

Entwicklung der Bildungsstandards für die Allgemeine Hochschulreife
in den Naturwissenschaften

Lernaufgabe für das Fach Physik

Kurzbeschreibung

Hochspannungsleitungen – „Monstertrassen“? Bewertung von Technologien zum Transport elektrischer Energie

Diese Aufgabe wurde von Fachexpertinnen und Fachexperten der Länder, überwiegend Lehrkräften, entwickelt. Die Aufgabenentwicklergruppe wurde von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Fachdidaktik der Physik beraten. Das Institut zur Qualitätsentwicklung im Bildungswesen hat den Prozess koordiniert.

Zusammenfassung:

Auf der Grundlage einer umfangreicheren Recherche bzw. Auswertung von Textquellen unterschiedlicher Güte wird kriteriengeleitet eine reflektierte und rationale Bewertung unterschiedlicher Technologien für den Bau von Hochspannungsleitungen (Freileitung/Erdverkabelung und Gleichstrom-/Wechselstromübertragung) durchgeführt.

Ein weiterer Schwerpunkt kann auf die Beurteilung der Güte und Glaubwürdigkeit von Quellen, insbesondere im Internet, gelegt werden.

Anforderungsniveau	grundlegend ☒	erhöht ☒
Kompetenzbereiche und relevante Standards	<p>Kommunikationskompetenz</p> <p>Die Lernenden ...</p> <p>K 1 recherchieren zu physikalischen Sachverhalten zielgerichtet in analogen und digitalen Medien und wählen für ihre Zwecke passende Quellen aus;</p> <p>K 2 prüfen verwendete Quellen hinsichtlich der Kriterien Korrektheit, Fachsprache und Relevanz für den untersuchten Sachverhalt;</p> <p>K 3 entnehmen unter Berücksichtigung ihres Vorwissens aus Beobachtungen, Darstellungen und Texten relevante Informationen und geben diese in passender Struktur und angemessener Fachsprache wieder.</p>	

	<p>Bewertungskompetenz</p> <p>Die Lernenden ...</p> <p>B 2 beurteilen Informationen und deren Darstellung aus Quellen unterschiedlicher Art hinsichtlich Vertrauenswürdigkeit und Relevanz;</p> <p>B 3 entwickeln anhand relevanter Bewertungskriterien Handlungsoptionen in gesellschaftlich- oder alltagsrelevanten Entscheidungssituationen mit fachlichem Bezug und wägen sie gegeneinander ab;</p> <p>B 4 bilden sich reflektiert und rational in außerfachlichen Kontexten ein eigenes Urteil;</p> <p>B 5 reflektieren Bewertungen von Technologien und Sicherheitsmaßnahmen oder Risikoeinschätzungen hinsichtlich der Güte des durchgeführten Bewertungsprozesses;</p> <p>B 6 beurteilen Technologien und Sicherheitsmaßnahmen hinsichtlich ihrer Eignung und Konsequenzen und schätzen Risiken, auch in Alltagssituationen, ein.</p>
Basiskonzepte	Superposition und Komponenten
Inhaltsbereich	Elektrische und magnetische Felder
konkrete Inhalte	<p>Übertragung von elektrischer Energie, elektrische und magnetische Felder; Wechselwirkung von Feldern mit Materie.</p> <p>Beurteilung unterschiedlicher Technologien zur Übertragung elektrischer Energie.</p>
Materialien	<p>M1: „Angst der Anwohner vor Strahlung: Lösen Stromtrassen Leukämie und Alzheimer aus?“ (Textquelle)</p> <p>M2: „Elektrosmog von Hochspannungsleitungen“ (Textquelle)</p> <p>M3: Nutzwertanalyse (methodischer Input)</p> <p>M4: „Ein Stromnetz für die Energiewende“ (Textquelle)</p> <p>M5: Hilfekarte zur Einschätzung der Glaubwürdigkeit einer Textquelle / einer Website / eines Films</p> <p>Weitere Materialien zur Unterstützung, insbesondere zur Reduzierung des Rechercheaufwands: Siehe Punkt 3 Material für Lernende.</p>
Bearbeitungszeit	300 Minuten
Hilfsmittel	Möglichkeit zur Internetrecherche

Differenzierungsmöglichkeit	<p>Möglichkeit, den Rechercheaufwand durch Bereitstellung ausgewählter weiterer Informationstexte (→ Material für Lernende) zu reduzieren.</p> <p>Erweiterung des Hauptteils der Aufgabe um weitere Module zum Kompetenzerwerb in weiteren Kompetenzbereichen.</p> <p>Modul A: Konkrete Planung der Trasse einer Hochspannungsleitung.</p> <p>Modul B: Beurteilung der Verwendung von Fachsprache in unterschiedlichen Quellen.</p> <p>Modul C: Einschätzung der Glaubwürdigkeit einer Internetquelle.</p> <p>Modul D: Recherche nach Autoren von Zeitungstexten.</p> <p>Modul E: Einschätzung der Interessenslage der Verfasser von Onlinequellen</p> <p>Modul F: Belastbarkeit von Untersuchungen zu gesundheitlichen Gefahren.</p> <p>Fachliche Vertiefung durch Überprüfung der Korrektheit physikalischer Aussagen in Textquellen oder durch experimentelle Untersuchung geeignet ausgewählter Teilaspekte.</p>
experimenteller Anteil	ja <input type="checkbox"/> nein <input checked="" type="checkbox"/>
Lernvoraussetzungen	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Statische und zeitlich veränderliche elektrische und magnetische Felder ◆ Induktion ◆ Kompetenzen im Bereich Bewertung (Durchführung eines reflektierten und rationalen Bewertungsprozesses) wie beispielsweise in der Aufgabe „Röntgendiagnostik und MRT im Vergleich“ erworben

1 Hinweise zur Durchführung

Der Kerninhalt dieser Aufgabe ist der Kompetenzerwerb im Bereich des Standards B 4 (die Lernenden bilden sich reflektiert und rational in außerfachlichen Kontexten ein eigenes Urteil). Sie zeigt aber auch musterhaft auf, wie sich an einem bestimmten Kontext für eine größere Zahl von Standards der Bewertungskompetenz und der Kommunikationskompetenz Lerngelegenheiten entfalten lassen.

Dadurch bietet diese Aufgabe viele Erweiterungs- und Ergänzungsmöglichkeiten. Die folgende Grafik bietet einen Überblick über die Struktur der Aufgabe:

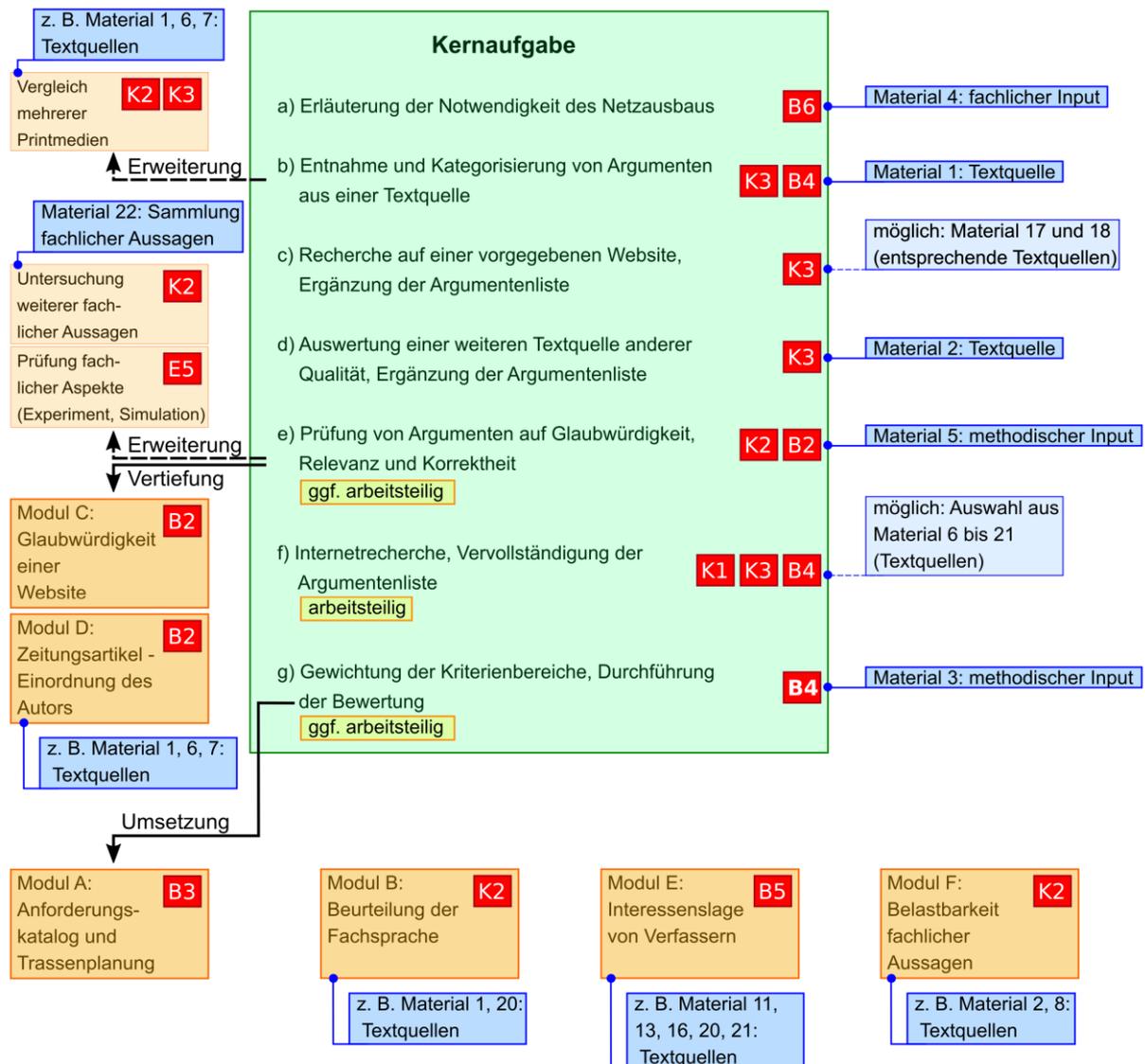


Abbildung 1: Erweiterungs- und Ergänzungsmöglichkeiten der Lernaufgabe, IQB

Über die fachlichen Voraussetzungen hinaus ist es sinnvoll, dass die Lernenden vor der Bearbeitung dieser Aufgabe bereits Kompetenzen im Bereich Bewerten erworben haben (etwa durch die Analyse einer vorgegebenen Bewertung → Standard B 5) und insbesondere auch die Nutzwertanalyse als eine mögliche Vorgehensweise kennen gelernt haben. Hierzu kann beispielsweise die Aufgabe „Röntgendiagnostik und MRT im Vergleich“ herangezogen werden. Bereits erworbene Kompetenzen in den Bereichen der Standards K 2 und B 2 (Prüfen

von Quellen) sowie B 1 (Eigenschaften einer schlüssigen und überzeugenden Argumentation) sind insbesondere im Hinblick auf einzelne der Module hilfreich.

Die Vorgehensweise zur Erstellung einer Bewertung, die im Rahmen dieser Aufgabe vorgestellt und eingeübt wird, lässt sich unmittelbar auf viele andere Bewertungskontexte übertragen.

Die für die Bearbeitung dieser Aufgabe zu veranschlagende Stundenzahl variiert nach dem Umfang der durchzuführenden Recherche. Von einer Mindestanforderung von fünf Unterrichtsstunden ist auszugehen. Eine gewisse Beschleunigung ist dadurch möglich, dass zumindest ein Teil der Recherche durch die Bereitstellung von Textquellen ersetzt wird. Hierfür liegt dieser Aufgabe eine umfangreiche Materialsammlung bei. Durch den Umfang des zur Verfügung gestellten Textmaterials lässt sich die erforderliche Bearbeitungszeit weiter beeinflussen. Bei stärkerer Einschränkung der zur Verfügung gestellten Basis an Informationen ist eine entsprechend weniger differenzierte Stellungnahme der Schülerinnen und Schüler zu erwarten. In dieser Weise ist die Bearbeitung dieser Aufgabe auch für Lerngruppen auf grundlegendem Anforderungsniveau realisierbar.

Die Materialsuche im Internet ist mit keinen nennenswerten Schwierigkeiten verbunden. Beispielsweise liefert eine Suche mit den Stichworten „Hochspannungsleitungen Strahlung“ unmittelbar eine Vielzahl gut auswertbarer Treffer mit einem breiten Spektrum der Qualität.

Angesichts der sehr guten Quellenlage ist absehbar, dass Schülerinnen und Schüler sehr viel Zeit auf die Internetrecherche verwenden. Konkrete Zeitvorgaben sollten gemacht werden. Für jede der Recherchephasen kann ein arbeitsteiliges Vorgehen sinnvoll sein, bei Teilaufgabe 6 ist das sehr angezeigt und deshalb explizit im Aufgabentext vorgegeben.

Eine solche Arbeitsteilung in einem laufenden Rechercheprozess stellt gewisse Anforderungen an die Kommunikation und Kooperation innerhalb der jeweiligen Gruppe von Lernenden. Der Einsatz (insbesondere digitaler) Kooperationswerkzeuge kann hier eine wünschenswerte Unterstützung sein.

Für die übrigen Arbeitsphasen sind Einzel-, Partner- und Gruppenarbeit in gleicher Weise möglich. Eine Plenumsphase zum Vergleich der erarbeiteten Ergebnisse am Ende der Teilaufgabe e ist eine sinnvolle Option. Eine vergleichende Diskussion der erarbeiteten Bewertungen am Ende dieser Aufgabe ist erstrebenswert.

Der insbesondere für die Recherche und die Ordnung der Argumente erforderliche Zeitaufwand ließe sich deutlich reduzieren durch die Beschränkung auf nur eine der beiden Fragestellungen „Gleichstrom- oder Wechselstromübertragung“ und „Freileitung oder Erdverkabelung“. Letzteres ist hierbei der in der Gesellschaft intensiver diskutierte Aspekt.

Damit würde die wirkliche Problematik aber nur unvollständig erfasst.

Eine sinnvolle, zeitökonomische Alternative kann es sein, die beiden Teilfragen arbeitsteilig von zwei Teilgruppen untersuchen zu lassen. Diese Arbeitsteilung betrifft dann insbesondere die arbeitsaufwändigen Teilaufgaben 5 bis 7. In diesem Fall bietet die Bearbeitung des zusätzlichen Moduls A eine gute Möglichkeit, die Arbeitsergebnisse der beiden Teilgruppen zusammenzuführen. Es kommen dabei die Experten der beiden Teilgruppen zusammen, um einen gemeinsamen Anforderungskatalog zu erstellen.

Zur Aufgabenstellung

Teilaufgabe a:

Falls zum Zeitpunkt der Bearbeitung der Aufgabe die Diskussion um den Ausbau der Energieversorgungsnetze so weit aus dem öffentlichen Bewusstsein verschwunden ist, dass nicht mehr davon ausgegangen werden kann, dass die Argumente den Schülerinnen und Schülern hinreichend bekannt sind, kann Material 4 als Einstieg herangezogen werden.

Teilaufgabe b:

Ein kennzeichnendes Merkmal für ein physikalisches Argument ist es, dass die getroffene Aussage mit physikalischen Methoden geprüft werden kann oder dass sie sich auf eine physikalische Theorie oder ein physikalisches Modell zurückführen lässt.

Teilaufgabe e:

Die Beurteilung der Glaubwürdigkeit eines Arguments oder der Quelle, welcher das Argument entnommen ist, stellt eine erhebliche Anforderung dar. Oft ist es den Lernenden (und auch der Lehrkraft) nicht möglich, die Argumentation fachlich unzweifelhaft nachzuprüfen. Für den Physikunterricht trifft dies in besonderer Weise auf außerphysikalische Argumente (z. B. ökonomische oder ökologische) zu. Somit sind andere Kriterien erforderlich. Beispielsweise können folgende Aspekte herangezogen werden (→ Material 5):

- ◆ Lässt sich die Aussage aus dem eigenen Erfahrungshorizont bestätigen?
- ◆ Enthält die Argumentation offensichtliche Widersprüche oder Unkorrektheiten?
- ◆ Ist die Argumentation lückenhaft oder intransparent?
- ◆ Ist die Argumentation verständlich formuliert oder verklausuliert?
- ◆ Wie ist die fachliche Autorität des Urhebers des Textes und die Qualität des Mediums/der Website, auf welcher der Text veröffentlicht ist, einzuschätzen?
Ist der Urheber insbesondere auf dem betreffenden fachwissenschaftlichen Teilgebiet wissenschaftlich tätig und anerkannt?

Der letztgenannte Punkt – welche Person bzw. welches Institut ist aus fachlicher Sicht eine „Autorität“, und wie viel „blindes Vertrauen“ verdienen die Aussagen einer „Autorität“ – ist es Wert, kritisch hinterfragt zu werden. Dennoch ist dies ein häufig unverzichtbares Kriterium. Impulse hierzu bieten die Module C und D.

Viele Quellen und dementsprechend auch die in diesem Dokument formulierten Lösungsbeispiele sprechen von einer „Abstrahlung“ elektrischer und magnetischer Felder. Dies ist nicht in dem (fachlich streng genommen mit dem Begriff „Abstrahlung“ verbundenen) Sinne zu verstehen, dass bei den betrachteten Vorgängen elektromagnetischer Wellen ausgesendet werden, die Betrachtungen betreffen in aller Regel das Nahfeld. Dennoch wurde diese alltagsübliche Formulierung bewusst übernommen.

Erweiterungsmöglichkeiten

Wenn eine entsprechende Schwerpunktsetzung gewünscht ist, bieten sich verschiedene Erweiterungen der Aufgabenstellung an:

- ◆ Im Anschluss an Teilaufgabe b können verschiedene Darstellungen des Themas in unterschiedlichen Printmedien bzw. deren Online-Ausgaben (→ Material 6, Material 7) verglichen werden.
- ◆ Als Erweiterung von Teilaufgabe e können weitere fachliche Aussagen beispielsweise aus dem Materialfundus zu dieser Aufgabe auf Korrektheit geprüft werden.
Material 22 stellt hierfür einen Fundus von Zitaten zur Verfügung, aus denen die Lehrkraft diejenigen auswählen muss, die mit dem im Unterricht zur Verfügung gestellten Fachwissen bearbeitet werden können. Auch hier kann ein arbeitsteiliges Vorgehen angebracht sein.
- ◆ Geeignet ausgewählte Teilaspekte von physikalischen Argumenten, die den Quellen zu entnehmen sind, können durch Modellexperimente (oder auch Simulationen) zumindest qualitativ nachvollzogen werden. Wenn dies mit den zur Verfügung stehenden Mitteln nicht möglich ist, kann alternativ auch erarbeitet werden, wie eine entsprechende experimentelle

Untersuchung durchzuführen wäre.

Beispiele für denkbare Themen:

- Abschirmung elektrischer und magnetischer Felder durch nicht metallische Leiter.
- Durch Induktion hervorgerufene elektrische Ströme in Materialien, die dem Körperinneren ähneln.
- Abnahme der Feldstärken mit dem Abstand von der Leitung / unterschiedliche Abstrahlcharakteristik von Freileitungen und Erdkabeln, für Gleichstrom- und Wechselstromleitungen.

Die Module A bis F stellen mögliche Erweiterungen der Aufgabenstellung im Hinblick auf die Entwicklung von Kompetenzen in verschiedenen zusätzlichen Kompetenzbereichen dar. Jedes dieser Module ist unabhängig von den anderen frei wählbar.

Zu Modul A:

Motivierend ist hier insbesondere ein Kartenausschnitt aus dem geographischen Umfeld der Schule. Bei der Wahl des Kartenausschnitts sollte darauf geachtet werden, dass hinreichend viele nicht triviale Stellen enthalten sind. Politische Karten enthalten hierfür zu wenig Informationen.

Die Bearbeitung von Aufgaben zum Standard B 3 („entwickeln anhand relevanter Bewertungskriterien Handlungsoptionen (...)“) baut in der Regel auf einem vorausgegangenen Bewertungsprozess auf. Modul A bietet eine effiziente Möglichkeit, die Arbeit am Kontext dieser Aufgabe in dieser Hinsicht weiterzuführen.

Zu Modul C:

Die Einschätzung der Glaubwürdigkeit von Internetquellen ist einer der Schwerpunkte der Aufgabe „Makuladegeneration durch LED-Lampen“. Diese Aufgabe stellt auch unterstützendes Material hierfür zur Verfügung.

2 Aufgabenstellung

Beim Ausbau der regenerativen Energien seit etwa 2010 gehört der Ausbau der elektrischen Energieversorgungsnetze zu den zentralen technischen Herausforderungen. Unterschiedliche Technologien dafür werden intensiv und kontrovers diskutiert: Hochspannungsübertragung mit Wechselstrom oder Gleichstrom, in Form von Freileitungen oder als Erdverkabelung.

In dieser Aufgabe werden Sie Informationen über diese unterschiedlichen Technologien zusammenstellen und ihre Eignung beurteilen.

Teilaufgaben

- a) Erläutern Sie die Notwendigkeit des Ausbaus der elektrischen Energieversorgungsnetze.
- b) Stellen Sie alle im Artikel „Angst der Anwohner vor Strahlung: Lösen Stromtrassen Leukämie und Alzheimer aus?“ (Material 1) genannten Argumente zusammen und ordnen Sie diese Argumente nach unterschiedlichen Kriterienbereichen (physikalisch, ökologisch, medizinisch, wirtschaftlich, ...).
- c) Recherchieren Sie auf den Internetseiten des Bundesamts für Strahlenschutz zu diesem Thema (mögliche Einstiegspunkte: <https://www.bfs.de/DE/themen/emf/einfuehrung/einfuehrung.html> und https://www.bfs.de/DE/themen/emf/kompetenzzentrum/berichte/berichte_node.html) und ergänzen Sie die Liste der Argumente aus Teilaufgabe b.
- d) Werten Sie die Quelle „Elektrosmog von Hochspannungsleitungen“ (Material 2) aus und ergänzen Sie wiederum die Liste der Argumente aus Teilaufgabe b.
- e) Überprüfen Sie die Argumente Ihrer Liste auf Glaubwürdigkeit und Relevanz für die in der Einleitung formulierte Fragestellung. Anregungen zu Kriterien hierfür finden Sie in Material 5.
Prüfen Sie dabei insbesondere physikalische Argumente exemplarisch auf Korrektheit. Beschreiben Sie an Stellen, an denen Ihnen dies nicht möglich ist, die Schritte, die zu einer Überprüfung erforderlich wären und geben Sie an, welche zusätzlichen Informationen bzw. Daten dafür nötig sind.
- f) Ergänzen Sie in arbeitsteiliger Gruppenarbeit Ihre Zusammenstellung von Argumenten durch eine weitere Recherche im Internet. Diese Recherche kann insbesondere dann nötig sein, wenn Sie in unterschiedlichen Quellen auf widersprüchliche Aussagen gestoßen sind oder wenn die bisher betrachteten Materialien in einem der von Ihnen verwendeten Kriterienbereiche noch kein hinreichend klares Bild ergeben.
- g) Fassen Sie die Ergebnisse Ihrer Recherche zu den unterschiedlichen Kriterienbereichen jeweils zu einem abschließenden Urteil zusammen. Gewichten Sie die Kriterienbereiche aus Ihrer persönlichen, begründbaren Sicht und geben Sie so jeweils eine begründete Entscheidung ab hinsichtlich der jeweiligen Alternativen „Gleichstromübertragung – Wechselstromübertragung“ und „Freileitung – Erdverkabelung“.
Ein mögliches Werkzeug hierzu stellt die Nutzwertanalyse dar (Material 3).

Mögliche zusätzliche Module

Modul A:

Erstellen Sie einen Anforderungskatalog für die Planung einer Hochspannungsleitung von der niedersächsischen Nordseeküste nach München.

Planen Sie auf einer Landkarte gemäß dem von Ihnen formulierten Anforderungskatalog ein etwa 50 km langes Stück der Trasse einer Hochspannungsleitung.

Modul B:

Untersuchen Sie die Verwendung physikalischer Begriffe und den Gebrauch der physikalischen Fachsprache in unterschiedlichen Quellen (z. B. Material 1 und Material 20). Erörtern Sie, an welchen Stellen Ihres Erachtens fachliche Ungenauigkeiten in der Alltagssprache angemessen sind und an welchen Stellen die Grenze hin zu nicht akzeptablen Vereinfachungen oder Verfälschungen überschritten wird.

Modul C:

In Material 6 wird auf eine Studie des „Ecolog-Instituts“ Bezug genommen.

Verschaffen Sie sich auf den Webseiten dieses Instituts einen Überblick über das Institut und beurteilen Sie seine Glaubwürdigkeit. (Hilfen hierzu Material 5)

Modul D:

Häufig bieten Onlinemedien (z. B. das Online-Angebot von Zeitungen) Informationen über die Autoren der veröffentlichten Artikel. Recherchieren Sie diese Informationen zu drei Artikeln zum Themenbereich dieser Aufgabe. Vergleichen Sie die Angaben, die Sie finden, insbesondere im Hinblick auf eine Einschätzung der Qualität der jeweiligen Quelle.

Modul E:

Beurteilen Sie die Interessenslage der Verfasser unterschiedlicher Quellen (z. B. Materialien 11, 13, 16, 20, 21).

Modul F:

Untersuchen Sie, welche Aussagen über die Belastbarkeit von Untersuchungen zu gesundheitlichen Gefahren durch Hochspannungsleitungen in verschiedenen Quellen gemacht werden.

3 Material für Lernende

Zur Bearbeitung der Kernaufgabe erforderliches Material:

- Material 1: „Angst der Anwohner vor Strahlung: Lösen Stromtrassen Leukämie und Alzheimer aus?“
([FOCUS-Online](#))
- Material 2: „Elektrosmog von Hochspannungsleitungen“
([Institut für biologische Elektrotechnik Schweiz](#))
- Material 3: Nutzwertanalyse
([IQB](#))
- Material 4: „Ein Stromnetz für die Energiewende“
([Bundesministerium für Wirtschaft und Energie](#))
- Material 5: Hilfekarte zur Einschätzung der Glaubwürdigkeit einer Textquelle / einer Website
([IQB](#))

Weiteres Textmaterial (insbesondere zur Reduzierung des Rechercheaufwands)

Medien

- Material 6: „Gesundheitsrisiken durch Stromleitungen – Von Lichtblitzen und Leukämie“
([SZ Online](#))
- Material 7: „Hochspannungsleitungen – wie gefährlich sind sie wirklich?“
([Westdeutsche Allgemeine Zeitung](#))
- Material 8: „Gefährlicher Strom? – Hochspannungsleitungen und Gesundheit“
([SWR](#))

Technologievergleiche

- Material 9: „Warum erfolgt Stromübertragung bei hohen Spannungen?“
([Welt der Physik](#))
- Material 10: „Hochspannungs-Gleichstromübertragung“
([RP-Energie-Lexikon](#))
- Material 11: „Erdverkabelung von Höchstspannungsvorhaben“
([Wissenschaftlicher Dienst des Bundestages](#))
- Material 12: „Ausbau des Stromtransportnetzes: Technische Varianten im Vergleich“
([Deutsche Energie-Agentur GmbH \[dena\]](#))
- Material 13: „Freileitung oder Erdkabel – Hintergrundinformationen“
([50Hertz Transmission GmbH](#))
- Material 14: „Erdkabel und Freileitung im Vergleich“
([TenneT TSO GmbH](#))
- Material 15: „Stromtrassen: Erdkabel kosten Stromkunden Milliarden“
([CleanEnergyProject](#))
- Material 16: „Fact Sheet Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ)“
([Siemens AG](#))

Gesundheitliche Risiken

- Material 17: „Nachgewiesene Wirkungen statischer und niederfrequenter Felder“
(Bundesamt für Strahlungsschutz)
- Material 18: „Wissenschaftlich diskutierte Wirkungen niederfrequenter Felder“
(Bundesamt für Strahlungsschutz)
- Material 19: „Epidemiologische Studien zu Kinderleukämie und Magnetfeldern von Hochspannungsleitungen“
(Wissenschaftsladen Bonn e. V.)

Quellen mit Sekundärinteressen

- Material 20: „Elektrosmog und Magnetfelder durch Hochspannungsleitung und Bahnlinie – Teil 2“
(GEOVITAL Akademie für Naturheilverfahren GmbH)
- Material 21: „Idealer Abstand zu Hochspannungsleitungen!“
(Baubiologie Streil)

Sonstiges

- Material 22: Zusammenstellung physikalischer Aussagen aus unterschiedlichen Textquellen dieser Materialliste
(IQB)

4 Lösungshinweise und Bezug zu den Standards

Es werden folgende Abkürzungen verwandt:

- ◆ S 1 – 7 Standards der Sachkompetenz (erste Spalte)
- ◆ E 1 – 11 Standards der Erkenntnisgewinnungskompetenz (zweite Spalte),
- ◆ K 1 – 10 Standards der Kommunikationskompetenz (dritte Spalte),
- ◆ B 1 – 8 Standards der Bewertungskompetenz (vierte Spalte).

a	Erläutern Sie die Notwendigkeit des Ausbaus der elektrischen Energieversorgungsnetze.				B 6
----------	---	--	--	--	-----

Mögliche Argumente:

- ◆ Durch die Energiewende ändern sich die Orte der Gewinnung elektrischer Energie.
- ◆ Die Energiegewinnung z. B. durch Photovoltaikanlagen und Windkraftwerke ist stärker dezentral, gleichzeitig fallen bisherige Schwerpunkte der Gewinnung elektrischer Energie wie Kernkraftwerke und in der Zukunft absehbar auch Kohlekraftwerke weg.
- ◆ Die Standorte der Nutzer elektrischer Energie bleiben demgegenüber aber im Wesentlichen unverändert.
→ Der gegenwärtige Aufbau der Energieversorgungsnetze passt nicht mehr zu den Standorten der Produktion elektrischer Energie, insbesondere ist eine Vernetzung vom Norden (Windparks) nach Süden (große Wirtschafts- und Bevölkerungszentren) erforderlich. Regenerative Energiequellen (Wind, Sonne) unterliegen stärkeren Fluktuationen in ihrer Leistung als traditionelle Großkraftwerke.
- ◆ Elektrische Energie kann aber im Netz nicht gespeichert werden bzw. Speichertechnologien sind erst in der Entwicklung
→ Eine stärkere Vernetzung ist notwendig, um lokale Schwankungen der verfügbaren Leistung zu kompensieren.
- ◆ Zudem wird auch in großem Umfang elektrische Energie zwischen benachbarten Ländern, insbesondere innerhalb der EU, gehandelt. Auch dies erfordert leistungsfähige Energieversorgungsnetze.

b	Stellen Sie alle im Artikel „Angst der Anwohner vor Strahlung: Lösen Stromtrassen Leukämie und Alzheimer aus?“ (Material 1) genannten Argumente zusammen und ordnen Sie diese Argumente nach unterschiedlichen Kriterienbereichen (physikalisch, ökologisch, medizinisch, wirtschaftlich, ...).			K 3	B 4
----------	---	--	--	-----	-----

Argumente, die im Text aufgeführt werden:

Physikalische/technologische Argumente:

- ◆ Die verursachten elektrischen und magnetischen Felder haben Auswirkungen auf den menschlichen Körper.
- ◆ Elektrische Felder sind leicht abschirmbar, also kein gesundheitliches Problem.
- ◆ Elektrische Felder wirken sich nur auf die Körperoberfläche aus.
- ◆ Magnetfelder wirken sich auch auf das Körperinnere aus; bei Wechselstrom rufen niederfrequente Magnetfelder elektrische Ströme im Körper hervor, die Nerven- oder Muskelzellen reizen können.

- ◆ Das Erdreich schirmt elektrische Felder komplett ab.
- ◆ Dadurch, dass bei Erdkabeln die Leitungen näher zusammen liegen, nimmt das Magnetfeld zur Seite hin schneller ab, ist unmittelbar darüber aber größer.
- ◆ Die Technik der Erdverkabelung ist noch nicht ausreichend erprobt, der Einfluss auf die Versorgungssicherheit ist noch nicht untersucht.

Ökologische Argumente:

- ◆ Hochspannungsleitungen könnten die Pflanzen- und Tierwelt beeinträchtigen.
- ◆ Erdkabel machen umfangreiche Baumaßnahmen (z. B. Zufahrtswege, Wartungsgebäude) erforderlich.

Medizinische Argumente:

- ◆ Hochspannungsleitungen könnten ein Risiko für die Gesundheit darstellen.
- ◆ Nachgewiesene Wirkungen auf den Körper treten bei Einhaltung der gültigen Grenzwerte nicht auf.
- ◆ Es gibt statistische Hinweise darauf, dass es eine kleine Erhöhung des Leukämierisikos bei Kindern schon unterhalb dieser Grenzwerte geben könnte. Ein ursächlicher Zusammenhang ist nicht bewiesen.
- ◆ Es gibt Indizien auf andere gesundheitliche Risiken (z. B. Alzheimer) bei Berufsgruppen, die ständig sehr starken Feldern ausgesetzt sind; Studien dazu sind aber widersprüchlich.
- ◆ Es gibt ein mögliches gesundheitliches Restrisiko, dieses ist bei unterirdischen Gleichstromleitungen am geringsten.

Wirtschaftliche Argumente:

- ◆ Es ist aufwändiger und deutlich teurer, Erdkabel zu verlegen (Faktoren zwischen 3 und 8).

Argumente zur Zuverlässigkeit und Versorgungssicherheit:

- ◆ Die Technik der Erdverkabelung ist noch nicht ausreichend erprobt, der Einfluss auf die Versorgungssicherheit ist noch nicht untersucht.

Argumente zu weiteren Auswirkungen auf Anwohner:

- ◆ Hochspannungsleitungen verändern das Landschaftsbild.
- ◆ Auch Erdkabel beeinträchtigen das Landschaftsbild.

c	Recherchieren Sie auf den Internetseiten des Bundesamts für Strahlenschutz zu diesem Thema (mögliche Einstiegspunkte: https://www.bfs.de/DE/themen/emf/einfuehrung/einfuehrung.html und https://www.bfs.de/DE/themen/emf/kompetenzzentrum/berichte/berichte_node.html) und ergänzen Sie die Liste der Argumente aus Teilaufgabe b.			K 3	
---	---	--	--	-----	--

Neben umfassenden Informationen zu technischen Aspekten werden hier insbesondere die Aussagen über gesundheitliche Risiken konkretisiert und untermauert:

- ◆ Niederfrequente Felder erzeugen im menschlichen Körper zusätzliche elektrische Felder und Ströme. Als Folge davon können Nerven- und Muskelzellen gereizt werden.
- ◆ Die Schwellen für diese nachgewiesenen Wirkungen sind bekannt.

- ◆ Die vorhandenen Grenzwerte schützen vor diesen nachgewiesenen gesundheitsrelevanten Wirkungen.
- ◆ Für die statischen Felder, die von Gleichstromleitungen ausgehen, sind keine gesundheitlichen Gefahren nachgewiesen.
- ◆ Die Wirkungen hochfrequenter Felder unterscheiden sich hiervon grundsätzlich; diese spielen aber im Zusammenhang mit Energieversorgungsnetzen keine Rolle.
- ◆ Weitere mögliche gesundheitliche Auswirkungen unterhalb der geltenden Grenzwerte werden wissenschaftlich untersucht.
- ◆ Einige epidemiologische Studien zeigen vor allem bei beruflich stark belasteten Personen ein erhöhtes Risiko für Erkrankungen des Nervensystems (z. B. Alzheimer-Erkrankung). Die Studien widersprechen sich aber zum Teil.
- ◆ In Laboruntersuchungen lassen sich solche Auswirkungen bisher nicht bestätigen. Ein entsprechender biologischer Wirkungsmechanismus ist nicht bekannt.
- ◆ Bei Erwachsenen zeigen Studien keine Zunahme des Krebsrisikos.
- ◆ Bei Kindern zeigten mehrere epidemiologische Studien ein erhöhtes Leukämierisiko bei dauerhaft hohem Einfluss von Magnetfeldern unterhalb der geltenden Grenzwerte. Den größten Teil davon verursacht aber die elektrische Hausinstallation. Eine Belastung oberhalb des gefundenen Schwellenwertes kommt in deutschen Haushalten selten vor.
- ◆ Die Fallzahlen bei diesen epidemiologischen Studien sind sehr klein. Darum sind experimentelle Laborstudien wichtig. Diese bestätigen den vermuteten Zusammenhang bisher nicht.
- ◆ Elektrische und magnetische Felder können mit hoher Wahrscheinlichkeit als Ursachen für weitere bisweilen mit ihnen in Verbindung gebrachte Beschwerden (z. B. Kopfschmerzen, Schlafstörungen, Müdigkeit, Konzentrationsstörungen) ausgeschlossen werden.

d	Werten Sie die Quelle „Elektrosmog von Hochspannungsleitungen“ (Material 2) aus und ergänzen Sie wiederum die Liste der Argumente aus Teilaufgabe b.			K 3	
----------	--	--	--	-----	--

In dieser Quelle werden die Risiken von „Elektrosmog von Hochspannungsleitungen“ gänzlich anders dargestellt. Unter anderem finden sich die folgenden Aussagen im Text:

- ◆ Auch im Abstand von mehreren hundert Metern kann sich ein Haus „aufladen“, was die Bewohner „unter Strom setzt“.
- ◆ Die in Hochspannungsleitungen „verlorene“ Energie beeinträchtigt den Menschen in Form von elektrischen und magnetischen Feldern.
- ◆ Je nach Größe der Spannung können Hochspannungsleitungen auch Hochfrequenzstrahlung hervorrufen.
- ◆ In schlaufenförmigen Leiteranordnungen (z. B. Zäune, Blitzschutzanlagen, Wasserleitungen) entsteht eine magnetische Flussdichte.
- ◆ Nahe Hochspannungsleitungen verdoppelt sich das Risiko einer Alzheimer-Erkrankung.

Die Aussagen in diesem Text stehen teils in diametralem Widerspruch zu den Aussagen anderer, sehr vertrauenswürdiger Quellen (z. B. des Bundesamts für Strahlenschutz, Material 17 und 18). Andere Aussagen sind fachlich fragwürdig oder zumindest sehr unsauber formuliert.

Es besteht Anlass zu der Vermutung, dass hier der Versuch unternommen wird, Risiken übertrieben darzustellen, insbesondere vor dem Hintergrund, dass der Betreiber der Webseiten im

Hinblick auf Abschirmmaßnahmen für „Elektrosmog“ berät, entsprechende Messgeräte verkauft sowie Messungen und Analysen vermittelt.

Es liegt nahe, die Argumente dieser Quelle nicht für die Bewertung heranzuziehen.

e	Überprüfen Sie die Argumente Ihrer Liste auf Glaubwürdigkeit und Relevanz für die in der Einleitung formulierte Fragestellung. Anregungen zu Kriterien hierfür finden Sie in Material 5. Prüfen Sie dabei insbesondere physikalische Argumente exemplarisch auf Korrektheit. Beschreiben Sie an Stellen, an denen Ihnen dies nicht möglich ist, die Schritte, die zu einer Überprüfung erforderlich wären und geben Sie an, welche zusätzlichen Informationen bzw. Daten dafür nötig sind.			K 2	B 2
---	--	--	--	-----	-----

Die Einschätzung der Relevanz einzelner Argumente ist, abgesehen von solchen gänzlich ohne Bezug zur Fragestellung, eine individuelle Entscheidung. Schlussendlich konkretisiert sich diese Frage bei der Gewichtung der unterschiedlichen Kriterienbereiche in Teilaufgabe g; dieser Schritt wird hier schon angebahnt.

Die Einschätzung der Glaubwürdigkeit sollte zumindest exemplarisch an einigen Beispielen von Argumenten bzw. der zugehörigen Quellen durchgeführt werden. Überlegungen dazu wurden schon in Teilaufgabe d durchgeführt, mit den Modulen C, D und E lässt sich die Auseinandersetzung mit dieser Frage weiter fortsetzen. Material 5 bietet hierbei Hilfestellungen.

Auch die fachliche Prüfung physikalischer Argumente kann im Unterricht nur exemplarisch an ausgewählten Beispielen erfolgen, teilweise durch theoretische Betrachtungen (z. B. zur Abschätzung der Größenordnung der durch magnetische Wechselfelder im Körperinneren induzierten Stromstärken mithilfe des Induktionsgesetzes; Daten über den Widerstand des betroffenen Körpergewebes werden benötigt), teilweise auch experimentell (z. B. zur Abschirmung elektrischer Felder durch die Körperoberfläche und das Erdreich).

Material 22 bietet die Möglichkeit, die Untersuchung fachlicher Aspekte zu vertiefen. Hier werden auch konkretere Lösungshinweise gegeben.

f	Ergänzen Sie in arbeitsteiliger Gruppenarbeit Ihre Zusammenstellung von Argumenten durch eine weitere Recherche im Internet. Diese Recherche kann insbesondere dann nötig sein, wenn Sie in unterschiedlichen Quellen auf widersprüchliche Aussagen gestoßen sind oder wenn die bisher betrachteten Materialien in einem der von Ihnen verwendeten Kriterienbereiche noch kein hinreichend klares Bild ergeben.			K 1, 3	B 4
---	---	--	--	-----------	-----

Mögliche vervollständigte Zusammenstellung von Argumenten:

Physikalische / technologische Argumente:

- ◆ Die verursachten elektrischen und magnetischen Felder haben prinzipiell Auswirkungen auf den menschlichen Körper.
- ◆ Elektrische Felder stellen dabei kein Problem dar (gute Abschirmbarkeit, keine Wirkung im Körperinneren)
- ◆ Magnetfelder wirken sich auch auf das Körperinnere aus; bei Wechselstrom rufen niederfrequente Magnetfelder elektrische Ströme im Körper hervor, die Nerven- oder Muskelzellen reizen können.

- ◆ Dadurch, dass bei Erdkabeln die Leitungen näher zusammen liegen, nimmt das Magnetfeld zur Seite hin schneller ab, ist unmittelbar darüber aber größer (etwa doppelt so groß wie bei Freileitungen). Mitverantwortlich hierfür ist der unterschiedliche Abstand der beiden Leitungstypen vom Erdboden.
- ◆ Wechsellspannung kann leicht transformiert werden.
- ◆ Erdkabel müssen aufwändig isoliert werden, Freileitungen nicht.
- ◆ Bei Erdkabeln kann die entstehende Wärme schlecht abgeführt werden, darum werden sie mit geringeren Stromstärken betrieben. Bei Wechselstrom ist dieses Problem noch erheblich größer.
- ◆ Die Technologie für Wechselstromübertragung ist ausgereift und bewährt.
- ◆ Die Technik der Erdverkabelung ist noch nicht ausreichend erprobt.

Ökologische Argumente:

- ◆ Hochspannungsleitungen könnten die Pflanzen- und Tierwelt beeinträchtigen (hypothetisch).
- ◆ Schneisen durch Wälder durchschneiden die Lebensräume von Tieren. Diese Eingriffe sind bei Erdkabeln vor allem in der Bauphase groß, während des Betriebs bei Freileitungen größer.
- ◆ Landwirtschaftliche Nutzflächen können im Zusammenhang mit Erdverkabelung leiden.
- ◆ Flächen in den Schneisen von Freileitungen können vielseitiger genutzt werden.

Medizinische Argumente:

- ◆ Hochspannungsleitungen könnten ein Risiko für die Gesundheit darstellen.
- ◆ Nachgewiesene Wirkungen auf den Körper treten bei Einhaltung der gültigen Grenzwerte nicht auf.
- ◆ Gemessene Feldstärken liegen in Häusern auch in der Nähe von Hochspannungsleitungen deutlich unter den gesetzlichen Grenzwerten.
- ◆ Es gibt statistische Hinweise darauf, dass es eine kleine Erhöhung des Leukämierisikos bei Kindern schon weit unterhalb dieser Grenzwerte geben könnte. Dies zeigt sich aber nicht in allen Studien. Der Beitrag der Haushaltsinstallation ist erheblich größer als der von Hochspannungsleitungen.
- ◆ Ein ursächlicher Zusammenhang ist nicht bewiesen. Laborstudien, die dafür notwendig wären, bestätigen dieses Risiko bisher nicht.
- ◆ Es gibt Indizien auf andere gesundheitliche Risiken (Erkrankungen des Nervensystems wie z. B. Alzheimer-Erkrankung) bei beruflich stark belasteten Berufsgruppen; Studien dazu sind aber widersprüchlich.
- ◆ Für die statischen Felder von Gleichstromleitungen sind keine gesundheitlichen Gefahren nachgewiesen.
- ◆ Bei unterirdischen Gleichstromleitungen ist das mögliche gesundheitliche Restrisiko am geringsten.
- ◆ Weitere gesundheitliche Risiken (Krebsrisiko bei Erwachsenen, Kopfschmerzen, Schlafstörungen etc.) können mit großer Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.
- ◆ Spekulativ: Bei Freileitungen können ionisierte Luftmoleküle Staub elektrisch aufladen; der Einfluss hiervon auf die Lunge ist unbekannt.

Wirtschaftliche Argumente:

- ◆ Es ist aufwändiger und deutlich teurer, Erdkabel zu verlegen (Faktoren zwischen 3 und 7 bei Wechselspannungsleitungen, zwischen 4 und 8 bei Gleichspannungsleitungen; andere Quellen nennen Faktoren zwischen 4 und 16).
- ◆ Die Betriebskosten sind bei Erdverkabelung günstiger, in der Gesamtkostenbetrachtung sind Freileitungen aber deutlich günstiger.
- ◆ Die Nähe zu Hochspannungsleitungen hat einen negativen Einfluss auf den Preis eines Grundstücks.
- ◆ Gleichstromübertragung braucht teure AC-DC-Konverterstationen (Umrichter). Deswegen ist die Hochspannungs-Gleichstromübertragung (HGÜ) erst bei größeren Streckenlängen wirtschaftlich.
- ◆ Wechselstromübertragung benötigt mindestens drei Leitungen, bei Gleichstromübertragung kann eine Leitung genügen.

Argumente zur Zuverlässigkeit und Versorgungssicherheit:

- ◆ Der Einfluss von Erdverkabelung auf die Versorgungssicherheit ist noch nicht untersucht.
- ◆ Die Stabilität des Netzes ist bei Wechselstrom über lange Strecken schwer zu gewährleisten.
- ◆ Erdkabel können nur aus Teilstücken von bis zu 1 km Länge aufgebaut werden. Die Verbindungen dieser Stücke sind besonders störanfällig.
- ◆ Reparaturen dauern bei Erdverkabelung viel länger (mehrere Wochen) als bei Freileitungen (ca. 5 Stunden).
- ◆ Die Lebensdauer von Freileitungen ist etwa dreimal so hoch wie die von Erdkabeln.
- ◆ Freileitungen sind Witterungseinflüssen ausgesetzt, die aber nur sehr selten zu Ausfällen führen.
- ◆ Angaben zur Verfügbarkeit: Freileitung > 99,8 %, Erdkabel > 93 %.
- ◆ HGÜ-Leitungen entkoppeln Wechselstromnetze voneinander und erhöhen damit die Ausfallsicherheit des gesamten Netzes.

Argumente zur Leistungsfähigkeit:

- ◆ Bei Leitungslängen von mehr als einigen hundert Kilometern sind bei Wechselstrom die Verluste so groß, dass kaum mehr elektrische Energie transportiert werden kann.
- ◆ Der Verlust bei Wechselstrom ist bei Erdverkabelung besonders groß.
- ◆ Bei Wechselspannung müssen die Kabel bei größeren Entfernungen dicker oder ihre Anzahl erhöht werden.
- ◆ „Verluste“ sind bei HGÜ erheblich geringer (nur ohmsche „Verluste“).
- ◆ Bei gleicher Entfernung kann mit HGÜ eine größere Leistung übertragen werden.
- ◆ HGÜ-Leitungen können gegenwärtig noch nicht gut vernetzt werden.
- ◆ Bei HGÜ etwas größere Leistungsverluste in Umrichtern als bei Trafostationen für Wechselspannung.
- ◆ HGÜ-Leitungen können weniger stark über ihre Nennleistung hinaus belastet werden.
- ◆ Erdkabel können weniger stark über ihre Nennleistung hinaus belastet werden.

Argumente zu weiteren Auswirkungen auf Anwohner:

- ◆ Hochspannungsleitungen verändern das Landschaftsbild.
- ◆ Auch Erdkabel beeinträchtigen das Landschaftsbild.
- ◆ HGÜ-Leitungen haben einen erheblich geringeren Flächenbedarf.
- ◆ Schneisen für Erdkabel sind kleiner als die für Freileitungen

g	<p>Fassen Sie die Ergebnisse Ihrer Recherche zu den unterschiedlichen Kriterienbereichen jeweils zu einem abschließenden Urteil zusammen. Gewichten Sie die Kriterienbereiche aus Ihrer persönlichen, begründbaren Sicht und geben Sie so jeweils eine begründete Entscheidung ab hinsichtlich der jeweiligen Alternativen „Gleichstromübertragung – Wechselstromübertragung“ und „Freileitung – Erdverkabelung“.</p> <p>Ein mögliches Werkzeug hierzu stellt die Nutzwertanalyse dar (Material 3).</p>				B 4
----------	---	--	--	--	-----

Gegenüberstellung der Vor- und Nachteile:

Kriterium	Gleichstromübertragung		Wechselstromübertragung	
	Vorteil	Nachteil	Vorteil	Nachteil
Physikalisch / technisch	Felder haben nur geringfügige Auswirkungen auf den menschlichen Körper	Aufwändigere Konvertertechnologie Technik noch nicht ausreichend erprobt	Leichte Transformierbarkeit Ausgereifte, bewährte Technik	Magnetische Wechselfelder haben prinzipiell Auswirkungen auf den menschlichen Körper Größeres Problem der Wärmeabführung bei Erdkabeln
Ökologisch	Geringerer Flächenverbrauch			
Medizinisch	Keine nachgewiesenen Wirkungen Potentielle Risiken geringer (nur statische Felder)	Risiko für Kinderleukämie, noch kleiner als bei Wechselstrom	Keine nachgewiesenen Wirkungen	Verdacht: Geringfügige Erhöhung des Risikos von Leukämie bei Kindern; umstritten.
Wirtschaftlich	Erheblich geringere Leitungsverluste	Negative Auswirkung auf Grundstückspreise	Trafostationen günstiger	Negative Auswirkung auf Grundstückspreise

	Kleinere Zahl von Leitungen möglich	Zusätzliche erhebliche Kosten für Konverterstationen		Größere Leitungsverluste Größere Zahl von Leitungen nötig
Zuverlässigkeit / Versorgungssicherheit	Entkoppeln Wechselstromnetze voneinander, erhöht Ausfallsicherheit			Netzstabilität bei großen Entfernungen schwerer zu gewährleisten
Leistungsfähigkeit	Sehr große Leitungslängen möglich Verluste erheblich geringer Übertragung größerer Leistung möglich	Vernetzung problematisch Etwas größere Verluste in Umrichtern Geringere Belastung über Nennleistung möglich	Etwas geringere Verluste in Trafostationen Größere Belastung über Nennleistung möglich	Sehr große Leitungslängen unmöglich Bei großen Entfernungen größerer Aufwand für Kabel
Weitere Auswirkungen auf Anwohner	Erheblich geringerer Flächenbedarf			Größerer Flächenbedarf

Kriterium	Erdkabel		Freileitung	
	Vorteil	Nachteil	Vorteil	Nachteil
Physikalisch / technisch	Schnellere Abnahme der Felder in seitlicher Richtung	Stärkere Felder unmittelbar über der Leitung Aufwändige Isolierung Schlechte Wärmeabführung Technik noch nicht ausreichend erprobt	Schwächere Felder unmittelbar unter der Leitung Geringer Aufwand für Isolierung Wärmeabführung unproblematisch Ausgereifte, bewährte Technik	Langsamere Abnahme der Felder in seitlicher Richtung
Ökologisch		In der Bauphase erheblich größere Eingriffe in Ökosysteme	Flächen unter den Leitungen vielseitiger nutzbar	Während des Betriebs größerer Flächenverbrauch

		Landwirtschaftliche Nutzflächen leiden möglicherweise		
Medizinisch	Gesundheitsrisiken kleiner			Restrisiko größer
Wirtschaftlich	Betriebskosten geringer	Bau erheblich teurer Gesamtkosten der Leitung deutlich höher Lebensdauer deutlich geringer Negative Auswirkung auf Grundstückspreise, geringer als bei Freileitung	Bau günstiger Gesamtkosten deutlich geringer Lebensdauer deutlich größer	Betriebskosten höher Negative Auswirkung auf Grundstückspreise
Zuverlässigkeit / Versorgungssicherheit	Keine Witterungseinflüsse	Einfluss noch nicht untersucht Viele Verbindungsstücke, sind störanfällig Reparaturen dauern sehr lang Lebensdauer deutlich geringer Verfügbarkeit geringer (93%)	Reparaturen relativ schnell möglich Lebensdauer deutlich größer Verfügbarkeit größer (99,8 %)	Witterungseinflüsse möglich; selten
Leistungsfähigkeit		Bei Wechselstrom Verluste größer Geringere Belastung über Nennleistung möglich	Größere Belastung über Nennleistung möglich	
Weitere Auswirkungen auf Anwohner	Schneisen für Stromtrassen kleiner	Beeinflussung des Landschaftsbildes, geringer als bei Freileitung		Beeinflussung des Landschaftsbildes

				Schneisen für Stromtrassen breiter
--	--	--	--	------------------------------------

Darauf basierende Bewertungen mit Hilfe der Nutzwertanalyse:

Gezeigt wird jeweils eine mögliche Gewichtung der Faktoren. Die Bewertungen können individuell sehr unterschiedlich ausfallen, u. a. abhängig davon, wie hoch die nicht gesicherten Einschätzungen zu gesundheitlichen Auswirkungen gewichtet werden.

		Gleichstromübertragung		Wechselstromübertragung	
Kriterium	Gewicht	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet
Physikalisch / technisch	0,13	2	0,26	3	0,39
Ökologisch	0,07	4	0,28	3	0,21
Medizinisch	0,20	4	0,80	3	0,60
Wirtschaftlich	0,20	4	0,80	2	0,40
Zuverlässigkeit / Versorgungssicherheit	0,20	4	0,80	3	0,60
Leistungsfähigkeit	0,13	4	0,52	2	0,26
Weitere Auswirkungen auf Anwohner	0,07	4	0,28	2	0,14
Gesamt	1,00		3,74		2,60

		Erdkabel		Freileitung	
Kriterium	Gewicht	Punkte	gewichtet	Punkte	gewichtet
Physikalisch / technisch	0,13	1	0,13	4	0,52
Ökologisch	0,07	2	0,14	3	0,21
Medizinisch	0,20	5	1,00	4	0,80
Wirtschaftlich	0,20	1	0,20	4	0,80

Zuverlässigkeit / Versorgungssicherheit	0,20	2	0,40	5	1,00
Leistungsfähigkeit	0,13	4	0,52	5	0,65
Weitere Auswirkungen auf Anwohner	0,07	4	0,28	2	0,28
Gesamt			2,67		4,26

Mit den gewählten Gewichtungen fällt die Entscheidung jeweils sehr deutlich für Gleichstromtechnik und für Freileitungen aus.

Anhand der Spalten „gewichtete Punkte“ lässt sich erkennen, was jeweils die entscheidenden Argumente waren; dies ist auch bei einer verbalen Begründung der Entscheidung nutzen.

Modul A	<p>Erstellen Sie einen Anforderungskatalog für die Planung einer Hochspannungsleitung von der niedersächsischen Nordseeküste nach München.</p> <p>Planen Sie auf einer Landkarte gemäß dem von Ihnen formulierten Anforderungskatalog ein etwa 50 km langes Stück der Trasse einer Hochspannungsleitung</p>				B 3
----------------	---	--	--	--	-----

Mögliche Punkte eines Anforderungskatalogs (über die Aufgabenstellung hinaus mit Begründungen):

- 1. Die Nähe zu Ortschaften soll gemieden werden, so lange dadurch nicht zu große Trassenlängen verursacht werden.**
 Hier gilt es, die Kosten der Leitung gegen die Beeinträchtigung von Anwohnern (und evtl. auch deren wirtschaftliche Nachteile z. B. durch sinkende Grundstückswerte) abzuwägen.
- 2. Innerhalb eines Trassenstücks soll einheitlich Gleichstrom- oder Wechselstromtechnik geplant werden.**
 Die andernfalls nötigen zusätzlichen Installationen verursachen zusätzliche Kosten und bringen Nachteile für die Zuverlässigkeit mit sich.
- 3. Für große Leitungslängen sollen Gleichstromtrassen geplant werden. Gleichstromübertragung gewährleistet bei großen Leitungslängen die Stabilität des Netzes besser.**
 Gleichstromübertragung ermöglicht höhere übertragene Leistungen und bringt deutlich geringere Leitungsverluste mit sich. Sehr große Längen sind aufgrund der Verluste nur mit Gleichstromtrassen möglich.
- 4. Bei kürzeren Leitungslängen sollen Wechselstromtrassen geplant werden.**
 Die für Gleichstromübertragung an beiden Enden der Leitung erforderlichen Gleichstrom-Wechselstrom-Konverter sind aufwändig und teuer.
- 5. Für die Durchquerung ökologisch oder ökonomisch wertvoller Gebiete sollen Gleichstromtrassen geplant werden.**
 U. a. aufgrund der geringeren Zahl benötigter Leitungen ist der Flächenverbrauch geringer.
 Dies ist auch im Hinblick auf den Wertverlust anliegender Grundstücke relevant.

- 6. Wenn keine anderen Argumente dem entgegenstehen, sollen im Hinblick auf nicht gänzlich auszuschließende gesundheitliche Beeinträchtigungen in der Nähe von Siedlungen Gleichstromtrassen geplant werden.**
 Grundsätzlich sind bislang keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch Hochspannungsleitungen wissenschaftlich gesichert nachgewiesen. Die potentielle Wirkung der erzeugten Felder ist für den Fall der Gleichstromübertragung geringer.
- 7. Grundsätzlich sollen Freileitungen geplant werden.**
 Zwar sind die Betriebskosten bei Erdkabeln geringer, in der Gesamtkostenbetrachtung einschließlich der Baukosten sind Freileitungen aber erheblich wirtschaftlicher. Aus physikalischen Gründen erlauben sie höhere übertragene Leistungen und eine bessere Möglichkeit, zeitweise über ihrer Nennleistung betrieben zu werden und bieten damit eine höhere Flexibilität. Ihre Lebensdauer ist größer, ebenso die Zuverlässigkeit im Betrieb. Die Dauer von Reparaturen und damit die Ausfallzeiten bei Störungen bzw. Schäden sind erheblich geringer.
- 8. In der Nähe von Siedlungen soll Erdverkabelung angestrebt werden.**
 Die negativen Auswirkungen auf Grundstückspreise sind geringer. Die möglicherweise wahrgenommene Beeinträchtigung des Landschaftsbildes ist erheblich geringer. Grundsätzlich sind bislang keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch Hochspannungsleitungen wissenschaftlich gesichert nachgewiesen. Die Reichweite und damit die potentielle Wirkung der erzeugten Felder ist bei Freileitungen geringer.
- 9. In landwirtschaftlichen Nutzflächen sollen Freileitungen geplant werden.**
 Die Eingriffe während der Bauphase sind hier erheblich geringer, die Nutzung während der Betriebsphase ist kaum eingeschränkt.
- 10. In ökologisch wertvollen Gebieten sollen Freileitungen geplant werden.**
 Während der Bauphase von Erdkabeln erfolgen größere Eingriffe.
- 11. Wenn keine anderen Argumente dem entgegenstehen, sollen touristisch wertvolle Gebiete gemieden werden. Bei der Durchquerung solcher Gebiete sind Erdkabel zu bevorzugen.**
 Unabhängig von der eingesetzten Technologie leiden sie, bei Erdkabeln stärker während der Bauphase, bei Freileitungen stärker während der Betriebsdauer. Erdkabel beeinträchtigen das Landschaftsbild weniger stark als Freileitungen.
- 12. Waldgebiete sollen gemieden werden. Bei der Durchquerung von Waldgebieten sollen nach Möglichkeit Erdkabel geplant werden.**
 Sowohl Freileitungen als auch Erdkabel erfordern es, Schneisen zu schlagen. Bei Freileitungen sind diese breiter.
- 13. Ein häufiger Wechsel zwischen Freileitungen und Erdkabeln soll nach Möglichkeit vermieden werden.**
 Die für Wechsel erforderliche Infrastruktur verursacht gewisse zusätzliche Kosten.

Mo- dul B	Untersuchen Sie die Verwendung physikalischer Begriffe und den Gebrauch der physikalischen Fachsprache in unterschiedlichen Quellen (z. B. Material 1 und Material 20). Erörtern Sie, an welchen Stellen Ihres Erachtens fachliche Ungenauigkeiten in der Alltagssprache angemessen sind und an welchen Stellen die Grenze hin zu nicht akzeptablen Vereinfachungen oder Verfälschungen überschritten wird.			K 2	
----------------------	---	--	--	-----	--

Aspekte für diese Einordnung können sein:

- ◆ Wenn eine fachlich unsaubere Formulierung der Verständlichkeit des Textes in einem an die breite Öffentlichkeit gerichteten Medium zuträglich ist, so kann diese Formulierung akzeptabel sein.
- ◆ Wenn eine fachlich unsaubere Formulierung stark in der Alltagssprache verwurzelt ist und keine aus fachlicher Sicht schwerwiegende inhaltliche Verfälschung darstellt, so kann diese Formulierung akzeptabel sein.
- ◆ Wenn keiner dieser beiden Gründe vorliegt und auch keine vergleichbare Rechtfertigung, eine fachliche Unsauberkeit also auf Nachlässigkeit oder Beliebigkeit beruht, so sollte sie in der Regel nicht akzeptiert werden.
- ◆ Wenn die Vermutung im Raum steht, dass fachliche Unsauberkeiten dafür eingesetzt werden, um eine bestimmte Wirkung zu erzielen, so sollte dies in jedem Fall nicht akzeptiert werden.

Beispiele möglicher Antwortorten:

Material 1:

Der Text ist nicht nur fachlich gut fundiert, es wird auch die Fachsprache größtenteils angemessen korrekt verwendet. Nur vereinzelte Passagen sind diskutabel:

- ◆ „[...] muss der Strom [...] zu den industriellen Ballungszentren des Südens gelangen.“
Präzise sollte man hier von elektrischer Energie sprechen. Die Verwendung des Begriffs „Strom“ verbessert hier zwar nicht die Verständlichkeit, diese Sprechweise ist jedoch so weit in der Alltagssprache verbreitet, dass die Verwendung in einem Text in einem Massenmedium akzeptabel ist.
- ◆ „[...] der für die Stromübertragung meist verwendete Wechselstrom [...]“
Auch hier wäre korrekterweise von der Übertragung elektrischer Energie zu sprechen. Diese Formulierung ist weniger stark in der Alltagssprache verankert und generiert unkorrekte Vorstellungen. Sie sollte auch in einem allgemeinsprachlichen Text vermieden werden.
- ◆ „Magnetfelder lassen Strom im Körper fließen.“
Das trifft nicht auf alle Magnetfelder zu, sondern nur auf veränderliche. Im Abschnitt, der sich an diese Überschrift anschließt, ist die Beschreibung aber korrekt; in diesem Fall kann diese Ungenauigkeit in einer Überschrift akzeptabel sein.

Material 20:

Dieser Text verwendet physikalische Begriffe häufiger inkorrekt. Es hat den Anschein als würden diese Begriffe (fachlich unangemessen) verwendet, um beim Leser negative Eindrücke zu erzeugen.

- ◆ „Um Strom vom herstellenden Kraftwerk [...] zu transportieren [...]“
In einem Kraftwerk (auch dies ist schon ein falscher Begriff, der jedoch in der Alltagssprache in aller Regel verwendet wird) wird nicht Strom hergestellt. Diese Unsauberkeit bringt keinen Gewinn im Hinblick auf die Verständlichkeit. Sie ist aber so weit in der Alltagssprache verankert, dass sie an dieser Stelle akzeptabel sein kann.
- ◆ „Speziell die Spannungsfelder, die durch die Hochspannungsleitungen verursacht werden [...]“
Der Begriff „Spannungsfelder“ ist fachlich unhaltbar. Hier wird der Begriff „Feld“ in einer Weise verwendet, der auch in pseudowissenschaftlichen Texten gängig ist und geeignet ist, Ängste zu erzeugen. Diese Verfälschung ist nicht akzeptabel.
- ◆ „[...] so viel Elektrizität liegt in der Luft!“
Hier wird ein sehr diffuser Begriff von „Elektrizität“ verwendet, auch hier mit einer potenziell negativen affektiven Komponente.

- ◆ „Somit sieht man, wie viel Nano Tesla (nT) und Volt pro Meter (V/m) durch die Hochspannung verursacht wird.“

Hier werden gänzlich falsch Größen und ihre Einheiten vermengt, mit dem augenscheinlichen Ziel, unangemessen eine besondere Fachlichkeit vorzugeben und damit die fachliche Seriosität des Textes zu befördern.

Insgesamt scheinen die fachsprachlichen Verfälschungen in diesem Text nicht allein auf zufälligen Unsauberkeiten zu beruhen. Sie sind auch nicht der Verständlichkeit dienlich. Somit ist die Verwendung der Fachsprache hier an mehreren Stellen nicht angemessen.

Modul C	In Material 6 wird auf eine Studie des „Ecolog-Instituts“ Bezug genommen. Verschaffen Sie sich auf den Webseiten dieses Instituts einen Überblick über das Institut und beurteilen Sie seine Glaubwürdigkeit. (Hilfen hierzu → Material 5)				B 2
----------------	---	--	--	--	-----

Wesentliche Fragestellungen bei dieser Analyse:

- ◆ Ist transparent, wer / welche Gruppierung diese Webseiten betreibt?
- ◆ Lässt sich vermuten, dass spezifische Interessen (z. B. wirtschaftliche) vorliegen?
- ◆ Wodurch wird die Website bzw. die Gruppierung, die sie betreibt, finanziert?
- ◆ Wie ist die fachliche Expertise der Betreiber einzuschätzen?

Weitere mögliche Aspekte:

- ◆ Aktualität der Seiten
- ◆ Sprachliche Qualität der Texte
- ◆ Strukturelle Qualität der Seiten (z. B. fehlerhafte Links)

Mögliche Ergebnisse:

- ◆ Die Angaben, die auf den Seiten zu finden sind, sind mustergültig.
Die Entstehungsgeschichte, der Zweck und die Zielsetzung sowie die Rechtsform des Instituts werden beschrieben.
- ◆ Kooperationen mit externen Partnern werden in Form einer umfangreichen Liste ausgewiesen. Bei manchen der Kooperationspartner können spezifische Interessen nicht völlig ausgeschlossen werden (z. B. Flughafen Hannover), es finden sich aber auch viele Kommunen, Behörden und Institute darunter.
- ◆ Die Finanzierung des Instituts wird ausführlich (ohne Angabe von Zahlenwerten) beschrieben. Ausgewiesen werden Förderungen durch Bundesministerien und -behörden und Stiftungen sowie Mittel aus der Auftragsforschung (Behörden, Kommunen, Vereine und Verbände, Unternehmen).
Ein Gutachten zu Risiken durch Hochspannungsleitungen wurde im Auftrag des Bundestages durchgeführt.
- ◆ Der Link auf diese Studie ist fehlerhaft, dies ist aber eine Ausnahme.
- ◆ Das Spektrum der Themen ist relativ breit. Bedenken hinsichtlich der Expertise können dadurch entstehen, die Liste der Auftraggeber und Partner relativiert dies aber deutlich.
- ◆ Die sprachliche Qualität ist überzeugend, die Aktualität der Seiten scheint gegeben.

Insgesamt ist diese Website als qualitativ hochwertig und sehr vertrauenerweckend einzuschätzen.

Mo- dul D	Häufig bieten Onlinemedien (z. B. das Online-Angebot von Zeitungen) Informationen über die Autoren der veröffentlichten Artikel. Recherchieren Sie diese Informationen zu drei Artikeln zum Themenbereich dieser Aufgabe. Vergleichen Sie die Angaben, die Sie finden, insbesondere im Hinblick auf eine Einschätzung der Qualität der jeweiligen Quelle.				B 2
----------------------	---	--	--	--	-----

Ergebnisse der Recherche nach den Autoren:

Material 1 (Focus Online): Verlinkt wird auf eine Liste weiterer Artikel des Autors. Diese Artikel zeigen ein sehr breites Spektrum unterschiedlicher Themen. Der Autor ist augenscheinlich kein Experte speziell für das Themengebiet dieser Aufgabe.

Material 6 (SZ Online): Angegeben sind Informationen über die Ausbildung und den beruflichen Werdegang des Autors sowie über die in der Redaktion betreuten Themengebiete. Diese sind zu einem größeren Teil im Zusammenhang mit dem hier bearbeiteten Thema zu sehen. Der Autor scheint aufgrund seines Werdegangs und seiner Themengebiete über viel Erfahrung im hier relevanten Bereich zu verfügen.

Material 7 (Hamburger Abendblatt Online): Es sind keine Informationen über die Autorin hinterlegt.

Mo- dul E	Beurteilen Sie die Interessenslage der Verfasser unterschiedlicher Quellen (z. B. Materialien 11, 13, 16, 20, 21).				B 5
----------------------	--	--	--	--	-----

Material 11:

Dieser Text ist eine Ausarbeitung der wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages. Er ist von großer Sachlichkeit und Objektivität geprägt und fachlich fundiert, bei Formulierungen, die um allgemeine Verständlichkeit bemüht sind.

Beschrieben werden auch bereits in Form von Gesetzen vorliegende Entscheidungen im Hinblick auf die einzusetzenden Technologien.

Die Intention des Textes ist eine ausschließlich informierende. Sekundäre Interessen der Verfasser sind nicht erkennbar – wie angesichts der Verfasser auch zu erwarten ist.

Material 13:

Im Vordergrund steht eine breit gefächerte Information. Der Text bietet umfangreiche Informationen. Probleme und insbesondere auch die Frage der gesellschaftlichen Akzeptanz werden benannt, die Verfasser bekennen sich dazu, zu Offenheit und Transparenz. Gewisse Abschnitte (z. B. „Akzeptanz in der Bevölkerung: verschiedene Präferenzen aufgrund subjektiver Wahrnehmung“) wirken dabei jedoch leicht positiv getönt.

Sekundäre Interessen der Verfasser sind allenfalls ansatzweise zu vermuten, eine objektive Information überwiegt. Da die Quelle auf einen der Netzbetreiber zurückgeht, ist es dennoch wünschenswert, die Informationen mit einer anderen Quelle ohne direkte wirtschaftliche Verknüpfungen abzugleichen.

Material 16:

Die Quelle bietet gute grundlegende Informationen. Dargestellt werden jedoch ausschließlich Vorteile der beworbenen HGÜ-Technik.

Leistungen und Erfolge des Unternehmens werden hervorgehoben. Eine solche Vermischung von Information und Eigenwerbung muss kritisch gesehen werden.

Der Text enthält verwertbare Informationen. Das Vermarktungsinteresse der Verfasser ist aber deutlich erkennbar. Die gegebenen Informationen müssen dringend mit einer weiteren Quelle, die frei von Sekundärinteressen ist, abgeglichen und dabei ergänzt werden.

Material 20:

Am Ende der Seite ist zu erkennen, dass der Betreiber dieser Website „Mu-Metall“ zur Abschirmung elektrischer bzw. magnetischer Felder vertreibt. Ebenso weist der Text darauf hin, dass der Betreiber Messungen anbietet. Damit ist eindeutig erkennbar, dass neben der Information mindestens in gleichem Maße wirtschaftliche Interessen eine Rolle spielen. Zusammen mit dem Duktus, in dem der Text gehalten ist, und der fachwissenschaftlichen Qualität der Argumentationen führt dies dazu, dass diese Quelle allenfalls sehr eingeschränkt verwendbar ist.

Modul F	Untersuchen Sie, welche Aussagen über die Belastbarkeit von Untersuchungen zu gesundheitlichen Gefahren durch Hochspannungsleitungen in verschiedenen Quellen gemacht werden.			K 2	
----------------	---	--	--	-----	--

Z. B. Material 8:

Dieser Text hebt deutlich hervor, dass vorliegende Studien, die lediglich statistische Zusammenhänge beschreiben, zwar ernstzunehmende Hinweise geben können, aber nicht die Qualität eines Beweises haben. Für einen solchen wären klare Ursache-Wirkung-Beziehungen erforderlich, die bisher jedoch noch nicht hergestellt werden konnten. Zudem wird der Einfluss der Stichprobengröße exemplarisch kritisch betrachtet.

Z. B. Material 2:

Abschnitt „Neue Studie zu Alzheimer“:

Zitiert wird aus einer Studie, die besagt, dass für Personen, die über lange Zeit in einem Umkreis von 50 m einer Hochspannungsleitung wohnten, das Risiko, an Alzheimer zu erkranken, doppelt so hoch ist wie bei Personen, die weiter als 600 m von einer Hochspannungsleitung entfernt wohnten.

Die Belastbarkeit der Schlussfolgerungen aus dieser statistischen Untersuchung wird nicht reflektiert:

Gänzlich unkritisch wird mit der Stichprobenlänge der Studie umgegangen. Von den 9200 untersuchten Personen entfielen nur 20 in die Gruppe derer, die in einem Umkreis von 50 m einer Hochspannungsleitung leben. Auf Grundlage dieser sehr kleinen Teilgruppe wird die Kernaussage abgeleitet, das sollte im Hinblick auf die Statistik als sehr problematisch angesehen werden.

Bereits in einer Umgebung von 50 m bis 200 m einer Hochspannungsleitung hat sich in der Studie keine erhöhte Häufigkeit von Alzheimer gezeigt, die zitierte Kernaussage vergleicht aber mit Personen, die weiter als 600 m von einer Hochspannungsleitung entfernt wohnten. Insgesamt ist in den Verweisen auf die Studie intransparent, in welche Klassen die 9200 Personen eingeteilt wurden. In mehrererlei Hinsicht wird hier also mit der Statistik unsauber umgegangen.

Auf die Vernachlässigung der Betrachtung des Einflusses der Hausinstallation wird zumindest hingewiesen.

5 Quellenangaben

- ◆ Material 1:
Widerschein, H. (2014, 17. Juni). Angst der Anwohner vor Strahlung: Lösen Stromtrassen Leukämie und Alzheimer aus?, *FOCUS Online*. Verfügbar unter: https://www.focus.de/gesundheit/gesundleben/vorsorge/risiko/angst-vor-strahlung-loesen-stromleitungen-leukemie-und-alzheimer-aus_id_3811320.html (Zugriff am 14.04.2020)
- ◆ Material 2:
IBES Leben ohne Elektromog. Gesundheit und Hochspannungsleitungen. Verfügbar unter: <https://www.ibes-gegen-elektromog.de/quellen-von-elektromog/hochspannungsleitung/> (Zugriff am 17.04.2020)
- ◆ Material 3:
Nutzwertanalyse. Im Auftrag des IQB erstellt in Anlehnung an: Höttecke, D. (2013). Bewerten – Urteilen – Entscheiden, Ein Kompetenzbereich des Physikunterrichts, *Unterricht Physik 134*. Hannover: Friedrich Verlag. S. 4-12.
- ◆ Material 4:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Ein Stromnetz für die Energiewende. Verfügbar unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Dossier/netze-und-netzausbau.html> (Zugriff am 17.01.2019)
- ◆ Material 5:
Im Auftrag des IQB erstellt.
- ◆ Material 6:
Schrader, Christopher (2014, 16. April). Gesundheitsrisiken durch Stromleitungen – Von Lichtblitzen und Leukämie., *SZ.de*. Verfügbar unter: <https://www.sueddeutsche.de/gesundheit/gesundheitsrisiken-durch-stromleitungen-von-lichtblitzen-und-leukaemie-1.1938337> (Zugriff am 16.04.2020)
- ◆ Material 7:
Dapp, T. (2017, 12. Juli). Hochspannungsleitungen – Wie gefährlich sind sie wirklich?, *Hamburger Abendblatt*. Verfügbar unter: <https://www.abendblatt.de/wirtschaft/article211218203/Hochspannungsleitungen-Wie-gefaehrlich-sind-sie-wirklich.html> (Zugriff am 20.04.2020)
- ◆ Material 8:
SWR2 (2015). Gefährlicher Strom? Hochspannungsleitungen und Gesundheit. Ein SWR2 Impuls von Marcus Schwander. Internetfassung von Ralf Köbel und Maren Walter. Verfügbar unter: <https://www.swr.de/swr2/wissen/gefaehrlicher-strom-hochspannungsleitungen-und-gesundheit,article-swr-16410.html> (Zugriff am 05.03.2020)

- ◆ Material 9:
Wagner, H.F. (2017, 17. August). Warum erfolgt Stromübertragung bei hohen Spannungen? *Welt der Physik*. Creative Commons BY-NC-ND 3.0. Informationen unter <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/deed.de>. Verfügbar unter: <https://www.weltderphysik.de/gebiet/technik/energie/strom/hochspannung/> (Zugriff am 16.04.2020)

- ◆ Material 10:
Paschotta, R. (2011). Hochspannungs-Gleichstromübertragung, *RP-Energie-Lexikon*. Verfügbar unter: https://www.energie-lexikon.info/hochspannungs_gleichstromuebertragung.html (Zugriff am 16.04.2020)

- ◆ Material 11:
Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestags (2018). Ausarbeitung. Erdverkabelung von Hochspannungsvorhaben. Aktenzeichen WD 5 – 300 – 014/18. Verfügbar unter: <https://www.bundestag.de/resource/blob/548338/29ff28326d1368cbb110f33485ecfe83/wd-5-014-18-pdf-data.pdf> (Zugriff am 20.04.2020)

- ◆ Material 12:
Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) (2006). Ausbau des Stromtransportnetzes: Technische Varianten im Vergleich. Verfügbar unter https://file1.hpage.com/001205/08/download/dena-faltblatt_freileitung-kabel.pdf (Zugriff am 20.04.2020)

- ◆ Material 13:
50Hertz Transmission GmbH (2012). Broschüre: Verantwortungsvoller Netzausbau. Technologische Möglichkeiten für 380-kV-Übertragungssysteme. Erdkabel und Freileitung – die Technik. Verfügbar unter <https://www.50hertz.com/Portals/1/Dokumente/Netz/Freileitung%20und%20Kabel/Broschüre%20Freileitung%20oder%20Erdkabel.pdf?ver=2018-01-03-181225-033> (Zugriff am 20.04.2020)

- ◆ Material 14:
TenneT TSO GmbH (2020). Erdkabel und Freileitung im Vergleich. Verfügbar unter: <https://www.tennet.eu/de/unser-netz/rund-um-den-netzausbau/erdverkabelung/erdkabel-und-freileitung-im-vergleich/> (Zugriff am 17.04.2020)

- ◆ Material 15:
Hartmann, T. (2015, 06. Oktober). Stromtrassen: Erdkabel kosten Stromkunden Milliarden, *CleanEnergyProject*. Verfügbar unter: <https://www.cleanenergy-project.de/energie/energie-wende/stromtrassen-erdkabel-kosten-stromkunden-milliarden/> (Zugriff am 16.04.2020)

- ◆ Material 16:
Siemens AG (2020). Fact Sheet: Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ). Stand Mai 2020.

- ◆ Material 17:
Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (2019, 28. Oktober). Nachgewiesene Wirkung statischer und niederfrequenter Felder. Verfügbar unter: https://www.bfs.de/DE/themen/emf/kompetenzzentrum/netzausbau/wirkung/nachgewiesen/nachgewiesen_node.html (Zugriff am 17.04.2020)

- ◆ Material 18:
Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (2019, 8. April). Wissenschaftlich diskutierte Wirkungen niederfrequenter Felder. Verfügbar unter: https://www.bfs.de/DE/themen/emf/kompetenzzentrum/netzausbau/wirkung/diskutiert/diskutiert_node.html (Zugriff am 17.04.2020)

- ◆ Material 19:
Wissenschaftsladen Bonn (WILA). Epidemiologische Studien zu Kinderleukämie und Magnetfeldern von Hochspannungsleitungen. Verfügbar unter: <https://www.wilabonn.de/aktuelles/gesundheitstipps/703-kinderleukaemie-magnetfelder-hochspannungsleitungen.html> (Zugriff am 17.04.2020)

- ◆ Material 20:
Maier, A (2018). Elektromog und Magnetfelder durch Hochspannungsleitung und Bahnlinie – Teil 2, *GEOVITAL*. Verfügbar unter: <https://geovital.com/elektrosmog-und-magnetfelder-durch-hochspannungsleitung-und-bahnlinie-teil-2/> (Zugriff am 20.04.2020)

- ◆ Material 21:
Baubiologie Streil (2017, 25. April). Idealer Abstand zu Hochspannungsleitungen. Verfügbar unter: <https://www.baubio-logisch.de/abstand-zu-hochspannungsleitungen> (Zugriff am 20.04.2020)

- ◆ Material 22:
Im Auftrag des IQB erstellt.