

Ein digitales Schulbuch für alle

Barrierefrei und interaktiv von
der Idee bis zur Nutzung

Guidelines



Autor:innen

Maxim Brnic
Sven Degenhardt
Sarah Edelsbrunner
Tom Erdel
Gilbert Greefrath
Hannah Lathan
Vanessa Macchia
Leif Mönter
Bernhard Kargl
Marie-Luise Schütt
Sandra Schön
Stefania Torri
Mike Wetzel

Ko-Autor

Martin Ebner

Veröffentlicht im Dezember 2025

dieses Werk ist lizenziert unter CC BY 4.0 International DEM (Digital Education Material)

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>



Projekt Webseite: <https://www.dem-project.eu/>

Online Guidelines: <https://www.dem-project.eu/guidelines/>

Grafikdesign: CDV

Gedruckt von: CDV

Gedruckt in Luxemburg

Referenznummer: 2023-1-LU01-KA220-SCH-000152286

Das Erasmus+-Projekt wurde kofinanziert durch die Europäische Union.



**Co-funded by
the European Union**

Vorwort

Im Rahmen des Erasmus+-Projekts DEM (Digital Education Material) wurden die vorliegenden Guidelines als eines von drei zentralen Ergebnissen entwickelt. Ausgangspunkt des Projekts (Laufzeit: Dezember 2023 bis Dezember 2025) war die Beobachtung, dass es bislang nur wenige konkrete, systematisch aufbereitete Handreichungen und Referenzbeispiele dafür gibt, wie digitale Schulbücher barrierefrei und zugleich fachdidaktisch hochwertig gestaltet werden können. Vorhandene Standards bilden zwar eine unverzichtbare Grundlage, reichen jedoch nicht aus, um die komplexen Anforderungen qualitativer Barrierefreiheit und inklusiver Unterrichtspraxis vollständig abzubilden.

Das DEM-Projekt verfolgte daher drei miteinander verzahnte Ziele:

- 1. Wissenschaftliche Analyse:** Zunächst wurden systematisch digitale Schulbücher, welche auf den Lehrplänen ausgewählter Schulstufen der Partnerländer stehen, untersucht und bewertet. Diese Analyse umfasste (fach-)didaktische, gestalterische, technische und zugänglichkeitsbezogene Aspekte.
<https://www.dem-project.eu/analysis/>
- 2. Entwicklung von Guidelines:** Basierend auf den Ergebnissen dieser Analyse wurden die vorliegenden Guidelines entwickelt. Sie formulieren praxisorientierte Empfehlungen dafür, wie digitale Schulbücher unter Berücksichtigung von Didaktik, Design, technischen Anforderungen sowie verschiedener Dimensionen von Barrierefreiheit konzipiert, gestaltet und produziert werden können.
<https://www.dem-project.eu/guidelines/>
- 3. Prototypische Umsetzung:** Ergänzend wurde ein digitaler Prototyp entwickelt, der die praktische Umsetzung der Guidelines exemplarisch veranschaulicht und so die Übertragbarkeit in die schulische Praxis demonstriert.
<https://prototypes.dem-project.eu/>

Die Guidelines sind bewusst so angelegt, dass sie sich an unterschiedliche Akteursgruppen richten: Schulbuchentwickler:innen, Autor:innen, Lehrer:innen, Grafiker:innen, Webdesigner:innen, Eltern sowie weitere im Bildungsbereich verantwortliche Personen. Sie dienen als konkrete Handreichung dafür, wie ein Schulbuch fachdidaktisch fundiert, digital und zugleich barrierefrei bzw. inklusiv gestaltet werden kann. Im Sinne einer praxisnahen Orientierung wird im Text immer wieder explizit auf den entwickelten Prototyp verwiesen. Anhand konkreter Beispiele können Leser:innen/Nutzer:innen die beschriebenen Prinzipien online nachvollziehen und direkt auf eigene Entwicklungsprojekte übertragen.

Ein besonderes Merkmal des DEM-Projekts ist seine transdisziplinäre Ausrichtung. An der Erarbeitung aller Produkte des Projektes waren Spezialist:innen aus

unterschiedlichen Fachbereichen/Disziplinen, darunter Mathematikdidaktik, Geografiedidaktik, Blinden- und Sehbehindertenpädagogik, Inklusionspädagogik, und Anwendungsbereichen wie User Experience Design, Inklusion, Design for all, Informatik, Barrierefreiheit und Mediendidaktik, beteiligt. Diese transdisziplinäre Zusammenarbeit war notwendig, um den gesamten Entwicklungsprozess digitaler Schulbücher von der konzeptionellen Planung über die inhaltlich-didaktische Ausarbeitung bis hin zur technischen Realisierung und qualitativen Barrierefreiheit kohärent abzubilden.

Inhaltlich fokussiert sich das DEM-Projekt auf die Schulfächer Geografie (Erdkunde) und Mathematik. Beide Fächer stellen in besonderer Weise Herausforderungen für barrierefreie Gestaltung dar, etwa durch komplexe visuelle Darstellungen, Karten, Diagramme, Formeln oder räumliche Konzepte. Die in diesen Guidelines beschriebenen Methoden, Prozesse und konkreten Umsetzungen wurden daher exemplarisch an mathematischen und geografischen Lehrplaninhalten entwickelt und erprobt, sind aber so formuliert, dass sie auf andere Fächer übertragbar sind.

Unser besonderer Dank gilt Anefore Luxemburg als nationaler Agentur für Erasmus+ für die Unterstützung dieses Projekts sowie allen Partnerinstitutionen und beteiligten Expert:innen, ohne deren Engagement und Expertise die vorliegenden Ergebnisse nicht möglich gewesen wären.

Luxemburg, Dezember 2025

Projektleitung DEM

Tom Erdel CDV

Mike Wetzel CDV

Partner



Centre pour le développement
des compétences
relatives à la vue

CDV - Centre pour le développement des compétences relatives à la vue

Luxemburg

Projektinitiator und -koordinator

Tom Erdel

Mike Wetzell



Graz University of Technology

Technische Universität Graz

Österreich

Sarah Edelsbrunner

Bernhard Kargl

Dr. Sandra Schön

PD Dr. Martin Ebner



Kompetenzzentrum für Inklusion im Bildungsbereich
Centro di Competenza per l'Inclusione scolastica
Zenter de Competenza per l'Incluzion tles Scolines y Scoles

Freie Universität Bozen - Kompetenzzentrum für Inklusion im Bildungsbereich

Italien

Prof. Dr. Vanessa Macchia

Dr. Dr. Stefania Torri



Universität Hamburg
DER FORSCHUNG | DER LEHRE | DER BILDUNG

Universität Hamburg (Fakultät für Erziehungswissenschaft)

Deutschland

Prof. Dr. Sven Degenhardt

Dr. Marie-Luise Schütt



Universität
Münster

Universität Münster

Deutschland

Prof. Dr. Gilbert Greefrath

Maxim Brnic



Universität Vechta
University of Vechta

Universität Vechta

Deutschland

Prof. Dr. Leif Mönter

Dr. Hannah Lathan

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	8
2. Grundlegende Leitlinien für die Erstellung digitaler barrierefreier Schulbücher	10
2.1 Leitlinien zur (Fach-)Didaktik und allgemeinen Didaktik in barrierefreien digitalen Schulbüchern	10
2.2 Leitlinien zur Technik in barrierefreien digitalen Schulbüchern	12
3. Der interdisziplinäre und iterative Entwicklungsprozess	15
3.1 Inklusive Lernziele und Kompetenzen definieren	16
3.2 Methodisch-didaktische Entscheidungen treffen	17
3.2.1 Struktur des digitalen Schulbuchs	17
3.2.1.1 Didaktische Grundprinzipien der Struktur	17
3.2.1.2 Kapitel-, Einheiten- und Aufgabenstruktur	17
3.2.1.3 Adaptive Lernwege	18
3.2.1.4 Seitengestaltung und Werkzeugintegration	19
3.2.1.5 Barrierefreie Umsetzung der didaktischen Struktur	21
3.2.2 Repräsentationen auswählen	22
3.2.2.1 Auswahl und Funktion von Repräsentationen	22
3.2.2.2 Gestaltung und Einbindung der Repräsentationen	24
3.2.2.3 Beispielhafte Repräsentationstypen	25
3.2.2.3.1 Statische Visualisierung (z. B. Diagramme, kartographische Darstellungen)	25
3.2.2.3.2 Linear-dynamische Visualisierung (z. B. Videos, GIFs)	29
3.2.2.3.3 Interaktiv-dynamische Visualisierung (z. B. interaktive Karten, Simulationen, dynamische Geometriesoftware)	32

3.2.2.3.4	Taktil (z. B. 3D-Druck, Schwellpapier).....	36
3.2.2.3.5	Audio (z. B. Podcast, Sprachausgabe).....	38
3.2.3	Interaktive Eingaben implementieren.....	39
3.2.4	Sozial- und Arbeitsformen festlegen und variieren.....	48
3.2.5	Integration digitaler Feedbackmöglichkeiten.....	52
3.2.6	Vernetzungen zwischen Inhalten und Strukturen schaffen.....	57
3.3	Kontinuierliche Qualitätsprüfung durch verschiedene Akteur:innen berücksichtigen	60
4.	Technische Umsetzung des didaktischen Designs und qualitative Barrierefreiheit: Praxisnahe Implementierungen	62
4.1	Statische Visualisierungen	62
4.1.1	Statische responsive Visualisierungen.....	64
4.1.2	Dekorative statische Visualisierungen.....	68
4.2	Alternativtexte für verschiedene Visualisierungen	69
4.2.1	Statische Alternativtexte für statische Visualisierungen nutzen.....	69
4.2.2	Interaktiv-dynamische Alternativtexte für dynamische Visualisierungen nutzen.....	71
4.3	Linear-dynamische Visualisierungen	72
4.3.1	Technologiebasis und semantische Struktur.....	72
4.3.2	Screenreader-Unterstützung und ARIA-Rollen.....	73
4.3.3	Audiodeskription als separate Tonspur.....	73
4.3.3.1	Mehrspurige Mediendatei (empfohlen, wo möglich).....	73
4.3.3.2	Alternative: Zwei getrennte Medienquellen (Fallback-Ansatz).....	74
4.3.4	Gebärdensprachvideos.....	75

4.4	Interaktiv-dynamische Visualisierungen	75
4.4.1	Animationen zur Sequenzierung komplexer Inhalte	75
4.4.2	Interaktiv-dynamischer Slider zur Sequenzierung komplexer Inhalte	77
4.4.3	Barrierefreie Umsetzung einer braillebasierten Pegelanzeige mit dynamischen Alternativtexten	78
4.4.4	Barrierefreie Simulation eines Anspitz-Vorgangs	82
4.4.5	Interaktive Karten barrierefrei umsetzen	86
4.4.6	Einbindung von Desmos	87
4.5	Taktile Repräsentationsformen (3D-Druck)	89
4.6	Interaktive Eingaben technisch barrierefrei umsetzen	92
4.6.1	Ein Web Component als einheitliche Eingabeschnittstelle nutzen	92
4.6.2	Gemeinsames Arbeiten in einem kollaborativen Textfeld	94
4.6.3	Verknüpfungsaufgaben und Drag-and-Drop technisch barrierefrei umsetzen	96
4.6.3.1	Verknüpfungsaufgaben	96
4.6.3.2	Drag-and-Drop	101
4.7	Digitale Feedbackmöglichkeiten: KI-gestütztes Feedback	103
4.8	Einfache Sprache	104
4.9	Weitere technische Umsetzungen: Design und Buchumgebung	105
4.9.1	Profile und Farbschemata	105
4.9.2	Navigation und Orientierung barrierefrei umsetzen	107
4.9.3	Layout und visuelle Strukturierung von Kapiteln, Einheiten und Aufgaben barrierefrei umsetzen	108
5.	Literaturverzeichnis	109
6.	Abbildungsverzeichnis	112

1. Einleitung

Schulbücher sind zentrale Leitmedien im Unterricht. Sie strukturieren Lernprozesse, verbinden Lehr- und Lernperspektiven und tragen maßgeblich zur Qualität schulischen Lernens bei. Mit der fortschreitenden Digitalisierung eröffnen sich neue Möglichkeiten, Schulbücher so zu gestalten, dass sie individuelles, kooperatives und kompetenzorientiertes Lernen gezielt unterstützen. Digitale Schulbücher bieten dabei nicht nur erweiterte didaktische Potenziale, unter anderem durch Interaktivität, Adaptivität und Multimedialität, sondern auch neue Wege, Barrierefreiheit und Teilhabe von Beginn an mitzudenken. So können Lerninhalte für alle Schüler:innen zugänglicher gemacht und unterschiedliche Lernvoraussetzungen, Interessen und Zugänge berücksichtigt werden. Die vorliegenden Guidelines verstehen das digitale Schulbuch daher als didaktisch fundiertes Lehr- und Lernbuch, das Lehrkräfte bei der Unterrichtsgestaltung unterstützt und allen Lernenden vielfältige, chancengerechte Zugänge eröffnet sowie die flexible Gestaltung der Lernumgebungen von Anfang an ganz im Sinne des *Universal Design for Learning* (UDL) (CAST, 2024; UNICEF, 2019, S. 8) berücksichtigt.

Digitale Schulbücher sollten von Anfang an barrierefrei konzipiert und produziert werden – nach der „*Born Accessible*“ Strategie. Eine nachträgliche barrierefreie Anpassung und Digitalisierung ist, wenn überhaupt möglich, meist mit höherem Aufwand verbunden.

Diese Guidelines sollen dazu anregen, digitale Schulbücher als didaktisch fundierte, inklusive und lernwirksame Ressourcen neu zu denken. Sie stellen konkrete Richtlinien zur barrierefreien Gestaltung und praxisnahe Beispiele, die das didaktische Potenzial digitaler Formate unter Berücksichtigung eines universellen Designs sichtbar und nutzbar machen, für verschiedene Akteur:innen bereit. Sie richten sich an Entwickler:innen von Lehr- und Lernmaterialien, Schulbuchverlage, Akteur:innen aus Politik und Wirtschaft, Fachkräfte aus Didaktik und Inklusionspädagogik, Eltern, Schüler:innen sowie Multimediadesigner:innen (Content-Creator:innen, IT-Fachkräfte). Schließlich kann nur im interdisziplinären Austausch eine nachhaltige barrierefreie Gestaltung gelingen. Digitale Schulbücher entstehen dabei im Spannungsfeld zwischen technischer Machbarkeit, didaktischer Sinnhaftigkeit und inklusivem Anspruch.

In **Kapitel 2** finden sich grundlegende Leitlinien für die Erstellung digitaler barrierefreier Schulbücher aus den Perspektiven Fachdidaktik, Technik und Design. Diese Leitlinien sind stets die Basis für die Gestaltung der Schulbücher Einheiten und Aufgaben.

In **Kapitel 3** wird anhand der Phasen des Entwicklungs- und Gestaltungsprozesses skizziert, welche Richtlinien bei der barrierefreien Gestaltung digitaler

Schulbücher zu beachten sind: von der Definition inklusiver Lernziele über die methodisch-didaktische Gestaltung, die Auswahl der Repräsentationsformen und Eingabemöglichkeiten, die Wahl der Sozial- und Arbeitsformen, die technische Umsetzung bis hin zu Feedbackmöglichkeiten, Vernetzung und kontinuierliche Qualitätssicherung.

In **Kapitel 4** wird die technische Umsetzung in größerem Detailgrad beschrieben. Kapitel 4 richtet sich vor allem an Personen, die mit der technischen Umsetzung von digitalen barrierefreien Schulbüchern betraut sind.

2. Grundlegende Leitlinien für die Erstellung digitaler barrierefreier Schulbücher

2.1 Leitlinien zur (Fach-)Didaktik und allgemeinen Didaktik in barrierefreien digitalen Schulbüchern

Ein zeitgemäßes digitales barrierefreies Schulbuch muss sich an aktuellen Erkenntnissen der Lehr-Lernforschung orientieren und zugleich die Bedürfnisse von Lehrkräften und Lernenden berücksichtigen (vgl. Macgilchrist, 2020). Ausgangspunkt der Konzeption sollten daher **klar ausgewiesene Lernziele, Kompetenzen sowie Prinzipien für qualitätsvollen Unterricht** sein. Diese bilden den Referenzrahmen für die Auswahl der Inhalte, die didaktische Aufbereitung sowie die Integration spezifischer Funktionen und Darstellungsformen. Darüber hinaus sollte das Schulbuch einen sequenziellen Aufbau aufweisen, der Lernprozesse strukturiert, aufeinander aufbaut und die schrittweise Entwicklung von Kompetenzen unterstützt.

Die Gestaltung sollte sich an etablierten Modellen wie den **Prinzipien des Multimedialen** Lernens (Mayer, 2005) orientieren. Diese beruhen auf der Annahme, dass Materialien so gestaltet sein müssen, dass sie die kognitiven Ressourcen der Lernenden nicht überlasten (Cognitive Load Theory) (Sweller, 2020). Besonders relevant ist zudem eine konsequente Ausrichtung am Ansatz des **Universal Design for Learning (UDL)** (CAST, 2025). Dieses bietet ein Rahmenkonzept, um digitale Schulbücher und Lernumgebungen von Beginn an zugänglich, flexibel und inklusiv zu gestalten. Die Gestaltung nach dem UDL zielt darauf ab, Lernumgebungen so zu planen, dass sie von vornherein möglichst vielen Lernenden gerecht werden, u. a. durch das Bereitstellen multipler Zugänge, Darstellungsformen und Ausdrucksmöglichkeiten (z. B. Wahlmöglichkeiten zwischen unterschiedlichen Visualisierungen, Interaktionsformen oder Eingabemöglichkeiten). Auf diese Weise werden Barrieren bereits in der Schulbuchkonzeption reduziert und Chancengleichheit sowie Teilhabe gefördert.

Darüber hinaus sollte ein digitales Schulbuch Lernprozesse **kognitiv aktivierend und verstehensorientiert** gestalten (vgl. Prediger et al., 2022). Kognitive Aktivierung bedeutet, Lernende zum Nachdenken, Begründen und Anwenden ihres Wissens anzuregen. Verstehensorientierung zielt darauf ab, Zusammenhänge transparent zu machen und das Erkennen von Konzepten und Strukturen zu fördern. Angebote für **Kommunikation und kooperatives Arbeiten** schaffen nicht nur Räume für Austausch, Perspektivübernahme und gemeinsames Problemlösen, sondern fördern auch die sprachliche Ausdrucksfähigkeit sowie die Fähigkeit, Gedanken zu

strukturieren, Argumente zu formulieren und Wissen gemeinsam zu konstruieren (vgl. Deci & Ryan, 1993). Eine systematische **Vernetzung** der Inhalte, etwa durch Verlinkungen zwischen Aufgaben, begleitende Erklärungen, vertiefende Beispiele oder interaktive Zusatzangebote, unterstützt dieses interessengetriebene Lernen und den Aufbau vernetzter Wissensstrukturen.

Empirische Befunde belegen, dass bestimmte **gestalterische und technologische Elemente** lernförderlich wirken (z. B. Brnic et al., 2024). So kann insbesondere die Nutzung dynamischer **Visualisierungen** positive Effekte auf das Verständnis zeigen, beispielsweise wenn sie spezifische Veränderungen verdeutlichen, die in statischen Abbildungen nur schwerer nachzuvollziehen sind (vgl. Ploetzner et al., 2021). Darüber hinaus eröffnen **Interaktivität und multimediale Formate** neue Möglichkeiten, Lernende aktiv einzubinden und an ihr Vorwissen anzuknüpfen (vgl. Mayer, 2005). **Adaptivität** und gezieltes **Feedback** tragen wesentlich dazu bei, Lernende individuell zu unterstützen (vgl. z. B. van der Kleij et al., 2015). Die Einbindung von **Künstlicher Intelligenz** kann diese Ansätze weiter unterstützen, indem adaptive Lernangebote, personalisierte Hilfestellungen oder elaborierte Feedbacksysteme bereitgestellt werden. Entscheidend ist, dass Feedback nicht auf dichotome Rückmeldungen (richtig/falsch) beschränkt bleibt (vgl. Bimba et al., 2017).

Die Gestaltung eines digitalen barrierefreien Schulbuchs sollte eine hohe **Varianz an Aufgabentypen und Methoden** bereithalten. Unterschiedliche Zugänge – beispielsweise variierende Schwierigkeitsniveaus, alternative Bearbeitungswege oder Gamification-Elemente – tragen zur Motivation und Differenzierung bei.

Bei der Konzeption eines digitalen barrierefreien Schulbuchs müssen **Lehrkräfte und Lernende gleichermaßen berücksichtigt** werden. Lehrkräfte benötigen Materialien, die sie gezielt für eine heterogene Lerngruppe auswählen und anpassen können. Lernende wiederum brauchen Angebote, die eigenständiges Arbeiten ermöglichen und individuelle Lernwege unterstützen. Ein digitales Schulbuch kann dies leisten, wenn es flexible **Differenzierungsoptionen**, z. B. Wahlmöglichkeiten, Zusatzaufgaben zur Vertiefung, Hilfestufen oder adaptive Unterstützungssysteme, sowie **sprachsensible Aufbereitungen** bietet, z. B. durch das Aufgreifen der Alltagssprache und die Hinführung zur Fachsprache (vgl. etwa Leisen, 2017; vgl. Ianes & Macchia, 2008). Darüber hinaus sind diagnostisch nutzbare Aufgaben zentral, die Lernstände sichtbar machen, typische Fehlvorstellungen aufgreifen und gezielte Rückmeldungen ermöglichen.

Damit alle an der Nutzung beteiligten Gruppen die Potenziale digitaler Schulbücher ausschöpfen können, ist eine **gezielte Einführung** notwendig. Diese kann durch Elemente im Schulbuch selbst unterstützt werden, etwa durch didaktisch-methodische Kommentare, interaktive Hilfen oder begleitende Tutorials. Der Aneignungsprozess neuer digitaler Formate erfordert Zeit, Begleitung und klare Strukturen. Dies gilt insbesondere beim Übergang von gedruckten zu digitalen Schulbüchern.

Das Schulbuch wird nicht länger als statische Sammlung von Inhalten verstanden, sondern als **dynamische didaktische Ressource**, die Lehrkräfte befähigt, Lernprozesse adaptiv und lernendenorientiert zu gestalten, und Lernenden vielfältige, empirisch fundierte Zugänge zum Verstehen eröffnet. Die Umsetzung eines digitalen Schulbuchs erfordert dabei eine **fachbezogene Perspektive**, da Lernprozesse, Darstellungsformen und geeignete digitale Werkzeuge je nach Fach unterschiedliche Anforderungen und Potenziale aufweisen, etwa die Nutzung dynamischer Geometriesoftware in der Mathematik oder digitale Kartenanwendungen in der Geografie. Ein zeitgemäßes digitales barrierefreies Schulbuch verbindet somit allgemeine Gestaltungsprinzipien mit den spezifischen Anforderungen der jeweiligen Disziplin.

Digitale und analoge Lehr- und Lernmaterialien können gemeinsam den Lernprozess sinnvoll unterstützen. Ein wichtiges Prinzip des Universal Design ist dabei die Möglichkeit der Wahl: Lernende sollen auch entscheiden können, ob sie digitale oder gedruckte Materialien nutzen. Deshalb sollten Unterrichtsformen berücksichtigt werden, die zwischen beiden Formaten wechseln oder sie miteinander kombinieren. Das ist besonders wichtig, um inklusives Lernen zu ermöglichen.

2.2 Leitlinien zur Technik in barrierefreien digitalen Schulbüchern

Barrierefreiheit ist eine grundlegende Anforderung an das gesamte technische System und von Beginn an **in Konzeption, Architektur und Implementierung verbindlich zu berücksichtigen**; sie ist **kein nachgelagerter Zusatz**. Nachträgliche Anpassungen („Nachrüsten“) sind in digitalen Schulbüchern typischerweise sehr aufwändig, fehleranfällig und teils technisch nicht mehr umsetzbar.

Aus technischer Sicht empfiehlt sich eine **klare Trennung zwischen (a) der Buchumgebung, also dem „Reader“ und (b) den einzelnen, darin eingebetteten Inhalten (Kapitel, Einheiten, Aufgaben)**. Die Reader-Umgebung stellt buchübergreifende Funktionen bereit (z. B. Navigationsstruktur, Lesezeichen, Benutzerprofil- und Präferenzverwaltung), während die Einheiten und Aufgaben eigenständige Interaktionen und Darstellungen umfassen, die nur kontextbezogen relevant sind. Dieser modulare Aufbau (Architektur) erleichtert sowohl Konsistenz als auch Interaktionen mit dem Inhalt und unterstützt das einfache Testen von Accessibility-Anforderungen. Die Navigationsgestaltung folgt dem Prinzip der kognitiven Entlastung durch eine klare hierarchische Struktur mit globaler, buchspezifischer und lokaler Navigation. Kontextsensitive Werkzeuge, also Tools, die nur bei bestimmten Aufgabentypen oder in bestimmten Kontexten relevant sind, sind so zu platzieren, dass sie den Arbeitsfluss unterstützen, ohne permanent präsent zu sein.

Die normative Grundlage bilden die **WCAG 2.2 für Webinhalte** (W3C World Wide Web Consortium, 2025). Sie definieren überprüfbare Mindestanforderungen in den Bereichen Struktur, Semantik, Wahrnehmbarkeit, Bedienbarkeit und Robustheit digitaler Inhalte und werden als Standard für Anforderungsspezifikation, Entwicklung und Qualitätssicherung herangezogen (ETSI, 2021 (WCAG 2.2). W3C Recommendation).

Für interaktive, adaptive Schulbuchinhalte ist eine **Web-Umsetzung mit HTML, CSS und JavaScript** in der Regel zweckmäßig, denn sie ermöglicht:

- ▶ **Kompatibilität mit assistiven Technologien** (Screenreader, Bildschirmleupe, Spracheingabe-Tools, Steuerungstools als Alternative zur Maus, ...) durch eingebaute Elemente und zugrunde liegende Accessibility-APIs; ARIA, also spezielle Zusatzattribute und -hinweise für assistive Technologien, sollen nur ergänzend zum Einsatz kommen, wo keine eingebauten (nativen) Muster existieren.
- ▶ **Interaktivität und Adaptivität** (zustandsabhängige Komponenten, responsive Anpassungen des Layouts und der Inhalte je nach Endgerät (Reflow), nutzerpräferenzbasierte Darstellungen) für heterogene Bedürfnisse.
- ▶ **Plattformunabhängigkeit und Wartbarkeit** durch offene Standards und standardisierte Entwicklungs- und Testprozesse.

Alle Interaktionen sind so zu gestalten, dass sie auch mit assistiven Technologien (Screenreader, Vergrößerung, Sprach-/Tastatursteuerung, alternative Eingaben) vollumfänglich bedienbar sind. Dazu gehören:

- ▶ **klare Fokusführung** – Nutzer:innen von assistiven Technologien müssen in einer logischen Reihenfolge durch die Bücher, Einheiten und Aufgaben navigieren können und dürfen nicht in einer Sackgasse landen
- ▶ **semantische Beschriftungen** – Elemente wie Buttons, Eingabefelder etc. müssen so beschriftet sein, dass ihr Zweck klar ist
- ▶ **Zustandskommunikation** – Nutzer:innen von assistiven Technologien müssen informiert werden, wenn sich Zustände ändern und z. B. Buttons aktiviert werden oder Werte sich ändern
- ▶ **ausreichende Zielgrößen** von Feldern, Buttons etc., die angeklickt werden müssen
- ▶ **robuste Fehlermeldungen**, die konkrete Hinweise auf den Fehler geben und verständlich sind

Eine flexible Anpassung visueller Parameter über das gesamte Schulbuch hinweg wird durch **CSS**, insbesondere CSS-Variablen, ermöglicht, während CSS Grid und Flexbox responsive Layouts ermöglichen, die sich an unterschiedliche Bildschirmgrößen anpassen. Die Verwendung von Component Frameworks wie

daisyUI in Verbindung mit **Tailwind CSS** bietet vordefinierte, barrierefreie UI-Komponenten, die durch konsistente Implementierung von Fokus-Indikatoren, Tastaturnavigation und Screenreader-Kompatibilität die Entwicklungseffizienz erhöhen, ohne Kompromisse bei der Zugänglichkeit einzugehen.

Zusätzlich tragen die eingesetzten Komponenten des User Interface dazu bei, eine klare und einheitliche Gestaltung sicherzustellen:

- ▶ Aufbau einer **konsistenten visuellen Sprache** über alle Kapitel und Inhalte hinweg, siehe Kapitel 2.1
- ▶ Sicherstellung, dass gleiche UI-Komponenten überall identisch aussehen und sich gleich verhalten
- ▶ **Konsistente Farbcodierung**, um Orientierung und Zugänglichkeit zu fördern
- ▶ Einsatz von **wiedererkennbaren Gestaltungsmustern** für gleiche Funktionen, um ein intuitives Nutzungserlebnis zu gewährleisten

3. Der interdisziplinäre und iterative Entwicklungsprozess

Das Projekt DEM hat gezeigt, dass für die Entwicklung digitaler barrierefreier Schulbücher vor allem **die interdisziplinäre Zusammenarbeit aus Fachpersonen für Didaktik unterschiedlicher Disziplinen, Fachleute für Inklusion, Technik und Barrierefreiheit sowie Personen, die selbst assistive Technologien nutzen oder Einschränkungen haben** und die daraus gewonnenen unterschiedlichen Perspektiven zentral sind.

Der Prozess der Entwicklung von interaktiven, digitalen und barrierefreien Inhalten ist nicht linear, sondern **iterativ**. Wird an einer Stelle festgestellt, dass die didaktischen Anforderungen technisch nicht umsetzbar sind, oder umgekehrt, dass sich durch die technischen Möglichkeiten neue Kompetenzprofile und Aufgabentypen ergeben, beginnt der Gestaltungsprozess von einzelnen Elementen oder Aufgaben immer wieder von vorne.

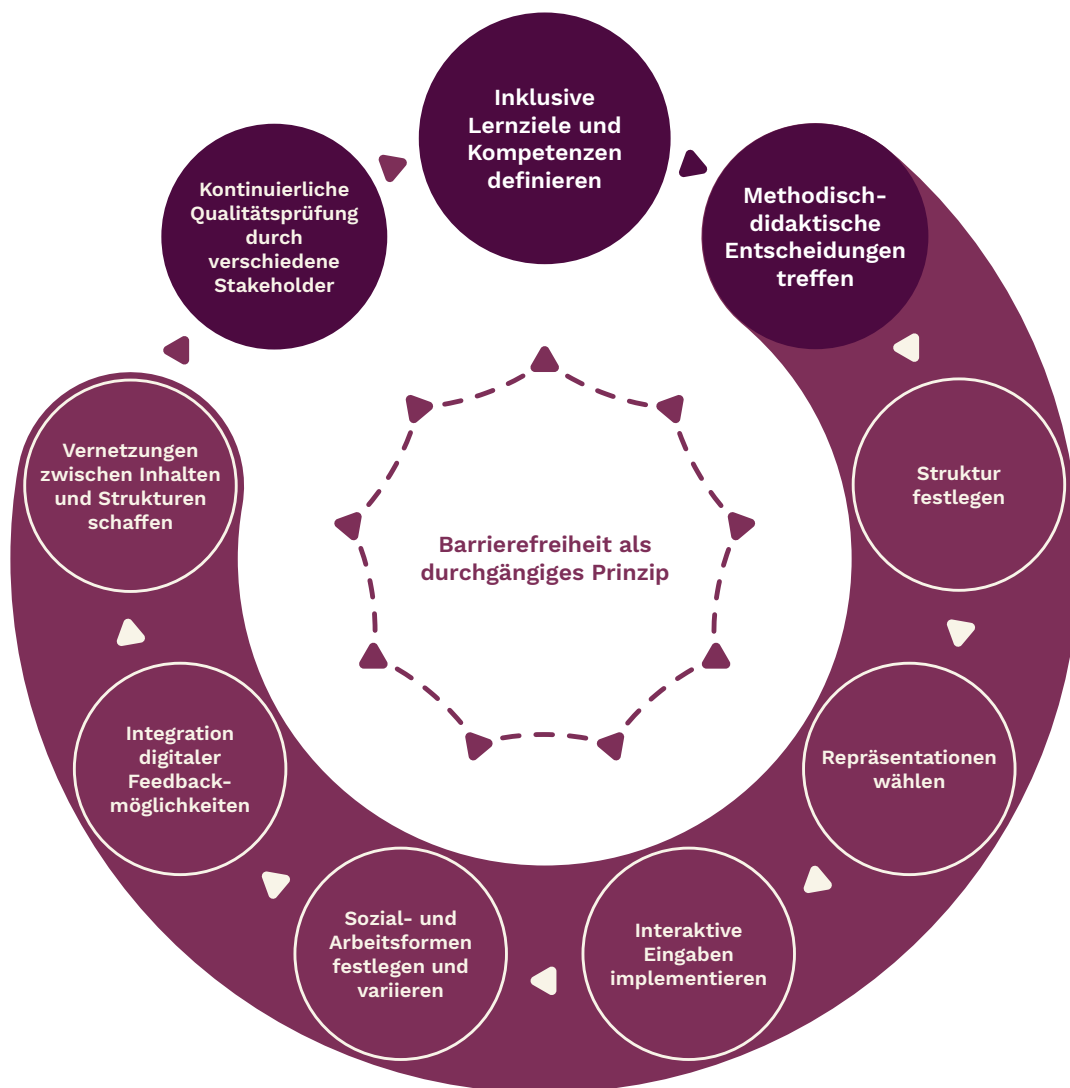


Abb. 1 Diagramm des iterativen Entwicklungsprozesses

Aufzählungspunkte stellen einzelne Guidelines und Hinweise dar. **Die Texte in den Kästchen** präsentieren ausgewählte Umsetzungen aus dem Prototyp mit spezifischen Erläuterungen, die nicht durch allgemeine Richtlinien abgedeckt werden. **Screenshots** aus dem Prototyp veranschaulichen die Beispiele. Über die jeweiligen Links können interaktive Beispiele auch direkt im Prototyp ausprobiert werden. Technische Details werden in **Kapitel 3** nur soweit notwendig erwähnt. Weiterführende technische Informationen sind in **Kapitel 4** zu finden.

3.1 Inklusive Lernziele und Kompetenzen definieren

Die Grundlage für die Entwicklung digitaler, interaktiver und barrierefreier Lehr- und Lernmaterialien sowie für die konzeptuelle Gestaltung des digitalen Schulbuchs ist die **klare Festlegung von Lernzielen und Kompetenzen**, die abgebildet und gefördert werden sollen. Diese bilden das **Fundament für alle weiteren Entscheidungen im Entwicklungsprozess**. Bereits in dieser frühen Phase müssen Aspekte der Barrierefreiheit und Inklusion systematisch berücksichtigt werden. Die Lernziele sollten so definiert sein, dass sie **allen Lernenden den Zugang und die Teilhabe** ermöglichen, unabhängig von individuellen Fähigkeiten, Bedürfnissen oder technischen Voraussetzungen. Lernziele sollten **verschiedene Lernwege** zulassen. Dadurch wird Vielfalt als Stärke verstanden und unterstützt. Eine inklusive Lernzielfestlegung berücksichtigt individuelle Stärken, ohne das Anspruchsniveau zu senken. So bleiben Lernmaterialien sowohl herausfordernd als auch zugänglich.

Gestaltungsgrundsätze:

Lehrplanbezug sicherstellen: Das digitale Schulbuch orientiert sich konsequent an den im Curriculum definierten Kompetenzen und Inhalten. Dabei bilden die curricularen Kompetenzen die Regelstandards. Das Schulbuch darf und soll auch über diese hinausgehen, indem es Vertiefungen, Erweiterungen und kreative Lernwege anbietet.

- ▶ **Lernziele und Kompetenzen als Grundlage:** Kapitel, Einheiten und Aufgaben werden aus klar formulierten Lernzielen abgeleitet. Leitfragen oder Problemstellungen dienen dabei als sichtbare Orientierungselemente für Lernende und Lehrkräfte.
- ▶ **Ganzheitlicher Kompetenzaufbau:** Neben fachlichen und prozessbezogenen Lernzielen fördert das Schulbuch auch methodische, (meta-)reflexive, soziale und digitale Kompetenzen. So eröffnet es erweiterte Lernchancen.
- ▶ **Vielfältige Zugänge und Repräsentationsformen ermöglichen:** Unterschiedliche Wege können zu denselben Lernzielen führen. Im Sinne des Universal Design for Learning (UDL) und unter Berücksichtigung der Prinzipien des multimedialen Lernens werden Alternativen bei der Aufgabebearbeitung angeboten, sofern sie dem intendierten Kompetenzerwerb dienen.
- ▶ Der gezielte Einsatz interaktiver digitaler Elemente schließt analoge Arbeitsformen ausdrücklich nicht aus, sondern erweitert sie um **neue Lernzugänge**.

3.2 Methodisch-didaktische Entscheidungen treffen

3.2.1 Struktur des digitalen Schulbuchs

3.2.1.1 Didaktische Grundprinzipien der Struktur

Die Struktur dient als roter Faden, der Lernprozesse systematisch aufbaut, allen Lernenden Orientierung gibt und zugleich Raum für individuelle Lernwege lässt.

- ▶ Die Struktur des digitalen Schulbuchs und der untergeordneten Ebenen (Kapitel, Einheiten, Aufgaben) orientiert sich an den **fachspezifischen Kompetenzen**, die im jeweiligen Curriculum festgelegt sind (vgl. 3.1).
- ▶ Dabei bilden **didaktische Überlegungen und lernförderliche Strukturen**, d. h. nicht technische Möglichkeiten, den Ausgangspunkt der Gestaltung.
- ▶ Die Reihenfolge, Auswahl und Verknüpfungen der Kapitel, Einheiten und Aufgaben orientieren sich an **aktuellen empirischen Befunden** der Lehr- und Lernforschung.
- ▶ Die Konzeption orientiert sich an fachspezifischen und fächerübergreifenden **didaktischen Prinzipien** wie kognitiver Aktivierung, Ziel- und Verstehensorientierung, Lernendenorientierung, Adaptivität, Metareflexion, systemisches Denken, Lebensweltnähe, Kommunikationsförderung, Durchgängigkeit und Handlungsorientierung.

3.2.1.2 Kapitel-, Einheiten- und Aufgabenstruktur

- ▶ Jedes **Kapitel** folgt einer wiedererkennbaren, konsistenten Struktur mit klar gegliederten Lehr- und Lernphasen (**Einheiten**). Diese sind für Lernende und Lehrkräfte nachvollziehbar (z. B. durch Icons, Untertitel oder wiederkehrende Begriffe). Jede Einheit kann aus einzelnen Aufgaben und weiteren ergänzenden Elementen, wie Merkkästen oder Links etc., bestehen.
- ▶ Strukturierungsempfehlung für **Einheiten**:
 1. **Check-in** – Motivation aufbauen, Schüler:innenvorstellungen erheben
 2. **Erforschen** – Einstieg in die Thematik, Vorwissen aktivieren, Leitfrage entwickeln, erste Hypothesen bilden, entdeckendes Lernen
 3. **Erklären** – selbstständige, ggfs. schrittweise Erläuterung des Sachverhaltes oder Erklärung der Problemstellung, kooperatives Arbeiten
 4. **Üben** – Inhalte festigen, Strategien erproben, Rückmeldung(en) erhalten
 5. **Vertiefen** – Wissen anwenden, reflektieren, auf neue Kontexte übertragen (Transfer)
 6. **Wissensspeicher** – Zusammenfassungen zentraler Begriffe, Ideen, Zusammenhänge, Lehrtext
- ▶ Die Struktur **findet sich** kapitelübergreifend innerhalb eines Schulbuchs sowie fächerübergreifend in Schulbüchern einzelner Fächer **wieder**.

Beispiel: Kapitelstruktur

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=3&chapter=1&login=student>

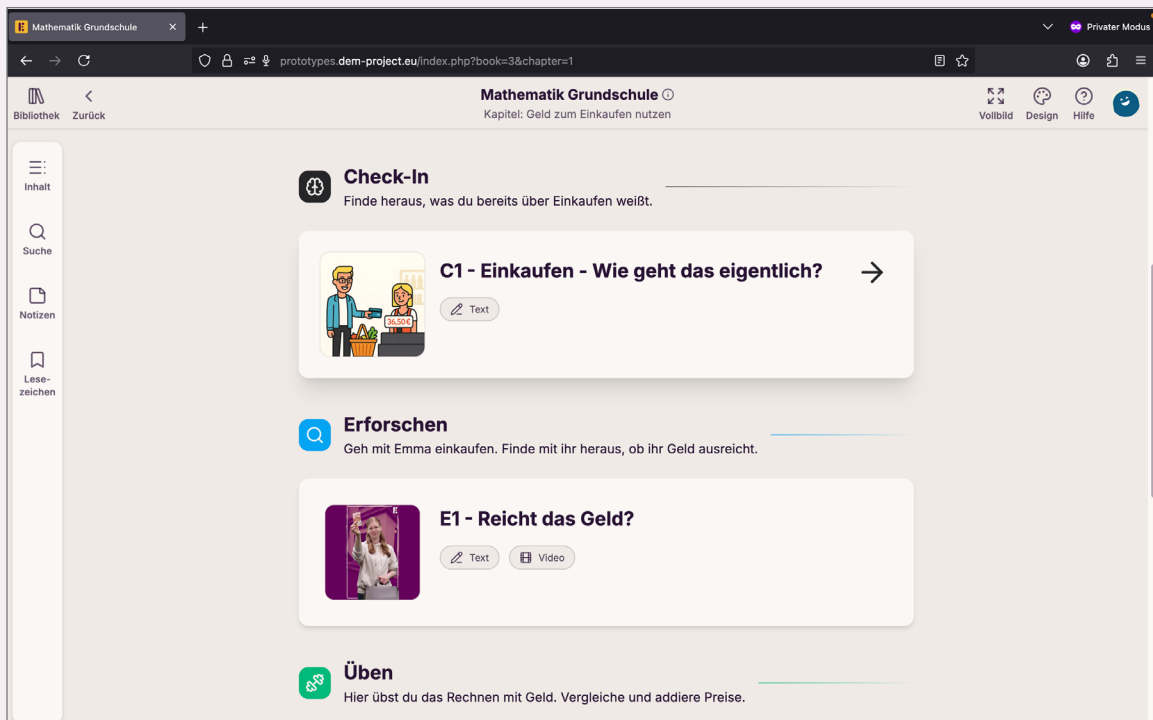


Abb. 2 Screenshot einer Kapitelübersicht

Das Kapitel ist in die Abschnitte Check-in, Erforschen, Erklären, Üben und Vertiefen gegliedert. Eine klare Farbgebung und Icons helfen bei der Orientierung. Kleine dekorative Bilder, die sich auch in der jeweiligen Aufgabe wiederholen, bilden in dem Buch für die Grundschule einen visuellen Anker.

3.2.1.3 Adaptive Lernwege

- ▶ Die Struktur auf Kapitel- und Aufgabenebene ermöglicht **adaptierbare und individualisierte Lernwege**. Vordefinierte Lernpfade können Orientierung bieten. Diese sollten aber **flexibel** gestaltet sein, um unterschiedlichen Lernvoraussetzungen und Lernstrategien gerecht zu werden.
- ▶ Die Lernenden können eigene Lernwege wählen oder die Lehrkraft kann gezielt passende Aufgaben heraussuchen.
- ▶ Die Struktur macht bereits deutlich, dass die Aufgaben und Materialien **verschiedene Lernzugänge und unterschiedliche Niveaustufen berücksichtigen**.

Beispiel: Adaptive Lernwege

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=2&chapter=1§ion=2&exercise=2&login=student>

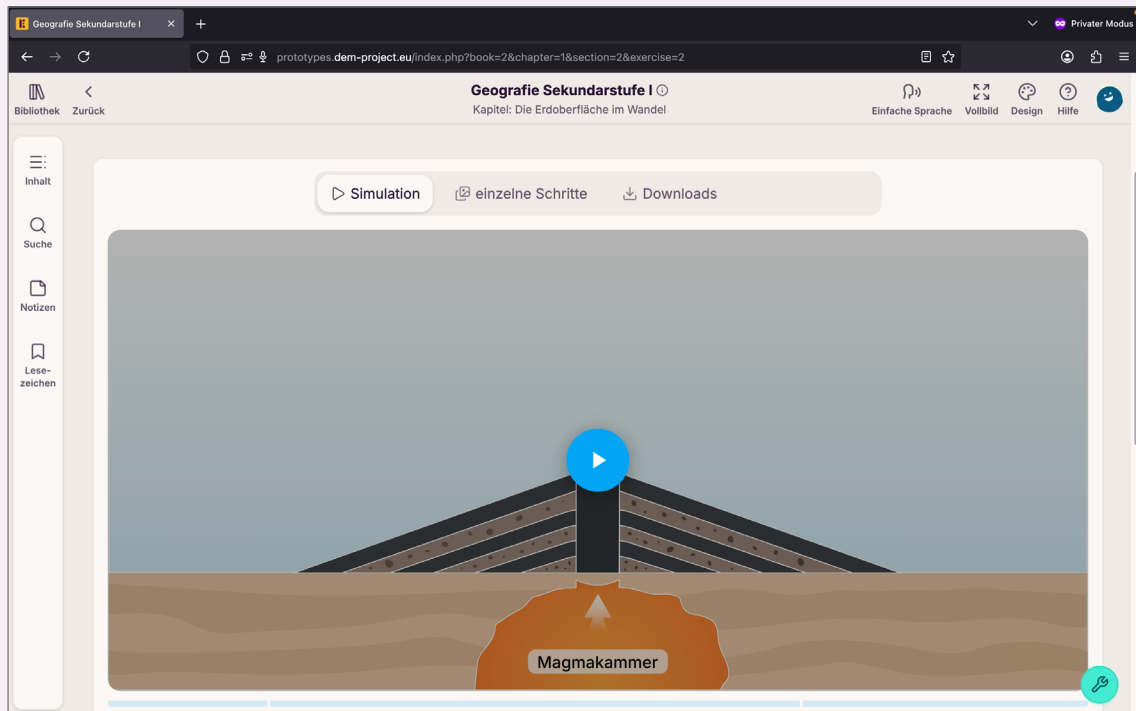
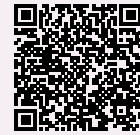


Abb. 3 Auswahlmöglichkeit verschiedener Repräsentationsformen

Im Prototyp stehen an unterschiedlichen Stellen mehrere Repräsentationsformen oder Materialien zur Verfügung, mit denen für die Lösung gearbeitet werden kann (hier: Simulation, interaktive Darstellung, Download für Schwellpapiergrafik und 3D-Modell). Auf diese Weise können Lernende selbst auf Basis der individuellen Fähigkeiten und Fertigkeiten auswählen, womit sie arbeiten möchten. Das Lernmaterial adaptiert sich an den Lernenden. Dies erhöht die Selbstbestimmung, schafft Motivation und die bestmögliche Erinnerung des Gelernten.

Die Darstellung als einzelne Tabs anstatt Anordnung untereinander soll verdeutlichen, dass es sich hier um eine Auswahl an Repräsentationsformen handelt, die alle gleichwertig verwendet werden können, und dass diese nicht nacheinander „abgearbeitet“ werden müssen.

3.2.1.4 Seitengestaltung und Werkzeugintegration

- ▶ **Ergänzende Hinweise für Lehrkräfte**, z. B. zu möglichen digitalen oder analogen Arbeitsformen, die direkt in der Buchstruktur verankert sind, unterstützen die gezielte Planung, Binnendifferenzierung und Unterrichtsdurchführung.
- ▶ Die **strukturierte Gestaltung** ermöglicht, dass Inhalte kapitel- und jahrgangsübergreifend miteinander verknüpft werden können (siehe Kapitel 3.2.6).

- Eine Seite ist so gestaltet, dass alle relevanten Informationen, Aufgaben und Werkzeuge **gleichzeitig sichtbar** sind.
- Der Wechsel zwischen verschiedenen Fenstern, Ansichten oder starkes Scrollen sollte vermieden werden, um **kognitive Belastung zu reduzieren** und flüssige Lernprozesse zu ermöglichen. Gleichzeitig sollten die Lernenden nicht mit Informationen überfrachtet werden.

Beispiel: Seitengestaltung und Werkzeugintegration

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=3&chapter=1§ion=2&exercise=2&login=student>

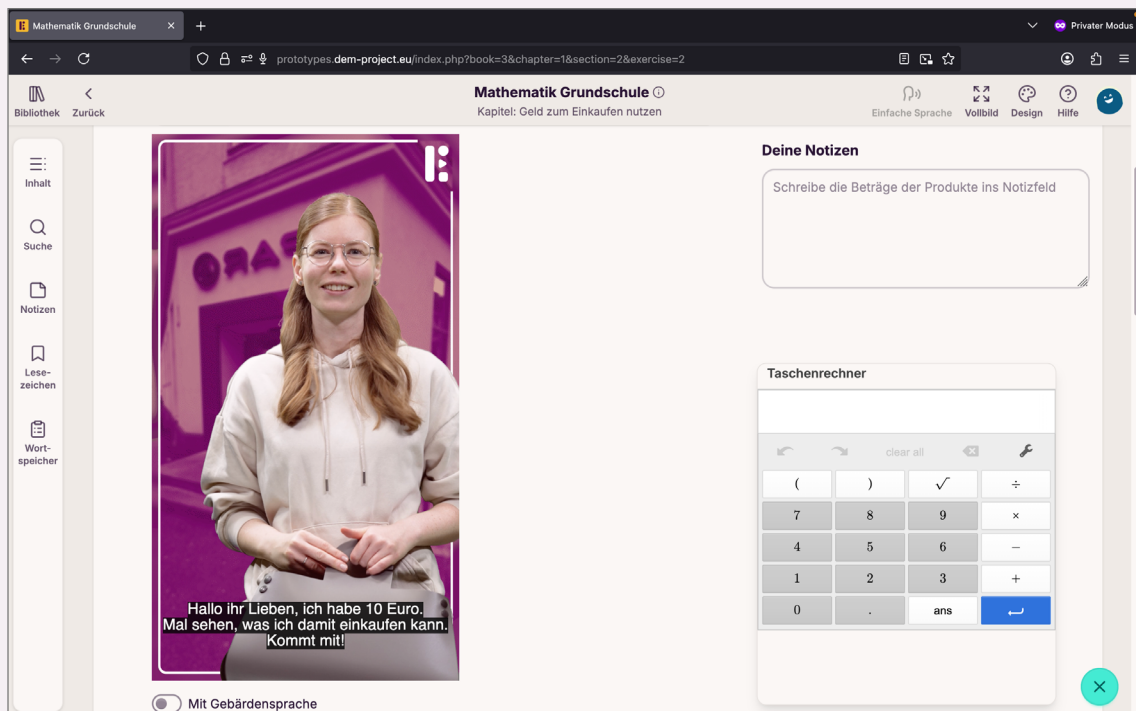


Abb. 4 Ansicht einer Aufgabe mit Video, Notizfeld und Taschenrechner

Video, Notizfeld und Taschenrechner sind gleichzeitig sichtbar, sodass der gesamte Arbeitsprozess in einer Umgebung stattfindet. Die räumliche Nähe reduziert kognitive Belastung und unterstützt ein flüssiges, handlungsorientiertes Arbeiten. Informationen aus dem Video können direkt verarbeitet und mathematisch weiterverwendet werden. Die Integration des Taschenrechners erleichtert den Wechsel zwischen den für die Aufgabe relevanten Elementen: Repräsentation, Eingabefeld und Werkzeug.

Für die Aufgabe steht eine Alternative zum Video als Text zur Verfügung. Das Notizfeld und dessen Inhalte bleiben auch beim Wechsel auf die Textalternative bestehen, sodass Lernende während der Lösung der Aufgabe beliebig zwischen Repräsentationsformen wechseln können.

3.2.1.5 Barrierefreie Umsetzung der didaktischen Struktur

Bei der Festlegung der didaktischen Struktur sollten die folgenden **technischen und Barrierefreiheits-Aspekte** von Anfang an mitgedacht werden, damit das digitale Schulbuch technisch robust und WCAG-konform umgesetzt werden kann:

- ▶ **Semantik vor Styling:** Native HTML-Elemente benutzen.
- ▶ **Klare Struktur:** Alle Überschriften müssen als solche gekennzeichnet sein. Eine Überschrift 1 pro Seite/Ansicht, danach die hierarchische Abfolge der Überschriftenebenen.
- ▶ **Bedienbarkeit per Tastatur:** Alle Elemente mit Tastaturnavigation erreichbar (Tab/Shift+Tab/Enter/Space/Arrow-Keys; sichtbarer Fokus; keine „Tabfallen“).
- ▶ **Sinnvolle „landmarks“ setzen,** damit Lernende schnell zu bestimmten wichtigen Abschnitten springen können.
- ▶ **Positionsanzeige durchgängig gewährleisten:** Aktuelle Position im Inhaltsverzeichnis markieren und Breadcrumb-Navigation bereitstellen.
- ▶ **Werkzeuge kontextabhängig bereitstellen:** Digitale Tools nur anzeigen, wenn sie für die aktuelle Aufgabe relevant sind.
- ▶ **Räumliche Nähe von Aufgaben und Werkzeugen sicherstellen,** um kognitive Belastung zu reduzieren.
- ▶ **Nutzer:innen von assistiven Technologien** wie z. B. Screenreader können Werkzeuge nicht parallel verwenden, aber auch für diese Zielgruppe müssen alle Werkzeuge auf eine verständliche und steuerbare Weise zugänglich sein und die Navigation in einer sinnvollen Reihenfolge passieren.

Beispiel: Barrierefreie Umsetzung der didaktischen Struktur

Die Navigation gliedert sich in drei Ebenen: Die Top-Navigation bietet buchübergreifende Funktionen wie Benutzerprofilwechsel, globale Einstellungen und Hilfe. Die Seitenleisten (Sidebars) enthalten buchspezifische Elemente wie das Inhaltsverzeichnis mit Positionsmarkierung, persönliche Notizen und Lesezeichen sowie fachspezifische Zusatzinformationen. Ein schwebendes Werkzeugmenü (FAB - Floating Action Button) stellt kontextsensitive Tools wie Taschenrechner oder KI-Assistenz bereit, die frei positionierbar sind.

Breadcrumbs und Positionsanzeigen machen den aktuellen Standort jederzeit nachvollziehbar, während kontextsensitive Werkzeuge in unmittelbarer Nähe zu den Aufgaben den Arbeitsfluss unterstützen. Das Layout nutzt eine einspaltige Struktur, klar abgegrenzte Aufgabencontainer und setzt Weißraum gezielt ein, um nicht überladen zu wirken. Icons werden stets mit Textlabels kombiniert, und auf dekorative Elemente ohne didaktischen oder motivationalen Mehrwert wird bewusst verzichtet.

Weitere technische Hinweise finden sich in Kapitel 4.9.2.

3.2.2 Repräsentationen auswählen

Repräsentationen stellen Wissen, Inhalte oder Konzepte dar, die im Lehr-Lern-Prozess aufgebaut oder vermittelt werden. Sie können **visuell** (z. B. Bild, Karte, Simulation), **taktil** (z. B. 3D-Modell) oder **akutisch** (z. B. Audio) umgesetzt sein. Eine gelungene Repräsentation erleichtert den Zugang zu Informationen, reduziert kognitive Belastung und unterstützt die aktive Verarbeitung.

3.2.2.1 Auswahl und Funktion von Repräsentationen

- ▶ Die Auswahl geeigneter Repräsentationen orientiert sich am **Einsatzzweck**, also daran, welche Lernziele und Kompetenzen erreicht werden sollen und somit nach didaktischen Kriterien.
- ▶ Die Repräsentationen dienen **nicht nur der Illustration**, sondern dem Verstehen, Vergleichen oder Anwenden der Sachverhalte.
- ▶ Repräsentationen sind **zielgruppen- und altersangemessen** gestaltet und können je nach Stundenziel und Lernstand in unterschiedlichen Komplexitätsgraden bereitgestellt werden.
- ▶ Eine **Vielfalt an Repräsentationstypen** erhöht Wahlmöglichkeiten, so dass Lernende mit unterschiedlichen Voraussetzungen und Präferenzen angemessen unterstützt werden.

Beispiel: Storytelling

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=1&chapter=1§ion=2&exercise=2&login=student>

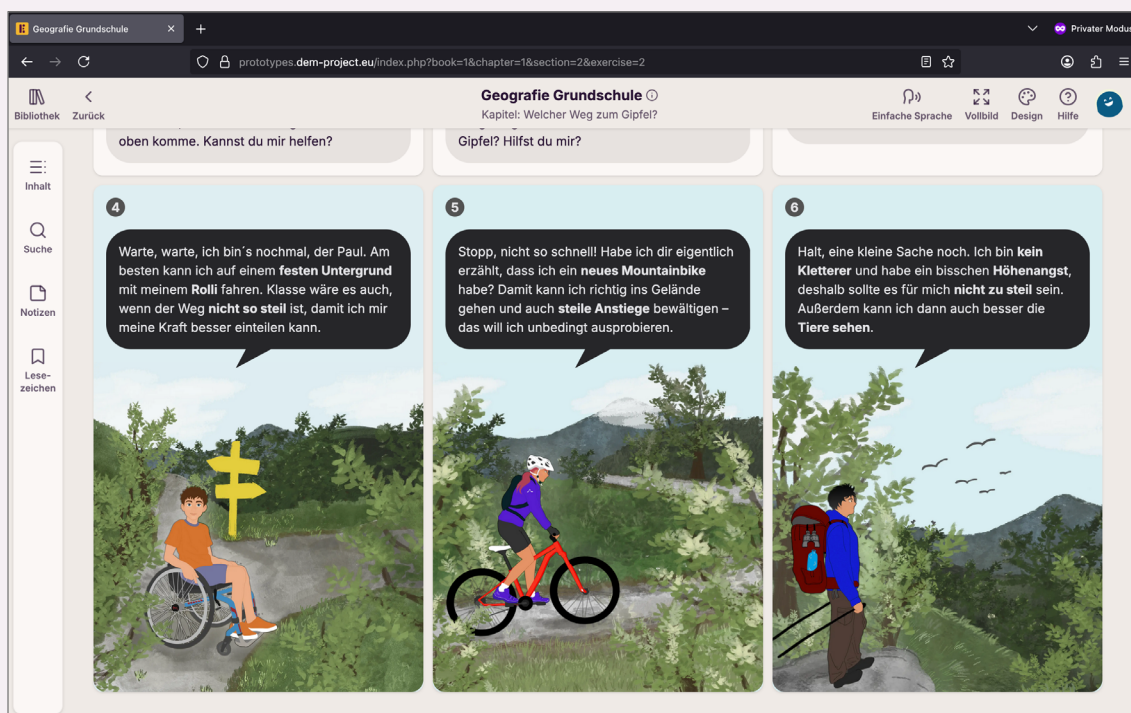


Abb. 5 Storytelling mit drei Personen in einer Aufgabe

Die Aufgabe wird in ein Storytelling eingebettet. Drei Wanderer, die unterschiedliche Bedürfnisse haben, werden zielgruppen- und altersgerecht vorgestellt. Bei Bedarf kann auch ein komplexitätsreduzierter Text in Einfacher Sprache oder eine Audioversion gewählt werden (siehe 3.2.2.3.5). Diversität wird wertgeschätzt und Vielfalt nicht als Hindernis, sondern als Chance verstanden.

Zur technischen Umsetzung von Einfacher Sprache siehe 4.8.

- Übermäßige, rein dekorative Visualisierungen sind zu vermeiden. Sie können aber gezielt eingesetzt werden, wenn sie der Motivation der Lernenden dienen.

Beispiel: Kapitelübersicht mit Visualisierungen

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=3&chapter=1&login=student>

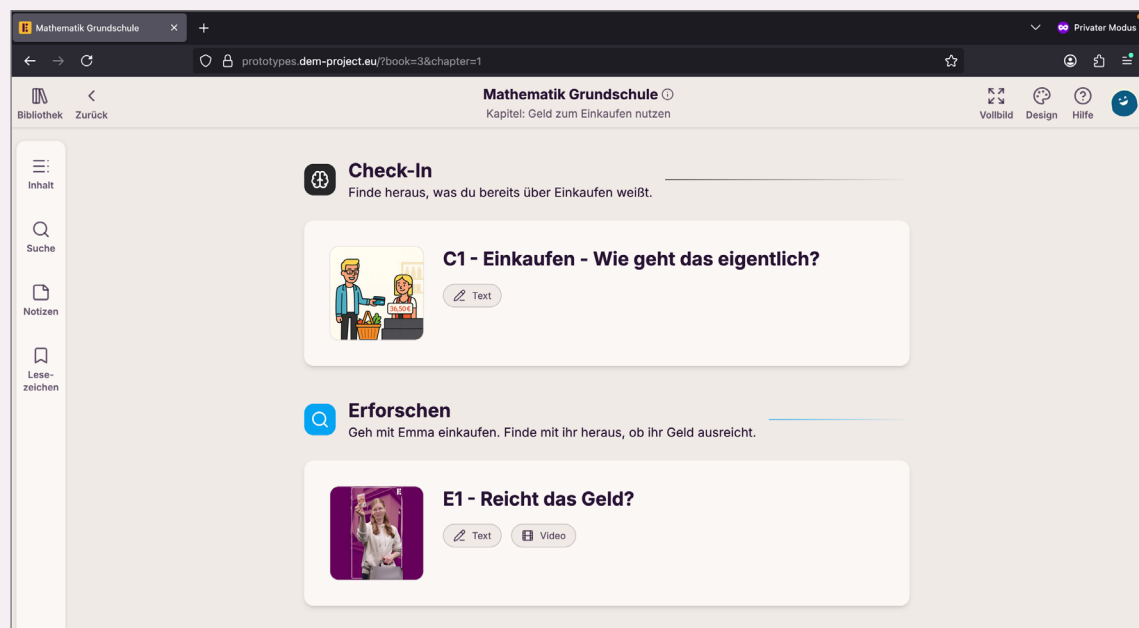


Abb. 6 Kapitel-Icon mit Ausschnitt aus dem folgenden Video im Social-Media-Stil

In der Kapitelübersicht weckt ein dekoratives Bild, als Ausschnitt aus dem zentralen Video der Einheit, Neugier auf das Thema. In der Einheit selbst wird die Einkaufssituation durch das Video im Social-Media-Stil als dynamische Visualisierung alltagsnah und zielgruppengerecht dargestellt. Das Video dient nicht nur der Illustration, sondern unterstützt das Entnehmen und Strukturieren relevanter Informationen und leitet so erste Schritte ein, reale Probleme strukturiert zu bearbeiten (mathematisch Modellieren). Das Nachstellen eines hochkant gedrehten, altersangemessenen Smartphone-Videos im Stil sozialer Medien aktiviert das Interesse und Vorwissen der Lernenden. So verbindet die Gestaltung Motivation mit kognitiver Aktivierung.

3.2.2.2 Gestaltung und Einbindung der Repräsentationen

- ▶ Die Aufbereitung der Repräsentationen erfolgt nach den **Gestaltungsprinzipien des multimedialen Lernens und folgt den Vorgaben der WCAG (2.2)**.
- ▶ Die Repräsentation sollte in einem **bearbeitbaren und offen lizenzierten Format vorliegen**, um individuelle Anpassungen zu ermöglichen.
- ▶ Im Sinne des Universal Design for Learning (UDL) bietet das Schulbuch **alternative Repräsentationen und Zugänge**, um unterschiedlichen Lernvoraussetzungen und Präferenzen gerecht zu werden.
 - ▶ Lehrkräfte oder Lernende können – je nach didaktischem Szenario – **zwischen verschiedenen Darstellungsformen wählen** oder die **geeignete Repräsentation freischalten** (Adaptivität).
 - ▶ **Auswahlmöglichkeiten** für Lernende stärken Selbstbestimmung, Individualisierung und ggf. Barrierefreiheit.
 - ▶ Lernende sollen aber nicht nur verschiedene Repräsentationen nutzen können, sondern auch deren **Zusammenhänge** erkennen und vergleichen, beispielsweise zwischen Tabelle und Graph oder zwischen Text und Karte.

Beispiel: Wahlmöglichkeiten bei Repräsentationen

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=4&chapter=1§ion=1&exercise=2&login=student>

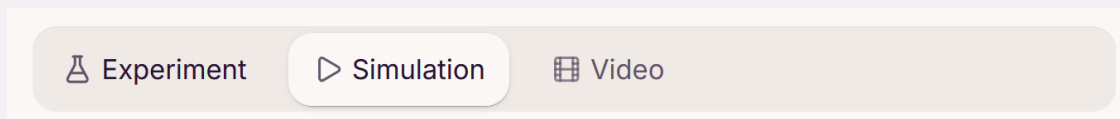


Abb. 7 Ein Tab mit Wahlmöglichkeiten

Die Auswahl zwischen drei Repräsentationen ermöglicht unterschiedliche Zugänge zur gleichen mathematischen Problemstellung (hier: Zusammenhang von Füllhöhe und Wassermenge). Lernende können, abhängig von der eigenen Präferenz oder Vorgabe der Lehrkraft, entweder handelnd im Experiment (enaktiv) oder mithilfe einer dynamischen Visualisierung (ikonisch) arbeiten. Die Implementation vergleichbarer Alternativen stärkt individuelle Lernwege, ohne die gemeinsame Zielsetzung aus dem Blick zu verlieren. Alle Varianten führen zu vergleichbaren Ergebnissen (z. B. hier dem Ausfüllen einer Tabelle) und schaffen damit die Grundlage für einen anschließenden Austausch und Vergleich der Vorgehensweisen.

- ▶ Die Repräsentationen sollen die Lernenden möglichst **aktiv einbeziehen** und zum selbstständigen Erkunden, Vergleichen und Erklären anregen. Wenn Lernende ihr Verständnis überprüfen, Repräsentationen vergleichen und ihr Vorgehen reflektieren, können metakognitive Strategien gefördert werden.

3.2.2.3 Beispielhafte Repräsentationstypen

Im Folgenden werden **Repräsentationstypen beispielhaft dargestellt** und kurz mit einem Beispiel und möglichen Einsatzzwecken erläutert. Danach folgen Hinweise für das Design und die barrierefreie Umsetzung der jeweiligen Repräsentationsform. Weiterführende technische Hinweise für die Umsetzung der jeweiligen Repräsentationsform finden sich in **Kapitel 4**.

3.2.2.3.1 Statische Visualisierung (z. B. Diagramme, kartographische Darstellungen)

Sie stellt einen **festen, unveränderlichen Zustand** dar (hauptsächlich Einzelbilder). Dadurch ist diese Art der Visualisierung oftmals leichter zu verarbeiten als eine dynamische Visualisierung.

Einsatzzweck

- ▶ **Fokussierung auf wesentliche Informationen oder Kernaussagen;** das bewusste Vergleichen fördern; Präsentation von Datenpunkten; etc.

Richtlinien für Barrierefreiheit und Design

- ▶ **Visualisierungen, die für die Lösung der Aufgabe notwendig sind,** müssen barrierefrei gestaltet sein und einen aussagekräftigen Alternativtext oder eine andere gleichwertige Alternative anbieten.
 - ▶ **Relevanz für Lernende prüfen:** Jede Visualisierung bzw. Alternative muss verarbeitet werden. Es ist daher stets im ersten Schritt zu prüfen, ob die Visualisierung bzw. die alternative Form der Visualisierung zum Aufgabenverständnis unbedingt erforderlich ist.
 - ▶ Visualisierungen, die **nur motivierend oder dekorativ** sind, müssen nicht zwangsläufig voll zugänglich sein, sollten aber dennoch möglichst barrierearm gestaltet und entsprechend definiert sein (Kennzeichnung als dekoratives Element).
 - ▶ **Einfache Alternativen bereitstellen:** durch Alternativtext, Langbeschreibung und/oder Datentabelle ergänzen; auch eine Umsetzung als taktile Repräsentationsform ist möglich (Schraffuren, Reliefdruck) **siehe 4.2.**
- ▶ Der **Ausdruck** der Visualisierung ermöglicht individuelle Adaptionen (z. B. Umrisslinien mit einem schwarzen Filzstift weiter verstärken).
- ▶ **Textinformationen nicht auf Visualisierungen bzw. gemusterten Hintergründen darstellen,** um visuelle Klarheit zu stärken und möglichen Irritationen vorzubeugen.
- ▶ **Elemente durch Konturen trennen:** Einzelne Bildelemente sollten durch klare Umrisslinien voneinander abgegrenzt werden, um die visuelle Unterscheidbarkeit zu erhöhen.

- ▶ **Hauptelemente visuell hervorheben:** Zentrale Bildinhalte sollten durch Sättigungsunterschiede, Stilvariation oder Größenkontraste deutlich von Nebenelementen unterscheidbar sein.
- ▶ **Berücksichtigung von Farbfehlsichtigkeiten:** Um Lernende mit Farbfehlsichtigkeit (z. B. Rot-Grün-Farbschwäche) nicht vom Unterrichtsgeschehen auszuschließen, ist darauf zu achten, dass Farbe nicht als inhaltstragendes Element (Informationsträger) verwendet wird. Farben können aber zusätzlich verwendet werden, um Zusammenhänge zu verdeutlichen.
- ▶ **Multiple Unterscheidungsmerkmale** verwenden: Objekte nicht nur durch Farbe, sondern auch durch Form, Muster, Position und Bezeichnung differenzieren, um verbale Referenzierung im Klassengespräch zu ermöglichen. Wenn in Visualisierungen Menschen vorkommen, ist auch auf eine Diversität der Personen zu achten. Stereotype Zuschreibungen sind zu vermeiden.
- ▶ Auch wenn Visualisierungen nur motivierend oder unterstützend sind, sollten sie **fachlich** insofern stimmen, dass **keine falschen Annahmen** entstehen.

Technik

- ▶ **Format SVG für gute Skalierbarkeit:** Als SVG bleibt Inhalt bei Vergrößerung (bis 400%, WCAG-Erfolgskriterium Reflow 1.4.10) scharf, Linien und Labels bleiben lesbar. Weitere technische Hinweise zu SVG-Dateien finden sich in **Kapitel 4.1**
- ▶ **Texte und Beschriftungen als Text** darstellen, keine in Pfade / Bilder konvertierten Texte
- ▶ **Tabellarische Alternative** für Diagramme anbieten, die Werte enthalten
- ▶ Dekorative Elemente in Bildern als solche markieren
- ▶ **Keine Auto-Animation**, zum Beispiel von 3D-Visualisierung

Weitere technische Details finden sich in Kapitel 4.1.

Beispiel: Statische Visualisierung, für Aufgabe relevant

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=2&chapter=1§ion=2&exercise=2&login=student>

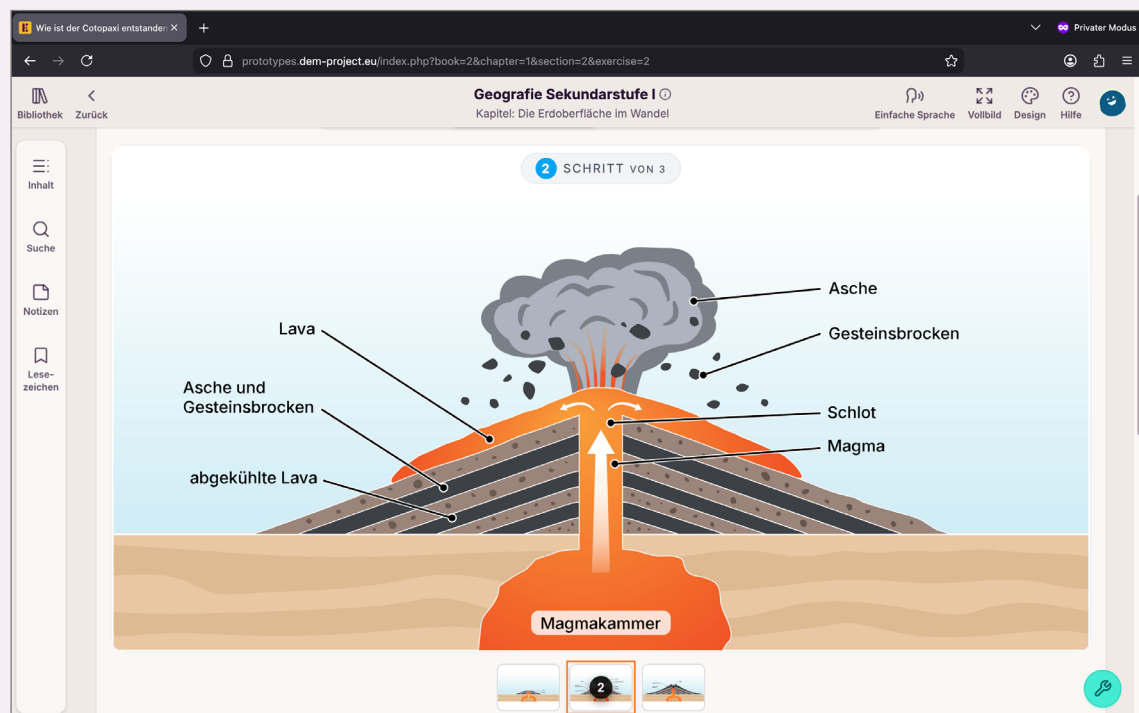
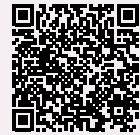


Abb. 8 Visualisierung zur Entstehung des Schichtvulkans (Tab: einzelne Schritte)

Die Visualisierung stellt eine Phase in der Entstehung eines Schichtvulkans bereit. Eine Grafik, die typischerweise alle Phasen auf einmal in einer komplexen Visualisierung darstellt, wurde hier bewusst in mehrere Einzelbilder aufgeteilt, um den Zugang zu / Beschäftigung/Auseinandersetzung mit dem Lerngegenstand (hier: Entstehungsprozess eines Schichtvulkans) zu entlasten und den Fokus in jeder Phase auf das Wesentliche zu legen. Die Darstellung ist vereinfacht, mit klarer Farbgebung und klaren Linien, aber dennoch fachlich korrekt.

Für Screenrader-Nutzer:innen steht eine Bildbeschreibung (Alternativtext) (aria-labelledby) zur Verfügung.

Beispiel: Statische Visualisierung, dekorativ

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=1&chapter=1§ion=2&exercise=2&login=student>



Abb. 9 Illustrationen von drei Personen in der Geografie-Aufgabe

Die statischen Repräsentationen der drei Figuren sind handgezeichnet und etwas komplexer, aber im Grunde dekorativ und dienen dem Lebensweltbezug, der Motivation und dem Wiedererkennungswert. Sie verfügen über entsprechende Alternativtexte.

Um der Diversität gerecht zu werden, sind drei Wandernde verschiedenen Alters (Junge, Teenager, Erwachsener) unterschiedlichen Geschlechts sowie mit verschiedenen Haar-/Haut-/Augenfarben und körperlichen Voraussetzungen dargestellt. Paul, der einen Rollstuhl nutzt, wird sowohl im Text als auch durch seinen Rollstuhl so dargestellt, dass er sich selbstständig mit dem Rollstuhl fortbewegt und nicht geschoben wird.

Jede Person hat ein bestimmtes Farbschema (Orange für Paul, Lila bei Anna, Blau bei Max), und diese Farben werden auch in der folgenden Aufgabe bei den jeweiligen Namen angezeigt. Die Personen werden immer mit der gleichen Kleidung dargestellt. Von jeder Person gibt es eine Grafik mit transparentem Hintergrund und eine Grafik mit Hintergrund am Berg. Die erste Grafik mit transparentem Hintergrund dient dazu, die Personen besser erkennen zu können. Der Hintergrund bettet die Personen und ihre Aussagen in einen Kontext ein.

Die Visualisierungen, auch wenn sie nur dekorativ sind, zeigen zur folgenden Höhenlinienkarte passende Landschaften, damit keine Fehlvorstellungen bei den Lernenden entstehen (z. B. grüne, flachere Berge; kein Hochgebirge, keine spitzen felsigen Berge).

3.2.2.3.2 Linear-dynamische Visualisierung (z. B. Videos, GIFs)

Linear-dynamische Visualisierungen **zeigen Informationen in einer festen, zeitlichen Abfolge (Bildfolgen)**. Zudem bieten sie oftmals Möglichkeiten der Kontrolle, z. B. durch Start/Stop-Möglichkeiten oder Tempoeinstellungen.

Einsatzzweck:

- ▶ **Darstellung von Prozessen oder Mechanismen;** Entwicklungen oder Veränderungen über die Zeit; etc.
- ▶ **Zeitlich geführtes Verstehen:** Prozesse/Mechanismen werden Schritt für Schritt gezeigt.

Richtlinien für Barrierefreiheit und Design

- ▶ Die Inhalte werden in einem **barrierefreien und vollumfänglich bedienbarem Player oder Format** bereitgestellt.
- ▶ **Optionen für individuelle Einstellung** und damit zur optimierten Auseinandersetzung mit der linear-dynamischen Visualisierung sind bereitzustellen:
 - ▶ **Untertitel** mit allen akustischen Informationen (Stimmen, Geräusche...) sind zuschaltbar.
 - ▶ Visuelle und inhaltstragende/inhaltsbedeutende Informationen, die im Video etc. zu sehen sind, werden mittels **Audiodeskriptionsspur** zur Verfügung gestellt (W3C, 2025).
 - ▶ Für Lernende die nicht auf das Bewegtbild zugreifen wollen/können, steht ein **Transkript** oder ein **statisches Keyframe-Storyboard** (statische Einzelbilder mit Bildunterschriften) zur Verfügung.
 - ▶ **Gebärdensprachevideo:** Mehrheitlich nutzen Lerner:innen mit Beeinträchtigung des Hörens Gebärdensprache und Untertitel.
 - ▶ Bei allen Alternativen wird ebenfalls auf die fachliche Richtigkeit und **Inhaltskongruenz** (z. B. Fachvokabular, Einheitlichkeit der Begriffe) geachtet.
- ▶ Das Format und der Stil der linear-dynamischen Visualisierung muss **passend zum Zweck** gewählt werden.
- ▶ Bei Videos ist eine **gründliche Vorproduktion** unerlässlich, z. B. sollte das Drehbuch von Fachdidaktiker:innen auf fachliche und didaktische Korrektheit, von einem Videoteam auf Machbarkeit und von Inklusions-Expert:innen auf Barrierefreiheitsaspekte überprüft werden.
- ▶ Wenn in Videos Experimente dargestellt werden, müssen diese unbedingt vorher **erprobt** werden.

- ▶ Auch wenn es eine Audiodeskriptionsspur gibt, sollte darauf geachtet werden, möglichst gute **Beschreibungen** oder Hinweise auf visuelle Aspekte bereits im originalen Video einzubauen.
- ▶ Durch **bewusste Schnitte** oder Einzelteile kann gesteuert werden, wie Lernende die linear-dynamische Visualisierung ansehen.
- ▶ Barrierefreiheitsaspekte und Designansprüche sowie auch Komplexitätsreduktion und didaktische Ansprüche können im Widerspruch zueinander stehen und es ist notwendig, die Erstellung in einem iterativen Prozess auszuverhandeln.

Technik

- ▶ Für längere Inhalte **<video> statt GIF verwenden** (besser steuerbar, zugänglicher, effizienter).
- ▶ **CSS bei Video:** Sichtbarer **Fokus** für native/Custom-Controls über video:focus
- ▶ **CSS bei Video:** **Bedienelemente** lesbar skalieren (auch bei 200–400 % Zoom)
- ▶ **JS: Kein Auto-Play** (außer stumm & ausdrücklich gewünscht). Initial pausiert starten.
- ▶ **JS: Tastatursteuerung** für den Player ergänzen (falls Custom-UI).

Beispiel: Experiment als Video

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=4&chapter=1§ion=1&exercise=2&login=student>



Das Video für die Sekundarstufe Mathematik zeigt ein Experiment zum Zusammenhang von Füllhöhe und Wassermenge. Bei der Konzeption wurde darauf geachtet, dass zugehörige Aufgaben mithilfe des Videos gelöst werden können, ohne das Experiment selbst durchzuführen. Zugleich wurde das Video so gestaltet, dass es als Vorbild für das selbstständige Durchführen des Experiments dienen kann. Es erfüllt somit unterschiedliche Zielsetzungen. Die Vorlage für das Drehbuch und die Aufgabe bildete ein bestehendes, offen lizenziertes Material. Im Zuge der Produktion stellte sich heraus, dass die Werte der Vorlage geändert werden müssen (100ml-Schritte statt 30ml-Schritte, Vasen statt Gläser), da das Experiment so besser mit handelsüblichen Materialien statt Chemielabor-Ausrüstung durchgeführt werden kann und die Unterschiede auch visuell besser erkennbar sind. Hier war eine enge Abstimmung zwischen Videoteam, Barrierefreiheits- und Fachdidaktik-Expert:innen notwendig, da auch die anderen Inhalte des Kapitels entsprechend angeglichen werden mussten.

Es wurde bewusst bestimmt, welche visuellen Elemente im Sprechtext beschrieben werden und welche nicht: Die Gefäße 1, 2 werden kurz vorgestellt und dann durchgängig die Begriffe Gefäß 1 und 2 verwendet. Man sieht die Gefäße zwar auch im Video, aber so ist es auch in der Tonspur verankert, wie die Gefäße aussehen. Alle Materialien für das Experiment werden nicht nur gezeigt, sondern auch benannt. Die jeweilige Füllmenge wird immer benannt. Dagegen wird die gemessene Füllhöhe explizit nicht benannt, denn genau dies ist die Aufgabe der Lernenden, selbstständig zu messen. Lernende mit Sehbeeinträchtigung oder Blindheit könnten also trotzdem die Audiospur des Videos für den Ablauf des Experiments benutzen, die Messungen dann aber zum Beispiel anhand der Simulation durchführen oder das Experiment selbst nachstellen und messen.

Für mehr Barrierefreiheit wurde mit großen Gefäßen (Vasen) gearbeitet, sowie mit gefärbtem Wasser und einem gut lesbaren Zollstock. Um das Video kurzweilig zu halten und die Lernenden beim Vergleich zu unterstützen, werden die beiden Füllvorgänge gleichzeitig gezeigt anstatt hintereinander.

Fragen zu Beginn und am Ende des Videos regen zum Nachdenken und zur Aktivierung an und leiten wieder zum Unterrichtsgeschehen über.

Beispiel: Social-Media-Video

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=3&chapter=1§ion=2&exercise=2&login=student>



Das Video für die Grundstufe wurde in einem anderen Stil erstellt (Hochformat, Social-Media-Stil). Es ist, angelehnt an Kurzvideos aus sozialen Netzwerken und passend für die Altersgruppe, kürzer und schneller geschnitten und auch bunter. Dabei muss darauf geachtet werden, dass trotzdem gute Kontraste vorhanden sind und die Bewegung reduziert wird, um „Motion Sickness“ zu vermeiden.

Das Video wurde in zwei Teile geschnitten, da der letzte Teil bereits die Auflösung enthält und als Feedbackmöglichkeit genutzt werden kann. Der erste Teil enthält zur Aktivierung eine Aufforderung zum eigenen Rechnen. Dafür werden die Informationen aus dem Video gebraucht.

Als Alternative zum Video steht hier ein Transkript mit statischen Bildern (Key frames) aus dem Video zur Verfügung, um die Aufgabe auch ohne die linear-dynamische Repräsentation lösen zu können.

Um die Videos noch besser an die Lebenswelt der Lernenden anzupassen, könnte die Hauptperson in den Videos selbst ein:e Schüler:in sein. Dies war im Prototypen jedoch nicht möglich und das Video wurde mit Personen aus dem Projektteam gedreht.

Beispiel: 3D-Ansicht

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=1&chapter=1§ion=1&exercise=1&login=student>



Der Berg, der für die Höhenlinienkarte verwendet wird, steht in einem weiteren Tab als 3D-Ansicht zur Verfügung, was bei der Interpretation der Höhenlinien helfen kann. Für die 3D-Ansicht wurde einfach das 3D-Druck-Modell zur Verfügung gestellt, weshalb auch die Proportionen der Wege größer sind.

Der Viewer-Container #viewer enthält Zoom- und Drehbuttons, um die 3D-Ansicht steuern und rotieren zu können.

3.2.2.3.3 Interaktiv-dynamische Visualisierung (z. B. interaktive Karten, Simulationen, dynamische Geometriesoftware)

Interaktiv-dynamische Visualisierungen bieten die Möglichkeiten, dass sie **durch den Lernenden manipuliert bzw. beeinflusst** werden können. Durch eigenes Ausprobieren können Zusammenhänge selbstständig entdeckt und Auswirkungen in Echtzeit beobachtet werden.

Einsatzzweck

- ▶ **Entdecken von Zusammenhängen;** Veränderung von Parametern; Experimentieren mit Variablen; etc.
- ▶ **Selbstbestimmtes Tempo:** Lernende steuern Reihenfolge, Detailgrad und Tempo (Förderung von Selbstregulation).
- ▶ **Unmittelbares Feedback:** Änderungen zeigen sich sofort

Richtlinien für Barrierefreiheit und Design

- ▶ Interaktiv-dynamische Visualisierungen ändern Zustände ständig und oft visuell. Diese **Veränderungen müssen für alle** (z. B. auch Lernende mit Sehbeeinträchtigung oder Blindheit) über zusätzliche taktile oder verbale Informationen zugänglich gemacht werden.
- ▶ **Tempo und Abfolge müssen für alle kontrollierbar sein:** Tastatursteuerung für Pausieren, Schritt-für-Schritt und Wiederholen.
- ▶ **Mehrere Zugänge zu demselben Inhalt:** Zahleneingaben, Slider, Presets, Schritt-Buttons machen unterschiedliche Steuerung/Strategien möglich.
- ▶ **Nicht nur Farbe als Merkmal verwenden bzw. alternative Farbschemata anbieten:** Wenn bei Darstellungen konventionelle Farbkodierungen zu verwenden sind (bspw. fachübliche Farbkodierung von Landkarten), sollten alternative Farbkombinationen bereitgestellt werden. So sind individuelle Anpassungen im Bedarfsfall (bspw. bei Farbfehlsichtigkeit) möglich. Gleichzeitig muss jedoch eine Information über die fachspezifisch-tradierte

Farbkodierung vorgehalten werden. Außer Farben können auch Markerformen, Muster/Schraffuren, Linienstile eine Veränderung oder Unterschiede ausdrücken.

- ▶ **Visuelle Parameter (Farben, Strichstärken, Kontraste) individuell anpassbar** gestalten.
- ▶ **Layer-Funktion** zum schrittweisen Ein- und Ausblenden von Informationsebenen und Reduktion der Komplexität.
- ▶ **Multimediale Erweiterungen durch Video- und Audio-Elemente** ermöglichen

Technik

- ▶ Screenreader-Nutzer:innen erhalten durch **eindeutige Fokusführung, Live-Regionen, präzise Alternativtexte und klare Statusmeldungen** eine nachvollziehbare Beschreibung der aktuellen Situation
- ▶ **Maus-, Touch- und Tastatureingaben müssen unterstützt werden**, um die interaktiv-dynamische Repräsentation zu kontrollieren
- ▶ **SVG + HTML** für interaktive Formen/Features nutzen
- ▶ **Logische Fokusreihenfolge**: Steuerungen zuerst, Canvas/SVG danach (Parameter, dann Visualisierung, dann Ergebnistabelle) (WCAG 2.4.3).
- ▶ **Anklickbare Flächen** („touch targets“) müssen groß genug sein
- ▶ Markerformen, Muster/Schraffuren, Linienstile **per CSS/SVG-Pattern anpassen**.
- ▶ **Externe Tools** können speziell dann eingesetzt werden, wenn sie bereits nativ Barrierefreiheits-Features bieten, die aufwändig selbst umzusetzen wären. Externe Tools müssen aber unbedingt auf ihre Barrierefreiheit und Sicherheit/Datenschutzanforderungen getestet werden, bevor sie in das digitale Schulbuch integriert werden.

Weitere technische Hinweise finden sich in Kapitel 4.4

Beispiel: Pegel-Simulation

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=4&chapter=1§ion=1&exercise=2&login=student>

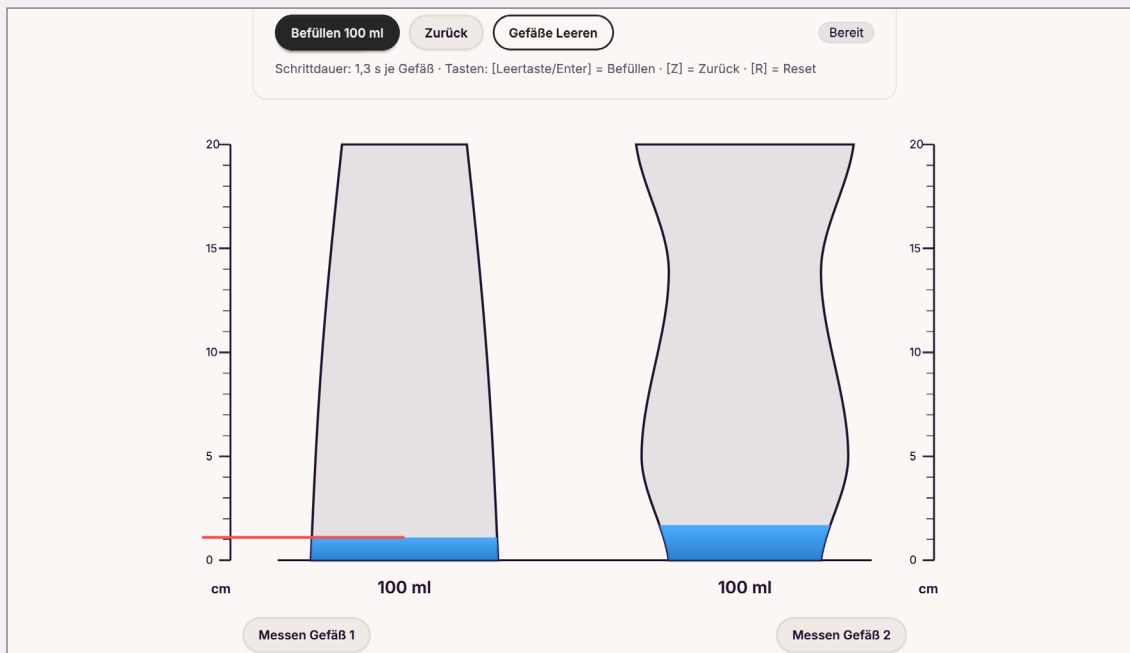


Abb. 10 Pegel-Simulation (im Tab Simulation)

Eine technische Beschreibung der Umsetzung findet sich in **Kapitel 4.4.1**

Beispiel: Spitzer-Simulation

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=4&chapter=1§ion=3&exercise=5&login=student>

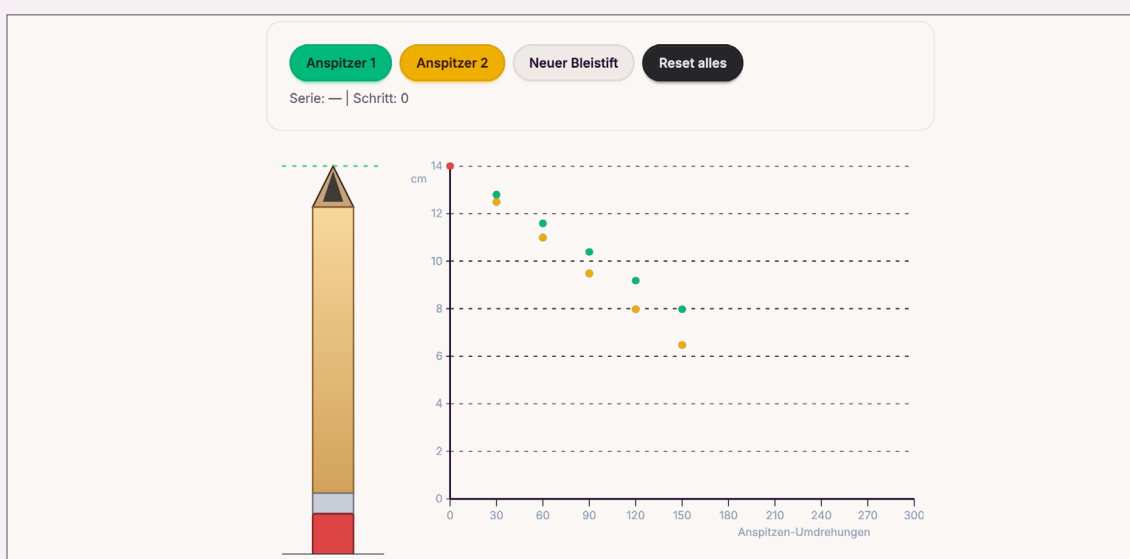


Abb. 11 Spitzer-Simulation

Eine technische Beschreibung der Umsetzung findet sich in **Kapitel 4.4.2**

Beispiel: Interaktive Karte

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=1&chapter=1§ion=2&exercise=2&login=student>

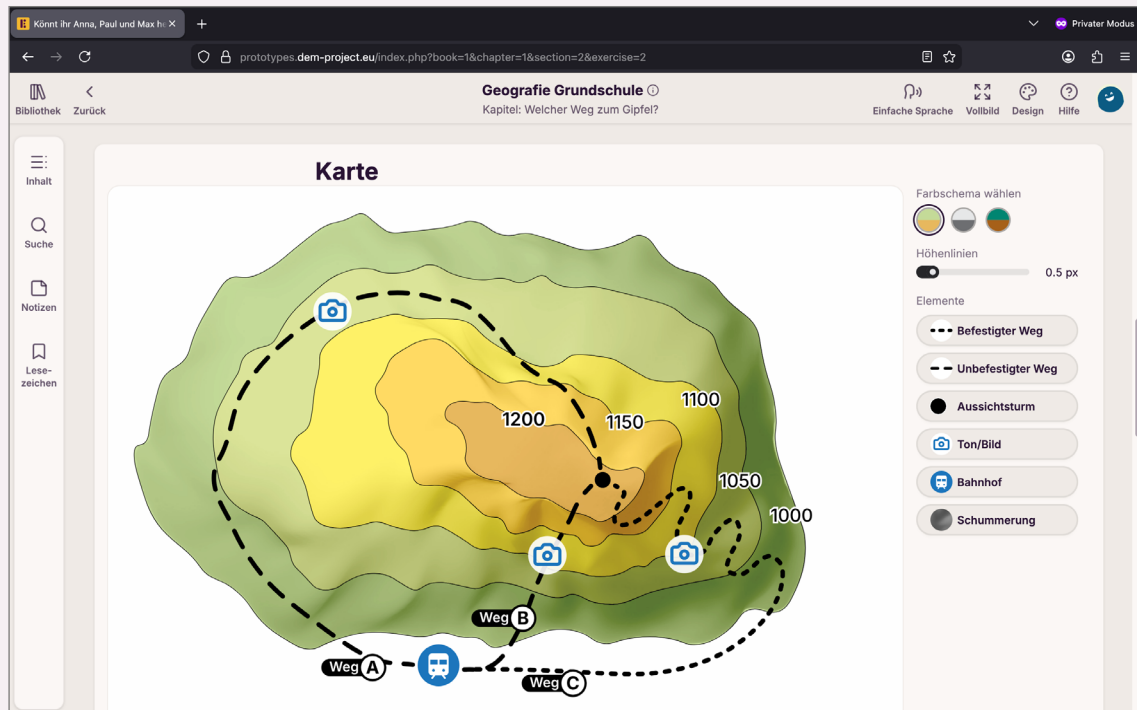


Abb. 12 Interaktive Karte zu Höhendarstellung

- **Karten-Spezifik:** Legende, Maßstab, Nordpfeil, Layer-Checkboxes als echte Formular-Controls; „Zum Karteninhalt springen“-Link.

Die interaktive Karte dient dazu, in die Arbeit mit Höhenlinien und Höhenschichten einzusteigen. Elemente, wie die Legende, der Maßstab oder die Farbgebung können beliebig nach Lernfortschritt der Lernenden ein- und ausgeschaltet werden.

Um unterschiedliche Fehlsichtigkeiten zu berücksichtigen, stehen drei Farbschemata zur Verfügung: das Standard-Farbschema, eine Graustufen-Variante sowie eine von colorbrewer2.org empfohlene Grün-Braun-Kombination für Menschen mit Farbsehschwäche. Diese Farbeinstellungen können von allen Lerner:innen genutzt werden, so dass individuelle Farbpräferenzen berücksichtigt werden. Zusätzlich lässt sich die Strichstärke der Höhenlinien anpassen, sodass auch Lernende mit Seheinschränkungen die Darstellung nach ihren Bedürfnissen optimieren können. Alle Kartenelemente funktionieren in sämtlichen Farbvarianten einwandfrei.

Weitere technische Hinweise finden sich in Kapitel 4.5

Beispiel: Externes Tool

In den Aufgaben für Mathematik Sekundarstufe sollen Lernende mit Graphen arbeiten und Graphen digital zeichnen. Neben SVG-Darstellungen wurde auf Desmos zurückgegriffen und die Zeichenfläche eingebunden. Infos zur technischen Einbettung und barrierefreien Bedienung finden sich in **Kapitel 4.4.6**

3.2.2.3.4 Taktile (z. B. 3D-Druck, Schwellpapier)

Taktile Karten (z. B. tastbare Skizzen, Schwellpapierdrucke, Tiefziehfolien) und 3D-Druck-Modelle ermöglichen, dass **Informationen taktil bereitgestellt** werden. Dies unterstützt sowohl Lernende, die auf taktile Informationen angewiesen sind, als auch Lernende, die taktile Alternativen im Sinne des Universal Design for Learning als weiteren, ergänzenden, stützenden oder alternativen Zugangsweg zu Informationen nutzen.

Einsatzzweck

- ▶ **Haptischer Zugang zu komplexen Formen/Topologien:** Untersuchung von Körpern (z. B. Pyramide); Darstellung von Molekülen; Bauteile; taktile Karten; etc.
- ▶ **Selbstbestimmte Exploration:** Tempo, Wiederholung, Vergleich (mehrere Varianten).

Richtlinien für Barrierefreiheit und Design

- ▶ 3D-Drucke oder Schwellpapiergrafiken müssen **zu den Repräsentationen und Aufgaben im Schulbuch passen**. Die fachliche Richtigkeit der taktilen Repräsentationsformen muss gegeben sein.
- ▶ **Gezielte Strukturierung** der taktilen Modelle: Stufen, Kanten, Muster als taktile Codes umsetzen. Die Richtlinien und Standards zur Gestaltung taktiler Graphiken sind zu berücksichtigen (BANA, 2010).
- ▶ Im Unterschied zur Informationsentnahme bei Visualisierungen ist die **haptische Informationsaufnahme zeitintensiver**. Die Lernenden – insbesondere Lernende, die sich das Modell ausschließlich haptisch aneignen – benötigen Zeit, um den Grundaufbau sowie die relevanten Detailinformationen des 3D-Druck-Modells zu erfassen.
- ▶ **Taktile Repräsentationsformen** stehen nicht für sich allein. Ebenso wie bei Visualisierungen sind ggf. ergänzende Informationen (verbale Beschreibung/ Audiokommentar) erforderlich, um alle Details zu verstehen und die relevanten Informationen nutzen zu können. Die Einführung des 3D-Druck-Modells bzw. des Schwellpapiers in das Unterrichtsgeschehen (z. B. durch eine verbale Deskription zum Grundaufbau) ist eine unabdingbare Voraussetzung für den selbstständigen Umgang.

- **Kombination mit assistiven Technologien** (z. B. Vorlesestiften) vorsehen, wo es sinnvoll ist.
- **Gezielt taktile Repräsentationen bearbeiten** und z. B. Farbgebung anpassen. Auch am 3D-Druck-Modell können Linien bspw. durch nachträgliche Bearbeitung verstärkt, Kontraste erhöht und damit die Wahrnehmbarkeit der Informationen erhöht werden.
- **Gestaltungsrichtlinien für 3D-Drucke und taktile Repräsentationen beachten** (BANA, 2010; Medien Augenbit, 2025; Tactiles.eu, 2025).

Technik

- **Barrierefreie Beschreibung:** Kurz-Ziel im <figcaption> + Langbeschreibung (Tastinstruktionen, Lernziel, Sicherheits- und Handhabungshinweise).
- **Mindeststärken & Toleranzen** für den Druck beachten
- **Nachhaltigkeit:** Ausleihmöglichkeiten schaffen bzw. Vorlagen zur Verfügung stellen

Beispiel: 3D-Druck-Modell und Schwellpapier

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=2&chapter=1§ion=2&exercise=2&login=student>

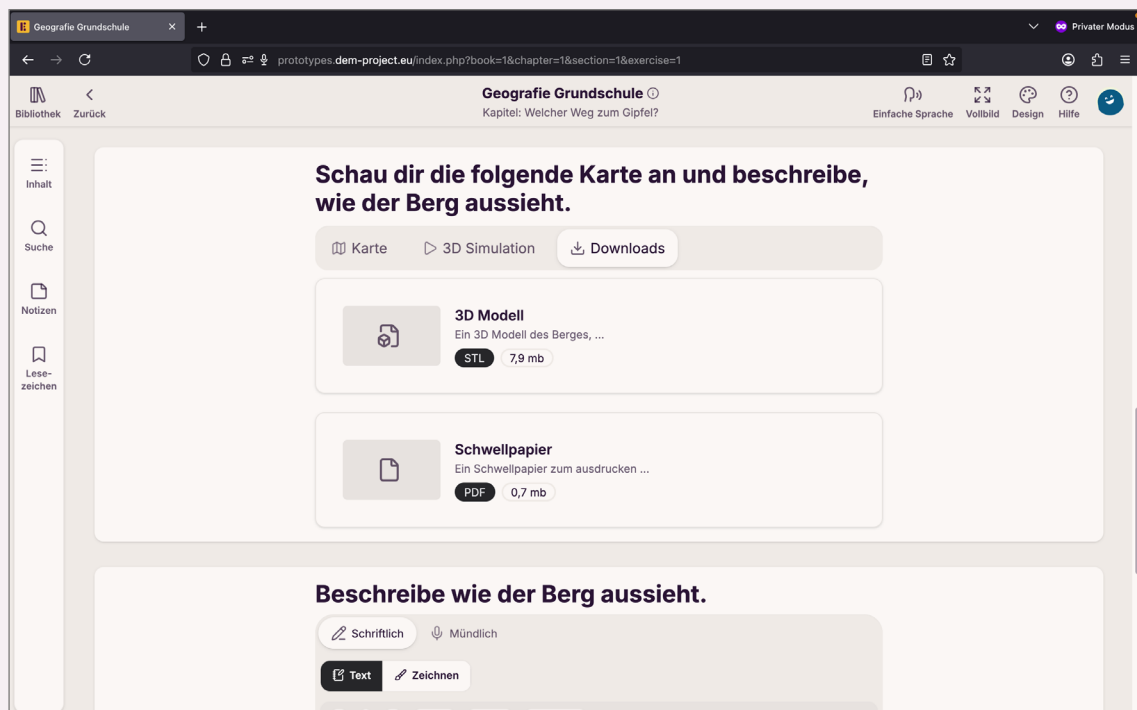


Abb. 13 Downloadoptionen für Schwellpapier und 3D-Druck

Ein 3D-Druck-Modell bzw. eine Schwellpapier-Vorlage für den Druck stehen als gleichwertige Alternativen in der Aufgabe zur Verfügung. Lernende

mit Sehbeeinträchtigung oder Blindheit können die 3D-Modelle oder das Schwellpapier anstatt der digitalen Karte benutzen, um die Aufgabe zu lösen. Die Dimensionen des 3D-Druck-Modells und der Schwellpapiergrafik (Erläuterung in **Kapitel 4.5**) entsprechen der digitalen Karte, sodass die Repräsentationsform beliebig gewählt werden kann.

Weitere technische Hinweise zum 3D-Druck finden sich in Kapitel 4.5

3.2.2.3.5 Audio (z. B. Podcast, Sprachausgabe)

Audioinhalte bieten eine **Alternative zu rein visuellen (schriftlichen) Inhalten**. Neben der grundsätzlichen Funktion „sich Inhalte im digitalen Schulbuch mittels Sprachausgabe vorlesen zu lassen“, sind auch Audioinhalte in das digitale Schulbuch zu integrieren. So ist eine alternative Informationsaufnahme, z. B. für Lernende mit Sehbeeinträchtigungen oder Leseschwierigkeiten, gegeben.

Einsatzzweck

- ▶ **Dual-Coding-Ansatz:** Wenn Informationen sowohl verbal als auch visuell dargestellt werden, können diese besser abgespeichert werden.
- ▶ **Zusätzliche Audioinhalte** können zur Förderung des Hörverstehens eingesetzt werden.

Barrierefreiheit

- ▶ **Vielfältige Wiedergabeeinstellungen:** Selbstbestimmte Anpassung der Geschwindigkeit, Sprungmarken (Kapitel), Zurück/Weiter-Buttons für kognitive Entlastung (W3C, 2025).
- ▶ **Mehrkanaligkeit:** Transkripte + Untertitel/Captions mit dem Audio gekoppelt, aber auch zum Download/zur Bearbeitung bereitstellen (W3C, 2025).

Technik

- ▶ **Status sparsam ansagen:** Optional ein aria-live=“polite“-Element für kurze Meldungen („Kapitel 2 gestartet“), keine Dauer-Spam-Updates.
- ▶ **Synchronisierte Hervorhebung:** Beim Kapitelwechsel den passenden Abschnitt im Text/Diagramm hervorheben.
- ▶ **Abbildungsreferenzen sprechen** („...siehe Abbildung 2: ...“), wenn möglich im Transkript verlinken.

Beispiel: Audioausgabe und Animationen

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=1&chapter=1§ion=2&exercise=3&login=student>

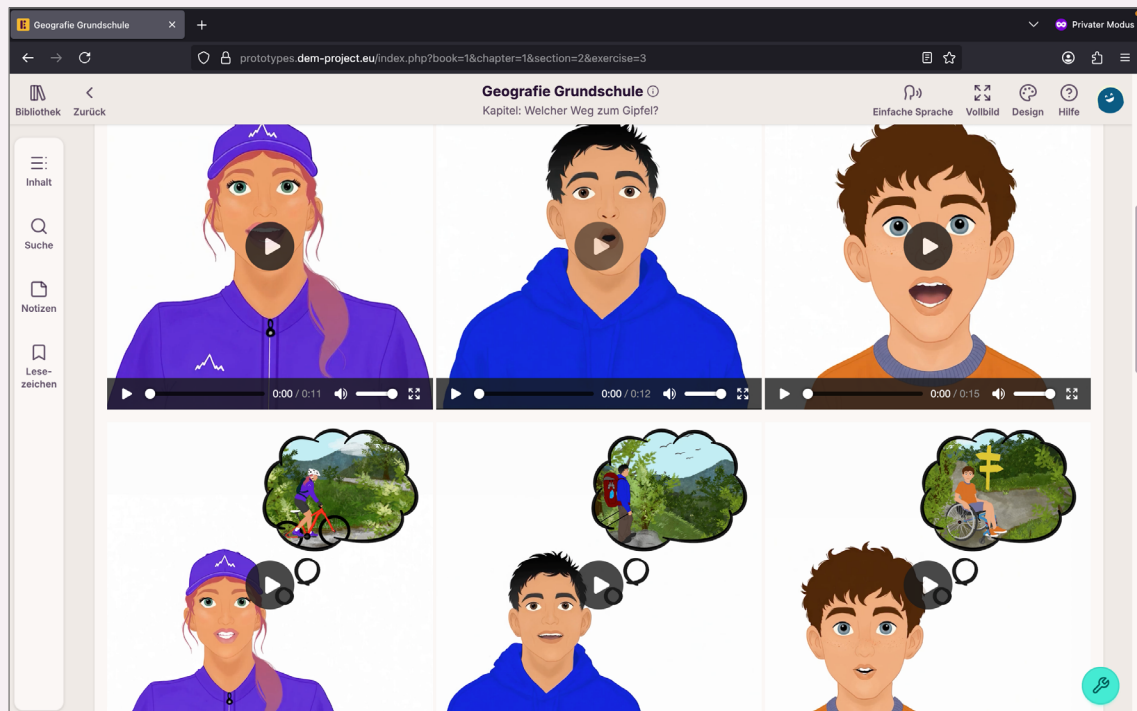


Abb. 14 Audio-Ausgabe mit animierten Kurzvideos der einzelnen Personen statt textueller Informationen

In dieser Aufgabe kommunizieren die drei Wanderer ihre Bedürfnisse in kurzen Videos. Dieselben Informationen stehen in einer anderen Aufgabe als Text zur Verfügung. Analog zu den Texten gibt es auch bei den Kurzvideos eine Version in einfacher Sprache und eine Standard-Version.

Die Kurzvideos wurden mit Hilfe von KI-Tools und KI-Stimmen basierend auf den Portraitbildern der Personen erstellt, um die Wiedererkennung zu erleichtern. Analog zur Textversion gibt es zu jeder Person zwei animierte Videos, wobei das zweite Kurzvideo visuell leicht anders gestaltet ist, um die zwei Teile auch visuell voneinander zu trennen.

Die Kurzvideos wurden mit Standard-HTML-Player eingebettet. Sie können pausiert und vergrößert sowie die Lautstärke angepasst werden.

3.2.3 Interaktive Eingaben implementieren

- Interaktive Eingaben **aktivieren Lernende**, indem sie zur Auseinandersetzung mit Inhalten, zum Formulieren eigener Gedanken und zum selbstständigen Handeln anregen.

- Das digitale Schulbuch stellt **unterschiedliche Eingabeformate** bereit, um verschiedene Lernzugänge zu ermöglichen, insbesondere bei Aufgaben, aber auch auf Buchebene.
- Beispiele: Texteingaben, Audioaufnahmen, Zeichenfelder, Drag-and-Drop-Felder, Auswahlfelder, Slider oder Markierungsfunktionen

Beispiel: Interaktive Eingabefelder

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=2&chapter=1§ion=1&exercise=1&login=student>

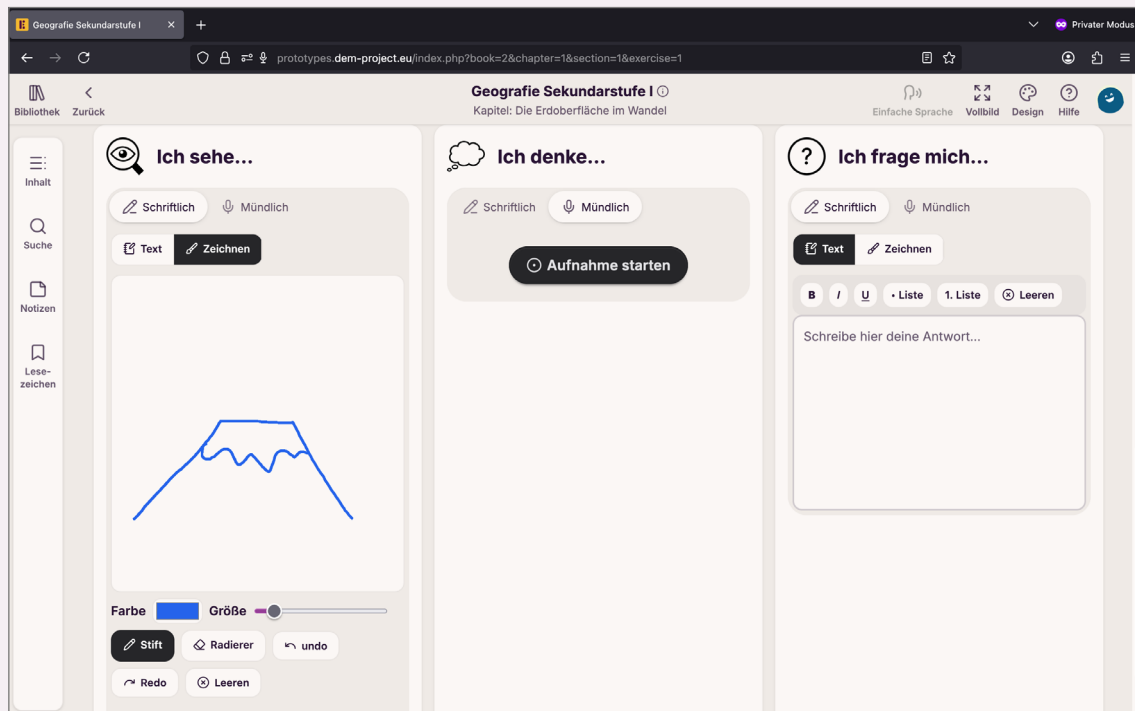


Abb. 15 unterschiedliche Eingabeformate für mündliche, schriftliche und grafische Eingabe

Die Lösungseingaben können auf verschiedene Arten erfolgen. Es gibt die Möglichkeit, einen Text zu verfassen, und dafür auch einfache Formatierungen wie fett, kursiv, unterstrichen bzw. eine Listenfunktion zu verwenden. Alternativ können auch Audioaufnahmen oder Zeichnungen angefertigt werden.

Für mathematische Eingaben steht in den Mathematik-Büchern im Prototyp ein LaTeX- und ein MathJX-Editor zur Verfügung, dessen Eingaben live interpretiert und dargestellt werden.

Alle Lernenden arbeiten mit derselben Eingabemaske, was die Orientierung im Buch erleichtert und einen anschließenden Vergleich bspw. mit Partner:innen einfach möglich macht.

Weitere technische Hinweise zur Umsetzung der gemeinsamen Eingabemaske finden sich in Kapitel 4.6.1.

- ▶ Die Wahl des Eingabeformats **orientiert sich an den fachlichen und überfachlichen Lernzielen**. Dadurch wird verhindert, dass Digitalität zum Selbstzweck wird.
 - ▶ Jede Interaktion dient einem klaren didaktischen Zweck, z. B.
 - ❑ dem Erklären von Zusammenhängen (Texteingabe),
 - ❑ dem Erläutern von Prozessen (Audioaufnahme),
 - ❑ dem Visualisieren von Strukturen (Zeichenfeld oder Skizze),
 - ❑ dem Zuordnen und Systematisieren (Drag-and-Drop).
 - ▶ Falls mehrere Eingabeformate zielführend sind, können die Lernenden das für sie passende **auswählen** (z. B. Audioeingabe oder Texteingabe).
 - ▶ Interaktive Eingaben können **getrennt von der Repräsentation** erfolgen (z. B. Texteingabe neben Visualisierung) oder **direkt in die Repräsentation** integriert sein (z. B. Eingriffe direkt in einer dynamischen Karte oder Manipulationen in einer Simulation).

Beispiel: Zuordnungsaufgabe mit Bildern

Im Prototyp wurde ein Eingabeformat, nämlich „Drag-and-Drop“, auf verschiedene Art und Weise und in verschiedenen Aufgaben verwendet. Je nach Inhalt und Ziel der Aufgabe ergeben sich aber verschiedene technische Umsetzungen und unterschiedliche Herausforderungen für die Barrierefreiheit.

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=3&chapter=1§ion=3&exercise=3&login=student>

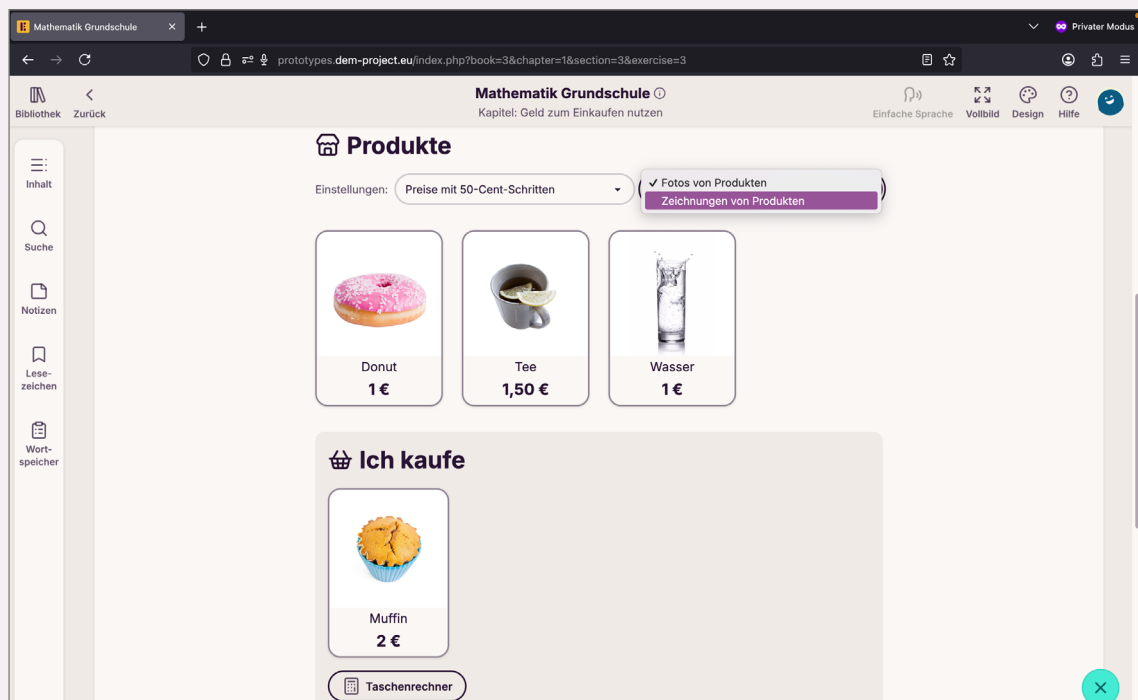


Abb. 16 Auswahl unterschiedlicher Produkte mit Wahlmöglichkeit für Preise und Darstellung

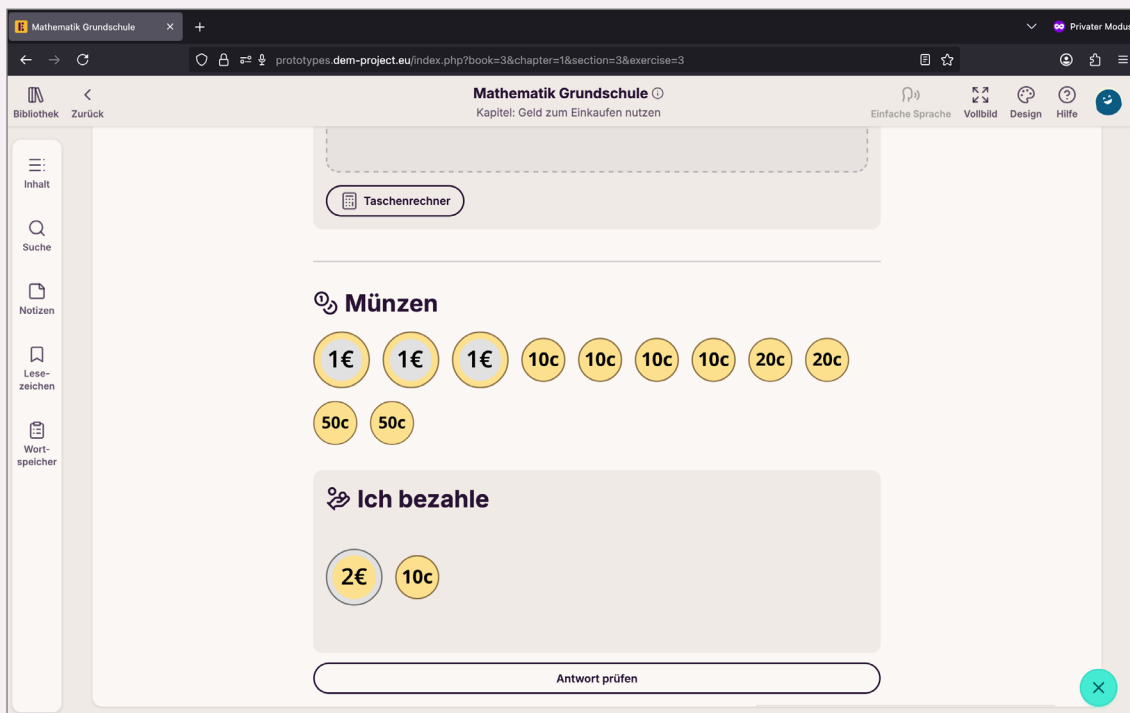


Abb. 17 Auswahl der entsprechenden Münzen für die gewählten Produkte

Die Drag-and-Drop-Aufgabe ermöglicht einen aktiven Zugang zum mathematischen Inhalt. Lernende können Produkte auswählen und ziehen die Produkte in einen Einkaufskorb. Anschließend wählen sie die passenden Münzen aus und ziehen diese in ein Feld, um den Einkauf zu bezahlen.

Die Darstellung der Produkte ist variabel. Es kann zwischen Fotos und simplen Zeichnungen von Produkten gewählt werden, um die Zugänglichkeit zu verbessern. Es gibt die Möglichkeit, zwischen zwei Arten von Preisen zu wählen (Preise mit 50-Cent-Schritten und Preise mit 10-Cent-Schritten), wodurch Lernende den Schwierigkeitsgrad selbst steuern und eigene Lösungswege erproben können. Die verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten decken die unterschiedlichen Bedürfnisse der Lernenden ab.

Durch die direkte Interaktion mit den Objekten entsteht eine enge Verbindung zwischen Handlung und Repräsentation. Die unterschiedlichen Kombinationsmöglichkeiten regen dazu an, Problemlösestrategien zu entwickeln, zu überprüfen und miteinander zu vergleichen.

Technisch sind für jedes Produkt die beiden Bildversionen und beiden Preise extra im HTML hinterlegt. Die einzelnen Elemente wie „einfacher Preis“ oder „einfaches Bild“ werden über IDs eindeutig identifiziert, was die Möglichkeit bietet, sie individuell ein- und auszublenden. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, alle Kombinationen aus einfachen und komplexen Bildern und Preisen darzustellen, z. B. einfache Preise + komplexe Bilder, oder komplexe Preise + einfache Bilder. Das Handling der Kombinationen übernimmt eine Javascript-Funktion.

Die Darstellung der Münzen und Produkte wurde in HTML als Buttons realisiert, um die Funktionalität des Verschiebens auch mittels Tastatur gewährleisten zu können. Der Button-Inhalt der Münze ist ein HTML-Image-Tag, der als Referenz eine svg-Datei der dazugehörigen Münze und einen Beschreibungstext (Alt-Tag) enthält, um die Zugänglichkeit für Screenreader-Nutzer:innen zu gewährleisten.

Weitere technische Informationen zur barrierefreien Funktionsweise des Drag-and-Drop-Aufgabe finden sich in Kapitel 4.6.3.

Beispiel 2: Zuordnungsaufgabe mit Texten

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=2&chapter=1§ion=5&exercise=5&login=student>



Abb. 18 Sortier-Aufgabe, bei der Sätze in die richtige Reihenfolge gebracht werden müssen

In einer Aufgabe sollen Sätze in die richtige Reihenfolge gebracht werden, um den Ablauf des Ausbruches zu wiederholen. Es wurde eine Darstellung in zwei Spalten gewählt, anstatt Sätze direkt innerhalb einer Spalte zu verschieben, damit die Übersichtlichkeit gewahrt bleibt und der Cognitive Load verringert wird, welche Sätze bereits sortiert wurden und welche nicht. Die sortierten Sätze werden der Übersichtlichkeit halber nummeriert dargestellt.

Technisch sind beide Spalten HTML-Listenelemente. Die Aufgabe funktioniert einerseits über Drag-and-Drop, d.h. Elemente können einfach mit der Maus oder mit dem Finger in die zweite Spalte gezogen werden und an der richtigen Stelle abgelegt werden. Screenreader-Nutzer:innen können die Aufgabe aber

ebenfalls lösen. Sie können das Element, auf dem gerade der Fokus liegt, mittels Drücken der Enter-Taste in die jeweils andere Liste hinzufügen. Diese Funktionalität wird mit einer Javascript-Funktion umgesetzt, die beim Aufruf der Funktion überprüft, in welcher Liste sich das Element befindet, und es dann mittels Javascript (appendChild-Funktion) in die andere Liste verschiebt.

Beispiel 3: Zuordnungsaufgabe mit Texten und mehreren Spalten

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=1&chapter=1§ion=2&exercise=2&login=student>



a.) Ordne die Eigenschaften den Wegen zu. Nutze die Informationen aus der Karte.

Eigenschaften	Weg A	Weg B	Weg C
fester Weg	flacher Weg		befestigter Weg
steiler Weg	nicht steiler Weg		
nicht befestigter Weg			

b.) Ordne die Wünsche und Bedürfnisse den Personen zu. Nutze die Informationen aus den Aussagen der Wanderer.

Eigenschaften und Wünsche	Anna	Max	Paul
neues Mountainbike		hat Höhenangst	Rollstuhlfahrer
braucht befestigten Weg			
möchte einen steilen Weg			
möchte einen unbefestigten Weg			
braucht einen flachen Weg			

Abb. 19 Zuordnung von Eigenschaften in Spalten in einer gestuften Aufgabe

Diese Aufgabe besteht aus mehreren Drag-and-Drop-Eingabefeldern. Lernende sollen erkennen, welche Wege passend für welche Person sind. Die Aufgabe führt die Lernenden stufenweise zur Lösung, indem zuerst nur die Eigenschaften der Wege, dann nur die Wünsche der Personen getrennt betrachtet werden.

Die Eigenschaften und Wünsche können mittels Maus oder Touch mit Drag-and-Drop zugeordnet werden. Screenreader-Nutzer:innen können durch Anwählen der entsprechenden Spalte (1, 2, 3 auf der Tastatur) die Begriffe mittels Tastatursteuerung passend ablegen.

Weitere technische Informationen zur barrierefreien Funktionsweise des Drag-and-Drop-Aufgabe finden sich in Kapitel 4.6.3.

Beispiel 4: Zuordnungsaufgabe mit Text auf Bild

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=2&chapter=1§ion=5&exercise=5&login=student>



Abb. 20 Zuordnung von Text auf Bild

Bei dieser Aufgabe sollen Fachbegriffe dem Schaubild zugeordnet werden. Die Aufgabe kann mittels Drag-and-Drop (Maus oder Touch), aber auch mit der Tastatur gesteuert werden. Lernende mit Beeinträchtigung des Sehens würden diese Aufgabe alternativ am taktilen Modell lösen, da ein Alternativtext zu der visuellen Aufgabe bereits die Lösung verraten würde. Auch eine alternative Zuordnung von Definition und Fachbegriff wäre möglich. Dieses Beispiel zeigt die Grenzen von Alternativtexten und der Notwendigkeit von Alternativaufgaben.

Beispiel 5: Zuordnungsaufgabe mit Bild auf Bild

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=4&chapter=1§ion=2&exercise=4&login=student>



Abb. 21 Zuordnung von Bild auf Bild

Bei dieser Aufgabe müssen jeweils zwei Bilder passend miteinander verbunden werden.

Weitere technische Informationen zur barrierefreien Funktionsweise der Zuordnungs-Aufgabe finden sich in Kapitel 4.6.3

- In digitalen Lehr- und Lernumgebungen bleibt die **Verschriftlichung** von Gedanken, Skizzen und Ergebnissen zentral für den Lernprozess.
 - Das digitale Schulbuch sollte daher Möglichkeiten bieten, Verschriftlichungen **direkt im Schulbuch** zu tätigen zu speichern (z. B. durch integrierte Notizfelder oder als digitales Heft), aber auch zugleich eine **separate (digitale oder analoge) Heftführung** unterstützen (z. B. durch Export- oder Druckfunktionen, Splitscreen-Möglichkeiten). Beide Varianten sind notwendig, um unterschiedlichen schulischen Rahmenbedingungen, technischen Voraussetzungen und Arbeitsweisen gerecht zu werden.
- Die Gestaltung sollte so angelegt sein, dass kein Wechsel zwischen mehreren Fenstern nötig ist. Eine **räumliche Nähe** zwischen Eingabefeldern bzw. Verschriftlichungsmöglichkeiten, Aufgaben, relevanten Informationen und notwendigen Funktionen (z. B. digitalen Werkzeugen) sollte jederzeit gewährleistet sein.


- **Hilfssysteme** wie Hinweise zur Lösung, sprachensible Hilfestellungen zur Formulierung von Texten, aber auch Spracherkennung und Rechtschreibprüfung sollten zielgerecht verfügbar sein, um inklusive Teilhabe zu sichern.

Beispiel: Lösungshinweise

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=1&chapter=1§ion=2&exercise=3&login=student>




Ordne jeder Person den passenden Weg zu und begründe deine Wahl.




Paul

Aufnahme starten



Anna

Aufnahme starten



Max

Aufnahme starten

Eigenschaften der Wege und Personen

Satzanfänge

Musterlösung

Satzanfänge
Nutze die folgenden Satzanfänge für deine Erklärung:
Paul braucht immer... Deswegen...
Anna möchte gerne... Deshalb...
Max würde am liebsten... Daher...

Abb. 22 Interaktive Hilfssysteme zur didaktischen und sprachlichen Unterstützung

Dieses Beispiel illustriert, wie mit Lösungshinweisen gearbeitet wird. Sind Lernende nicht in der Lage, die Aufgabenstellung selbstständig zu lösen, werden ihnen unterschiedliche Arten von Lösungshinweisen angeboten, die von Lernenden selbstständig je nach Bedarf aufgeklappt werden können. Der erste Hinweis gibt Gedanken- bzw. Überlegungsanlässe, während der zweite Hinweis sprachliche Unterstützung bei der Formulierung anbietet. Auch eine Musterlösung kann nach dem Beantworten abgerufen werden.

Beispiel: Hilfssysteme in Lückentexten

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=2&chapter=1§ion=3&exercise=3&login=student>



Ein Schichtvulkan entsteht – Ein X +

prototypes.dem-project.eu/index.php?book=2&chapter=1§ion=3&exercise=3

Geografie Sekundarstufe I

Kapitel: Die Erdoberfläche im Wandel

Einfache Sprache Vollbild Design Hilfe

Privater Modus

Bibliothek Zurück

Inhalt

Suche

Notizen

Lesezeichen

Fixierung lösen

Asche und Gesteinsbrocken

Lava

Schlot

Krater

Magma

Schichtvulkan

Magakammer

Eruption

Der Cotopaxi ist ein . Der Berg ist kegelförmig und hat steile Hänge. Der Ausbruch eines Vulkans heißt . Bei der Eruption steigt das Magma aus der durch den Schlot an die Erdoberfläche.

Wenn der Vulkan ausbricht, stößt er aus. Wenn das Magma aus dem an die Erdoberfläche gelangt, wird es genannt. Die Lava ist heiß und fließt langsam den Hang hinab. Dabei kühlt sie ab. Mit der Asche und den Gesteinsbrocken bildet die abgekühlte Lava die

Abb. 23 Lückentext-Aufgabe

Bei der Lückentextaufgabe zeigt sich, dass Hilfssysteme zur Barrierefreiheit auch im Widerspruch zueinander stehen können und spezielle Lösungen gefunden werden müssen. Um den Cognitive Load gering zu halten, können die einzusetzenden Begriffe am oberen Bildschirmrand fixiert werden, sodass nicht ständig nach oben und unten gescrollt werden muss und die Begriffe nicht auswendig gemerkt werden müssen. Die bereits verwendeten Begriffe können durch Klick auch durchgestrichen werden, um zu kennzeichnen, dass diese nicht mehr gebraucht werden. Die Fixierung der Begriffe ist allerdings für Lernende, die eine starke Vergrößerung benutzen, nicht ideal, da die Begriffe dann einen großen Teil der Ansicht einnehmen würden. Deshalb gibt es die Möglichkeit, die Fixierung auch zu lösen.

3.2.4 Sozial- und Arbeitsformen festlegen und variieren

Das digitale Schulbuch soll **Kommunikations-, Kooperations- und aktive Handlungsprozesse anregen**. Diese finden sowohl innerhalb der digitalen Lernumgebung als auch zwischen Lernenden und Lehrkräften statt. Vorgaben zu Sozial- und Arbeitsformen sind dabei kein Zusatz, sondern integrale Bestandteile des Lernprozesses. Die Auswahl geeigneter Sozial- und Arbeitsformen orientiert sich an den Lernzielen des Unterrichts, an den Bedürfnissen der Lerngruppe und an der Phase des Lernprozesses. Fragen, Argumentieren, Vergleichen und gemeinsames Erklären sind explizit eingeplante Schüler:innenhandlungen und adressieren aufzubauende Kompetenzen.

- ▶ Das digitale Schulbuch bietet Möglichkeiten zum kollaborativen Arbeiten **direkt in der Lernumgebung** und wird selbst zu einer sozialen Plattform, die kooperatives Lernen sichtbar und produktiv macht, z. B. durch:
 - ▷ gemeinsames Bearbeiten oder Teilen von Ergebnissen,
 - ▷ Kommentarfunktionen, Chats oder Peer-Feedback,
 - ▷ geteilte Visualisierungen oder Diskussionsräume.
- ▶ Interaktive Eingabeformate (siehe 3.2.3) sollen die Lernenden dazu anregen, **mit dem digitalen Schulbuch in einen „Dialog“** zu treten. Beispiele: adaptive Rückmeldungen, Reflexionsfragen, KI-gestützte Hinweise oder Vergleichsmöglichkeiten mit anderen Lösungen.
- ▶ Das Schulbuch kann Impulse für eine **Zusammenarbeit außerhalb der digitalen Umgebung** geben, z. B. durch:
 - ▷ Partner- oder Kleingruppenarbeit an/mit einem Gerät,
 - ▷ methodisch angeleitete Gruppenaufgaben in Präsenzphasen,
 - ▷ Vorschläge für Diskussionen oder Experimente im Klassenzimmer,
 - ▷ Aufgaben, die den Austausch mit anderen Lerngruppen, Schulen oder Expert:innen anregen.
 - ▷ Analoge Phasen ergänzen das digitale Lernen und schaffen soziale sowie kommunikative Lernanlässe.
- ▶ Aufgaben sollen zu **unterschiedlichen Sozialformen** (Einzel-, Partner- und Gruppenarbeit) anregen.
 - ▷ Diese sind im Schulbuch klar gekennzeichnet (z. B. durch Icons oder Farben).
 - ▷ Es kann auch bewusst keine Sozialform angegeben werden. Die Lehrkraft oder die Lernenden entscheiden dann eigenständig über die Sozial- und Arbeitsformen.
- ▶ Lehrkräfte erhalten direkt in der Lehrerausgabe des digitalen Schulbuchs didaktische **Hinweise zum Einsatz und zur Umsetzung kooperativer Methoden**. Das Schulbuch unterstützt sie so in der methodischen Planung und bei der Auswahl passender Sozial- und Arbeitsformen für verschiedene Lernphasen.

Beispiel: Lehrhinweise für Lehrkräfte

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=2&chapter=1§ion=1&exercise=1&login=teacher>

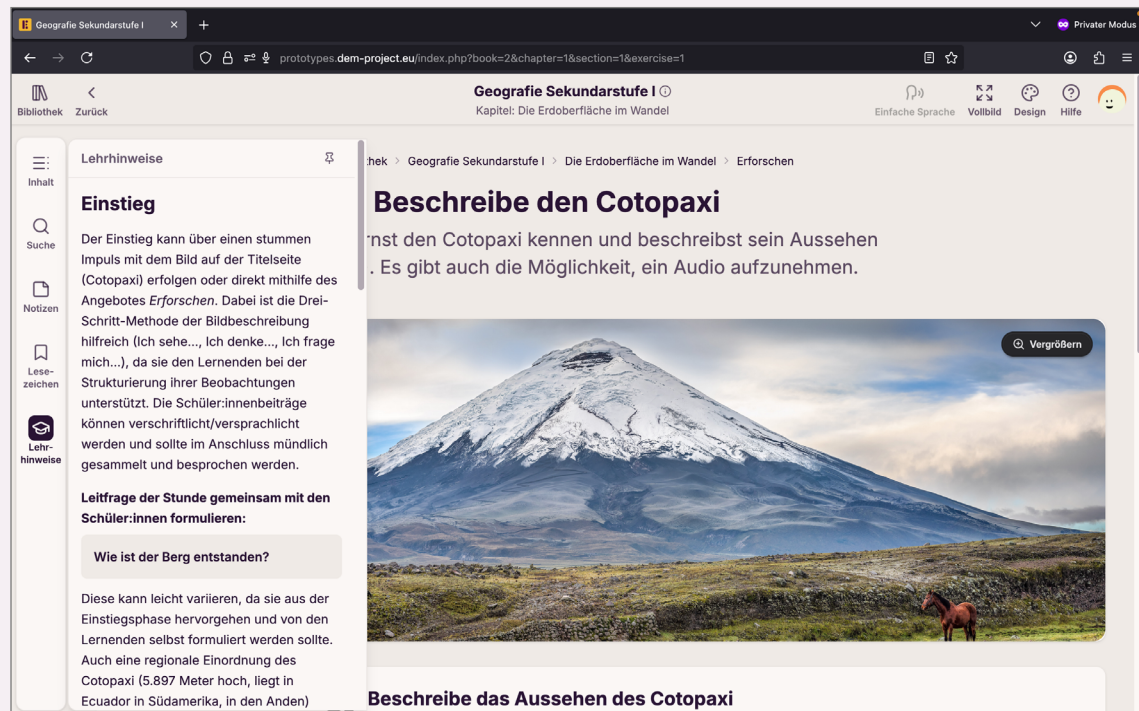


Abb. 24 Lehrhinweise zu einer Aufgabe

In der Prototyp-Version für die Lehrkräfte sind pro Einheit Hinweise für Lehrende zu finden, die bei der Vorbereitung und Durchführung der Einheit unterstützen können. Besonderer Wert wurde auf kooperative und kollaborative Umsetzung des Angebotes gelegt, um individuelle Abhängigkeit, positive Interdependenz und die echte Zusammenarbeit in heterogenen Lehr-Lern-Settings zu fördern. Die Lehrhinweise können in einer Seitenleiste aufgeklappt werden, um gleichzeitig mit den Inhalten der jeweiligen Einheit sichtbar zu sein und so direkte Bezüge zu den Inhalten herzustellen.

Beispiel: Lösungen mit anderen teilen

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=4&chapter=1§ion=1&exercise=1&login=student>

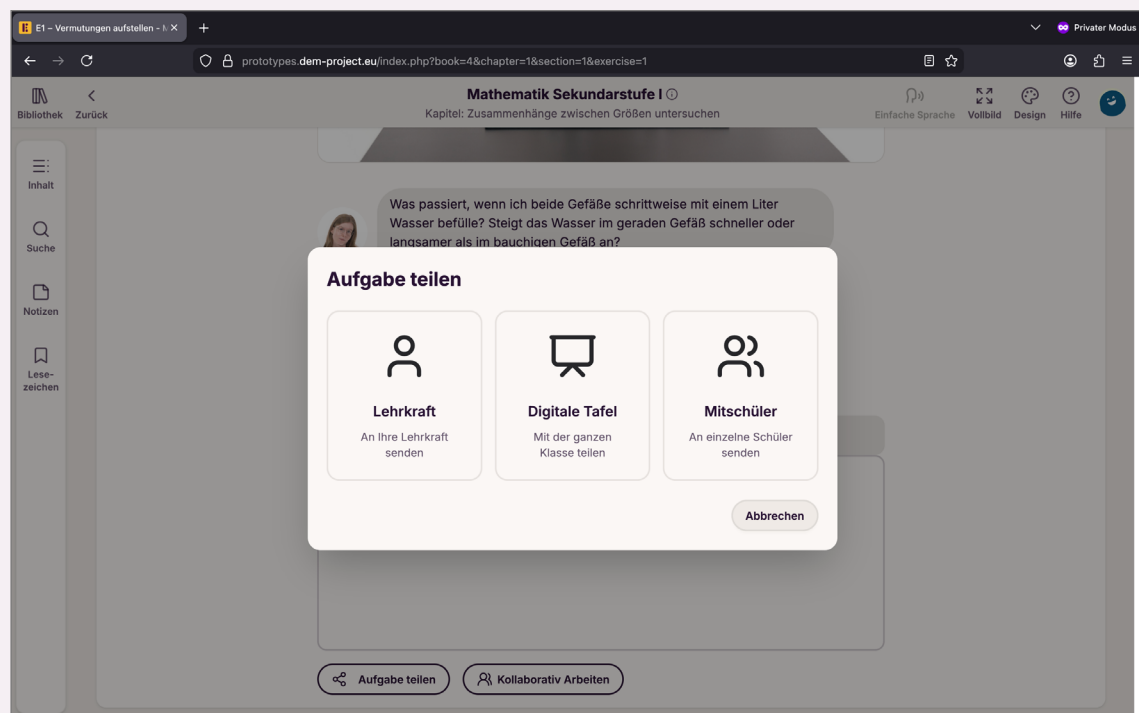


Abb. 25 Eingaben mit anderen Lernenden, der Lehrkraft oder Klasse teilen

Die Aufgabe bietet verschiedene Anknüpfungsmöglichkeiten für individuelles und gemeinsames Arbeiten. Lernende können zunächst eigene Vermutungen im Eingabefeld formulieren und diese anschließend mit Mitschüler:innen oder der Lehrkraft teilen oder an die elektronische Tafel senden. Durch die integrierten Funktionen zum Austausch und kollaborativen Arbeiten wird der Übergang von Einzelarbeit zu kooperativem Lernen nahtlos unterstützt. Optional könnte ein ergänzender Arbeitsauftrag („Vergleicht eure Antworten“) die Kooperation weiter fördern.

Beispiel 2: Kollaboratives Arbeiten

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=4&chapter=1§ion=1&exercise=1&login=student>

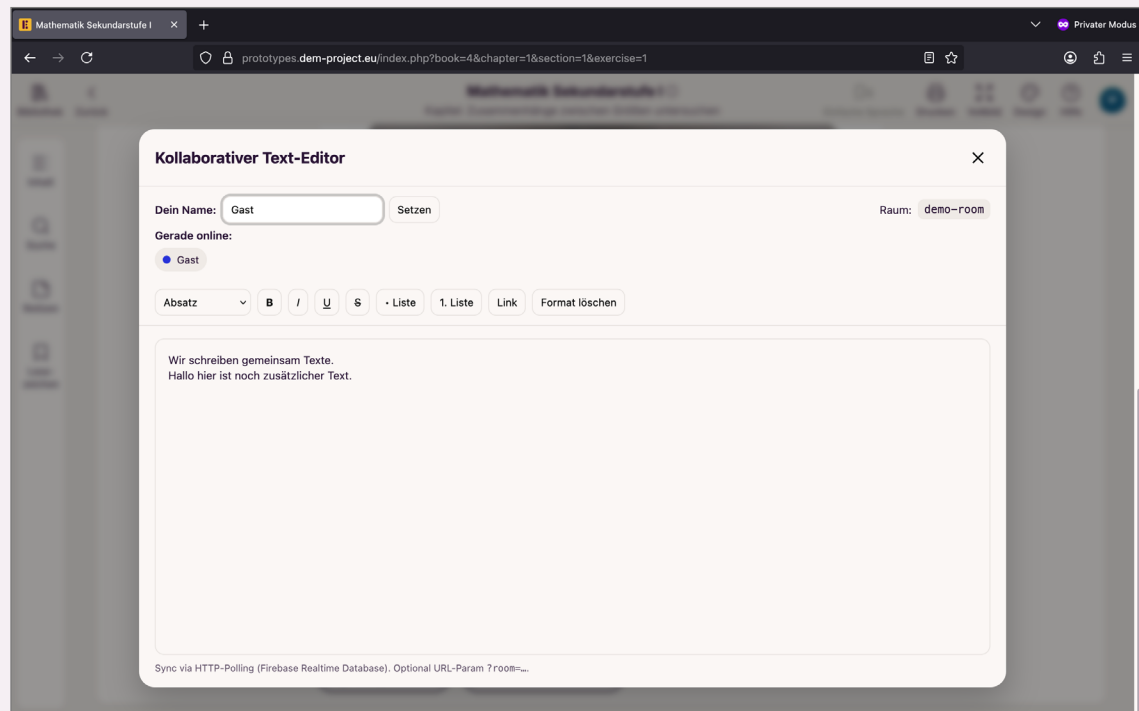


Abb. 26 Kollaborativer Texteditor zum gemeinsamen Bearbeiten von Texten

Beim kollaborativen Arbeiten öffnet sich ein Textfeld, in dem mehrere Lernende gemeinsam an einem Text arbeiten können. So werden Kommunikation und gemeinsame Reflexion über mathematische Ideen gezielt angeregt. Die Gestaltung verbindet individuelles Nachdenken mit sozialem Lernen in einer gemeinsamen digitalen Umgebung und eröffnet zugleich Austauschmöglichkeiten über das Schulbuch hinaus.

Weitere technische Hinweise zur Umsetzung des kollaborativen Eingabefeld finden sich in Kapitel 4.6.2.

3.2.5 Integration digitaler Feedbackmöglichkeiten

Das digitale Schulbuch bietet **adaptiertes, kontextbezogenes elaboriertes Feedback**. Feedback ist ein zentrales Element lernwirksamer Unterrichtsgestaltung und unterstützt Lernende beim Verstehen, Reflektieren und Weiterentwickeln ihres Wissens und Kompetenzen.

- ▶ **Elaboriertes Feedback** erklärt, warum eine Antwort richtig oder falsch ist, verweist auf zugrunde liegende Konzepte oder Denkfehler und bietet konkrete Hinweise zur Verbesserung. Es kann unterschiedliche Formen annehmen, z. B.:
 - ▶ **inhaltliches Feedback:** „Beachte, dass sich die Steigung auf die Veränderung der Höhe bezieht“.

- ▶ **strategisches Feedback:** „Versuche, eine Skizze zu erstellen, bevor du rechnest.“
- ▶ **metakognitives Feedback:** „Wie bist du auf diese Idee gekommen? Gibt es eine andere Möglichkeit?“
- ▶ Rückmeldungen müssen sich auf die **konkrete Aufgabe, das genutzte Repräsentationsformat oder die gewählte Strategie** beziehen, also nicht nur auf die finale Lösung.
 - ▶ Dies unterstützt insbesondere konzeptuelles Verständnis und vermeidet oberflächliches Lernen durch reines Wiederholen. Das Feedback soll nicht nur auf Ergebnisse reagieren, sondern Lernende **zur Reflexion und Selbststeuerung** ihres eigenen Lernprozesses anregen. So werden Lernende befähigt, eigene Fehler zu erkennen, Strategien zu überprüfen und nächste Lernschritte selbstständig abzuleiten.
- ▶ Das Feedback soll **adaptiv** gestaltet sein, d. h. es ist in Tiefe, Umfang und Form an Antworttyp, Bearbeitungsstand oder Lernverlauf angepasst.
 - ▶ Lernende mit noch unsicherem Verständnis erhalten stärker stützendes Feedback; fortgeschrittene Lernende erhalten Impulse zur Vertiefung, Begründung oder Generalisierung.
 - ▶ Adaptivität kann auch bedeuten, dass Lernende den Detailgrad oder die Darstellungsform des Feedbacks (z. B. Text, Audio, visuell) selbst wählen können.
- ▶ Feedback ist eng mit der **Lernphase** verzahnt:
 - ▶ In frühen Phasen (z. B. *Erforschen*) sollen Lernende durch unterstützende Hinweise zur Bearbeitung angeregt werden.
 - ▶ In späteren Phasen (z. B. *Üben, Vertiefen*) treten reduzierte Hilfen und verstärkte Reflexionsanlässe in den Vordergrund.
 - ▶ So wird ein schrittweiser Übergang von **fremd- zu selbstreguliertem Lernen** ermöglicht.
- ▶ Effektives Feedback ist **mehrstufig** organisiert:
 - ▶ Beispielsweise erfolgt erst eine einfache Rückmeldung zur Lösung, anschließend kann optional ein Hinweis oder eine Erklärung eingeblendet werden und dann vertiefende Hinweise oder Reflexionsfragen folgen.
 - ▶ Alternativ kann Feedback in einer abgestuften Reihenfolge bereitgestellt werden: zunächst motivational, dann strategisch, und zuletzt inhaltlich.
 - ▶ Dadurch wird Überforderung vermieden und Feedback kann dem individuellen Bedarf folgen.

Beispiel: Mehrstufige Hilfssysteme

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=4&chapter=1§ion=2&exercise=4&login=student>

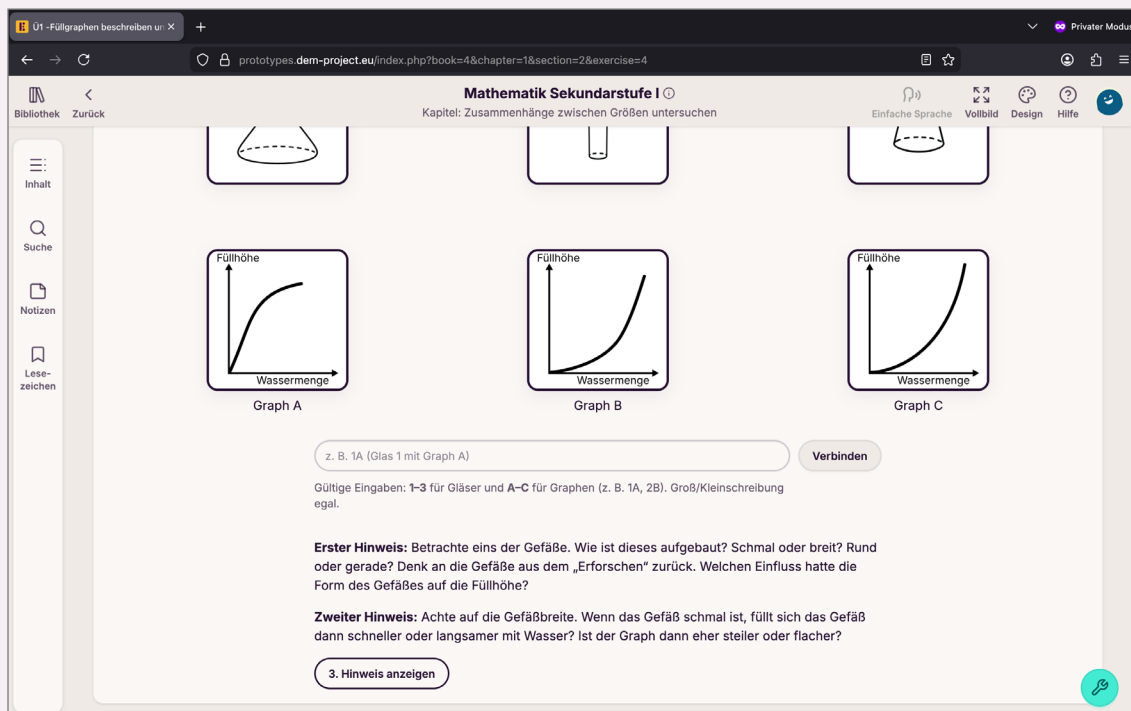


Abb. 27 Mehrstufige Hilfen

Die Aufgabe ist mit mehrstufigen Hilfen verbunden, die Lernende beim schrittweisen Erarbeiten einer Lösung unterstützt. Die Hinweise sind so implementiert, dass sie bewusst nacheinander angesteuert werden müssen, wodurch eigenständiges Reflektieren und schrittweises Denken angeregt werden. Die erste Rückmeldung bietet vor allem strategische Unterstützung und knüpft an zuvor Gelerntes an. Nachfolgende Hilfen werden inhaltlich zunehmend konkreter. Zudem kann in der Simulation die eigene Zuordnung überprüft werden, sodass Feedback und differenzierte (elaborierte) Hilfen eng miteinander verknüpft sind.

- ▶ Feedback soll **klar, präzise und förderorientiert** formuliert sein und somit nicht bewertend („falsch“), sondern **unterstützend** („Überprüfe noch einmal, wie...“). Dies stärkt Motivation und Selbstwirksamkeit.
- ▶ **Lehrkräfte** sollen Feedbackprozesse einsehen und gezielt aufgreifen können, um individuelle Lernverläufe zu unterstützen und adaptive Hilfen weiterzuführen. Digitale Rückmeldungen können so auch zur **Diagnose** und **Unterrichtssteuerung** genutzt werden.
- ▶ Feedbackfunktionen sollten sowohl **individuelle** als auch **kollaborative** Lernprozesse unterstützen: Lernende können eigene Lernprodukte mit den Rückmeldungen des Systems oder anderer Lernender vergleichen (z. B. Peer-Feedback).

- ▶ **Selbstbewertungsinstrumente** wie Checklisten und „Wissensspeicher“ können ergänzend integriert werden.
Diese fördern metakognitive Kontrolle und Verantwortung für das eigene Lernen.
- ▶ **KI-gestützte Systeme** können die Feedbackgestaltung ergänzen, indem sie personalisierte Rückmeldungen erzeugen, fachsprachliche Präzision überprüfen und alternative Lösungswege aufzeigen. Zudem können sie Hinweise zur Argumentationsstruktur, Begriffsverwendung oder Kohärenz von Erklärungen geben.
 - ▶ KI kann dabei verschiedene Rollen wie „neutrale“ Bewertende oder auch eine Figur aus dem Buch (Maskottchen) einnehmen.
 - ▶ KI-basierte Rückmeldungen sollen dabei didaktisch eingebettet sein und die Lehrkraft nicht ersetzen, sondern in der Begleitung und Diagnose unterstützen.
 - ▶ Der Einsatz von KI muss klar gekennzeichnet werden.

Beispiel 1: KI als Lerncoach

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=2&chapter=1§ion=2&exercise=2&login=student>

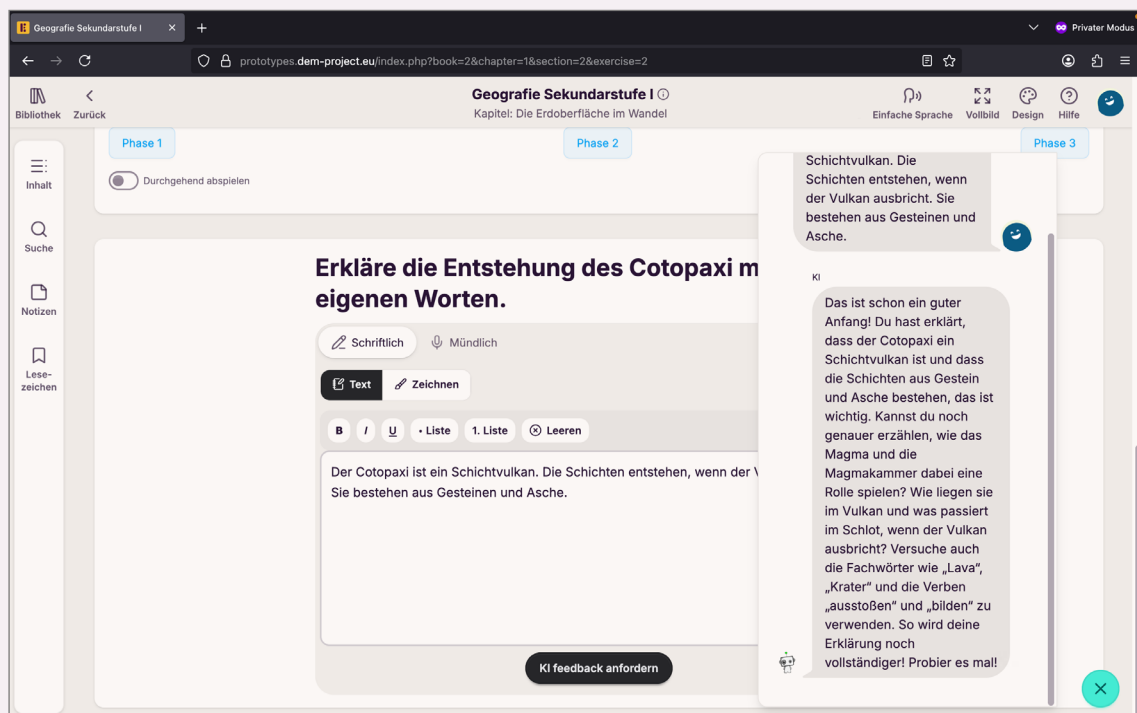


Abb. 28 Lernende erhalten KI-generiertes Feedback auf ihre schriftliche Eingabe

Lernende erhalten individuelles KI-Feedback zu ihren schriftlichen Antworten. Es orientiert sich an bereitgestellten fiktiven Schüler:innenbeispielen und Musterlösungen und unterstützt fachliche Denkprozesse durch gezielte Hinweise zu Fachbegriffen und Formulierungen. Lernfortschritte werden sichtbar und die fachliche Verständnistiefe wird gefördert. Lehrkräfte können das adaptive Feedback nutzen, um Lernprozesse differenziert zu begleiten.

Die Verbindung von KI und fachdidaktischer Reflexion stärkt damit eine individuelle, prozessorientierte Lernkultur.

In diesem Beispiel wurde KI-Feedback in eine Freitexteingabe implementiert, bei welcher die Lernenden den Aufbau eines Schichtvulkans in eigenen Worten wiedergeben sollen. Die KI nimmt die Rolle eines „Lerncoaches“ ein und gibt Feedback, ob die Abläufe richtig erklärt und Fachbegriffe verwendet wurden. Sie stellt offene Fragen, um die Lernenden zu Verbesserungen anzuregen.

Der Einsatz von KI wird immer klar gekennzeichnet. Die Buttons für das Feedback bzw. das seitliche Menü, in dem die Antwort zu sehen ist, sind entsprechend benannt („KI-Feedback“). Im Beispiel 1 ist das Feedback durch ein Roboter-Icon gekennzeichnet.

Beispiel 2: KI als Figur aus dem Schulbuch

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=1&chapter=1§ion=2&exercise=3&login=student>

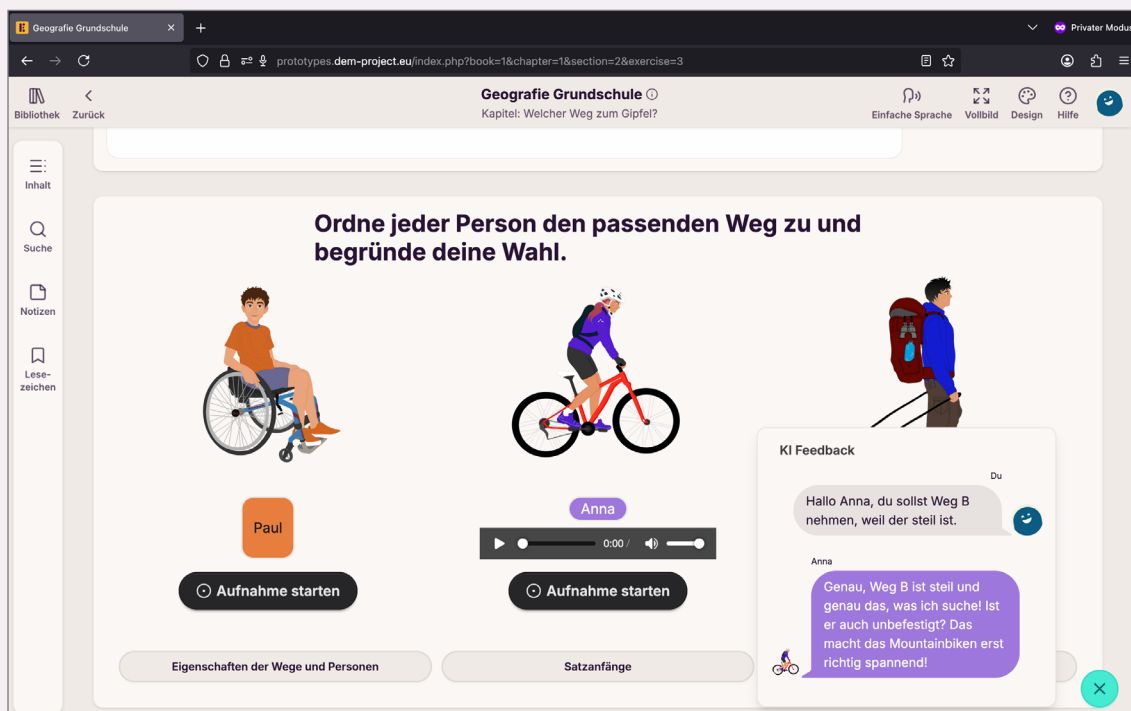


Abb. 29 Lernende erhalten KI-generiertes Feedback auf ihre mündliche Eingabe

In diesem Beispiel machen Lernende eine Audioeingabe und empfehlen drei Personen einen Wanderweg basierend auf einer Höhenlinienkarte. Im Fall der Audioeingabe wird die gesprochene Antwort zunächst noch transkribiert und dann als Text an die KI-Schnittstelle übergeben. Die KI antwortet als Text.

Die KI nimmt hier die Rolle der Personen ein, denen ein Weg empfohlen wird.

Mehr Informationen über die technische Umsetzung des KI-Feedbacks finden sich in Kapitel 4.7.

3.2.6 Vernetzungen zwischen Inhalten und Strukturen schaffen

Durch **gezielte Verweise und Querverbindungen** wird das Schulbuch zu einer vernetzten Lernumgebung. Lernende sollen dabei unterstützt werden, Zusammenhänge zwischen Begriffen, Konzepten und Anwendungsfeldern zu erkennen und ihre Kompetenzen auf neue Kontexte zu übertragen.

- ▶ **Digitale Verweisfunktionen**, z. B. Hyperlinks, Glossare oder Suchfunktionen, ermöglichen direkte Sprünge zwischen verwandten Inhalten.
 - ▶ Diese können auf verschiedenen Ebenen verweisen:
 - innerhalb eines Kapitels (z. B. von einer Aufgabe zur passenden Definition oder zu einem ähnlichen Beispiel),
 - zwischen Kapiteln eines Schulbuchs (z. B. vom *Schichtvulkan* zum *Schildvulkan*),
 - zwischen Jahrgangsstufen eines Faches (z. B. *Quadratische Funktionen* zu *Linearen Funktionen*)
 - zwischen Fächern (z. B. von *Geographie - Leben und Wirtschaften in Europa* zu *Politik - Politisches System der Europäischen Union*)
- ▶ **Vernetzung und Wiederholung** gehen dabei Hand in Hand:

Das digitale Schulbuch soll Lernprozesse so strukturieren, dass Kompetenzen regelmäßig wiederholt, vertieft und in unterschiedlichen Kontexten aktiviert werden. Damit unterstützt es verteiltes Lernen, um langfristiges Behalten und tiefes Verständnis zu fördern.
- ▶ Visualisierte **Strukturübersichten** (z. B. Netzdiagramme, Themenpfade oder Lernlandkarten) helfen, Zusammenhänge intuitiv zu erfassen.

Beispiel: Vernetzung und Wiederholung

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=4&chapter=1§ion=3&exercise=6&login=student>

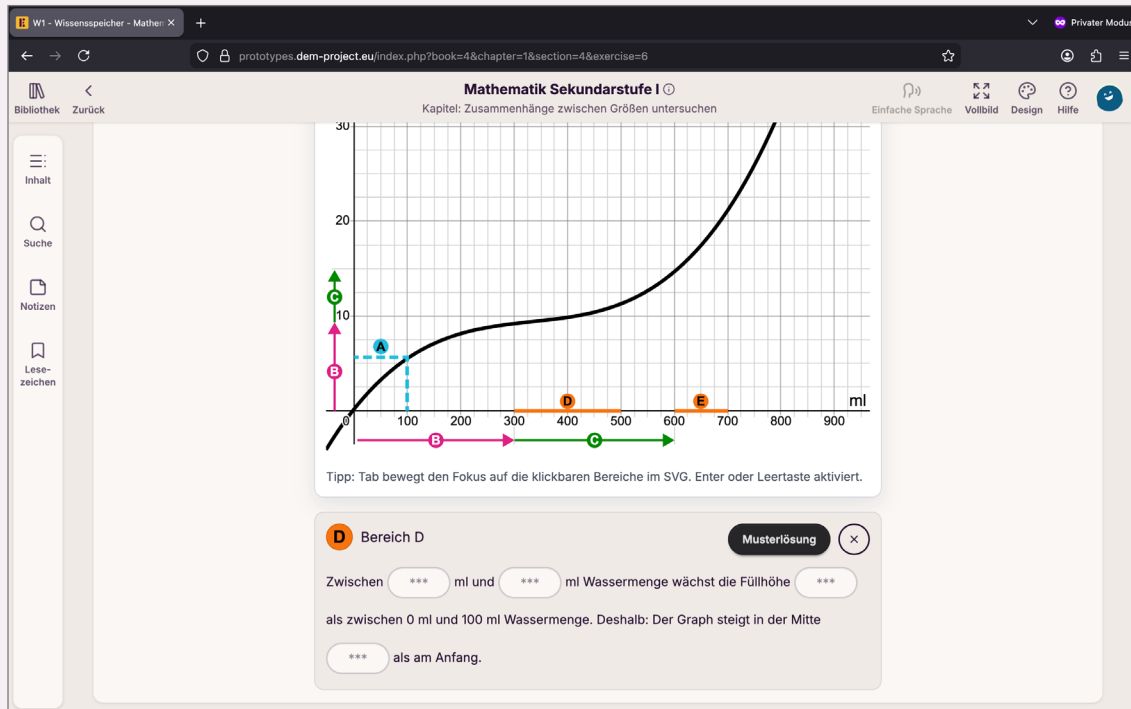


Abb. 30 Wissensspeicher

Der Wissensspeicher greift die Idee eines Lehr- und Lerntextes zu den zentralen inhalts- und prozessbezogenen Kompetenzen eines Kapitels auf. Visualisierungen und erklärende Textbausteine werden zu einer integrierten Lern- und Wiederholungsumgebung verknüpft. Lernende können zentrale Erkenntnisse selbst ergänzen oder bei Bedarf einblenden und so ihr Verständnis schrittweise strukturieren. Durch die Möglichkeit, Inhalte variabel zu aktivieren, wird der Wissensspeicher sowohl Reflexions- als auch Nachschlageinstrument. Seine Gestaltung unterstützt vernetztes Denken und fördert die aktive Auseinandersetzung mit zentralen Begriffen, Darstellungsformen und Zusammenhängen. Lehrkräfte können ihn gezielt nutzen, um zentrale Inhalte zu sichern, Lernstände sichtbar zu machen und individuelle Förderbedarfe aufzugreifen.

Dabei muss beachtet werden, dass der Wissensspeicher zu den Inhalten passt, die in der Einheit bearbeitet wurden. Im bestehenden Beispiel wurden die Werte z. B. so gewählt, dass sie nicht 1:1 die Werte aus der Lektion doppeln, aber sich doch in einem ähnlichen Rahmen bewegen (100ml-Schritte).

- **Lehrkräfte** sollen über geeignete **Steuerungselemente** (z. B. Inhaltsverzeichnisse, Quellpfade, Kapitelbezeichnungen) erkennen können, welche inhaltlichen Verbindungen bestehen und wie diese für Unterrichtsplanung, Differenzierung und individuelle Förderung genutzt werden können.

- **Schulbuch-Maskottchen**, die immer wieder vorkommen, können einen visuellen roten Faden bilden und Inhalte vernetzen. Die Maskottchen sollten dann eine bestimmte Funktion einnehmen oder als dekorative Elemente ausblendbar sein.

Richtlinien für Barrierefreiheit und Design

- Aufgaben sollen Lernende gezielt dazu anregen, ihr Wissen auf neue Sachverhalte, Kontexte oder Problemstellungen zu übertragen (**Transfer**).
- Dies kann durch Transferaufgaben, Vergleiche oder metakognitive Aufgabenstellungen erfolgen.

Beispiel: Transferaufgabe

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=1&chapter=1§ion=3&exercise=4&login=student>



Bonusaufgabe für Schnelle - Empfehlungen abgeben.
Schau dir die Wetterberichte zu den verschiedenen Tagen an. Gib den Wanderern Empfehlungen zu Kleidung und wichtiger Ausrüstung für den jeweiligen Tag.

Tag	Wetterbericht	Deine Empfehlung
Heute	Wetterbericht: Für den heutigen Tag sind 33° Grad C und blauer Himmel angekündigt.	Schreibe hier deine Empfehlung...
Morgen	Wetterbericht: Morgen soll es in der Mittagszeit vereinzelte Regenschauer geben. Die Temperaturen erreichen heute bis 10° Grad, in höheren Lagen bis 3° Grad.	Schreibe hier deine Empfehlung...

Abb. 31 Aufgabe Wandertag bei jedem Wetter

In dieser Bonusaufgabe arbeiten die Lernenden im Sinne der Wanderpläne mit Wettervorhersagen. Der Transfer in die eigene Lebenswirklichkeit bzw. in die Lebenswelt der Wanderer kann darüber hinaus reflektiert und lösungsoffen erfolgen.

3.3 Kontinuierliche Qualitätsprüfung durch verschiedene Akteur:innen berücksichtigen

Iterative Tests mit Personen, die selbst assistive Technologien nutzen, liefern evidenzbasiertes Feedback zu Gebrauchstauglichkeit und Barrierefreiheit und sollten in die reguläre Qualitätssicherung integriert werden (ETSI. EN 301 549: Accessibility requirements for ICT products and services (setzt u. a. WCAG für Webinhalte voraus)).

Eine gründliche Qualitätsprüfung des digitalen Schulbuchs bezieht **verschiedene Perspektiven** ein und stellt sicher, dass die Inhalte und die Umsetzungen der Barrierefreiheit in der Praxis funktionieren. Diese Phase ist auch nach der Veröffentlichung der Materialien nicht abgeschlossen, da immer wieder neue Erkenntnisse auftreten können oder neue Richtlinien veröffentlicht werden. Dementsprechend ist auch der **Entwicklungsprozess nie vollständig abgeschlossen**, denn in der Qualitätsprüfung aufgedeckte Schwachstellen erfordern es, den Entwicklungsprozess wieder aufzugreifen.

- ▶ Das **interdisziplinäre Entwicklungsteam** überprüft kontinuierlich die Umsetzung der ursprünglichen Konzeptions- und Inklusionsziele. Besonders wichtig ist eine erneute Überprüfung bei Änderungen an den ursprünglich geplanten Inhalten, z. B. aufgrund von technischer Machbarkeit.
- ▶ **Nutzer:innen assistiver Technologien** testen die tatsächliche Zugänglichkeit der Inhalte und Aufgaben.
- ▶ Nach Möglichkeit erfolgt in regelmäßigen Abständen eine **Evaluation** in Bezug auf didaktische Wirksamkeit, Barrierefreiheit und technische Stabilität.
- ▶ **Nutzer:innen**, insbesondere Lehrkräfte sowie Lernende, **können über eine Support-Funktion im Buch direktes Feedback** aus dem Unterrichtsalltag geben.
- ▶ Durch **Veröffentlichung des digitalen Schulbuchs als Open Educational Resource** unter einer offenen Lizenz (z. B. Creative Commons) können die Inhalte und Aufgaben auch von anderen weitergenutzt und verbessert werden. Lernende und Lehrkräfte werden dadurch zu Akteur:innen im Gestaltungsprozess und können die Aufgaben in puncto Lebenswelt-, Nahraumbezug oder Barrierefreiheit rechtlich sicher weiter an die eigenen Unterrichtskontexte anpassen.
- ▶ Nutzer:innen werden **über Barrierefreiheits-Features direkt im digitalen Schulbuch informiert**, entweder in den Lehrhinweisen, direkt im Aufgabentext, als Hinweis-Button, spezielles Icon oder auch als Text, der nur für Screenreader lesbar ist. Teilweise sind die speziellen barrierefreien Umsetzungen nämlich nicht „sichtbar“.

Technisch:

- ▶ **Die (Weiter-)Entwicklung des digitalen Schulbuchs** muss in einem System erfolgen, das Änderungen nachvollziehbar dokumentiert, z. B. Github.
- ▶ Über **Release Notes** erhalten die Nutzenden nach jedem Update eine Information über die Änderungen. Dabei werden auch explizit Änderungen oder Verbesserungen der Barrierefreiheitsfunktionen angeführt.
- ▶ Die **Lizenz** des digitalen Schulbuchs sowie alle Einzelangaben (z. B. Bildlizenzen) sind einfach auffindbar im digitalen Schulbuch hinterlegt.
- ▶ **Informationen, die nur für Screenreader-Nutzer:innen relevant sind**, werden mit `<sr-only>` hinterlegt.

4. Technische Umsetzung des didaktischen Designs und qualitative Barrierefreiheit: Praxisnahe Implementierungen

4.1 Statische Visualisierungen

- ▶ Die Bilder im digitalen barrierefreien Schulbuch müssen auch **bei starker Vergrößerung gut erfassbar sein** und dennoch schnell laden. Empfohlene Formate sind daher webp (zum Beispiel für Fotos) oder SVG (für Illustrationen).
- ▶ **Vorteile von SVG:**
 - ▶ Auch bei starker Vergrößerung, auf verschiedensten Geräten, Zoomstufen und Displays scharf: ein Kernkriterium für Lernende mit eingeschränktem Sehen.
 - ▶ Farben, Strichstärken und Kontraste können zur Laufzeit per CSS angepasst werden (z. B. Hochkontrast-Design), ohne neu exportieren zu müssen (WCAG 1.4.3).
 - ▶ Kleine Dateigrößen, was schnelle Ladezeiten ermöglicht
 - ▶ Semantische Beschriftungen (Titel, Beschreibungen) lassen sich direkt im SVG unterbringen und mit alt/aria-describedby im HTML zugänglich machen.
- ▶ SVGs sollten **ausschließlich Vektorformen, klare Konturen und reduzierte Farbflächen** enthalten.
- ▶ Wenn nicht bereits im Bildbearbeitungsprogramm integriert, sollten die **Bilddateien optimiert** werden (z. B. mit einem SVG-Optimizer).
- ▶ Aussagekräftige **Namen und Beschriftungen** helfen bei der Kommunikation in der Klasse, da bestimmte Bilder genau referenziert werden können.
- ▶ Es können auch **direkt im Buch Zoom-Optionen** bereitgestellt werden, vor allem, wenn die Bildinhalte für die Aufgabenstellung relevant sind und daher gut erfasst werden müssen.
- ▶ Im HTML sollte pro Bild ein **Alternativtext** sowie (falls nötig) eine ausführlichere Beschreibung über figcaption oder aria-describedby hinterlegt werden (WCAG 1.1.1 und 1.3.1).

Mehr zu Alternativtexten in Kapitel 4.2

- ▶ **Text bleibt Text:** Achsentitel, Legenden, Labels als `<text>` im SVG oder als HTML – keine in Pfade / Bilder konvertierten Texte (WCAG 2.1 1.4.5).
- ▶ **Tabellarische Alternative:** Daten zusätzlich als `<table>` mit `<caption>`, `<thead>`, `<th scope>`. CSV/JSON-Download anbieten.
- ▶ **Dekoratives im SVG** mit `aria-hidden="true"` bzw. `role="presentation"` markieren.
- ▶ **Karten-Basics:** Legende als echter HTML-Text (nicht eingebrannt), Maßstab, Nordpfeil, Ausschnitt/Projektion im `<figcaption>` nennen.
- ▶ **JS: Generiere statische DOM-Struktur** (z. B. mit D3 nur zum Zeichnen, ohne Interaktion/Animation).
Danach: `<title>/<desc>` einfügen, IDs eindeutig, kein `tabindex` bei rein statischen Elementen.
- ▶ **JS: Keine Auto-Animation:** falls Übergänge vorkommen, respektiere `prefers-reduced-motion`.
- ▶ **JS: Daten-Fallback:** Beim Rendern immer parallel die `<table>` mit denselben Daten füllen.

Beispiel: Bildvergrößerung

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=2&chapter=1§ion=1&exercise=1&login=student>

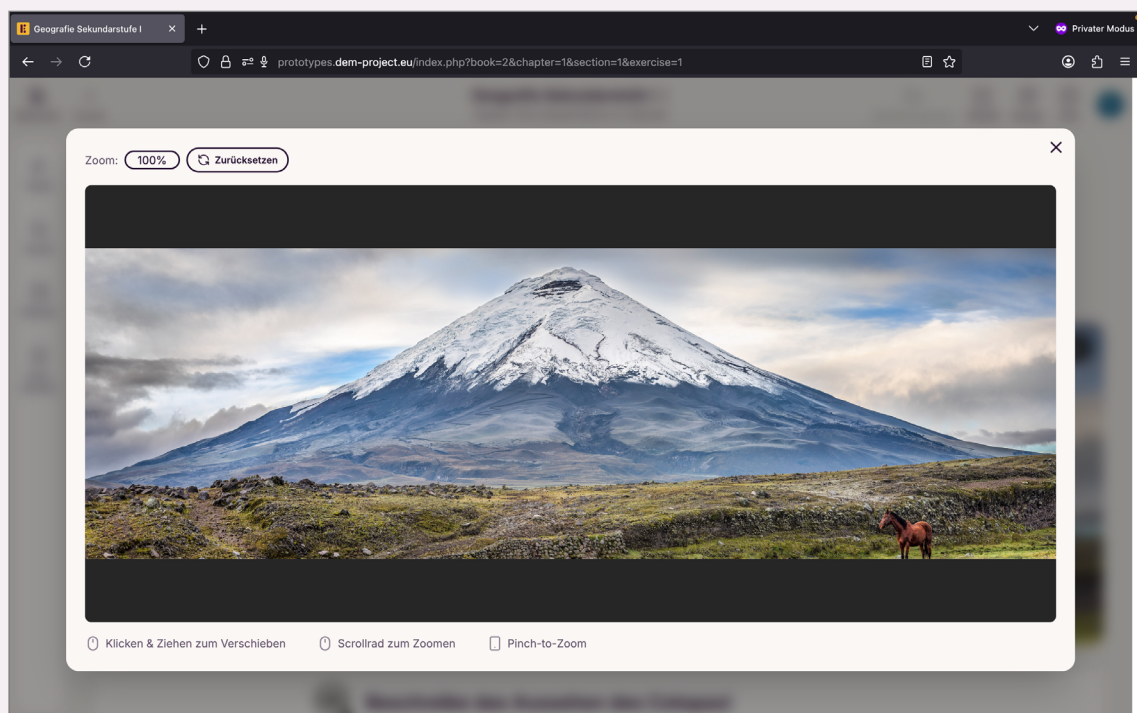


Abb. 32 Zoom-Modal mit Bild von einem Vulkan

In dieser Aufgabe soll ein Bild von einem Vulkan betrachtet werden. Lernende sollen erste Eindrücke erhalten und Hypothesen aufstellen. Das Bild dient

insofern der Erarbeitung, weshalb es den Lernenden ermöglicht werden sollte, auch Details im Bild in vergrößerter Ansicht zu erkennen und zu analysieren.

Für dieses Bild wurde eine Zoom- und Drag-Funktionalität in einem Modal umgesetzt; `openZoomModal()` zeigt das Bild im `<dialog>`-Element (`#zoom_modal`).

- ▶ Zoom per Mausrad (Desktop) oder Pinch/Touch (Tablet) möglich
- ▶ Drag-Funktionalität: Wenn Bild vergrößert ist, kann man es mit Maus oder Finger verschieben.
- ▶ Zoom-Level-Anzeige (`#zoom-level`) wird dynamisch aktualisiert.
- ▶ Cursor-Wechsel: Zeigt per CSS-Cursor visuelles Feedback (`grab/grabbing`).
- ▶ Zoom-Faktor kann auch wieder zurückgesetzt werden.

4.1.1 Statische responsive Visualisierungen

Die Darstellung von Bildinhalten muss sich an die Vielfalt der genutzten Endgeräte anpassen, vom Tablet bis zum Desktop. **Art Direction** (MDN Web Docs, 2025) ermöglicht es, bildbasierte Informationen so aufzubereiten, dass sie auf allen Geräten im Fokus sind. Art Direction bei responsiven Bildern bedeutet, gezielt unterschiedliche Bilder oder angepasste Versionen desselben Bildes für verschiedene Bildschirmgrößen bereitzustellen. Dies geht über eine reine Größenanpassung hinaus und optimiert Komposition, Zuschnitt und Fokus für jedes Endgerät.

- ▶ **Bildvarianten für unterschiedliche Bildschirmgrößen bereitstellen:** Relevante Bilder müssen sich responsiv an verschiedene Bildschirmgrößen anpassen und dabei die lernrelevanten Informationen in den Fokus stellen.
Technisch kann Art Direction über verschiedene Ansätze realisiert werden:
 - ▶ HTML Picture-Element mit verschiedenen Source-Angaben für unterschiedliche Viewports
 - ▶ Fragmentierung in SVG-Komponenten, die sich je nach Bildschirmgröße neu anordnen
 - ▶ CSS-basierte Lösungen mit unterschiedlichen Hintergrundbildern je nach Media Query
- ▶ **Fragmentierung komplexer Visualisierungen:** Komplexe Bilder können in Einzelteile zerlegt und über SVG oder HTML modular zusammengesetzt werden, um eine optimale Darstellung auf allen Geräten zu gewährleisten und nicht relevante Teile kleiner darzustellen oder ganz auszublenden.

- **Nummerierung bei Bildsequenzen:** Bildreihen, aber auch Sprechblasen und andere Bildelemente erhalten sichtbare Nummerierungen, um die Leser Reihenfolge eindeutig zu machen und präzise Referenzierung in Klassengesprächen zu ermöglichen.

Beispiel: Bildfragmentierung

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=3&chapter=1§ion=3&exercise=4&login=student>

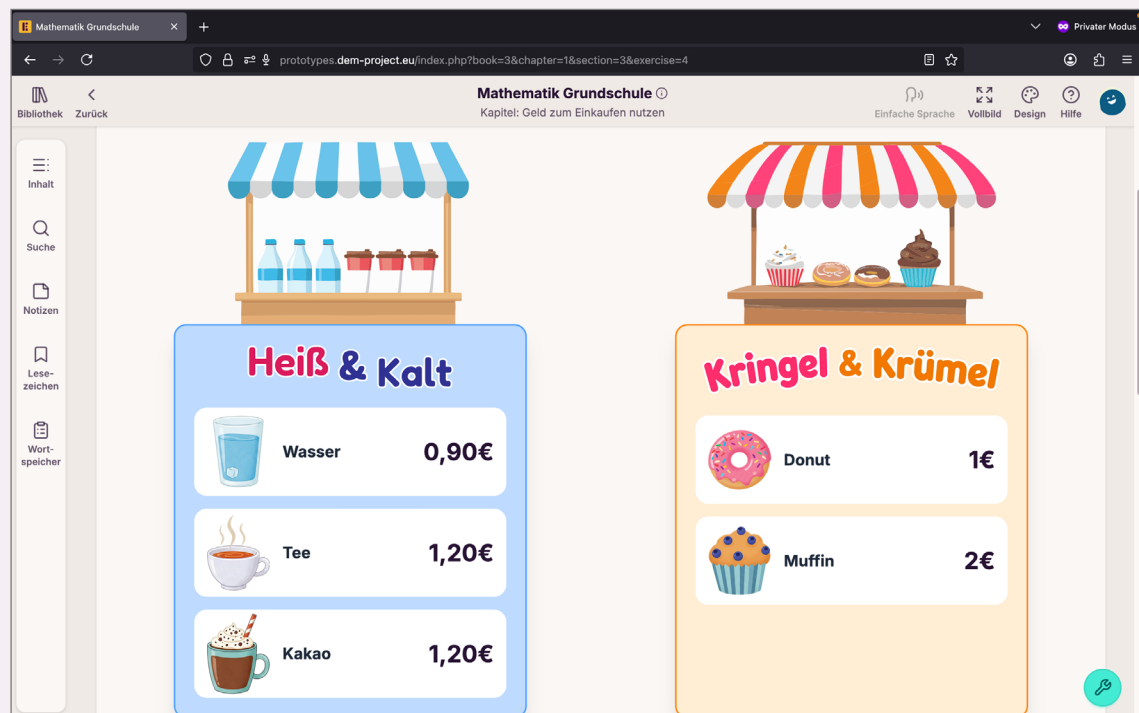


Abb. 33 Verkaufsstände mit Produkten und Preisen

In einer Übung sollen Lernende Produkte an Verkaufsständen vergleichen und die Preise und Produkte lesen können.

Die zwei Verkaufsstände sind für sehende Lernende visuell ansprechend gestaltet. Sie sehen aus wie ein einzelnes Bild mit zwei Ständen, Plakaten und Preisen sowie Produkten darauf. Im Hintergrund bestehen die Verkaufsstände aus mehreren Einzelteilen (Fragmentierung): die beiden Verkaufsstände, die beiden Produkttafeln und die Produktbilder wurden in einzelne Bilddateien aufgesplittet und wo notwendig mit beschreibendem Text (Alt-Tag) versehen. Im Code wurden Texte, die sehende Lernende auf dem Bild erkennen (z. B. die Namen der Stände), für Personen, die einen Screenreader nutzen, extra hinterlegt (sr-only).

Durch die Fragmentierung können die als getrennte HTML-Elemente umgesetzte Produkttafeln auch unabhängig vergrößert werden. Der Hintergrund, also der Verkaufsstand, kann als dekoratives Element ausgeblendet werden

und die Produkttafeln und Preise bleiben trotzdem erhalten. Diese Trennung folgt dem Prinzip des Progressive Enhancement: Die Grundfunktionalität bleibt auch ohne dekorative Elemente gegeben.

Die Stände unterscheiden sich durch Form, Namen und visuelle Merkmale. Jeder Stand hat eine eigene Bezeichnung (Stand A, B) für die Referenzierung im Unterricht.

Beispiel: Bildausschnitt je nach Auflösung

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=1&chapter=1§ion=3&exercise=5&login=student>

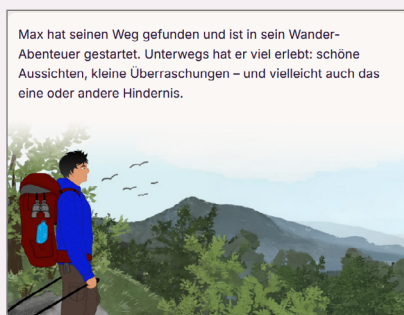
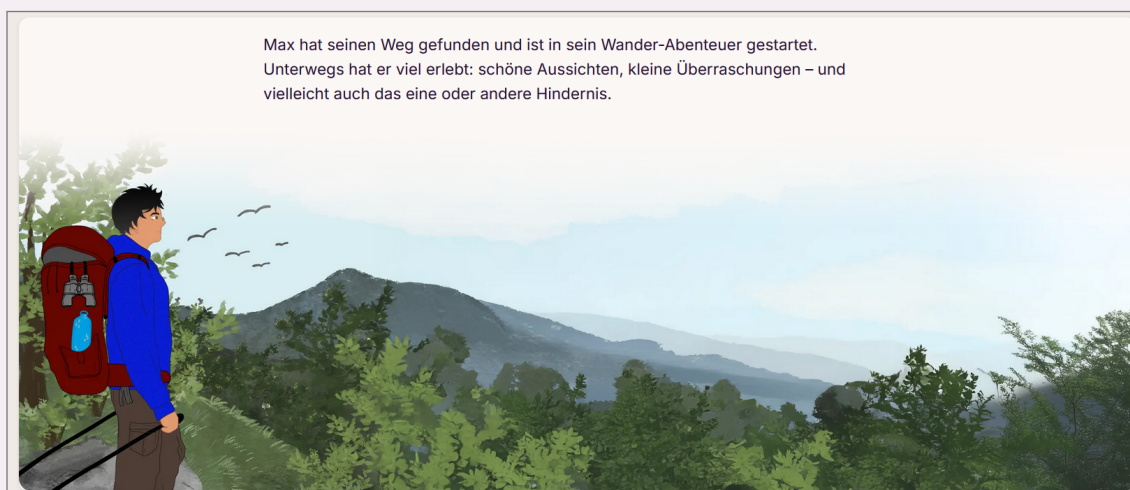


Abb. 34 Bildausschnitte in verschiedenen Auflösungen, mit der Person im Fokus

In diesem Beispiel wird der Bildausschnitt je nach verwendetem Gerät und Display anders fokussiert, sodass die relevante Bildinformation immer zu sehen ist. Das <picture>-Element ermöglicht es, verschiedene Bildvarianten für unterschiedliche Bildschirmgrößen bereitzustellen, wobei über das media-Attribut mit max-width definiert wird, welches Bild bei welcher Viewport-Breite geladen werden soll. Im gezeigten Beispiel wird für Bildschirme unter 920px Breite eine speziell zugeschnittene Variante (5b_Max_smallScreen.webp) verwendet, während auf größeren Bildschirmen ein alternatives Bild (5c_Max_extraWide.webp) angezeigt wird.


```

<picture class="w-full rounded-b-2xl col-span-full">
  <!-- Bild für kleinere Bildschirme (unter 920px) -->
  <source srcset="{ $exercise.path }images/5b_Max_smallScreen.
webp" media="(max-width: 920px)">
  <!-- Standardbild für größere Bildschirme -->
  
</picture>

```

Der entscheidende Vorteil dieser Methode liegt darin, dass nicht nur die Bildgröße, sondern auch der Bildausschnitt selbst an die jeweilige Bildschirmgröße angepasst werden kann. So lässt sich beispielsweise auf mobilen Geräten ein zentrierter oder anderer Ausschnitt zeigen, während auf Desktop-Monitoren eine breitere Perspektive sichtbar wird. Dies gewährleistet, dass wichtige Bildinhalte auf allen Geräten optimal zur Geltung kommen, ohne durch automatisches Skalieren verloren zu gehen oder ungünstig beschnitten zu werden. Das ``-Element innerhalb von `<picture>` dient als Fallback für Browser, die das Picture-Element nicht unterstützen.

Beispiel: Bildreihenfolge mit Nummerierung

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=1&chapter=1§ion=1&exercise=1&login=student>

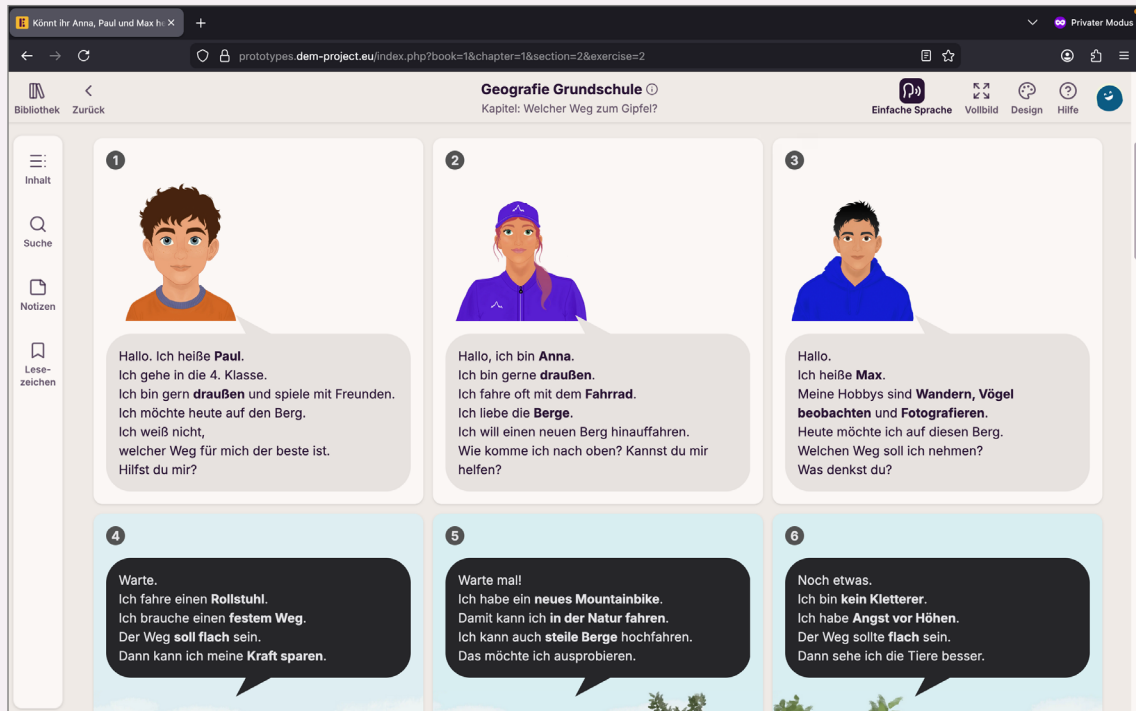


Abb. 35 Nummerierte Bilder geben die Lesereihenfolge vor

Die nummerierten Bilder helfen, die Lesereihenfolge zu verdeutlichen, da die einzelnen Abschnitte im responsiven Design je nach Bildschirmgröße und Auflösung umbrechen könnten.

4.1.2 Dekorative statische Visualisierungen

Dekorative Bilder erfüllen im digitalen Schulbuch eine **motivierende oder ästhetische Funktion**, sind jedoch nicht für das Verständnis der Lerninhalte erforderlich. Um unterschiedlichen Bedürfnissen gerecht zu werden, müssen diese Bilder ausblendbar sein, wobei die Grundfunktionalität der Aufgaben vollständig erhalten bleibt.

- **Ausblendbarkeit dekorativer Bilder:** Als dekorativ markierte Bilder können über das Benutzerprofil global ausgeblendet werden, um visuelle Komplexität zu reduzieren. Die Zielgruppe sind sehende Lernende mit kognitiven Einschränkungen oder Konzentrationsschwierigkeiten, die durch zu viele visuelle Reize überfordert werden können.
- **Unterscheidung von informativen Bildern:** Die Kennzeichnung dekorativer Bilder erfolgt nicht nur abhängig vom Alternativtext, da auch Bilder mit Alternativtext für bestimmte Nutzergruppen dekorativ sein können. Die technische Kennzeichnung erfolgt über das eigene HTML-Attribut `data-decorative="true"`, das bewusst vom Standard-Ansatz für assistive

Technologien (leere Alt-Tags oder `role="presentation"`) abweicht, da diese nur für Screenreader wirken, nicht jedoch visuell.

- ▶ **Layout-Anpassung sicherstellen:** Beim Ausblenden dekorativer Bilder muss das Layout angepasst werden, um unerwünschte Lücken oder Verschiebungen zu vermeiden. Die Layout-Anpassung erfolgt über eigens entwickelte Tailwind-CSS-Klassen mit speziellen Präfixen (`decorative-hidden:`, `decorative-placeholder:`, `decorative-space:`), die CSS-Eigenschaften kontextabhängig modifizieren. Dies ist insbesondere bei Layouts mit dekorativen Hintergrundbildern relevant, bei denen das Ausblenden solcher Bilder Auswirkungen auf Abstände oder Positionierungen haben kann.
- ▶ **Flexible Darstellungsoptionen bereitstellen:** Verschiedene Modi des Ausblendens (vollständiges Entfernen, unsichtbar machen, Platzhalter) ermöglichen kontextabhängige Gestaltung. Über das projektspezifische Attribut `data-decorative-hide` wird die Ausblendvariante gesteuert:
 - ▶ Remove entfernt das Bild vollständig (`display: none`)
 - ▶ Space macht es unsichtbar bei Platzhalterhaltung (`visibility: hidden`). Dies ist als Standard gesetzt.
 - ▶ Placeholder ersetzt es durch einen visuellen Platzhalter mit optionalem Text über `data-placeholder-text`.

4.2 Alternativtexte für verschiedene Visualisierungen

Um Informationen für die Lernenden anschaulich aufzubereiten, kommen vielfältige Visualisierungen zum Einsatz (**siehe 3.2.2.3**). Nicht für alle Lernenden sind diese bildlichen Informationen zugänglich. Dementsprechend sind **Alternativen, bspw. in Textform (WCAG 1.1.1)** bereitzustellen, damit alle Lernenden die notwendigen Informationen erfassen und chancengleich am Unterricht teilnehmen können.

4.2.1 Statische Alternativtexte für statische Visualisierungen nutzen

Für jedes Bild ist eine **Alternative (Alternativtext) bereitzustellen** oder ggf. eine Kennzeichnung als dekoratives Bild beizufügen, um chancengleiche Teilhabe zu ermöglichen. Auch **KI-Tools** können zur Produktion von Alternativtexten eingesetzt werden. Besonders wichtig ist die menschliche Prüfung der Alternativtexte, die durch KI generiert werden, da Fehler vorkommen können.

- ▶ Beim Verfassen von statischen Alternativtexten sind entsprechende **Gestaltungsempfehlungen** zu berücksichtigen (siehe blista, 2012; National Center for Accessible Media; DIAGRAMCenter, 2015; DVBS, 2019; Schütt, 2018, 2025).
- ▶ **Abgleich von Alternativtext mit Schulbuch:** Verwendung der gleichen Fachbegriffe, um Irritationen zu vermeiden.

- ▶ Der Alternativtext **orientiert sich stets an den (Vor-)Erfahrungen und dem Wissensstand** der Lernenden. Dementsprechend kann es notwendig sein, dass einzelnen Lernenden individuelle Alternativtexte zur Verfügung gestellt werden.
- ▶ Um einen Cognitive Overload zu vermeiden, ist stets auf die **Notwendigkeit sowie den Umfang von Alternativtexten** zu achten.
- ▶ Bei Aufgaben, bei denen **visuelle Informationen** eine zentrale Rolle spielen, ist zu überprüfen, ob die Aufgabe mit einem Alternativtext trotzdem auf gleiche Art und Weise zu erfüllen ist, oder ob vielmehr eine **Alternative** bereitzustellen ist.

Beispiel: Alternativtext passend zu Aufgabenstellung

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=1&chapter=1§ion=3&exercise=5&login=student>

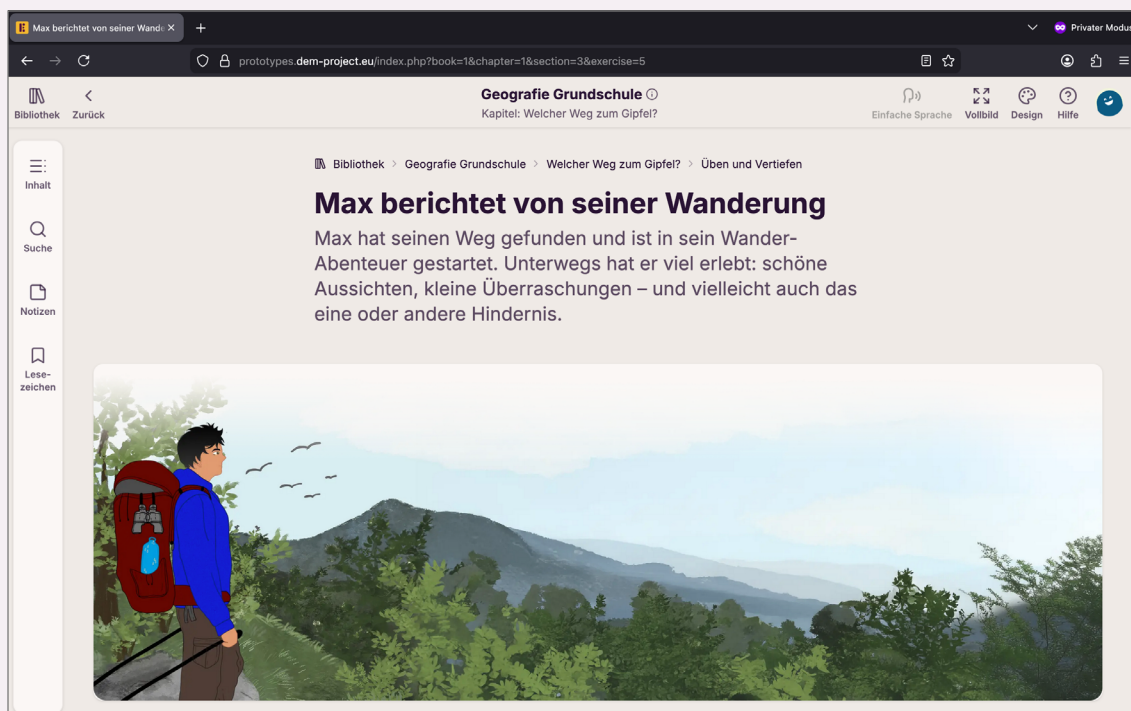


Abb. 36 Aufgabe Max berichtet von seiner Wanderung mit einer statischen Visualisierung von Max beim Wandern

Die Lernenden sind aufgefordert von Max' Wanderung zu berichten. Was hat er erlebt? Das dazugehörige Bild gibt Lernenden erste Anhaltspunkte, was Max berichten, und ist daher relevant für die Aufgabe. Ein Alternativtext zum Bild wiederum muss auch Lernenden mit Sehbeeinträchtigung oder Blindheit Informationen vorgeben, die zum Lösen der Aufgabe dienen [Die Graphik zeigt Max beim Wandern. Er steht am linken Bildrand an einem Aussichtspunkt und lässt den Blick über die Berglandschaft schweifen. Um ihn herum ist es grün, Bäume, Gräser und Sträucher sind zu erkennen. In der Ferne kann Max die

anderen Berge sehen. Blauer Himmel und ein paar Wolken sowie Vögel sind am Horizont sind zu erkennen.].

Beispiel 2: Alternativtext durch Aufgabenstellung abgedeckt

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=1&chapter=1§ion=3&exercise=4&login=student>

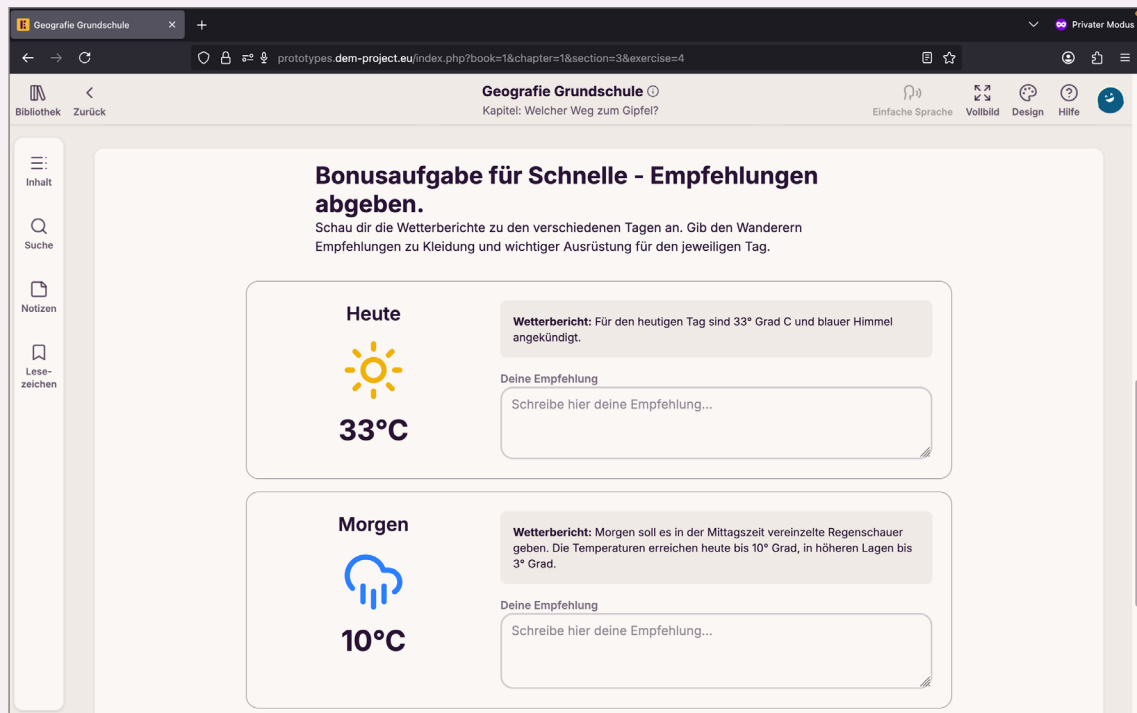


Abb. 37 Aufgabe Empfehlungen abgeben mit Wetterbericht und dazu passenden Icons

Die Information aus dem Piktogramm (Heute, Piktogramm Sonne und 33°C) kommt auch in der schriftlichen Aufgabenstellung vor. Sprich: Diese Aufgabe funktioniert auch ohne Alternativtext.

4.2.2 Interaktiv-dynamische Alternativtexte für dynamische Visualisierungen nutzen

Um dynamische Visualisierungen, sprich veränderliche Informationen, zu berücksichtigen, werden **dynamische Alternativtexte** verwendet. Im Unterschied zu statischen Visualisierungen können diese Alternativtexte **von Lernenden gesteuert werden und bauen sich sukzessiv auf**. Sie unterstützen so das Verständnis des Prozesshaften anschaulich und nachvollziehbar.

- ▶ Es muss überprüft werden, ob das **Kompetenz- und Lernziel** mittels interaktiv-dynamischem Alternativtext erreicht werden kann.
- ▶ Eine Prüfung auf **fachinhaltliche Richtigkeit** des Alternativtextes ist durchzuführen.

- ▶ **Einführung für die Lernenden:** Die Lernenden müssen mit dem interaktiv-dynamischen Alternativtext vertraut gemacht werden, da die Funktionsweise neuartig ist.
- ▶ Es ist zu prüfen, ob ein **statischer oder interaktiv-dynamischer Alternativtext für die einzelne Person besser geeignet ist** und ggf. muss aus dem dynamischen ein statischer Alternativtext abgeleitet werden, der den gesamten Prozess abbildet.

Beispiel

Beispiele für interaktive-dynamische Alternativtexte finden sich in den interaktiv-dynamischen Repräsentationen in **Kapitel 4.4.3** und **Kapitel 4.4.4**

4.3 Linear-dynamische Visualisierungen

Digitale Schulbücher sollten Audio- und Videoinhalte grundsätzlich über einen **standardkonformen HTML5-Player bereitstellen**.

4.3.1 Technologiebasis und semantische Struktur

- ▶ Nutzung der **nativen HTML-Elemente** <audio> und <video> ohne proprietäre Plug-ins.
- ▶ Semantisch korrekte Einbettung des Players in die Seite (z. B. <figure> mit <figcaption> für die Beschreibung des Mediums) (WCAG 1.3.1).
- ▶ Ausschließliche Nutzung von Technologien, die von gängigen Browsern **ohne Zusatzsoftware** unterstützt werden (HTML5, CSS, JavaScript ohne Browser-Plugins).

Der Player selbst ist semantisch zu beschreiben, z. B. durch:

- ▶ eine **übergeordnete Landmark-Region** (<section> oder <div role="group">),
- ▶ **eindeutige Beschriftung** durch aria-label oder eine sichtbare Überschrift (z. B. „Video: Einführung in Bruchrechnung“).

4.3.2 Screenreader-Unterstützung und ARIA-Rollen

Für Nutzerinnen und Nutzer mit Screenreader ist eine **klare, konsistente Benennung aller Bedienelemente** erforderlich:

- ▶ Verwendung **nativer HTML-Steuerelemente** (Buttons, Slider) mit sprechenden aria-label-Attributen (z. B. aria-label="Wiedergabe", aria-label="Pause", aria-label="Lautstärke").
- ▶ **Schaltflächen mit Zuständen** (z. B. Untertitel ein/aus, Audiodeskription ein/aus) sind als Toggle-Buttons mit aria-pressed="true|false" zu implementieren (WCAG 1.2.2).
- ▶ Die Verwendung von role="application" sollte vermieden werden, da dies die Standardnavigation von Screenreadern verändert; falls unvermeidbar, ist eine besonders sorgfältige Tastatur- und Fokuslogik notwendig (WCAG 2.1.1).

Die Umsetzung muss den WCAG-Erfolgskriterien 4.1.2 „Name, Rolle, Wert“ und 1.3.1 „Info und Bezeichnungen“ entsprechen.

4.3.3 Audiodeskription als separate Tonspur

4.3.3.1 Mehrspurige Mediendatei (empfohlen, wo möglich)

Das Video wird **als einzelnes Medienfile mit mehreren Audiotracks (WCAG 1.2.3 und WCAG 1.2.5)** ausgeliefert (z. B. MP4 mit Standardton und zusätzlicher Audiodeskriptionsspur). **Vorteil:** nur ein Videoelement, perfekte Synchronisation, einfache Verwaltung von Lesezeichen/Positionen und Fortschritt.

- ▶ Der Container (z. B. MP4, WebM) enthält mindestens:
 - ▶ Videospur,
 - ▶ normalen Audiotrack,
 - ▶ Audiotrack mit integrierter Deskription.
- ▶ Der Browser stellt die Audiotracks über die HTML5-audioTracks-API zur Verfügung.
- ▶ Ein JavaScript-basierter Control im Player ermöglicht die Umschaltung:
 - ▶ Liste der verfügbaren Audiotracks ermitteln (video.audioTracks), den Track mit der Eigenschaft kind="main" als Standard markieren,
 - ▶ den Track mit der Eigenschaft kind="alternate" bzw. label="Audiodeskriptionsspur" als AD-Spur kennzeichnen,
 - ▶ Umschalt-Button im UI, der die jeweiligen enabled-Eigenschaften der Tracks setzt.

- Der Umschalt-Button wird als Toggle-Button implementiert, z. B.:

```
<button type="button"
  id="btn-ad-toggle"
  aria-pressed="false"
  aria-label="Audiodeskription einblenden">
  Audiodeskription
</button>
```

- Beim Aktivieren wird `aria-pressed` auf `true` gesetzt und die AD-Spur aktiviert; gleichzeitig wird der Standard-Audiotrack deaktiviert.

4.3.3.2 Alternative: Zwei getrennte Medienquellen (Fallback-Ansatz)

Falls eine mehrspurige Datei technisch oder organisatorisch nicht möglich ist, können **zwei separate Mediendateien** verwendet werden:

- Datei 1: `bruchrechnung_standard.mp4` (Standardton),
Datei 2: `bruchrechnung_ad.mp4` (Standardton + Audiodeskription).

Implementationsprinzip:

1. Es existieren zwei `<video>`-Elemente oder zwei `<source>`-Konfigurationen, die programmatisch gewechselt werden.
2. Beim Umschalten zwischen Standard- und AD-Spur werden:
 - die aktuelle Wiedergabeposition (`currentTime`) gelesen,
 - das alternative Video auf dieselbe Zeit gesetzt,
 - der Wiedergabestatus (Play/Pause) übernommen.
3. Beide Videos müssen in Länge und Schnitt identisch sein, damit die Synchronisation zuverlässig funktioniert.

Barrierefreiheit:

- Auch hier erfolgt die Umschaltung über einen klar beschrifteten Toggle-Button mit `aria-pressed` wie oben.
- Das jeweils nicht aktive Videoelement ist für Screenreader nicht relevant (z. B. via `aria-hidden="true"` und ggf. `tabindex="-1"`).

Nachteile: etwas höhere Komplexität und Bandbreite; die Synchronisation muss technisch sorgfältig getestet werden.

4.3.4 Gebärdensprachvideos

Gebärdensprachvideos werden normalerweise **Bild-in-Bild** eingeblendet. In den Videos für die Schulbücher sind die Gebärdensprachdolmetscher:innen allerdings rechts neben dem Schulungsvideo eingeblendet (WCAG 1.2.6), da eine Bild-in-Bild-Lösung aufgrund der Animationen und wechselnden Perspektiven nicht sinnvoll ist (WCAG 1.2.8).

Soll eine Bild-in-Bild-Variante entstehen, muss bereits beim Erstellen der Videos in einer der Ecken (entweder oben oder unten) ein Kästchen freigehalten werden, wo keine wichtigen Bildinformationen oder Texte stehen.

4.4 Interaktiv-dynamische Visualisierungen

Die barrierefreie Umsetzung einer Simulation **hängt oft stark von der konkreten Aufgabenstellung bzw. dem Lernziel ab**. Einige Richtlinien können aber generell festgehalten werden:

DOM-basiert bevorzugen: SVG + HTML für interaktive Formen/Features (besserer A11y-Support als <canvas>/WebGL).

- ▶ **Logische Fokusreihenfolge:** Steuerungen zuerst, Canvas/SVG danach (Parameter, dann Visualisierung, dann Ergebnistabelle).
- ▶ **CSS:** Touch-Targets $\geq 44 \times 44$ px; Abstand ≥ 8 px (WCAG 2.5.5).
- ▶ **CSS:** Markerformen, Muster/Schraffuren, Linienstile (solid/dashed) per CSS/SVG-Pattern.
- ▶ **JS: Tastatur-Äquivalente** für jede Maus-/Touch-Aktion (WCAG 2.1.1 und 2.5.1)
- ▶ **JS: Pointer-Events robust:** Unterstütze Maus, Touch und Tastatur. Einsatz von PointerEvent + passive Listener bei Scroll/Zoom.

Im Folgenden werden einige spezifische Umsetzungen aus dem Prototypen und deren technische Anforderungen exemplarisch vorgestellt:

4.4.1 Animationen zur Sequenzierung komplexer Inhalte

- ▶ **Animationen als Lottie statt Video umsetzen**, zum Beispiel in After Effects, Export mit dem Bodymovin-(Lottie-)Plugin. Vorteile:
 - ▶ **Vektor-Schärfe & Skalierung** – vektorbasiertes SVG-Rendering bleibt bei Zoom/High-DPI scharf; keine Pixelartefakte wie bei MP4.
 - ▶ **Kleine Dateigröße & Laden on demand** – Reine JSON-Struktur ohne Bitmaps/Codecs; schnell und cache-freundlich.
 - ▶ **Interaktivität** – Segmentiertes Abspielen, Scrubbing, Schritt-Navigation einfach umsetzbar, in einem Video nur mit zusätzlicher Timeline-Logik/Spuren lösbar.

- ▶ **Theming & Dynamik** – Farben/Transparenzen/Labels können zur Laufzeit geändert werden (z. B. hoher Kontrast-Modus), bei Video wären mehrere Varianten notwendig.
- ▶ **Barrierearme Alternativen** wie statische Frames können leicht erzeugt werden, Reduce-Motion respektieren, ARIA-Beschreibungen hinzufügen (WCAG 2.2.3).
- ▶ **Bei Animationen konsequent vektorbasiert arbeiten** (Shape-Layer, Pfade, Fills/Gradients, Strokes). Eine feste Kompositionsgröße und Framerate muss definiert werden, die auch bei starker Vergrößerung sauber bleibt.
- ▶ **Den Prozess in klar abgegrenzte Schritte zerlegen** und jeden Schritt in eigene Precomps kapseln; pro Schritt ein eigenes Frame-Segment vorsehen, damit später segmentweise abgespielt und per Buttons navigiert werden kann.
- ▶ **Reduzierte, kontrastreiche Grafiken ohne überflüssige Details verwenden**; wenige, gut unterscheidbare Farben nutzen und wichtige Grenzen mit klaren Konturen markieren.
- ▶ **Flussrichtungen über Pfad-Morphismen und kurze Opacity-Fades darstellen** (Ein-/Ausblenden statt permanenter Bewegung); Position und Scale dezent einsetzen.
- ▶ **Labels als eigene Textebenen anlegen**; bei Bedarf in Formen konvertieren oder Glyphen exportieren, damit die Schrift clientunabhängig rendert. Beschriftungen so platzieren, dass sie nicht mit animierten Elementen kollidieren.
- ▶ **Pfade einfach halten**, Blur/Glows und übermäßige Masken vermeiden; wenige, saubere Keyframes und wiederverwendete Precomps nutzen, damit die Datei klein und performant bleibt.
- ▶ **Mit Renderer „svg“ exportieren, nur benötigte Ebenen einschließen**, Fonts als Shapes/Glyphen sichern und Gzip-Kompression im Deployment einplanen. In der Vorschau prüfen, ob Segmente sauber starten/enden und ob spätere playSegments-Aufrufe greifen.
- ▶ Aussagekräftige **ARIA-Beschreibungen bzw. ein Transkript** verbessern die Barrierefreiheit.

Beispiel: interaktiv-dynamische Simulation

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=2&chapter=1§ion=2&exercise=2&login=student>

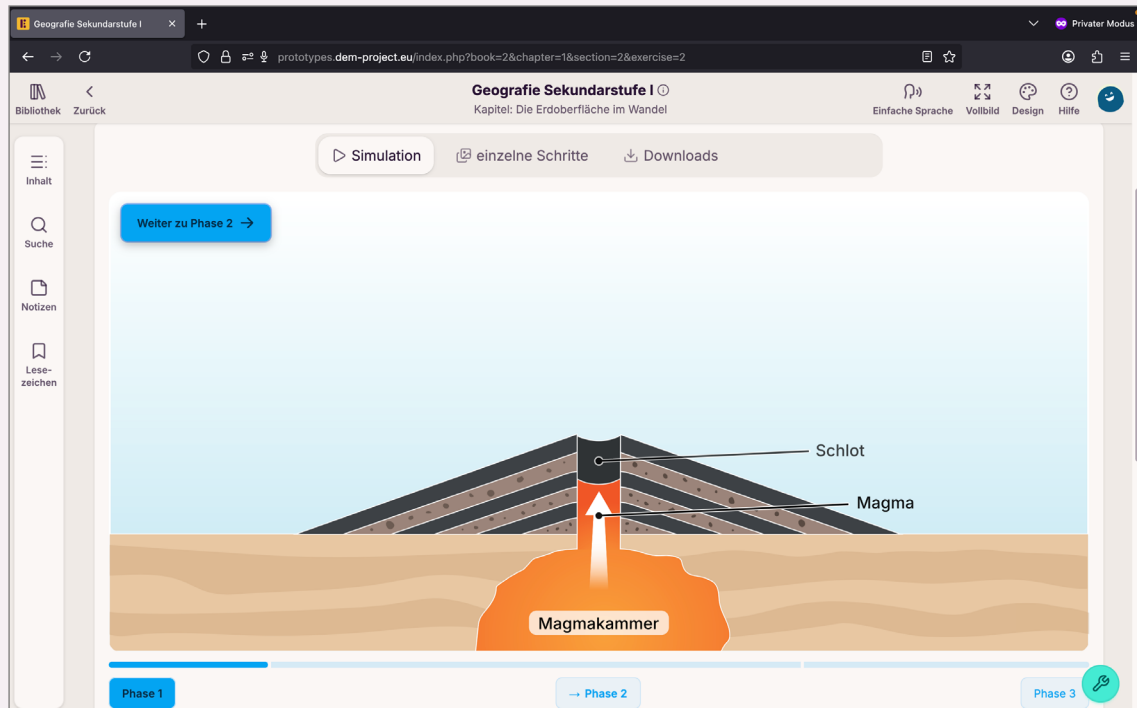


Abb. 38 Simulation der Entstehung eines Schichtvulkans

Die Entstehung eines Schichtvulkans wurde als interaktiv-dynamische Simulation umgesetzt.

Die drei Phasen lassen sich im Frontend gezielt über Segmente ansteuern (Buttons für vor/zurück, optional Scrubbing) (WCAG 2.2.2).

Animationen wurden sparsam eingesetzt, damit das Bild ruhig bleibt, zum Beispiel durch zeitversetztes Einblenden, Fallen und leichte Rotation. Die Steuerung der Phasen erfolgt über die einzelnen Frames einer Lottie-Animation. Der Play-Button erscheint nur beim ersten Start, um den Nutzer darauf hinzuweisen, dass es sich um eine Animation handelt. Danach wird auf eine zentrale Anzeige für „Play“ oder „Pause“ verzichtet, damit wichtige Bildinhalte beim Pausieren nicht verdeckt werden. Beim Stoppen der Animation wird der Pause-Button kurz eingeblendet, um visuell zu vermitteln, dass der aktuelle Zustand angehalten ist.

4.4.2 Interaktiv-dynamischer Slider zur Sequenzierung komplexer Inhalte

- ▶ Als Alternative zu Lottie-Animationen sollte ein **Schrittmodell** (z. B. als „blätterbare“ Seiten mit Text und Bild) angeboten werden, das einzelne SVG-Darstellungen und jeweils einen eigenen Beschreibungs- bzw. Alternativtext pro Schritt enthält und in dem sich die einzelnen Schritte gezielt aufrufen lassen. So kann man schrittweise zwischen den Phasen wechseln, ohne

Bewegungseffekte oder visuelle Reize; jede Phase steht klar, kontrastreich und in Ruhe für sich (WCAG 2.3.3).

- Screenreader-Nutzer:innen erhalten pro Phase einen präzisen Alternativtext, Inhalte sind fokussiert und ohne Ablenkung wahrnehmbar
- Die Bedienung des Sliders muss tastatur- und screenreaderbedienbar umgesetzt werden, sodass Nutzer:innen die gewünschte Phase gezielt ansteuern können: klare Fokusreihenfolge, aussagekräftige Beschriftungen, ARIA-Zuweisungen (WCAG 2.4.7 und 2.5.3).

Beispiel: Alternative mit statischen Frames

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=2&chapter=1§ion=2&exercise=2&login=student>

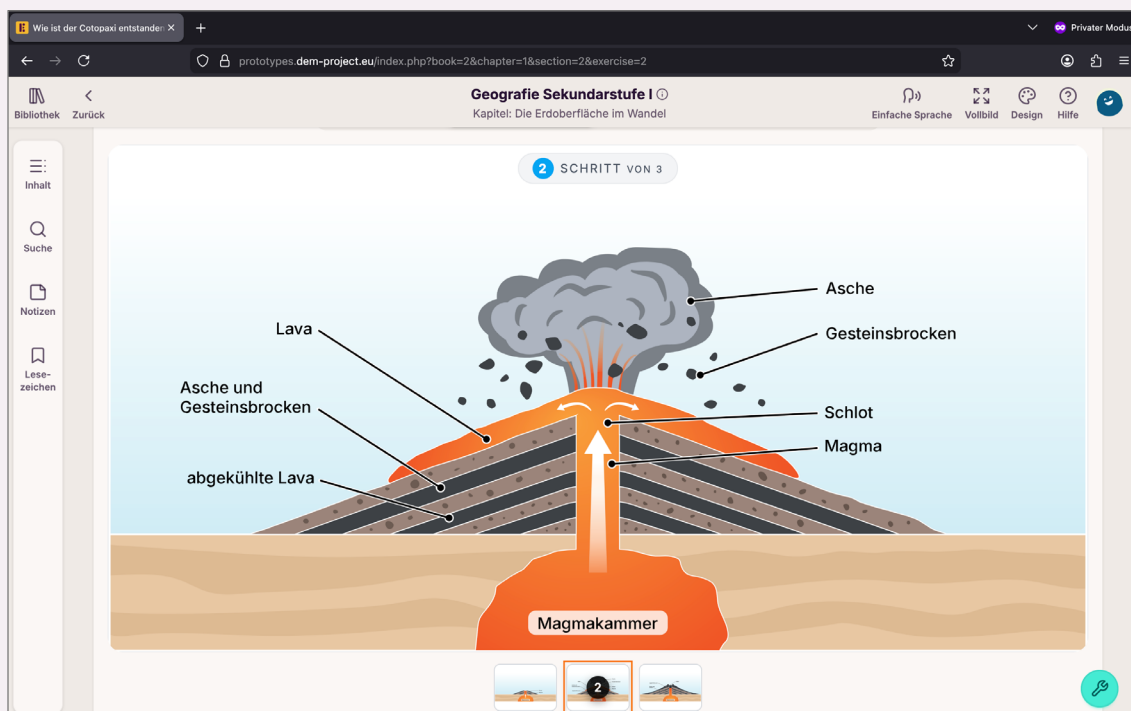


Abb. 39 Standbild-Slider der Schichtvulkan-Animation im Tab „einzelne Schritte“

Für die drei zentralen Phasen der Schichtvulkan-Animation wurden zusätzlich drei einzelne SVG-Darstellungen erstellt, die jeweils über einen eigenen Alternativtext verfügen und sich über einen Slider gezielt aufrufen lassen.

4.4.3 Barrierefreie Umsetzung einer braillebasierten Pegelanzeige mit dynamischen Alternativtexten

- Eine einfache Beschreibung von visuellen Informationen durch Alternativtexte ist nicht für alle Aufgabenstellungen zweckmäßig, da die Lösung bereits im Alternativtext verraten würde. In solchen Fällen müssen **spezielle technische Lösungen für Lernende mit Sehbeeinträchtigung oder Blindheit** gefunden werden.

- ▶ Alle Alternativen sollten aufeinander abgestimmt sein und die **gleichen Werte verwenden**, sodass Lernende eine beliebige, für sie geeignete Variante wählen können.
- ▶ Screenreader-Nutzer:innen benötigen eine nur für sie erkennbare **Anleitung für solche speziellen Lösungen**, aber auch Lehrkräfte müssen z. B. in den Lehrhinweisen darüber informiert werden, dass eine solche Alternative vorhanden ist, weil sie nicht sichtbar ist.

Beispiel: Barrierefreie Simulation und Alternativen für die Braille-Zeile

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=4&chapter=1§ion=1&exercise=2&login=student>

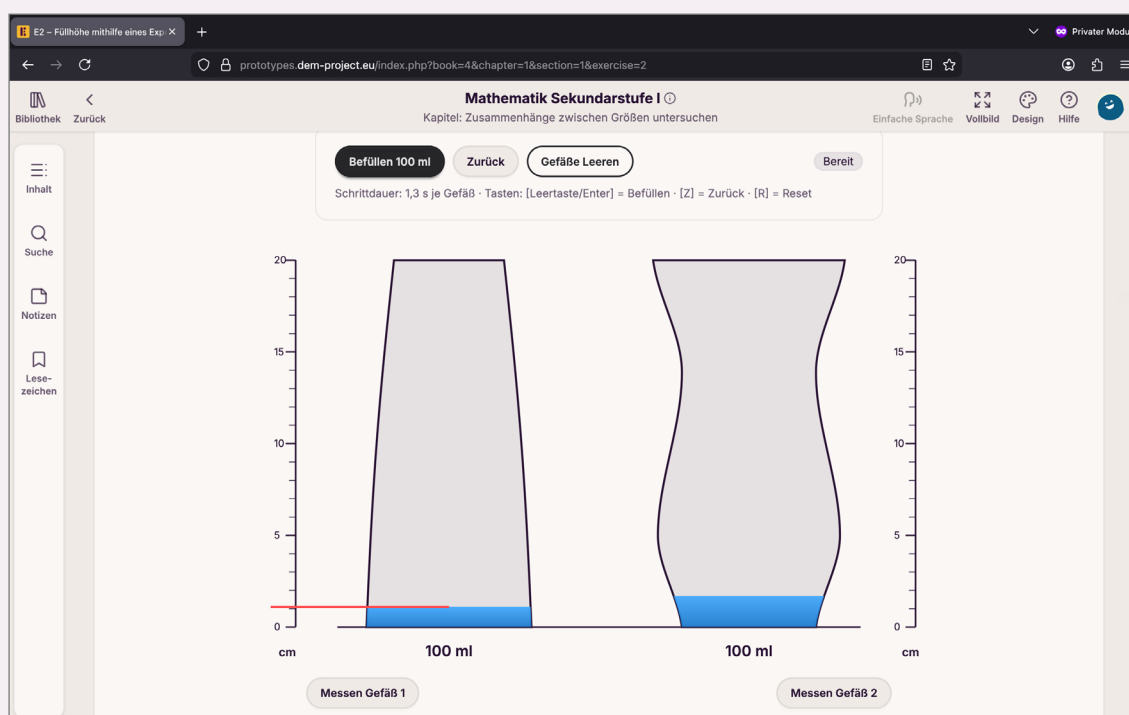


Abb. 40 Simulation eines Experiments, bei dem zwei Vasen mit Wasser gefüllt werden und die Füllhöhe ermittelt wird

Die Simulation ist eine gleichwertige Alternative zur Durchführung des Experiments in der Klasse oder zum Video. Durch Betätigung des Buttons „Befüllen 100 ml“ werden zwei Gefäßen sukzessive jeweils 100 ml hinzugefügt. Aufgrund der unterschiedlichen Formen der Gefäße steigen die Füllstände dabei mit unterschiedlicher Geschwindigkeit, was die Relation zwischen Form und Füllhöhe verdeutlicht und Lernende hinführen soll, Zusammenhänge zu erkennen und als Graph darzustellen.

Das Messen der Füllhöhe und das Erkennen, wie sich die Füllhöhe in Relation zur Füllmenge und Form ändert, ist ein zentraler Bestandteil der Aufgabe. Es wäre daher nicht zielführend, für sehbehinderte oder blinde Lernende einfach die „Lösung“ in Form der Füllhöhe und Füllmenge bereitzustellen.

3) Zustandsmodell, Kalibrierung und Umrechnung (ml → cm → px)

Die Fülllogik arbeitet in Schritten zu 100 ml. Für jedes Gefäß existiert eine kalibrierte Lookup-Tabelle „cm pro Schritt“ (cmSteps1, cmSteps2), die realistische, nichtlineare Pegelanstiege abbildet (unterschiedliche Querschnitte → unterschiedliche Höhenzunahmen). Maximal 13 Schritte werden erlaubt.

Die Umrechnung von cm nach Pixeln ist linear über $PX_PER_CM = H_PX / H_CM$; daraus werden Oberkante (y) und height des Wasser-Rects berechnet. `renderVessel(which, cm)` setzt die Attribute (y, height) des jeweiligen `v1Liquid/` `v2Liquid` und gibt die Welt-Y-Koordinate der Wasseroberfläche zurück.

4) Animation und Interaktion

Der Button „Befüllen 100 ml“ triggert eine sequenzielle Befüllung erst links, dann rechts. Die Bedienlogik verwaltet einen Aktionsstapel (für „Zurück“) und Busy-Zustände. Keyboard: Space/Enter = Befüllen, Z = Zurück, R = Reset (WCAG 2.5.1).

Die eigentliche Pegelanimation erfolgt bildweise mit `requestAnimationFrame`. `animateToStep(which, toStep)` und die Undo-Variante lerpen zwischen `fromCm` und `toCm` über eine Ease-In-Out-Kubik (`easeInOutCubic`), rufen pro Frame `renderVessel(...)` auf und passen parallel die Wasserstrahl-Geometrie (`updateStream`) an die dynamische Oberfläche an. Am Ende werden Labels, Messlinien und A11y-Texte aktualisiert.

Zwei Mess-Buttons toggeln rote Hilfslinien in Szene und Skalen; die Y-Positionen werden aus den aktuellen cm-Werten der beiden Gefäße berechnet (`surfaceY(cmStepsX[step])`).

5) Textuelle Zugänglichkeit (Braille-Skalen, ARIA)

Das `<svg>` trägt ein ausführliches, didaktisch formuliertes `aria-label`, das Screenreader-Nutzenden die Bedienung (Tab-Navigation, Leertaste für 100 ml) und die Logik der Braille-Skala erklärt (WCAG 4.1.2).

Für jedes Gefäß gibt es eine eigene Fokusgruppe (`<g id="v1">`, `<g id="v2">`). Beim Start setzt `initA11y()` in beiden Gruppen einen 40-Zeichen-String, der eine lineare 20 cm-Skala in Halbzollschritten (0,5 cm) modelliert: 40 Zeichen l, wobei das % die aktuelle Pegelposition markiert (anfangs Index 0).

`toScaleString(cm)` berechnet aus der aktuellen Höhe (auf 0,5 cm gerundet) den Index `idx = round(cm*2)` im 40-Feld-Array, ersetzt dort das l durch % und liefert die Skala als String zurück. `updateA11y(which, cm)` schreibt diesen String in das `aria-label` der jeweiligen Gefäßgruppe und zusätzlich in eine jeweils eigene Live-Region (`#liveV1`, `#liveV2` mit `aria-live="polite"` `aria-atomic="true"`). Dadurch werden Screenreader- und Braille-Zeilen-Updates synchron zur Animation ausgelöst, ohne Fokus-Sprünge zu erzeugen.

Ergebnis: Bei jedem Füll-Frame „wandert“ das % in der 40-Zeichen-Skala nach rechts; Lernende an der Braillezeile können den Pegel selbstständig „ablesen“ (0,5 cm pro Zeichen), exakt entsprechend der visuellen Szene.

6) Statusanzeigen und Beschriftungen

Unter dem SVG zeigen Textlabels labelV1/labelV2 die aktuelle Füllmenge in ml an; die Update-Routine setzt sie aus den Schrittzählern ($\text{step} \cdot 100 + \text{„ml“}$). Eine Status-Badge meldet den Betriebszustand („Bereit“, „Gießen...“, „voll“).

4.4.4 Barrierefreie Simulation eines Anspitz-Vorgangs

Beispiel: Barrierefreie Simulation eines Anspitz-Vorgangs

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=4&chapter=1§ion=3&exercise=5&login=student>

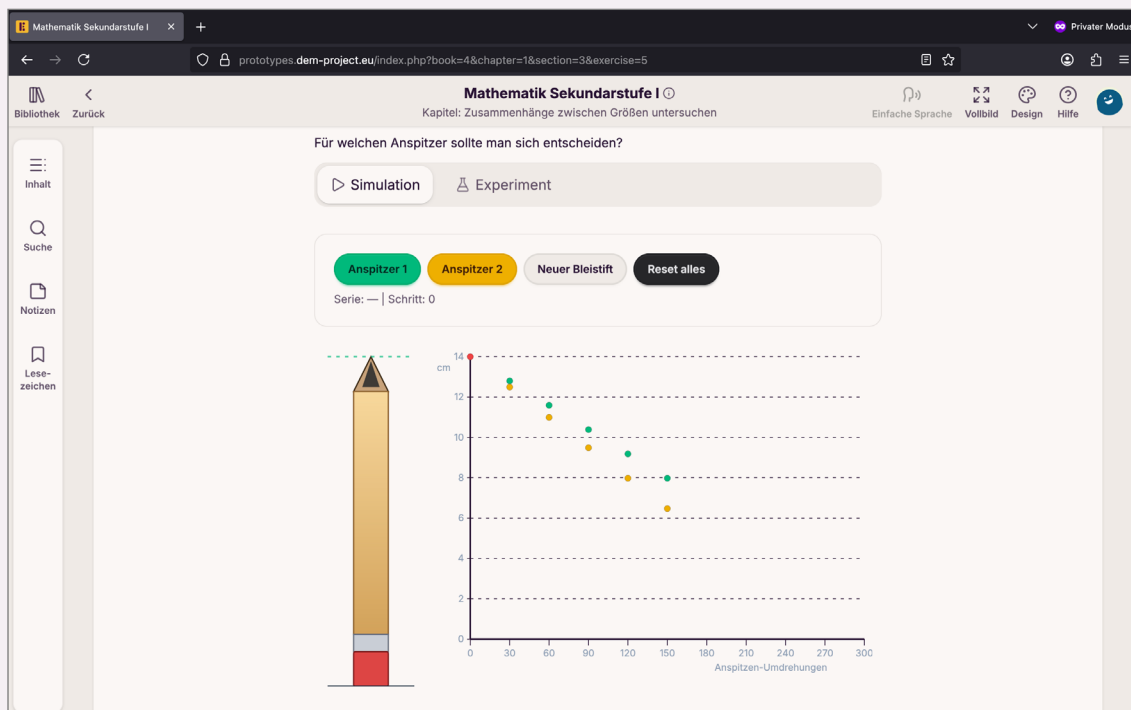


Abb. 42 Simulation eines Bleistifts, der mit zwei unterschiedlichen Anspitzern gespitzt wird und sich dadurch verkürzt.

Die Simulation modelliert den Anspitzvorgang mit zwei unterschiedlichen Anspitzern. Der Bleistift verkürzt sich sichtbar bei jeder Umdrehung, während ein Diagramm die aktuelle Bleistifthöhe in Relation zur Anzahl der Umdrehungen abbildet. Für die Barrierefreiheit werden bei jedem Bedienklick die Alternativtexte dynamisch aktualisiert. Der Alternativtext der jeweils verwendeten Anspitzer-Schaltfläche gibt die aktuelle Bleistifthöhe aus, sodass Screenreader und Braillezeilen den Zustand unmittelbar wiedergeben. Der Alternativtext des Diagramms ist ebenfalls dynamisch und führt fortlaufend die numerischen Messwerte auf, die im Graphen eingetragen sind, als geordnete Paare aus Umdrehungen und Höhe. Auf diese Weise bleibt der Ablauf sowohl visuell als auch auditiv und taktil nachvollziehbar und erfüllt zentrale Anforderungen an eine zugängliche, interaktive Darstellung.

1) Szenenaufbau und Geometrie

Die Anwendung besteht aus zwei koordinierten SVGs: links der Bleistift, rechts das Diagramm. Der Bleistift wird aus Grundkörpern aufgebaut (Spitze, Graphitkern, Holzschaft, Zwinge, Radiergummi) und besitzt eine gestrichelte, farbcodierte Hilfslinie auf Spitzenhöhe. Die Höhe des Holzschafts ist der steuernde Parameter; sie bestimmt die y-Position der Spitze. Beim „Anspitzen“ wird die Holzlänge reduziert und die Spitze entsprechend neu gesetzt.

Bleistift-SVG: viewBox="0 0 100 400", dynamische Elemente wie #woodBody (Höhe und y), #tip/#lead (Polygonpunkte), sowie #pencilGuide (gestrichelte Linie, Farbe je nach aktiver Serie). Die Funktion setByWoodHeightFromStep(curStep, maxSteps) berechnet aus dem aktuellen Schritt die neue Holzhöhe und die daraus resultierenden Polygon-Koordinaten der Spitze.

Diagramm-SVG: viewBox="0 0 560 400" mit Layern für Achsen, Ticks, Punkte und eine horizontale Leitlinie auf aktueller Höhe. Achsen und Gitter werden zur Laufzeit gezeichnet (drawAxes()), einschließlich linearer x-Skalierung in 30er-Schritten bis 300.

2) Koordinaten-Abbildung Bleistift- Diagramm

Die Spitzenhöhe im Bleistift-SVG wird pixelgenau in die y-Koordinate des Diagramms überführt. Dafür wird der Bildschirm-Transformationsweg genutzt: pencilSvg.getScreenCTM() und chart.getScreenCTM() dienen zur Abbildung eines SVG-Punkts vom Bleistift- in das Diagramm-Koordinatensystem (mapYPencilToChart). Eine anschließende Kalibrierung stellt sicher, dass der Bereich 0–14 cm auf die Diagramm-y-Skala gemappt wird (calibrateYScale, valueFromY, yFromValue).

3) Interaktionslogik und Serien

Zwei Buttons steuern getrennte Serien (Anspitzer 1 und 2) mit unterschiedlichen Maximalschritten (stepsMax1=10, stepsMax2=8). Beim ersten Klick auf einen Button wird eine Serie „aktiv“, Mischbetrieb wird verhindert. Jeder Klick erhöht den Schrittzähler, aktualisiert die Bleistiftgeometrie, setzt eine farbcodierte Leitlinie im Diagramm und zeichnet einen Datenpunkt in der entsprechenden Farbe (grün für Serie 1, gelb für Serie 2). Ein globaler Statusindikator spiegelt aktive Serie und Schritt. Reset setzt nur den Bleistift zurück, Reset alles leert zusätzlich das Diagramm und initialisiert einen roten Startpunkt bei (0, 14 cm).

Punktzeichnung und Leitlinie erfolgen in plotPoint(step, tipY, color, which): Ein Kreis an (x_for_step, y_mapped) und eine horizontale gestrichelte Linie auf aktueller Höhe. Gleichzeitig wird der Bleistift-Guide farblich an die aktive Serie angepasst.

5) Dynamische Alternativtexte (A11y-Fokus)

Die Simulation nutzt SVG-Titel als dynamische Alternativtexte, die bei jeder Interaktion programmgesteuert neu gesetzt werden:

Bleistift-Alttext: Das `<title id="pencilTitle">` innerhalb des Bleistift-SVG beschreibt stets „Umdrehungen“ und aktuelle „Höhe in cm“. `updatePencilAlt(rotations, yChart)` berechnet aus der Diagramm-y-Position den numerischen Höhenwert (über die kalibrierte Umrechnung) und schreibt einen sprachlich vollständigen, aktualisierten Titel wie „Bleistift: 60 Umdrehungen, Höhe 12,34 cm“. Dieser Aufruf erfolgt bei jedem Schritt (in `plotPoint`) und zusätzlich beim Neuzeichnen/Resizing, sodass Screenreader den Zustand konsistent erfassen.

Diagramm-Alttext: Das `<title id="chartTitle">` im Diagramm fasst die gesamten Datenreihen als geordnete Zahlenpaare zusammen, getrennt nach Anspitzer 1/2. Zwei Arrays (`series1`, `series2`) speichern die Punkte; `updateChartAlt()` serialisiert sie in der Form (x,y) mit y-Werten auf zwei Nachkommastellen. Nach jedem neuen Punkt wird der Diagramm-Titel neu gesetzt, z. B. „Diagramm-Punkte — Anspitzer 1 (0,14.00; 30,13.20 ...); Anspitzer 2 (0,14.00; ...)“. Damit sind die grafischen Informationen vollständig textuell verfügbar.

Initialisierung und Reset: `resetAll()` setzt beide Titel initial korrekt (Bleistift 0 Umdrehungen/14,00 cm und Diagramm mit Startpunkten), erzeugt den roten Startpunkt und stellt sicher, dass die dynamischen Texte von Anfang an synchron zur Darstellung sind.

6) Ablauf eines Klicks (Anspitz-Button)

1. Serien-Start/Validierung: `startIfNeeded(which)` aktiviert die gewählte Serie und verhindert einen Wechsel während einer laufenden Serie.
2. Schrittfortschritt: `step++`, Maximalschritte werden geprüft. Aus dem Schritt wird die neue Holzlänge berechnet, `setByWoodHeightFromStep` setzt Bleistift-Geometrie und Spitzen-y.
3. Koordinaten-Mapping: `mapYPencilToChart(tipY)` liefert die Diagramm-y-Position; Farbe wird aus CSS-Variablen pro Serie gelesen.
4. Plot und A11y-Update: `plotPoint` fügt Punkt und Leitlinie hinzu, ruft `updatePencilAlt` (Bleistift-Titel) auf, erweitert `series1/series2` und aktualisiert via `updateChartAlt` den Diagramm-Titel. Damit ändern sich beide Alternativtexte sofort bei jedem Klick.

7) Gestaltungsentscheidungen für Barrierefreiheit

Die Titel enthalten konkrete Messwerte (Umdrehungen und cm), nicht bloß Zustandswörter (kürzer, weniger). Das erleichtert Screenreader-Nutzenden die quantitative Nachvollziehbarkeit.

Serienklarheit: Farbcodierung wird zusätzlich textuell im Diagramm-Titel als „Anspitzer 1/2“ reflektiert; die Bleistift-Hilfslinie übernimmt die Serienfarbe für konsistente Zuordnung.

Robustheit bei Resize: Bei Größenänderungen werden Achsen und (falls aktiv) Leitlinie neu gezeichnet; der Bleistift-Titel wird synchronisiert, sodass beschreibende Texte stabil bleiben.

4.4.5 Interaktive Karten barrierefrei umsetzen

Beispiel: Barrierefreie Umsetzung einer interaktiven Karte

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=1&chapter=1§ion=1&exercise=1&login=student>

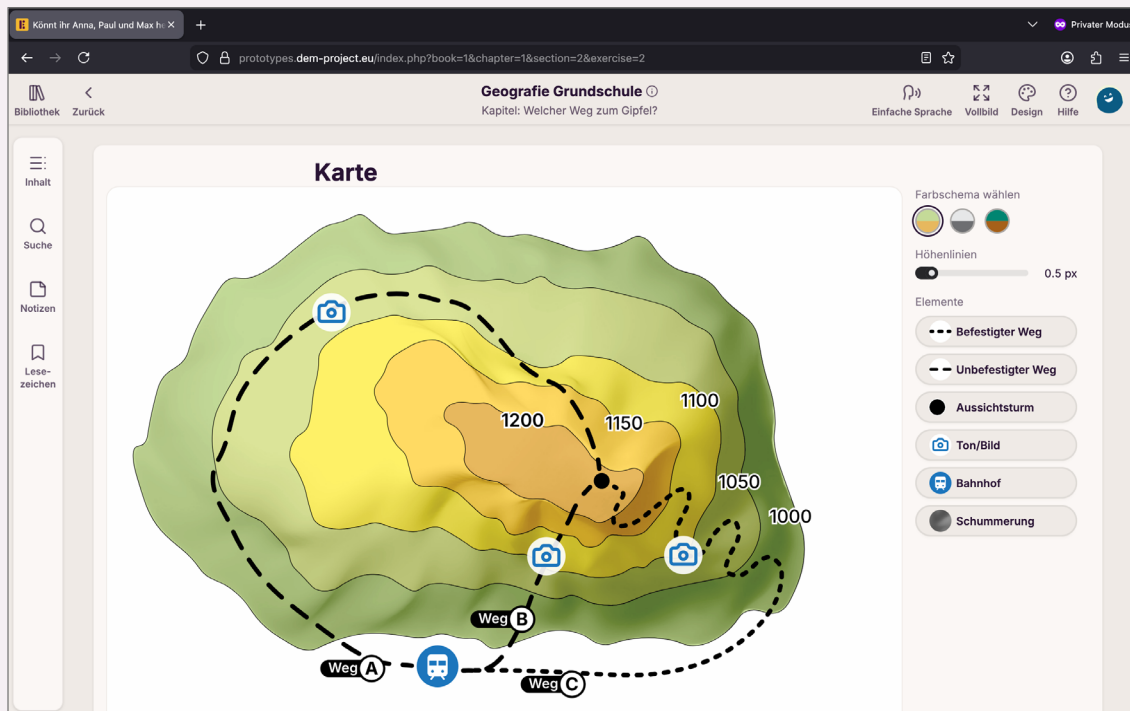


Abb. 43 Interaktive Höhenlinienkarte mit eingezeichneten Wegen A, B, C.

Die Karte liegt als `<svg id="mapSvg">` vor. Die Höhenlinien sind in einer Gruppe `g#altitude_layers` zusammengefasst; auf dieser Gruppe wird die Strichstärke zentral gesetzt (`stroke-width="0.5"` als Startwert). Dadurch lassen sich alle Höhenlinien gleichzeitig steuern. In der Legende gibt es Radio-Buttons für drei Farbschemata (`name="theme"`) sowie einen Range-Slider `#contourRange` mit Ausgabe `#contourValue`. Der Slider ist von 0 bis 5 px in 0,5er-Schritten konfiguriert.

Um die Dicke der Höhenlinien zu steuern: Beim Laden wird der aktuelle Slider-Wert auf die komplette Höhenlinien-Gruppe geschrieben. Technisch: `document.getElementById('altitude_layers').setAttribute('stroke-width', value)`. Gleichzeitig aktualisiert das Skript die Sichtanzeige des Werts ("... px"). Das passiert initial und bei jedem input-Event des Sliders.

Einzelne Kartenelemente lassen sich per Toggle-Buttons ein- und ausschalten: Buttons in der Legende tragen `data-toggle-target` mit kommaseparierten Ziel-IDs, z. B. `pavedPath,markerC`. Beim Klick werden die referenzierten SVG-Elemente per `element.style.display = 'none'` sichtbar/unsichtbar geschaltet.

Der Buttonstatus wird mit aria-pressed gespiegelt und visuell durch Klassen wie btn-ghost/opacity-70 markiert.

Die Umschaltung zwischen Farbschemata passiert mittels Radio-Buttons. Sie setzen auf #mapSvg die Klassen theme-1|theme-2|theme-3. Die Farben der Flächen, Wege und Beschriftungen sind in CSS über Custom-Properties je Theme hinterlegt (z. B. --color-altitude-*, --color-ways). Der Wechsel beschränkt sich auf Klassenmanipulation am SVG, kein Re-Rendern der Pfade.

Die Wege sind als Pfade angelegt. Linienstile (z. B. gestrichelt) werden über stroke-dasharray definiert. Für bessere Lesbarkeit existieren „Unterstrich“-Pfadklassen (*-ext) mit größerer Strichstärke und Kontrastfarbe (--color-ways-underline).

Alle Schalter sind echte Form/Buttons mit aria-pressed bzw. aria-controls-Bezug über IDs; die Legende ist tastaturbedienbar, und Statusänderungen sind unmittelbar visuell nachvollziehbar. (Siehe Button-Statuslogik und Attribute im Toggle-Skript.)

Kurzformel für die Linienstärke:

Legende-Slider → JS updateContourWidth(value) → g#altitude_layers[stroke-width=value] → alle Höhenlinien werden dicker/dünnere, ohne einzelne Pfade anzufassen.

4.4.6 Einbindung von Desmos

Einbettung von Desmos-Graphen

Interaktive Desmos-Graphen können über einen Embed-Code direkt in digitale Schulbücher integriert werden. In der Regel stellt Desmos hierfür einen **HTML-Code** bereit (z. B. <iframe>), der in die jeweilige Plattform oder das LMS eingefügt wird. Alternativ kann die **Desmos-API** verwendet werden, um Graphen programmatisch zu laden und zu konfigurieren (z. B. Definition von Funktionen, Achsen, Zoomstufe). Entscheidend ist, dass die Einbettung so erfolgt, dass der Fokus der Tastatur auf das Desmos-Element gesetzt werden kann und der Screenreader dieses korrekt als interaktive Grafik ausweist.

Barrierefreiheitsfunktionen von Desmos

Desmos verfügt über mehrere **integrierte Accessibility-Features**, die für digitale Schulbücher besonders relevant sind:

- **Tastatursteuerung:** Alle wesentlichen Funktionen (Navigation im Ausdrucksfenster, Auswahl von Objekten, Zoomen, Verschieben des Koordinatensystems) sind ausschließlich per Tastatur bedienbar (WCAG 2.1.1).

- **Screenreader-Unterstützung:** Desmos kann Ausdrücke und Graphen in einer für Screenreader strukturierten Form ausgeben; Ausdrücke werden dabei in einer linearen, sprachlich nachvollziehbaren Darstellung präsentiert.
- **Audio-Tracing / Audio-Feedback:** Funktionen und Graphen können akustisch „abgetastet“ werden. Dabei werden Tonhöhe, Lautstärke oder andere akustische Parameter verwendet, um den Verlauf der Kurve hörbar zu machen – ein wichtiges Feature für Lernende mit Sehbeeinträchtigung.
- **Unterstützung von Braille-Mathematik:** Desmos lässt sich zusammen mit Braillezeilen nutzen, sodass mathematische Ausdrücke in Brailleschrift ausgegeben werden können.

Für den Einsatz im inklusiven Unterricht sollte die Plattform, in der Desmos eingebettet wird, diese Funktionen nicht durch eigene Skripte, Overlays oder fehlerhafte ARIA-Attribute blockieren (z. B. durch das Entfernen von Fokus, das Maskieren von Beschriftungen oder das Deaktivieren von Tastatureingaben).

LaTeX-Unterstützung und Nemeth-Braille

Desmos unterstützt die Eingabe und Darstellung mathematischer Ausdrücke in **LaTeX**. Lernende können Formeln in LaTeX eingeben, die von Desmos automatisch in standardisierte mathematische Notation übersetzt und gerendert werden. In Kombination mit Screenreader- und Braille-Unterstützung können diese LaTeX-Ausdrücke von geeigneten Hilfsmitteln in Eurobraille umgesetzt werden.

Einbindung der Desmos-API

Neben der einfachen Einbettung per `<iframe>` kann der Desmos auch über die **JavaScript-API** in eine Webanwendung integriert werden. Technisch wird hierzu die von Desmos bereitgestellte Skriptdatei eingebunden und anschließend eine Instanz des Calculators in einem Container-Element erzeugt. Ein minimales Beispiel ist:

```
<div id="calculator" style="width: 600px; height: 400px;"></div>
<script src="https://www.desmos.com/api/v1.8/calculator.
js?apiKey=YOUR_API_KEY"></script>
<script>
  const elt = document.getElementById('calculator');
  const calculator = Desmos.GraphingCalculator(elt, {
    expressions: true,
    keypad: true
  });
  // Beispiel: Definition setzen
  calculator.setExpression({ id: 'graph1', latex: 'y = x^2' });
</script>
```

Die API erlaubt u. a. das programmgesteuerte Setzen und Auslesen von Ausdrücken (`setExpression`, `getState`), die Anpassung von Ansichtsfenstern, das Deaktivieren

bestimmter UI-Elemente sowie das Speichern und Laden von Zuständen. Aus Accessibility-Sicht ist sicherzustellen, dass das Container-Element sinnvoll beschriftet ist (z. B. über aria-label) und in der Tab-Reihenfolge erreichbar bleibt, damit Screenreader- und Tastaturzugänglichkeit der Desmos-Komponente vollständig erhalten werden (WCAG 2.4.3).

4.5 Taktile Repräsentationsformen (3D-Druck)

- ▶ **Druckverfahren-neutrale Modellierung:** 3D-Modelle so gestalten, dass sie auf verschiedenen Druckertypen (Filament und Kunstharz) produzierbar sind.
- ▶ **Mindestgrößen definieren:** Haptisch erfassbare Informationen erfordern Mindestabmessungen, daher ist die empfohlene Druckgröße bei jedem Modell anzugeben.
- ▶ **Druckinformationen bereitstellen:** Empfehlungen zu Verfahren, Größe, Schichtdicke und Nachbearbeitung als Metadaten mitliefern.
- ▶ **Offenes Dateiformat verwenden:** STL-Format für maximale Kompatibilität
- ▶ **Modelle passgenau zu den Aufgaben im Buch und weiteren Repräsentationsformen gestalten,** sodass sie als gleichwertige Alternative für die Aufgabenlösung dienen.
- ▶ **Wichtige Merkmale durch die Größe / Schraffur etc. kenntlich machen und ggf. haptische Wahrnehmbarkeit unterstützen.** Dabei kann es auch zu fachdidaktischen oder logischen Kompromissen kommen.
- ▶ **Modelle „modular“ aufbauen,** wenn für das Verständnis sinnvoll.

Beispiel: 3D-Druck und Kunstharzdruck

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=1&chapter=1§ion=1&exercise=1&login=student>



Abb. 44 Berg (3D-Modell)

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=2&chapter=1§ion=2&exercise=2&login=student>



Abb. 45 Schichtvulkan (Kunstharzdruck)

Die 3D-Modelle im Prototyp wurden mit verschiedenen Verfahren getestet: Filamentdruck (Prusa i3 MK3) für robuste, größere Modelle mit geringeren Detailanforderungen und Kunstharzdruck (Formlabs 4L) für präzise, detailreiche Modelle mit glatten Oberflächen. Jede 3D-Datei wird mit einer Begleitdatei ausgeliefert, die Druckempfehlungen enthält: empfohlene Größe und geeignete Druckverfahren.

Bei beiden Modellen wurde darauf geachtet, dass sie zu den anderen Bildern oder Simulationen in den Aufgaben passen und als gleichwertiges Äquivalent für die Aufgabenlösung dienen können.

Das Modell des Schichtvulkans wurde deshalb auch modular gestaltet. Die einzelnen Phasen und Schichten lassen sich nacheinander aufbauen, um den Prozess zu verdeutlichen. Unterschiedliche taktile Strukturen kennzeichnen die verschiedenen Schichten (glatt / rau).

Bei der Gestaltung von 3D-Modellen müssen aber auch Kompromisse eingegangen werden. Zum Beispiel mussten die Wege im Berg-Modell eine gewisse Breite aufweisen, um haptisch wahrnehmbar zu sein (Unterscheidbarkeit Weg – Berg). Das entspricht aber nicht den realen Größenverhältnissen, die Wege sind also überproportional breit und glatt.

Der 3D-Druck des Schichtvulkans erfolgte auf einem Formlabs 4L im SLA-Verfahren unter Verwendung des Harzes White V5. Diese Wahl gewährleistet eine ausgezeichnete Lesbarkeit der Details, die deutlich höher ist als bei einem FDM-Druck, bei dem ausgeprägtere Schichtlinien die Schärfe und Detailgenauigkeit reduzieren. Das Modell wurde mit einer Schichtdicke von 0,01 mm gedruckt, was zu einer sehr feinen Oberflächenqualität führt. Um die Qualität der sichtbaren Flächen zu erhalten, wurde das Objekt flach auf der Bauplattform positioniert, sodass die Kontaktpunkte der Stützstrukturen die endgültige Oberfläche nicht beeinträchtigen. Präsentiert wird das Objekt auf einer lasergravierten und -geschnittenen Platte aus 3,2 mm starkem ColorHues Rowmark, die eine stabile und zugleich elegante Basis für eine korrekte und hochwertige Präsentation des Gesamtaufbaus bietet.

Schwellpapier

Taktile Informationen können auch mittels **Schwellpapier** verfügbar gemacht werden. Schwellpapier ist die Bezeichnung für ein Spezialpapier, das zur einfachen Erzeugung von taktilen Grafiken zu nutzen ist. Das Spezialpapier, welches mit einer thermoplastischen PVC-Schicht ausgestattet ist, kann bemalt oder bedruckt werden. Nach dem Bemalen oder Bedrucken wird das Schwellpapier durch ein spezielles Gerät (Fuser) gegeben und kurz beleuchtet. Die geschwärzten Bereiche auf dem Papier schwellen an und heben sich ab, so dass in kurzer Zeit eine taktile Grafik bereitsteht.

- Wie auch bei 3D-Druck-Modellen und anderen taktilen Umsetzungen sind die **Standards zur Realisierung taktiler Grafiken** gültig (BANA, 2010).

4.6 Interaktive Eingaben technisch barrierefrei umsetzen

4.6.1 Ein Web Component als einheitliche Eingabeschnittstelle nutzen

Beispiel: Interaktives Eingabefeld

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=4&chapter=1§ion=1&exercise=1&login=student>

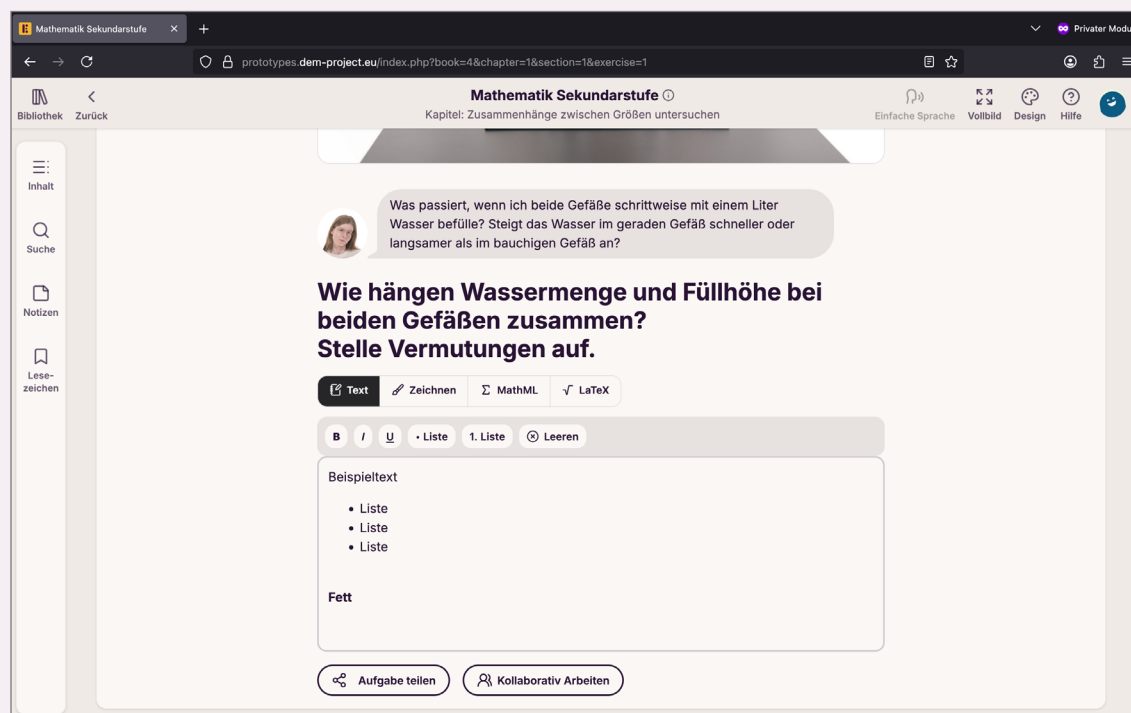


Abb. 46 Eingabefeld mit Texteingabe

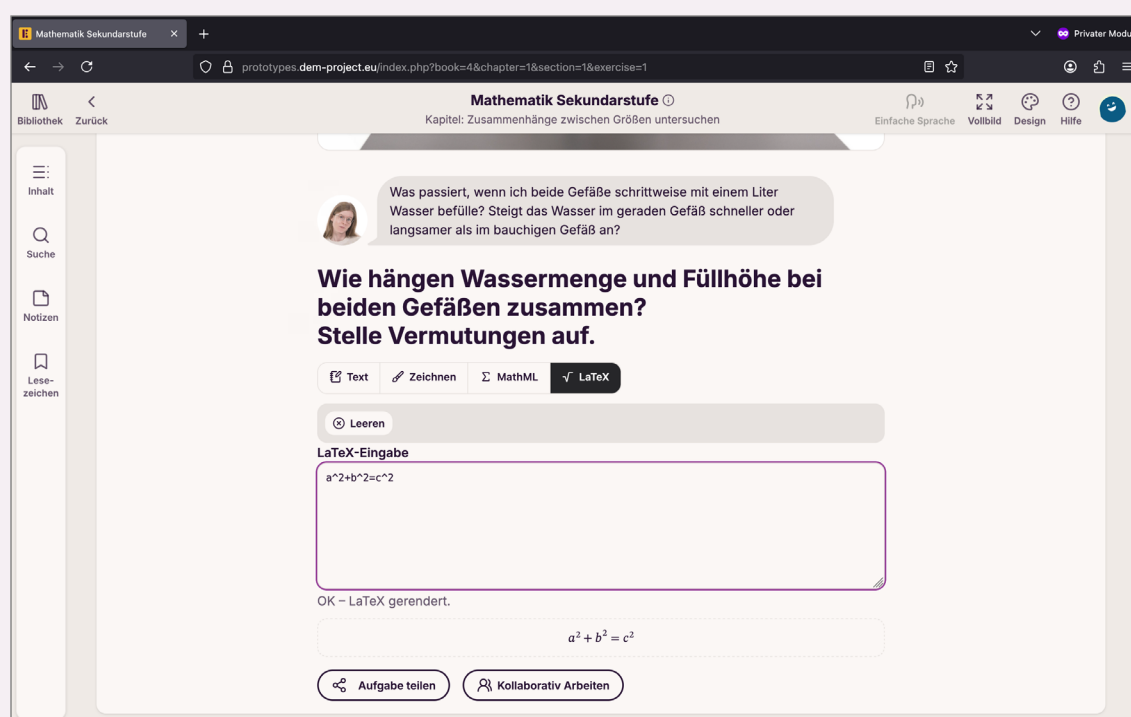


Abb. 47 Eingabefeld mit LaTeX-Eingabe und Live-Rendering

Das Eingabefeld wurde als benutzerdefiniertes Web Component <antwort-feld> umgesetzt.

Dieses Eingabefeld ermöglicht verschiedene Antwortmodi in einem einzigen Block:

1. Textmodus → Rich-Text-Eingabe mit Platzhalter, Toolbar (fett, kursiv etc.) und „Löschen“-Funktion.
2. Zeichenmodus (Canvas) → Zeichnen mit Stift und Radiergummi, einstellbarer Farbe und Strichstärke, Undo/Redo, Löschen.
3. Mathematik (MathML) → Eingabe von MathML mit Live-Rendering über MathJax.
4. LaTeX → Eingabe von LaTeX mit Live-Rendering über MathJax.

Die Komponente bündelt also Text, Skizzen und mathematische Formeln in einer einzigen Eingabeoberfläche. Es gibt eine API, um Antworten zu lesen oder zu setzen (inkl. Modusumschaltung).

Das Eingabefeld enthält auch diverse Accessibility-Maßnahmen:

- ▶ Pfeiltasten links/rechts erlauben Wechsel zwischen Tabs (WCAG 2.1.1 Keyboard).
- ▶ Tabs verwenden aria-selected (true/false), um den aktiven Zustand für Screenreader kenntlich zu machen (WCAG 4.1.2 Name, Role, Value).
- ▶ Werkzeuge (Stift/Radiergummi) nutzen aria-pressed, um den Toggle-Status mitzuteilen.
- ▶ Nicht aktive Panels werden per hidden-Attribut ausgeblendet; Screenreader sehen nur den aktiven Inhalt.
- ▶ Bei Math/LaTeX-Eingaben gibt es dynamische Textausgaben im Feedback-Element (mathFeedback, latexFeedback), z. B. bei Ladezustand, Erfolg oder Fehlern
- ▶ Canvas reagiert auf resize und orientationchange; unterstützt Nutzung auf mobilen Geräten.
- ▶ Berücksichtigung von devicePixelRatio für scharfe Darstellung auf HiDPI-Displays (indirekt relevant für Lesbarkeit, WCAG 1.4.4 Resize Text).

Die Audioeingabe wurde mit der Funktion Mediarecorder in Javascript umgesetzt:

- ▶ Beim Klick auf einen Aufnahme-Button startet die Mikrofonaufnahme über MediaRecorder.
- ▶ Während der Aufnahme wird im UI ein visuelles Feedback angezeigt („Aufnahme läuft...“).

- ▶ Beim Stoppen wird die Aufnahme in ein `<audio controls>`-Element gerendert, sodass die Nutzer:innen das Ergebnis anhören können. Die Dateien werden zu Blob (audio/mp3; codecs=opus) konvertiert.
- ▶ Record/Stop-Buttons wechseln sichtbar zwischen aktiv/inaktiv.

4.6.2 Gemeinsames Arbeiten in einem kollaborativen Textfeld

1) Online-Textfeld mit paralleler Bearbeitung für mehrere Lernende

- ▶ **Ziel**
 - ▶ Ein gemeinsames Textfeld (z. B. für Notizen, Antworten, Brainstorming), das mehrere Lernende gleichzeitig im Browser bearbeiten können.
 - ▶ Änderungen sollen für alle Clients nahezu in Echtzeit sichtbar sein.
- ▶ **Grundarchitektur**
 - ▶ Frontend: Web-App (HTML, CSS, JavaScript/Framework), die ein Textfeld rendert (`<textarea>` oder `contenteditable`-Element).
 - ▶ Backend: Server (z. B. Node.js), der Änderungen verarbeitet und an alle verbundenen Clients verteilt.
Transport: Persistente Verbindung per WebSocket (oder WebSocket-ähnliche Technologie z. B. Socket.IO).
- ▶ **Datenmodell (vereinfacht)**
 - ▶ Objekt pro Dokument, z. B.:
 - id (Dokument-ID)
 - content (aktueller Text)
 - optional: updatedAt, updatedBy, Cursor-Positionen, Versionsnummer.
 - ▶ Speicherung in einer Datenbank (z. B. NoSQL-Datenbank) oder im Speicher (bei reinem Prototyp).
- ▶ **Ablauf im Client**

Benutzer tippt → input/keyup Event → Client sendet Änderung an den Server (entweder kompletten Text oder nur eine Diff).

 - ▶ Client hört gleichzeitig auf Server-Nachrichten (WebSocket) und aktualisiert das Textfeld, wenn andere Lernende etwas verändern.
 - ▶ Optional: Anzeige, welche anderen Nutzer gerade im Dokument sind (Presence-Infos).
- ▶ **Ablauf im Server**
 - ▶ Server empfängt Änderung mit documentId und neuem content (oder Diff).

- ▶ Server aktualisiert den gespeicherten Zustand des Dokuments (Datenbank oder In-Memory).
- ▶ Server sendet den neuen Zustand an alle verbundenen Clients für dieses Dokument (Broadcast).

▶ **Synchronisationsstrategie**

- ▶ Einfache Variante (für Prototyp):
 - „Last-write-wins“: Jede eingehende Änderung überschreibt den aktuellen Zustand; alle Clients zeigen denselben Text an.
 - Eignet sich für kleine Gruppen und nicht-kritische Texte.
- ▶ Robustere Variante (für Produktivsystem):
 - Einsatz von Operational Transformation (OT) oder CRDTs, um Zeichen-/Wort-basierte Konflikte besser aufzulösen.
 - Komplexer zu implementieren, aber bessere Kollaborationsqualität.

▶ **Barrierefreiheit**

- ▶ Nutzung eines semantisch korrekten Textfeldes (<textarea> oder <div role=“textbox“ aria-multiline=“true“>).
- Klare Fokushandhabung und Tastaturnavigation (Tab, Shift+Tab, Pfeiltasten).
- ▶ Keine rein visuellen Hinweise (z. B. „grüne Markierung“), sondern ergänzend textuelle Hinweise.

2) Variante mit Firebase (nur als illustrative Prototyp-Lösung)

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=4&chapter=1§ion=1&exercise=1&login=student>



Ziel der Firebase-Variante

- ▶ Vereinfachte Echtzeit-Synchronisation ohne eigenen Backend-Server.
- ▶ Dient im Projekt nur als Demonstration / Prototyp, nicht als endgültige Architektur.

Datenstruktur im Firebase-Backend (Beispiel)

```
Pfad: /documents/{documentId}
      content: aktueller Text
      updatedAt: Zeitstempel
      updatedBy: Nutzer-ID
```

Jeder Client liest/schreibt denselben Knoten.

Echtzeit-Mechanismus

- ▶ Client registriert einen Listener (z. B. on(,value‘) bei Realtime DB oder onSnapshot bei Firestore).

- ▶ Wenn Lernende den Text ändert:
Client schreibt den neuen content nach Firebase (set/update).
 - ▷ Firebase verteilt die Änderung automatisch an alle anderen Clients, deren Listener ausgelöst werden.
- ▶ Client aktualisiert das lokale Textfeld, sobald ein neues Snapshot-Event ankommt.

4.6.3 Verknüpfungsaufgaben und Drag-and-Drop technisch barrierefrei umsetzen

4.6.3.1 Verknüpfungsaufgaben

- ▶ Aufgaben, bei denen **zwei Elemente miteinander verbunden** werden müssen, sind **schwer zugänglich für Menschen mit Sehbeeinträchtigungen oder Blindheit**, weil für die Beantwortung häufig visuelle Interaktion notwendig ist. Auch Lernende mit motorischen Einschränkungen oder anderen Beeinträchtigungen könnten Probleme haben, Elemente zum Beispiel mit der Maus korrekt zu verbinden. Neben der Zeichnung mit der Maus oder auf einem Touchscreen muss es also weitere **barrierefreie Eingabemöglichkeiten** geben, zum Beispiel:
 1. Doppelklick auf das erste, dann das zweite Element.
 2. Auswahl der zu verbindenden Elemente mit der Enter- oder Leertaste.
 3. Texteingabe, welches Element mit welchem verbunden werden soll, z. B. „1B“.

Beispiel: SVG-basierte Darstellung und Linienverbindungen

Die Verknüpfung der Bilder erfolgt visuell durch das Zeichnen von Linien zwischen den Elementen innerhalb eines SVG-Containers. Jeder Punkt (Bild) und die zugehörige Linie werden als interaktive SVG-Elemente behandelt, die dynamisch auf Benutzerinteraktionen reagieren.

In diesem Code sind zwei Bilder innerhalb des SVG-Elements positioniert. Die Linie `<line>` zwischen den Bildern dient als Verbindung, die später dynamisch basierend auf den Benutzerinteraktionen gezeichnet wird.

```
<svg id="connectionArea" xmlns="http://www.w3.org/2000/svg"
viewBox="0 0 800 600">

  <!-- Bilder als SVG-Pfade -->
  <image id="image1" href="image1.png" x="100" y="100" width="100"
height="100" />
  <image id="image2" href="image2.png" x="300" y="100" width="100"
height="100" />
```

```
<!-- Linien als Verbindungselemente -->
<line id="line1" x1="150" y1="150" x2="350" y2="150"
stroke="black" stroke-width="2" />
</svg>
```

Dynamische Alternativtexte

Dynamische Alternativtexte (**siehe 4.2.2**) beschreiben sowohl die Verbindung wie auch den Inhalt der Bilder.

Für die Barrierefreiheit werden dynamische Alternativtexte generiert, die sowohl den aktuellen Status der Verbindungen als auch die einzelnen Schritte der Aufgabe widerspiegeln. Diese Alternativtexte werden bei jeder Interaktion aktualisiert, um die Änderungen in der Verknüpfung visuell und auditiv zu kommunizieren.

```
function updateAltText() {
  let lines = document.querySelectorAll("line");
  let altText = "Verbindungen: ";

  lines.forEach(line => {
    let startId = line.getAttribute("x1");
    let endId = line.getAttribute("x2");
    altText += `Element ${startId} verbunden mit Element ${endId}. `;
  });

  document.getElementById("altText").textContent = altText;
}
```

Beispiel 1) Eingabemethode Maus oder Touchscreen (Ziehen der Linie)

Bei der Eingabe über die Maus oder einen Touchscreen wird das Starten der Linienzeichnung durch einen MouseEvent in Kombination mit dem mousedown-Event auf dem ersten Bild und mouseup-Event auf dem zweiten Bild aktiviert. Ein mousemove-Event sorgt dafür, dass die Linie während des Ziehens der Maus aktualisiert wird.

mousedown: Der Startpunkt der Linie wird durch das Klicken auf das erste Bild gesetzt.

mousemove: Die Linie wird beim Ziehen der Maus aktualisiert.

mouseup: Beim Loslassen der Maus wird die Linie fixiert und der Endpunkt (z.B. des zweiten Bildes) bestimmt.

```

let isDrawing = false;
let startX, startY;

document.getElementById(„image1“).addEventListener(„mousedown“,
function(e) {
    isDrawing = true;
    startX = e.clientX;
    startY = e.clientY;
    // Erstelle Linie
    let line = document.createElementNS(„http://www.w3.org/2000/
svg“, „line“);
    line.setAttribute(„x1“, startX);
    line.setAttribute(„y1“, startY);
    line.setAttribute(„x2“, startX);
    line.setAttribute(„y2“, startY);
    line.setAttribute(„stroke“, „black“);
    line.setAttribute(„stroke-width“, „2“);
    document.getElementById(vconnectionArea“).appendChild(line);
});

document.getElementById(„connectionArea“).
addEventListener(„mousemove“, function(e) {
    if (isDrawing) {
        let line = document.querySelector(„line:last-child“);
        line.setAttribute(„x2“, e.clientX);
        line.setAttribute(„y2“, e.clientY);
    }
});

document.getElementById(vconnectionArea“).
addEventListener(„mouseup“, function() {
    isDrawing = false;
    // Endpunkt der Linie
    let line = document.querySelector(„line:last-child“);
    // Logik, um zu prüfen, ob die Linie korrekt gezeichnet wurde
    updateAltText();
});

```

Beispiel 2) Doppelklick auf ein Element, dann auf das zweite

Hier wird die Verknüpfung ausgelöst, wenn ein Doppelklick auf das erste Bild erfolgt, gefolgt von einem Klick auf das zweite Bild. Nach der Auswahl der beiden Bilder wird die Linie automatisch zwischen ihnen gezogen.


```

let firstElement = null;

document.querySelectorAll("image").forEach((element) => {
  element.addEventListener("dblclick", function(e) {
    if (!firstElement) {
      firstElement = e.target;
    } else {
      let startX = firstElement.getAttribute("x") + 50;
      let startY = firstElement.getAttribute("y") + 50;
      let endX = e.target.getAttribute("x") + 50;
      let endY = e.target.getAttribute("y") + 50;

      // Linie erstellen
      let line = document.createElementNS("http://www.w3.org/2000/
svg", "line");
      line.setAttribute("x1", startX);
      line.setAttribute("y1", startY);
      line.setAttribute("x2", endX);
      line.setAttribute("y2", endY);
      line.setAttribute("stroke", "black");
      line.setAttribute("stroke-width", "2");
      document.getElementById("connectionArea").appendChild(line);

      firstElement = null; // Zurücksetzen für die nächste Auswahl
      updateAltText();
    }
  });
});

```

Beispiel 3) Tastatursteuerung mit Enter/Leertaste

Die Benutzer können auch die Tabulatortaste verwenden, um zwischen den Bildern zu navigieren und die Verbindungen mit der Enter- oder Leertaste zu bestätigen.

```

let selectedElement = null;

document.addEventListener("keydown", function(e) {
  if (e.key === "Tab") {
    // Fokus auf nächstes Bild setzen
    selectedElement = document.querySelector("image:focus");
  }

  if (e.key === "Enter" || e.key === " ") {

```

```

    if (selectedElement) {
        // Linie erstellen
        let startX = selectedElement.getAttribute(vx") + 50;
        let startY = selectedElement.getAttribute("y") + 50;
        let endX = selectedElement.nextElementSibling.
getAttribute("x") + 50;
        let endY = selectedElement.nextElementSibling.
getAttribute("y") + 50;

        let line = document.createElementNS("http://www.w3.org/2000/
svg", "line");
        line.setAttribute("x1", startX);
        line.setAttribute("y1", startY);
        line.setAttribute("x2", endX);
        line.setAttribute("y2", endY);
        line.setAttribute("stroke", "black");
        line.setAttribute("stroke-width", "2");
        document.getElementById(vconnectionArea").appendChild(line);

        updateAltText();
    }
}
});

```

Beispiel 4) Texteingabe für Verknüpfungen

Nutzer können auch direkt durch Texteingabe (z.B. „1B“) angeben, welche Elemente miteinander verbunden werden sollen.

```

document.getElementById("inputField").addEventListener("input",
function(e) {
    let input = e.target.value;
    let [imageIndex, graphIndex] = input.split("");

    let startX = document.querySelector(`#image${imageIndex}`).
getAttribute("x") + 50;
    let startY = document.querySelector(`#image${imageIndex}`).
getAttribute("y") + 50;
    let endX = document.querySelector(`#graph${graphIndex}`).
getAttribute("x") + 50;
    let endY = document.querySelector(`#graph${graphIndex}`).
getAttribute("y") + 50;

```

```
// Linie erstellen
let line = document.createElementNS("http://www.w3.org/2000/
svg", "line");
line.setAttribute("x1", startX);
line.setAttribute("y1", startY);
line.setAttribute("x2", endX);
line.setAttribute("y2", endY);
line.setAttribute("stroke", „black“);
line.setAttribute("stroke-width", „2“);
document.getElementById(vconnectionArea).appendChild(line);

updateAltText();
});
```

4.6.3.2 Drag-and-Drop

Wenn eine Drag-and-Drop-Lösung entwickelt wird, muss sie grundsätzlich sowohl mit der Maus als auch vollständig mit der Tastatur bedienbar sein, um barrierefrei zu sein. Alle Funktionen, die per Ziehen mit der Maus möglich sind, müssen sich ebenso über Tastaturbefehle ausführen lassen, zum Beispiel mit Tabulator, Pfeiltasten und Eingabetaste (WCAG 2.1.1). Elemente müssen fokussierbar, ihre Positionen erkennbar und alle Zustände klar rückgemeldet sein.

Beispiel: Zuordnungsaufgabe von Text auf Spalten

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=1&chapter=1§ion=2&exercise=2&login=student>



Geografie Grundschule
Kapitel: Welcher Weg zum Gipfel?

a.) Ordne die Eigenschaften den Wegen zu. Nutze die Informationen aus der Karte.

Eigenschaften	Weg A	Weg B	Weg C
fester Weg	flacher Weg		befestigter Weg
steiler Weg	nicht steiler Weg		
nicht befestigter Weg			

b.) Ordne die Wünsche und Bedürfnisse den Personen zu. Nutze die Informationen aus den Aussagen der Wanderer.

Eigenschaften und Wünsche	Anna	Max	Paul
neues Mountainbike		hat Höhenangst	Rollstuhlfahrer
braucht befestigten Weg			
möchte einen steilen Weg			
möchte einen unbefestigten Weg			
braucht einen flachen Weg			

Abb. 48 Screenshot von Zuordnungstabelle

Die Aufgabe besteht aus einer Tabelle mit mehreren Spalten und Reihen. Die erste Aufgabe besteht darin, die spezifischen Eigenschaften den Wegen zuzuordnen..

Die visuelle Darstellung der Aufgabe erfolgt in Form von vier tabellarisch angeordneten Spalten. Sie unterscheidet sich von der programmierten und wurde mittels CSS Klassen als Tabelle dargestellt.

Auf Programmierenebene besteht die Tabelle aus 4 unabhängigen `` Elementen. Jedes der `` Elemente ist durch eine ID eindeutig identifizierbar, dadurch wird auch die Möglichkeit der exakten Zuordnung gewährleistet. Die einzelnen Elemente der Liste sind in ``-Elementen eingebettet und als Button repräsentiert.

```
<ul id="properties" class="bg-base-200 rounded-xl p-4 space-y-2">
  <li id="hard" class="cursor-grab active:cursor-grabbing
target:cursor-grabbing active:-rotate-1 active:shadow-xl shadow-
md bg-base-100 rounded-2xl border-2 border-base-300">
    <button onkeypress="moveProperty(event, 'hard')" class="px-4
py-2 cursor-grab active:cursor-grabbing target:cursor-grabbing
text-left">fester Weg</button>
  </li>
</ul>
```

Art der Zuordnung – Drag and Drop (Maus):

Um das Drag and Drop mittels Maus zwischen den Listen zu gewährleisten, wurden die Listen mit einer bestehenden Bibliothek namens Sortable[1] realisiert.

```
new Sortable(document.getElementById('properties'), {
  group: 'shared', // set both lists to same group
  animation: 150
});
```

[1] <https://sortablejs.github.io/Sortable/>

Art der Zuordnung – Barrierefreie Zuweisung (Keyboard)

Um die Zuordnung der Elemente barrierefrei zu gestalten, muss eine Zuweisung mittels Tastatur möglich sein. Um diese Funktionalität zu gewährleisten, wurde eine eigens dafür erstellte Funktion mit dem Namen `moveProperty()` in JavaScript realisiert. Die Funktion bekommt als Argument das zu verschiebende Element und ein Event übergeben. In der Funktion wird dann überprüft, welche Taste gedrückt wurde und das Element dann der der Taste zugeordneten Liste hinzugefügt.

```
function moveProperty(event, element) {
  if(event.key == "1") {
    document.getElementById('property-route-1').
    appendChild(document.getElementById(element));
  }

  if(event.key == "2") {
    document.getElementById('property-route-2').
    appendChild(document.getElementById(element));
  }

  if(event.key == "3") {
    document.getElementById('property-route-3').
    appendChild(document.getElementById(element));
  }
}
```

4.7 Digitale Feedbackmöglichkeiten: KI-gestütztes Feedback

- ▶ KI-gestütztes Feedback benötigt **einen klaren Systemprompt sowie didaktisch sinnvolle Beispielerückmeldungen** für gute und verbesserungswürdige Antworten.
- ▶ Lernende und Lehrkräfte müssen **darüber informiert sein**, dass KI zum Einsatz kommt.

Beispiel: Umsetzung des KI-Feedbacks

Für die KI-Anfragen im digitalen barrierefreien Schulbuch wird serverseitig zunächst eine .env-Datei mit dem API-Schlüssel für OpenAI-Plattform eingelesen. Dann wird eine entsprechende JSON-Datei mit den jeweils nötigen Vorgaben eingelesen. Die Inhalte in den JSON-Dateien wurden so erstellt, dass die Antworten von der KI-Schnittstelle in Schüler:innen-gerechter Sprache formuliert werden. Es werden eine Developer-Message für die Zielvorgabe, System-Messages mit Beispielen für einen Few-Shot und User-Messages mit den Lernenden-Eingaben in einem Messages-Array für die OpenAI Chat Completions API aufgebaut. Falls es sich um eine Spracheingabe handelt, wird die Audio-Datei zuerst mit der gpt-4o-transcribe API in Text übersetzt.

Über cURL wird eine Anfrage an das Modell (aktuell gpt-4.1-mini) geschickt, wobei Parameter wie temperature (0.7), max_tokens (500) und ein response_format (Text) gesetzt werden. Die Antwort wird in einer Logdatei gespeichert und schließlich als Text im JSON-Wrapper zurückgegeben. Fehler wie fehlende Dateien, ungültige JSON-Struktur oder API-Fehler werden mit einer standardisierten Fehlermeldung im JSON-Format abgefangen.

4.8 Einfache Sprache

Der ergänzende Einsatz von Einfacher Sprache und Leichter Sprache ist insbesondere im Kontext inklusiver Bildungsangebote und digitaler Lehr- und Lernmaterialien von hoher Relevanz. Beide Sprachformen reduzieren syntaktische Komplexität, vermeiden abstrakte Fachterminologie oder erklären diese und strukturieren Inhalte klar und transparent (WCAG 2.1 3.1.5). Dadurch werden kognitive Verarbeitungsanforderungen gesenkt und Barrieren für Lernende mit intellektuellen Beeinträchtigungen, Lernschwierigkeiten, Aufmerksamkeits- und Sprachverarbeitungsstörungen ebenso abgebaut wie für Personen mit geringen Schriftsprachkompetenzen oder für Lernende, deren Erstsprache nicht der Unterrichtssprache entspricht. Einfache und Leichte Sprache tragen somit dazu bei, den Zugang zu Informationen zu erleichtern, das Textverständnis zu erhöhen und eigenständige Wissenskonstruktion zu ermöglichen. Im Rahmen des Prototyps haben wir uns auf die Verwendung von Einfacher Sprache beschränkt, um deren Einsatz exemplarisch zu illustrieren.

Beispiel: Anzeige der Einfachen Sprache

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=1&chapter=1§ion=1&exercise=1&login=student>

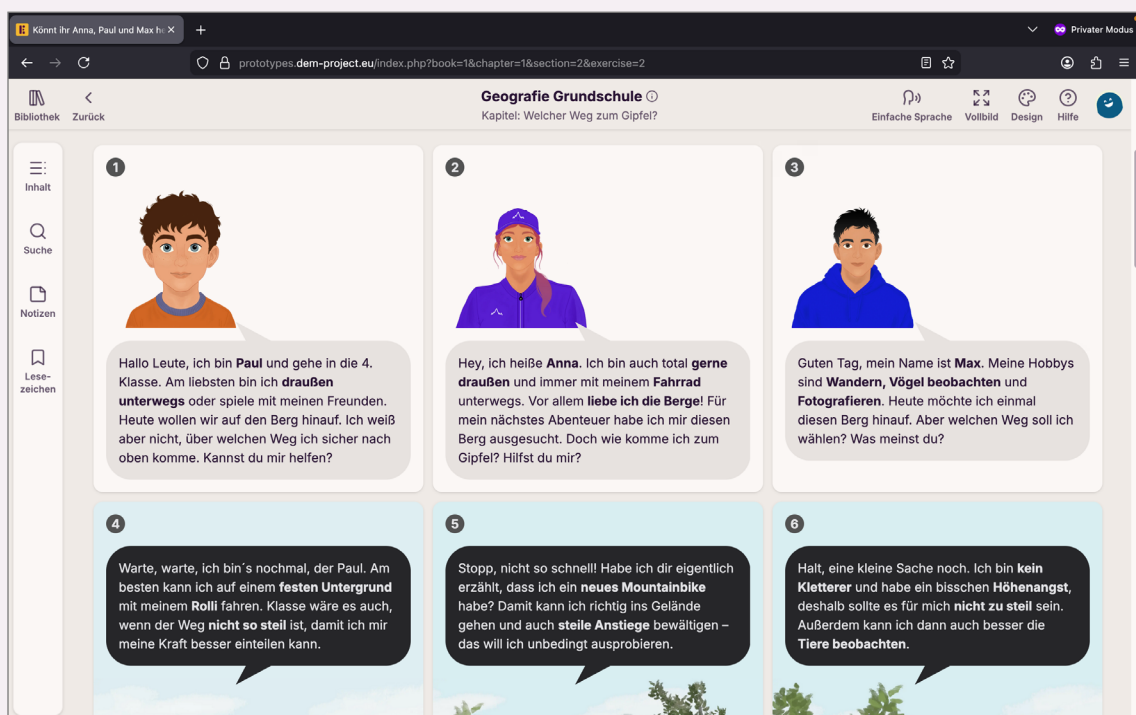


Abb. 49 Übung Geografie Grundschule mit Einfacher Sprache aktiviert

Im HTML-Code sind sowohl der Standard-Text als auch der Einfache-Sprache-Text hinterlegt, wobei die Einfache Sprache mit einer eigens kreierten Klasse (simple) ausgezeichnet ist. Beim Laden der Seite sind die Elemente mit dem Klassenattribut „simple“ standardmäßig versteckt. Wird der Button „Einfache Sprache“ gedrückt, findet eine Überprüfung statt, ob das Element mit dem Inhalt Einfache Sprache gerade versteckt ist und wird dementsprechend versteckt oder angezeigt.

4.9 Weitere technische Umsetzungen: Design und Buchumgebung

4.9.1 Profile und Farbschemata

- ▶ **Vordefinierte Anzeigeprofile:** die auf verschiedene Nutzerbedürfnisse zugeschnitten sind, bilden den Ausgangspunkt für weiterführende Individualisierungen. Eine Auswahl geeigneter Schriften unterstützt unterschiedliche Lesegewohnheiten und -anforderungen (z. B. Dyslexie-freundliche Schriften).
- ▶ Einstellungen sollten sich **auf alle Inhaltstypen auswirken** (Text, Visualisierung, interaktive Elemente).
- ▶ Farbschema muss **im Profil gespeichert** werden.
- ▶ **Zeichenanzahl begrenzen:** Maximal 80 Zeichen pro Zeile gemäß WCAG 2.1 1.4.8 für optimale Lesbarkeit.
- ▶ **Dekorative Elemente steuerbar machen:** Option zum Ausblenden rein dekorativer Bilder.
- ▶ **Einhaltung der WCAG-Kontrastverhältnisse** von mindestens 4,5:1 für normalen und 3:1 für großen Text (WCAG 1.4.3).
- ▶ **Informationen dürfen nicht ausschließlich über Farbe vermittelt werden,** sondern werden zusätzlich durch Form, Muster, Position oder Beschriftung unterschieden (Farbfehlsichtigkeiten) (WCAG 1.4.1).
- ▶ **Anknüpfend an die Forderung, „Farbe als inhaltstragendes Element“ zu vermeiden,** sind auch Rot-Grün-Kombinationen als alleinige Unterscheidungsmerkmale bei Feedback (richtig/falsch) auszuschließen (WCAG 1.4.1).

Beispiel: vordefinierte Anzeigeprofile

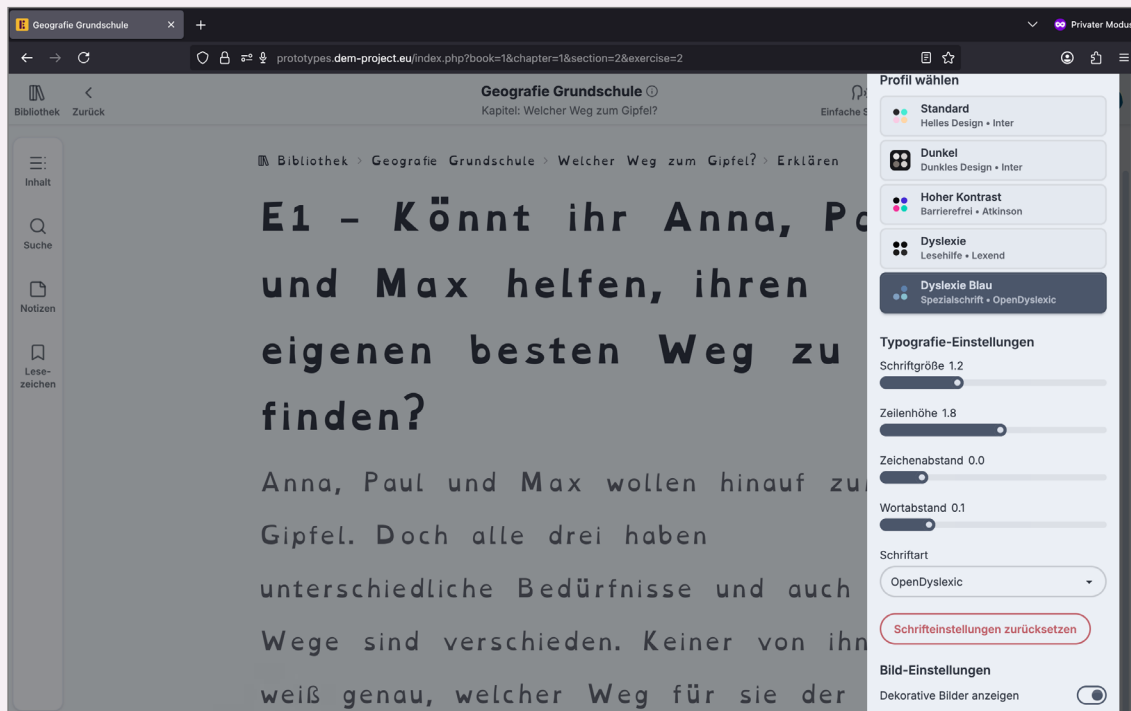


Abb. 50 Profilauswahl-Menü geöffnet. Gewähltes Profil: Dyslexie blau.

Die technische Realisierung basiert auf einem modularen System globaler CSS-Variablen, die über das jeweils aktive Anzeigeprofil gesteuert werden. Als Komponenten-Framework kommt DaisyUI 5 auf Basis von Tailwind CSS zum Einsatz. DaisyUI stellt umfangreiche Anpassungsoptionen für Farben, Kontraste und Konturen bereit und bildet damit die Grundlage für die vordefinierten Anzeigeprofile.

Jedes Anzeigeprofil kombiniert ein DaisyUI-Theme (mit 28 Variablen für Farben und Konturen) mit zusätzlichen CSS-Variablen für typografische Eigenschaften und das Ein- bzw. Ausblenden dekorativer Bilder. Vordefinierte Anzeigeprofile die als Ausgangspunkt dienen sind:

Standard für reguläre Nutzung, Dunkelmodus für reduzierte Augenbelastung, Hoher Kontrast für Sehbeeinträchtigungen, sowie zwei Dyslexie-Varianten mit speziellen Schriftarten (Lexend und OpenDyslexic) mit angepassten Zeilenabständen und standardmäßig ausgeblendeten dekorativen Bildern.

Die typografischen Einstellungen werden über erweiterte Tailwind-Klassen realisiert, die CSS-Variablen zur dynamischen Skalierung von Schriftgrößen, Zeilenhöhen sowie Zeichen- und Wortabständen nutzen (WCAG 1.4.12). Eine zentrale Rolle spielt dabei die Custom-Utility-Klasse:

```
@utility text-base-scale {  
  font-size: calc(var(--text-base) * var(--scale));  
  line-height: var(--tw-leading, calc(var(--text-base--line-
```



```
height) * var(--scale-line-height));
  letter-spacing: calc(0.05rem * var(--scale-tracking));
  word-spacing: calc(0.05rem * var(--scale-word-spacing));
}
```

Diese Klasse ermöglicht eine konsistente, proportionale Anpassung sämtlicher typografischer Eigenschaften über zentrale Skalierungsvariablen. Anstatt einzelne Werte manuell zu verändern, werden alle Parameter über die `--scale`-Variablen gesteuert. Dadurch lassen sich unterschiedliche Textgrößenvarianten einfach und harmonisch erzeugen. Die Verwendung von `calc()` erlaubt flexible Berechnungen auf Basis der jeweiligen Basiswerte, während `var(--tw-leading, ...)` einen Fallback für Tailwind-spezifische Zeilenhöhen bietet.

Das Einstellungsmenü erlaubt eine Feinabstimmung mit Echtzeit-Vorschau. Beim Anpassen der Regler werden die entsprechenden CSS-Variablen unmittelbar aktualisiert. Da es sich um einen Prototypen handelt, werden die Werte lokal im Browser gespeichert, um eine individuelle Nutzung ohne Serververbindung zu ermöglichen.

Die 80-Zeichen-Grenze für Textzeilen wird durch responsive Container-Breiten sichergestellt. Zudem enthält das Menü einen Toggle für dekorative Bilder, der es allen Lernenden erlaubt, die visuelle Komplexität individuell zu reduzieren.

4.9.2 Navigation und Orientierung barrierefrei umsetzen

Die Navigation in digitalen Schulbüchern muss intuitiv, konsistent und barrierefrei gestaltet sein (WCAG 3.2.3 und 3.2.4). Eine klare Orientierung unterstützt selbstgesteuertes Lernen und reduziert kognitive Belastung.

- ▶ **Hierarchische Navigationsebenen klar trennen:** Globale Navigation (zwischen Büchern), Buchnavigation (Kapitel/Themen) und lokale Navigation (innerhalb einer Seite).
- ▶ **Semantik vor Styling:** Native HTML-Elemente benutzen (header, nav, main, section, article, aside, footer, h1–h6, ul/ol, button, a, details/summary, form, fieldset/legend) (WCAG 1.3.1 und 2.4.6).
- ▶ **Klare Struktur:** Eine Überschrift 1 (h1) pro Seite/Ansicht, danach hierarchisch Abfolge der Überschriftenebenen (h2...h3...h4...). Alle Überschriften müssen als solche gekennzeichnet sein (WCAG 2.4.10).
- ▶ **Bedienbarkeit per Tastatur:** Alle Elemente mit Tastaturnavigation erreichbar (Tab/Shift+Tab/Enter/Space/Arrow-Keys; sichtbarer Fokus; keine „Tabfallen“) (WCAG 2.1.1, 2.1.2, 2.4.3 und 2.4.7).
- ▶ **Sinnvolle Landmarken:** role nur ergänzen, wenn nötig (z. B. `<main role="main">` überflüssig, `<nav aria-label="Kapitel-Navigation">` sinnvoll).

4.9.3 Layout und visuelle Strukturierung von Kapiteln, Einheiten und Aufgaben barrierefrei umsetzen

- ▶ **Aufgaben visuell abgrenzen:** Einzelne Aufgaben in klar erkennbaren Containern mit definiertem Anfang und Ende
- ▶ **Einspaltiges Layout bevorzugen** für optimale Lesbarkeit
- ▶ **Icons mit Textlabels** kombinieren für eindeutige Verständlichkeit (WCAG 2.4.6)
- ▶ **Ruhige Gestaltung** ohne ablenkende Elemente, fokussiert auf Lerninhalte
- ▶ **Whitespace** gezielt einsetzen zur visuellen Gruppierung und Entlastung

Beispiel: Klare Struktur durch visuelles Design

<https://prototypes.dem-project.eu/index.php?book=1&chapter=1&login=student>

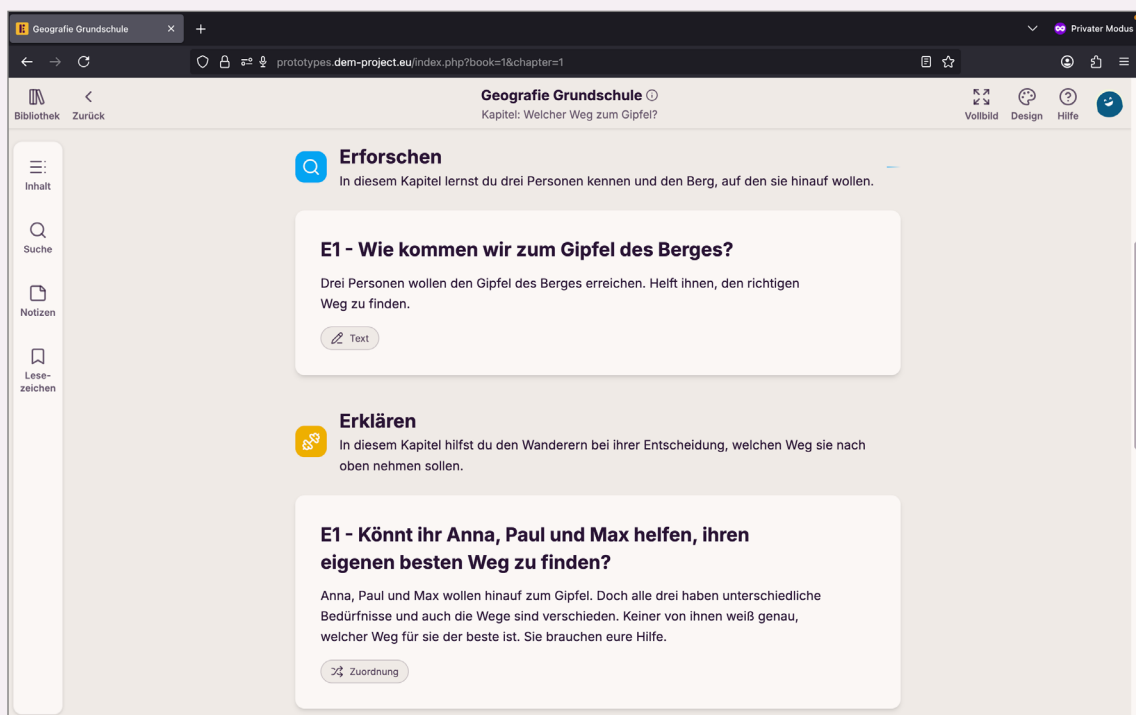


Abb. 51 Kapitelübersicht im Buch *Geografie Grundschule*

Die Aufgaben werden in einzelnen Boxen präsentiert, die eine klare visuelle Trennung schaffen. Das einspaltige Layout passt sich responsiv an verschiedene Bildschirmgrößen an und vermeidet horizontales Scrollen (WCAG 1.4.10). Icons sind zusätzlich mit Textlabels versehen, um Mehrdeutigkeiten zu vermeiden und Barrierefreiheit zu gewährleisten.

5. Literaturverzeichnis

- BANA [Braille Authority of North America] (2010). Guidelines and Standards for Tactile Graphics. Online verfügbar unter: <https://www.prcvi.org/media/1125/guidelines-and-standards-for-tactile-graphics.pdf> (abgerufen am 16.11.2025).
- Bimba, A. T., Idris, N., Al-Hunaiyyan, A., Mahmud, R. B., & Shuib, N. L. (2017). Adaptive feedback in computer-based learning environments: A review. *Adaptive Behavior*, 25(5), 217–234. <https://doi.org/10.1177/1059712317727590>
- blista – Blindenstudienanstalt (Hg.) (2012). VISCH – Visualisierte Informationen in Schulbüchern zugänglich machen: Leitfaden mit Beispielen. Online verfügbar unter: <https://www.blista.de/sites/default/files/visch-leitfaden.pdf> (abgerufen am 16.11.2025).
- Brnic, M., Greefrath, G.; & Reinhold, F. (2024). Working with digital textbooks or printed materials: A study with boys and girls on conditional probability. *ZDM Mathematics Education* 56, 559–572. <https://doi.org/10.1007/s11858-023-01543-x>
- CAST (2025). Universal Design for Learning Guidelines version 3.0. <https://udlguidelines.cast.org>
- Deci, E. & Ryan (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39(2), 223–238.
- Deutscher Blinden- und Sehbehindertenverband e.V. (DBSV) (2024). *leserlich.info*. Online verfügbar unter: <https://leserlich.info/> (abgerufen am 16.11.2025).
- ETSI, 2012 (WCAG) 2.2. W3C Recommendation)
- ETSI, EN 301 549: Accessibility requirements for ICT products and services
- Ianes, D. & Macchia, V. (2008). *La didattica per i Bisogni Educativi Speciali*, Trento: Erickson.
- iBoB – inklusive berufliche Bildung ohne Barrieren (DVBS) (Hg.) (2019). *Gut fürs Image! Praxisleitfaden zur Erstellung textbasierter Alternativen für Grafiken*. Online verfügbar unter: https://www.agnes-at-work.de/wp-content/uploads/2021/09/bf_Gut-fuers-Image-Praxisleitfaden-zur-Erstellung-textbasierter-Alternativen-fuer-Grafiken_.pdf (abgerufen am 16.11.2025).
- Ianes, D. & Macchia, V. (2008). *La didattica per i Bisogni Educativi Speciali*, Trento: Erickson
- Leisen, J. (2017). *Handbuch Fortbildung Sprachförderung im Fach. Sprachsensibler Fachunterricht in der Praxis*. Klett.

- Macgilchrist, F. (2020). Digitale Schulbücher. Qualität und Zukunft. In: Aufenanger, S.; Eickelmann, B.; Feindt, A. & Kamin, A. (Hrsg.): #schuleDIGITAL. Friedrich Jahresheft XXXVIII, 84–85.
- Mayer, R. E. (2005). Cambridge Handbook of Multimedia Learning. New York: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511816819>
- MDN Web Docs. (2025). Using responsive images in HTML. Mozilla Developer Network. https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTML/Guides/Responsive_images#art_direction (abgerufen am 29.10.2025)
- Medien Augenbit (2025). 3D-Druck-Vorlagen, taktile und optimierte Abbildungen für den Unterricht mit blinden und sehbehinderten Schülerinnen und Schüler. Online verfügbar unter: <https://medien.augenbit.de/category/anleitungen/> (abgerufen am 16.11.2025).
- National Center for Accessible Media; DIAGRAM Center (2015). Image Description Guidelines. Online verfügbar unter: <http://diagramcenter.org/table-of-contents-2.html> (abgerufen am 16.11.2025).
- Plötzner, R. et al. (2021). <https://link.springer.com/article/10.1007/s11251-021-09541-w>
- Prediger, S., Götze, D., Holzäpfel, L., Rösken-Winter, B., & Selter, C. (2022). Five principles for high-quality mathematics teaching: Combining normative, epistemological, empirical, and pragmatic perspectives for specifying the content of professional development. *Frontiers in Education*, 7, 969212. <https://doi.org/10.3389/feduc.2022.969212>
- Schütt, Marie-Luise (2018). Alternativtexte als wesentliches Gestaltungselement zugänglicher (barrierefreier) Bildungsprozesse. In: Maaß, Christiane; Rink, Isabel (Hrsg.), *Handbuch Barrierefreie Kommunikation*. Berlin: Frank & Timme GmbH Verlag für wissenschaftliche Literatur, S. 545–564.
- Schütt, Marie-Luise (2025). Bildeinsatz im Fremdensprachenunterricht: Chancen und Grenzen von Alternativtexten für Schüler:innen mit Beeinträchtigung des Sehens und Blindheit. In: Degenhardt, Sven (Hrsg.), *Inklusion bei Beeinträchtigung des Sehens und Blindheit*. Stuttgart: Kohlhammer, S. 161–181.
- Sweller, J. (2020). Cognitive load theory and educational technology. *Educational Technology Research and Development*, 68(1), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s11423-019-09701-3>
- Tactiles.eu (2025). 3D Printing for VI. Online verfügbar unter: <https://tactiles.eu/guidelines/> (abgerufen am 16.11.2025).
- UNICEF (2019). *Accessible Digital Textbooks using Universal Design for Learning (UDL)*. New York: United Nations Children's Fund

- Van der Kleij, F., Feskens, R. & Eggen, T. (2015). Effects of Feedback in a Computer-Based Learning Environment on Students' Learning Outcomes: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 85(4), 475–511.
- World Wide Web Consortium (W3C®) (2025). Making Audio and Video Media Accessible. Online verfügbar unter: <https://www.w3.org/WAI/media/av/> (abgerufen am 16.11.2025).

6. Abbildungsverzeichnis

Alle in diesem Dokument enthaltenen Screenshots wurden von der Autorin/dem Autor selbst erstellt und stammen von der Website prototypes.dem-project.eu.

- Abb. 1** Diagramm des iterativen Entwicklungsprozesses
- Abb. 2** Screenshot einer Kapitelübersicht
- Abb. 3** Auswahlmöglichkeit verschiedener Repräsentationsformen
- Abb. 4** Ansicht einer Aufgabe mit Video, Notizfeld und Taschenrechner
- Abb. 5** Storytelling mit drei Personen in einer Aufgabe
- Abb. 6** Kapitel-Icon mit Ausschnitt aus dem folgenden Video im Social-Media-Stil
- Abb. 7** Ein Tab mit Wahlmöglichkeiten
- Abb. 8** Visualisierung zur Entstehung des Schichtvulkans (Tab: einzelne Schritte)
- Abb. 9** Illustrationen von drei Personen in der Geografie-Aufgabe
- Abb. 10** Pegel-Simulation (im Tab Simulation)
- Abb. 11** Spitzer-Simulation
- Abb. 12** Interaktive Karte zu Höhendarstellung
- Abb. 13** Downloadoptionen für Schwellpapier und 3D-Druck
- Abb. 14** Audio-Ausgabe mit animierten Kurzvideos der einzelnen Personen statt textueller Informationen
- Abb. 15** unterschiedliche Eingabeformate für mündliche, schriftliche und grafische Eingabe
- Abb. 16** Auswahl unterschiedlicher Produkte mit Wahlmöglichkeit für Preise und Darstellung
- Abb. 17** Auswahl der entsprechenden Münzen für die gewählten Produkte
- Abb. 18** Sortier-Aufgabe, bei der Sätze in die richtige Reihenfolge gebracht werden müssen
- Abb. 19** Zuordnung von Eigenschaften in Spalten in einer gestuften Aufgabe
- Abb. 20** Zuordnung von Text auf Bild
- Abb. 21** Zuordnung von Bild auf Bild
- Abb. 22** Interaktive Hilfssysteme zur didaktischen und sprachlichen Unterstützung
- Abb. 23** Lückentext-Aufgabe
- Abb. 24** Lehrhinweise zu einer Aufgabe
- Abb. 25** Eingaben mit anderen Lernenden, der Lehrkraft oder Klasse teilen
- Abb. 26** Kollaborativer Texteditor zum gemeinsamen Bearbeiten von Texten
- Abb. 27** Mehrstufige Hilfen
- Abb. 28** Lernende erhalten KI-generiertes Feedback auf ihre schriftliche Eingabe
- Abb. 29** Lernende erhalten KI-generiertes Feedback auf ihre mündliche Eingabe
- Abb. 30** Wissensspeicher
- Abb. 31** Aufgabe Wandertag bei jedem Wetter
- Abb. 32** Zoom-Modal mit Bild von einem Vulkan
- Abb. 33** Verkaufsstände mit Produkten und Preisen
- Abb. 34** Bildausschnitte in verschiedenen Auflösungen, mit der Person im Fokus
- Abb. 35** Nummerierte Bilder geben die Lesereihenfolge vor
- Abb. 36** Aufgabe Max berichtet von seiner Wanderung mit einer statischen Visualisierung von Max beim Wandern

- Abb. 37** Aufgabe Empfehlungen abgeben mit Wetterbericht und dazu passenden Icons
- Abb. 38** Simulation der Entstehung eines Schichtvulkans
- Abb. 39** Standbild-Slider der Schichtvulkan-Animation im Tab „einzelne Schritte“
- Abb. 40** Simulation eines Experiments, bei dem zwei Vasen mit Wasser gefüllt werden und die Füllhöhe ermittelt wird
- Abb. 41** Darstellung der Messskala auf der Braillezeile
- Abb. 42** Simulation eines Bleistifts, der mit zwei unterschiedlichen Anspitzern gespitzt wird und sich dadurch verkürzt.
- Abb. 43** Interaktive Höhenlinienkarte mit eingezeichneten Wegen A, B, C.
- Abb. 44** Berg (3D-Modell)
- Abb. 45** Schichtvulkan (Kunstharzdruck)
- Abb. 46** Eingabefeld mit Texteingabe
- Abb. 47** Eingabefeld mit LaTeX-Eingabe und Live-Rendering
- Abb. 48** Screenshot von Zuordnungstabelle
- Abb. 49** Übung Geografie Grundschule mit Einfacher Sprache aktiviert
- Abb. 50** Profilauswahl-Menü geöffnet. Gewähltes Profil: Dyslexie blau.
- Abb. 51** Kapitelübersicht im Buch Geografie Grundschule

