihen

www.br.de/sogehmedien/selber-machen/index.html



Unterrichtsvorschlag

Atommüll zur Sonne schießen – eine gute Idee?

Phase	Aktion	Sozialform/ Methode	Material
Optional: Vorbereitung der Unterrichtseinheit	Grundwissen zum Thema „Radioaktive/ionisierende Strahlung“ wird mithilfe eines Video: (www.youtube.com/watch?v=AlbQNrNgchc) rekapituliert und gefestigt	Plenum Videobetrachtung und Besprechung	Internetverbindung/Beamer
Erste Stunde (45 Minuten)			
Einstieg	Die Schülerinnen und Schüler werden über die grundlegende Problematik der Atommüllentsorgung informiert. Die Lehrkraft hilft, Verständnisfragen zu klären.	Plenum Videobetrachtung und Besprechung	<ul style="list-style-type: none"> • Aufgabe 1 • Video „Warum ist radioaktiver Müll so problematisch? M1 • Internetverbindung/Beamer
Transfer und Ergebnissicherung	Die Klasse entwickelt gemeinsam eine Übersicht von Kriterien für eine sichere Entsorgung/Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen.	Plenum	<ul style="list-style-type: none"> • Rückbezug auf Aufgabe 1 • Aufgabe 2 • Text: „Gefahren durch radioaktive Abfälle“ M2 • Tafel/Beamer/Board
Erarbeitung	Die Schülerinnen und Schüler entwickeln in einer „Stammtischrunde“ eine vorläufige Idee für ein Entsorgungskonzept.	Partner- oder Gruppenarbeit	<ul style="list-style-type: none"> • Aufgabe 3 • Vorlage „Stammtischrunde“ M3

Präsentation/ Ergebnissicherung	Die Gruppen präsentieren ihren Vorschlag für die Entsorgung von Atom- müll in einer Blitzlichttrunde	Plenum	<ul style="list-style-type: none"> • Ergebnisse aus Aufgabe 3 • Kopien der ausgefüllten Handouts M3
Hausaufgabe	In Arbeitsgruppen unterziehen die Schülerinnen und Schüler eine Idee für die Atommüllentsorgung aus Aufgabe 3 einem wissenschaftlichen Realitätscheck. Sie formulieren dabei ein Fazit, das sie für die abschließende Challenge nutzen können.	Partner- oder Gruppenarbeit, Internetrecherche	<ul style="list-style-type: none"> • Rückbezug auf Aufgabe 3 • Aufgabe 4 • Dokumentation für die Recherche M4 • Linkliste M5
Zweite Stunde (45 Minuten)			
Präsentation der Hausaufgabe	Die Schülerinnen und Schüler präsentieren ihre Arbeitsergebnisse aus der Hausaufgabe. Die Klasse diskutiert über die Entsorgungsmöglichkeit und bewertet diese hinsichtlich der/ihrer Umsetzbarkeit mithilfe eines Ampelschemas.	Plenum	<ul style="list-style-type: none"> • Kopien der ausgefüllten Recherche-Dokumentation M4
Abschluss- diskussion	Die Schülerinnen und Schüler lesen einen Text zum aktuellen Stand der Endlagersuche in Deutschland. Sie erörtern vor dem Hintergrund ihres erworbenen Wissens die Entscheidung über die Endlagersuche in tiefen Gesteinsschichten.	Plenum	<ul style="list-style-type: none"> • Aufgabe 6 • Text „Die Endlagersuche in Deutschland“ M6
Videoprojekt	Die Schülerinnen und Schüler produzieren ein Science-Kurzvideo zur einem Entsorgungskonzept. Sie nutzen hierfür ihr Fazit aus der Hausaufgabe und überarbeiten ihren Text. Dieser wird eingesprochen und gefilmt.	Partner- oder Gruppenarbeit	<ul style="list-style-type: none"> • Aufgabe 7 • Ergebnisse aus Aufgabe 4 • Dokumentation für die Recherche M4 • Eigene Smartphones • Arbeitsergebnisse der Unterrichtseinheit

Hausaufgabe	Die Arbeitsgruppen stellen ihre Kurzvideos fertig und überarbeiten diese. In der darauffolgenden Stunde werden die Kurzvideos präsentiert und besprochen.		<ul style="list-style-type: none"> • Aufgabe 7 • Optional: Videoschnitt-Apps • Eigene Smartphones • Beamer, (Schul-)server oder Videoplattform, Internetzugang
-------------	---	--	--

Didaktischer Kommentar

Optionale Vorbereitung/Rekapitulation „Radioaktivität“

Für die vorliegende Unterrichtseinheit ist es vorteilhaft, dass die Schülerinnen und Schüler Basiswissen zum Themenfeld radioaktive/ionisierende Strahlung und Gefahren durch radioaktive Strahlung mitbringen. Zur Auffrischung dieses Grundwissens bietet es sich gegebenenfalls an, in den Fächern Physik, Chemie oder Biologie ein Kurzvideo zum Thema vorzuführen. Hier können wichtige Kernbegriffe und naturwissenschaftliche Zusammenhänge geklärt werden, die bei den Entsorgungskonzepten eine Rolle spielen.

Videovorschlag:

Radioaktivität: Was ist radioaktive Strahlung? – Physik | Duden Learnattack

www.youtube.com/watch?v=AlbQNrNgchc (5 Minuten)

Inhalt: Entstehung radioaktiver Strahlung, Alpha-, Beta- oder Gammastrahlung, Teilchenstrahlung und elektromagnetische Strahlung, Zerfall von Atomkernen, Nuklide, radioaktive Elemente, Schutz- und Abschirmung von Gamma-Strahlung.

Aufgabe 1 und 2 – Kriterien für die sichere Entsorgung

Das Video „Warum ist radioaktiver Müll so problematisch?“ (**M1**) und der Text „Gefahren durch radioaktive Abfälle“ (**M2**) informieren die Schülerinnen und Schüler über die Herausforderungen der Endlagerung. Die Schülerinnen und Schüler können aus diesen Informationen Kriterien für die Endlagerung von hochradioaktiven Material ableiten. Genannt werden könnten etwa: dauerhafte Abschirmung der Strahlenbelastung, höchstmögliche Sicherheit, dass hochradioaktive Abfälle nicht in die Biosphäre gelangen, Mehrgenerationenprojekt, das über mehrere Jahrhunderte das Sicherheitsniveau hält (per Gesetz eine Million Jahre), Rückholbarkeit im Falle von technischen Innovationen oder neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen, Langzeitprognosen möglich.

Aufgabe 3

Die Schülerinnen und Schüler sind in dieser Aufgabe aufgerufen, eine Idee für ein Entsorgungskonzept zu entwickeln. Der Begriff „Stammtischrunde“ soll dazu inspirieren, sich möglichst frei auch verrückte und auf den ersten Blick abwegige Entsorgungs- oder Endlagermöglichkeiten im Stil von „Man könnte den Atommüll doch einfach ...“ auszudenken. Bei diesem Brainstorming sollten also Denkverbote fallen und die Ideen nicht negativ kommentiert werden. Auch Zukunftsvisionen und Science-Fiction-Elemente sind hierbei durchaus erwünscht. Diese Vorgehensweise entspricht einer wissenschaftlichen Thesenbildung, die in der darauffolgenden Arbeitsphase überprüft wird. In diesem Schritt soll die Endlagersuche noch nicht auf die Endlagerung in tiefen Gesteinsschichten verengt werden. Ein wichtiger Erkenntnis-schritt ist hierbei auch, dass die Schülerinnen und Schüler bei der Recherche erfahren, dass selbst aus heutiger Sicht abwegige Entsorgungskonzepte wie die Idee, Atommüll im Eisschild oder in der Tiefsee zu lagern, durchaus einmal ernsthaft zur Debatte standen.

Aufgabe 4 – Hausaufgabe

Die Schülerinnen und Schüler verifizieren oder falsifizieren ein Endlagerkonzept, indem sie den derzeitigen Stand der Forschung durch eine Internetrecherche klären. Die Gruppen untersuchen dabei entweder Vorschläge aus Aufgabe 3 oder aus der Auswahl unten. Für Arbeitsgruppen, die eine „Recyclingidee“ für atomaren Müll untersuchen, sollten die Fachtermini „Transmutation“, „Wiederaufbereitung“ und „Partitionierung“ kurz erläutert werden, um Suchbegriffe für die Recherche zu finden.

Die bereitgestellte Linkliste **(M5)** bietet Informationen zu folgenden Endlagerkonzepten:

„Man könnte den Atommüll doch einfach ...“

... im/unter dem Eisschild der Pole lagern	... in den Orbit/Weltraum schießen
... in der Tiefsee versenken	... in tiefe Bohrlöcher versenken
... in die Tiefen des Erdmantels eingraben (Subduktionszonen)	... in (Langzeit-)Zwischenlagern lassen und zukünftige Forschung abwarten
... recyceln (Themenfeld Wiederaufbereitung, Partitionierung und Transmutation)	... in tiefen Gesteinsschichten lagern
... in die Sonne schießen	... in einen Vulkan kippen




In dieser Hausaufgabe bereiten die Schülerinnen und Schüler bereits ihre Kurzvideo-Challenge vor, indem sie durch ihre Recherche sich das Wissen zum Thema aneignen und gleichzeitig in ihrem Fazit den ersten Entwurf für ein Voiceover des Kurzvideos entwerfen, das sie später noch verfeinern und überarbeiten können.

Aufgabe 5 und 6: Präsentation und Abschlussdiskussion

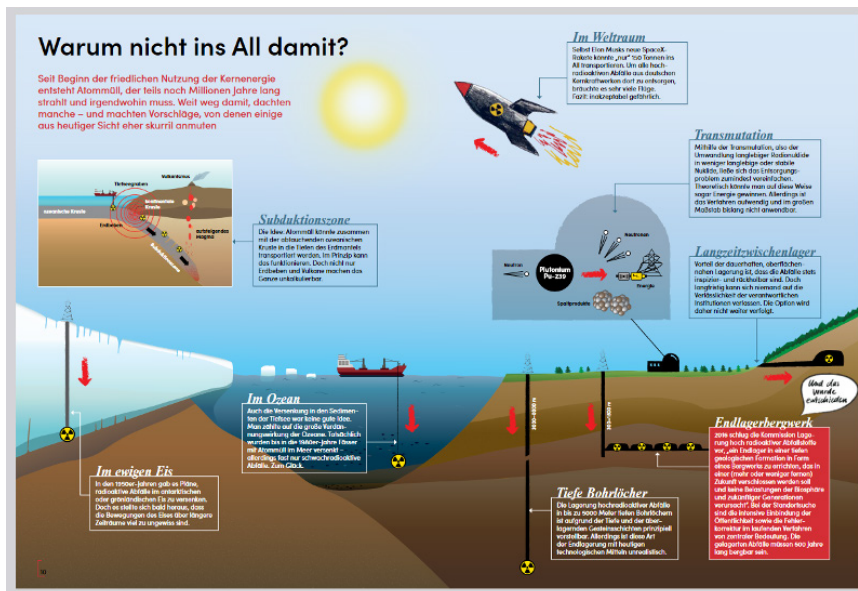
Nachdem die Gruppen ihre Rechercheergebnisse präsentiert haben, wird erneut eine Bewertung vorgenommen und erörtert, inwiefern diese Option durchführbar und sicher erscheint oder nicht. Die Schülerinnen und Schüler haben durch die Internetrecherche vertiefte Erkenntnisse gewonnen, diese Einschätzung vorzunehmen. Hierbei werden viele Optionen „ausgesiebt“, und wahrscheinlich werden die Schülerinnen und Schüler zu einem ähnlichen Ergebnis kommen, wie derzeit Wissenschaft und Politik. Abweichungen sollten dann näher geprüft, bewertet und begründet werden.

Vorschlag für Tafelanschrieb:

Der aktuelle Stand der Endlagersuche nach einem Ampelschema

 Umsetzbare Lösung, die derzeit verfolgt wird	Endlagerung hochradioaktiver Abfälle in tiefen Gesteinsschichten
 Alternativen zur Endlagerung, die weiter erforscht und geprüft werden	Endlagerung in tiefen Bohrlöchern oder Langzeitzwischenlagern, Partitionierung und Transmutation
 Dauerhaft verworfene Optionen	Entsorgung in Weltraum/Sonne, Tiefsee, Vulkanen, Subduktionszonen, Arktis/Antarktis

Als Hintergrundillustration und Inspiration kann folgende Abbildung per Beamer präsentiert werden.



www.einblicke.de/magazine/einblicke-18/

Quelle: BGE, Einblicke #18, S. 10/11.

IMPRESSUM

Im Auftrag von:

DIE ZEIT

Zeitverlag Gerd Bucerius GmbH & Co. KG

Helmut-Schmidt-Haus
Buceriusstraße/Eingang Speersort 1
20095 Hamburg
© 2023

Redaktionelle Produktion

Studio ZX GmbH –
Ein Unternehmen der ZEIT Verlagsgruppe
Helmut-Schmidt-Haus
Buceriusstraße/Eingang Speersort 1
20095 Hamburg

Projektleitung

Ea Warnck

Redaktion/Korrektorat

ZEIT für die Schule

Grafik

Chris Delaney, Jessica Sturm-Stammberger

In Zusammenarbeit mit:



Bundesgesellschaft für Endlagerung mbH

Eschenstraße 55
31224 Peine
dialog@bge.de

Projektleitung

Daniel Rau & Thora Schubert