

Stefan Korntreff¹, Susanne Prediger^{1,2}, Mike Altieri³ & Stephan Bach³

¹ Technische Universität Dortmund, ² IPN Kiel/Berlin, ³ Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden

stefan.korntreff@math.tu-dortmund.de

Verstehensorientierung und fokussierte kognitive Aktivierung in Erklärvideos – Designprinzipien und Designelemente

Trotz einer hohen Bedeutsamkeit von Erklärvideos für das fachliche Lernen steht die Ausdifferenzierung fachdidaktisch begründeter Designprinzipien erst am Anfang. Der Beitrag erläutert am Beispiel von Erklärvideos zum Variablenverständnis, mit welchen Designprinzipien und Designelementen verstehensorientierte und kognitiv aktivierende Erklärvideos entwickelt werden können.

1. Fachdidaktische Ausdifferenzierungsbedarfe für das Design und die unterrichtliche Einbettung von Erklärvideos

Erklärvideos haben für formale Bildungszwecke von Jugendlichen eine große Bedeutung: 47 % der vom Rat für Kulturelle Bildung (2019, S. 28) befragten Schülerinnen und Schüler, die YouTube überhaupt nutzen, stuften schon vor der Pandemie Erklärvideos für die Unterstützung schulischen Lernens als wichtig oder sehr wichtig ein, z. B. zum Bearbeiten von Hausaufgaben oder zum Vertiefen des Schulstoffs. Angesichts dieser hohen Bedeutsamkeit von Erklärvideos wirbt Fey (2021, S. 27) für die gezielte mediendidaktische und fachdidaktische Beforschung ihrer Ausgestaltung: „Die Frage ist nicht (mehr), *ob* man mit Erklärvideos besser lernt, sondern *wie* man mit Erklärvideos besser lernt“, und fordert insbesondere dazu auf, die „fachlichen und fachdidaktischen Notwendigkeiten des Erklärens“ zu allgemeinen Gestaltungsprinzipien für Erklärvideos in Beziehung zu setzen.

Interventionsstudien haben gezeigt, dass gut gestaltete Erklärvideos über unterschiedliche Fächer hinweg für viele Wissensarten ein wirksames Lernangebot bilden können: für prozedural-motorische Fähigkeiten, deklaratives Wissen und konzeptuelles Verständnis (Kant, Scheiter & Oschatz, 2017; Kulgemeyer, 2020). Lernwirksamkeit lässt sich auch für den Aufbau von prozeduralen *mathematischen* Fähigkeiten und konzeptuellem *Mathematikverständnis* bescheinigen (Kay & Edwards, 2012; Lloyd & Robertson, 2012). Allerdings hängt die Wirksamkeit der Erklärvideos maßgeblich von ihrer *mediendidaktischen Ausgestaltung* (Findeisen, Horn & Seifried, 2019), der *didaktischen Qualität* (Kulgemeyer, 2020) sowie ihrer *Einbettung in den Lernprozess* (Kant et al., 2017) ab. Während die mediendidaktischen Gestaltungsprinzipien bereits sehr gut analysiert sind (Findeisen et al., 2019), haben didaktische Qualitätsmerkmale und die Gelingensbedingungen der unterrichtlichen Einbettung erheblichen weiteren Ausdifferenzierungsbedarf (Fey, 2021; Kant et al., 2017).

Der vorliegende Beitrag nimmt diese Ausdifferenzierung für zwei übergeordnete Qualitätsmerkmale von Mathematikunterricht vor: *kognitive Aktivierung* und *Verstehensorientierung* (Hiebert & Grouws, 2007). Anknüpfend an den fachübergreifenden Forschungsstand zu instruktionalen Erklärungen (Wittwer & Renkl, 2008) und Erklärvideos (Findeisen et al., 2019) werden in Abschnitt 2 sechs Designprinzipien und ihre Umsetzung in Designelementen für Erklärvideos erläutert, mit denen diese übergreifenden mathematikdidaktischen Qualitätsmerkmale realisiert werden können. Abschnitt 3 konkretisiert die Ausgestaltung anhand eines Erklärvideos zum Lerngegenstand Variablenverständnis in Termen und zeigt auf, wie *gegenstandsspezifisch* die zu treffenden Design-Entscheidungen sind. Die Konkretisierungen der Ausgestaltung des Videos wurden in mehreren Design-Research-Zyklen erarbeitet.

2. Designprinzipien und Designelemente zur Realisierung kognitiv aktivierender und verstehensorientierter Erklärvideos

2.1 Designprinzipien und -elemente für kognitive Aktivierung

Gemäß dem (gleichermaßen instruktionspsychologischen und mathematikdidaktischen) Qualitätsmerkmal *kognitive Aktivierung (KA)* sind Lehr-Lernprozesse lernwirksamer für den Wissensaufbau, wenn Lernende neben Routinehandlungen und rezeptiven Erkenntnisaktivitäten auch in anspruchsvollere kognitive Aktivitäten und eigenständige Erkenntnisaktivitäten involviert werden (Henningsen & Stein, 1997; Hiebert & Grouws, 2007), die die jeweils relevanten Wissens Elemente fokussieren (Renkl, 2015). Dies gilt für alle Phasen des Wissensaufbaus: Erarbeiten, Systematisieren und Üben (Freudenthal, 1973; Prediger et al., 2021). Da Erklärvideos zunächst vor allem die Rezeption anregen, ist kognitive Aktivierung nur durch die Anreicherung des Erklärvideos mit Designelementen zu erreichen, die vor, während oder nach dem Videoschauen passende kognitive Aktivitäten initiieren (durch Aufgaben, Drag-and-Drop-Elemente, usw.). Sie sind nach drei zusammenhängenden Designprinzipien zu gestalten:

KA1: Einbindung in aktiven Wissensaufbau über mehrere Phasen. Wittwer und Renkl (2008) betonen in ihrem Survey zu instruktionalen Erklärungen die Relevanz der kognitiven Aktivierung beim Verarbeiten der Erklärung: Wirksam sind instruktionale Erklärungen vor allem dann, wenn sie die aktiven Wissenskonstruktionsprozesse der Lernenden nicht ersetzen, indem sie z. B. die Gelegenheiten zum Nacherfinden nehmen. Vielmehr sollten die Erklärungen in die kognitiv aktive Wissenskonstruktion der Lernenden integriert werden. Wittwer und Renkl (2008) arbeiten in ihrem Survey dementsprechend heraus, dass instruktionale Erklärungen besonders in Situationen lernwirksam sind, in denen sie Lernende bei folgenden Erkenntnisaktivitäten unterstützen: bestehendes Wissen verallgemeinern, Wissenslücken schließen, Fehlvorstellungen revidieren oder vorhandenes Wissen ordnen. Wenn Erklärvideos in der Erarbeitungsphase eingesetzt werden, müssen sie daher durch aktive Verarbeitungsaufträge in der Systematisierungsphase ergänzt

werden, wie in Flipped Classroom-Ansätzen für Lerngegenstände, die Vorab-Informationen erfordern (Lo, Hew & Chen, 2017). Besonders effektiv können Erklärvideos auch in der Systematisierungsphase eingesetzt werden, wenn sie im Anschluss an eigenaktive Erkundungen der Lernenden anhand von Aufgaben typische Ergebnisse aufgreifen und ggf. korrigieren (Loibl, Roll & Rummel, 2017). Für beide Ansätze sind Aufgabensequenzen zum Anregen reichhaltiger Erkenntnisaktivitäten wichtige rahmende Designelemente.

KA2: Unterstützung relevanter kognitiver Verarbeitung. Auch aus mediendidaktischer Perspektive (Mayer, 2014) wird die Notwendigkeit gehaltvoller kognitiver Aktivitäten für die Verarbeitung von Information betont. Aufgrund der begrenzten Kapazitäten des Arbeitsgedächtnisses ist insbesondere die Reduktion von unnötigem Cognitive Load bei multimedialen Lernangeboten wie Erklärvideos entscheidend, um die kognitiven Aktivitäten auf die relevanten Informationen zu fokussieren und irrelevante Informationen auszublenden. Damit bleiben Kapazitäten frei, um die relevanten Informationen in die eigenen mentalen Modelle zu integrieren. Interaktionselemente wie Drag-and-Drop-Elemente oder Selbsterklärungsimpulse gelten als hilfreiche Designelemente, um gehaltvolle kognitive Aktivität zu relevanten Informationen zu initiieren. Vermeidung unnötiger Ablenkung und gezielte Text-Bild-Integration sind dabei stets zu berücksichtigen (Mayer, 2014).

KA3: Fokussierte kognitive Aktivierung. Die geforderte Fokussierung auf relevante Aspekte in KA2 wird instruktionspsychologisch und fachdidaktisch geschärft und geht über Cognitive Load bei der Informationsverarbeitung hinaus: Nur wenn tatsächlich die *relevanten* Wissens Elemente fokussiert werden, gelingt der Wissensaufbau (Renkl, 2015), dies gilt auch für digitale Medien (Scheiter, 2021). Instruktionale Erklärungen (wie in Erklärvideos) erweisen sich insbesondere dann als lernwirksam, wenn die *fachlich* relevanten Konzepte und Prinzipien überhaupt erklärt werden, wenn konzeptuelle Beziehungen und Unterschiede expliziert werden, und wenn konkrete Beispiele explizit an dahinter liegende Prinzipien zurückgebunden werden (Wittwer & Renkl, 2008). Eine gelungene Fokussierung des Erklärvideos und der bereits genannten Designelemente zur kognitiven Aktivierung erfordert daher die fachdidaktische Spezifizierung der jeweils zu fokussierenden Verstehens- und Kalkülelemente und ihrer Beziehungen (Korntruff & Prediger, 2022).

2.2 Designprinzipien und -elemente für Verstehensorientierung

Die Forderung der *fachlichen* Fokussierung wirft die *fachdidaktische* Frage auf, welche mathematischen Wissens Elemente genau in den Erklärvideos fokussiert werden sollen. Hierbei folgen wir dem mathematikdidaktischen Qualitätsmerkmal der *Verstehensorientierung* (Hiebert & Carpenter, 1992), demgemäß mathematische Lernumgebungen nicht nur kalkülbezogene Lerngelegenheiten bieten sollen, sondern vor allem auch verstehensbezogene: D. h. Lerngelegenheiten zum Aufbau von Verständnis für mathematische Konzepte, Operationen und Zusammenhänge sowie zum Anknüpfen symbolischer und kalkülbezogener Wissens Elemente an

das inhaltliche Verständnis der relevanten Konzepte und Operationen (Prediger, 2009). Zur Realisierung nutzen wir drei Designprinzipien:

VO1: Explizieren und Verknüpfen von Verstehens- (und ggf. Kalkül-)elementen. Verständnis von mathematischen Konzepten, Operationen und Kalkülen wird charakterisiert als mentales Netz der Verstehens- und Kalkülelemente, aus denen sie zusammengesetzt sind, dieses Netz lässt sich dann zu übergeordneten Konzepten verdichten (Korntreff & Prediger, 2022 in Weiterentwicklung von Drollinger-Vetter, 2011; Hiebert & Carpenter, 1992). Verstehensbezogene Lernangebote müssen daher die relevanten Verstehens- und Kalkülelemente explizieren und in Beziehung setzen (Renkl, 2015). Mit Blick auf dieses Prinzip wurde die Verstehensqualität von 50 YouTube-Videos zur elementaren Algebra untersucht und ein sehr breites Qualitätsspektrum aufgezeigt (Korntreff & Prediger, 2022): Während in vielen Erklärvideos bestimmte als relevant spezifizierte Verstehenselemente kaum vorkommen und nur selten expliziert oder vernetzt werden, zeigen einige Videos, dass dies sehr wohl möglich ist.

VO2: Darstellungsvernetzung. Gemäß dem Designprinzip *Darstellungsvernetzung* werden inhaltliche Vorstellungen aufgebaut, indem graphische, kontextuelle, verbale, symbolisch-algebraische und symbolisch-numerische Darstellungen vernetzt werden. *Vernetzen* geht über das Wechseln von Darstellungen hinaus, indem Lernende auch erklären sollen, wie einzelne Strukturelemente einer Darstellung in der nächsten zu finden sind (Renkl et al., 2013). In Erklärvideos können Darstellungsvernetzungen angeregt werden durch gleichzeitiges Vorkommen, dynamisches Vernetzen und explizite Thematisierung, welche mathematischen Ideen wie in verschiedenen Darstellungen zu sehen sind. Designelemente wie Drag-and-Drop-Elemente können zum Zuordnen von Darstellungen auffordern und Selbsterklärungsimpulse das Erklären der Vernetzung einfordern.

VO3: Ausbau bedeutungsbezogener Denksprache. Wenn Lernende selbst Erklärungen geben sollen, um Verstehenselemente zu explizieren und zu verknüpfen sowie um die Darstellungsvernetzung zu erläutern, müssen viele dafür erst ihre gegenstandsspezifische bedeutungsbezogene Denksprache erweitern (Prediger, 2022). Das Erklärvideo, eingebettet in vor- und nachbereitende Aufgaben, kann den Ausbau dieser Sprache unterstützen, indem Sprachmittel angeboten, explizit kontrastiert und mit anderen Darstellungen vernetzt werden und die Nutzung der Sprachmittel durch Erkläraufträge angeregt wird.

3. Ausgestaltung und Einbettung eines kognitiv aktivierenden und verstehensorientierten Erklärvideos zum Variablenverständnis

Im Folgenden wird vorgestellt, wie die erläuterten Designprinzipien exemplarisch für einen mathematischen Lerngegenstand konkret umgesetzt werden können: In Schritt 1 werden zunächst die relevanten Verstehens- und Kalkülelemente für den gewählten Lerngegenstand spezifiziert (Abschnitt 3.1). Diese werden dann in Schritt 2 durch entsprechende Designelemente der kognitiven Aktivierung im Erklärvideo fokussiert, expliziert und verknüpft (Abschnitt 3.2).

3.1 Schritt 1: Spezifizierung der zu fokussierenden Verstehens- und Kalkülelemente für das Verständnis von Variablen in Termen

Das wichtigste Konzept der elementaren Algebra ist das Variablenkonzept, denn es ermöglicht zwei für die Algebra zentrale Denktätigkeiten: das *Verallgemeinern von Beziehungen zwischen Größen* mit Hilfe von Termen und Formeln und ein *algebraisches Suchen unbekannter Größen* ausgehend von Bestimmungsgleichungen (bspw. $2x + 5 = 9$), welches über ein systematisches Probieren hinausgeht, indem die unbekannte Größe so genutzt wird, als wäre sie bereits bekannt (Radford, 2014). Für den Verstehensaufbau müssen Lernende die Symbolisierung der Variable durch einen Buchstaben mit inhaltlicher Bedeutung verstehen (Malle, 1993). Eine inhaltliche Verknüpfung des Buchstabens mit der Vorstellung der Variable als Unbestimmter bedeutet bspw., dass die Lernenden den Buchstaben als nützliches Mittel erfahren können, um unzählige symbolisch-numerische Terme kompakt in einem symbolisch-algebraischen Term zu erfassen.

Während die Variable in Tätigkeiten des Verallgemeinerns als *unbestimmte Zahl* gedeutet werden muss, die für alle möglichen Zahlen stehen kann, steht die Variable in Tätigkeiten des Suchens unbekannter Größen allerdings für *festgelegte unbekannte Zahlen*, die herausgefunden werden müssen (Malle, 1993). Die konzeptuellen Unterschiede zwischen beiden Verstehens-elementen sind vielen Lernenden unklar, dies zeigt sich an der Vermischung von Sprachmitteln für die Unbestimmte und die Unbekannte („In dem allgemeinen Term weiß ich die Zahl noch nicht“) und an Schwierigkeiten beim Umdeuten, z. B. beim Übergang von $y = 2x + 5$ zu $2x + 5 = 9$. Damit Lernende die Variablen-Deutungen unterscheiden lernen, sind folgende Maßnahmen vielversprechend: umfassende Eingewöhnung in Tätigkeiten des Verallgemeinerns (Malle, 1993), bewusste Nutzung bedeutungsbezogener Sprache zur Unterscheidung beider Variablenvorstellungen, explizites Vergleichen der konzeptuellen Unterschiede und Sinnstiftung aus relevanten Tätigkeiten.

3.2 Schritt 2: Gegenstandsbezogene Konkretisierung der Designelemente

Der Aufbau der Vorstellung der Variable als Unbestimmter wird verankert in Tätigkeiten des Verallgemeinerns. Dazu dienen Erarbeitungsaufgaben wie in Abb. 1. Allerdings erfinden viele Lernende die Buchstabenvariable nicht eigenständig nach, sondern verbleiben bei (ggf. generischen) Zahlen und Wortvariablen. Dieser Abstraktionsschritt kann also sinnvoll in der Systematisierungsphase durch ein Erklärvideo unterstützt werden. Um die Lernenden auf diese Abstraktion vorzubereiten, erarbeiten sie verschiedene numerische Terme, erkunden deren Struktur (Was bleibt gleich? Was verändert sich?) und versuchen sich an eigenen Verallgemeinerungen (Abb. 1). Die eigenaktiven Erarbeitungen der Lernenden werden im anschließenden Erklärvideo aufgegriffen und systematisiert, wodurch eine *Einbindung des Erklärvideos in den aktiven Wissensaufbau über mehrere Phasen (KAI)* angestrebt wird. Um den Lernenden ihre weiteren Lernbedarfe und damit die Relevanz des Erklärvideos sichtbar zu machen, werden sie im Anschluss an die Erarbeitung zur Sammlung ihrer offenen Fragen aufgefordert (KAI).

E-Scooter-Aufgabe

- a) Ergänze die fehlenden Werte in Tills Tabelle. Für den 2. Juni kannst du dir **irgendeine** Fahrzeit aussuchen.
- Notiere Überschriften für die Spalten.
 - Vervollständige die letzte Zeile.
- b) Erkläre in eigenen Worten:
- Was bedeutet die Rechnung in der markierten Zelle in der letzten Zeile? Was rechnest du damit aus?
 - Was bedeutet für dich „jede beliebige Fahrzeit“?
 - Warum stimmt die Rechnung in der markierten Zelle für jede beliebige Fahrzeit?

E-Scooter-Servicepreis
0,15 € pro Minute und
1 € für's Entsperrten

Tag	Fahrzeit (in min)	Preis für Minuten	Term für Gesamtkosten	Gesamtkosten in €
16. Mai	20	$20 \cdot 0,15$	$20 \cdot 0,15 + 1$	4,00
19. Mai	12	$12 \cdot 0,15$	$12 \cdot 0,15 + 1$	2,80
24. Mai	27	$27 \cdot 0,15$	$27 \cdot 0,15 + 1$	5,05
29. Mai	33	$33 \cdot 0,15$	$33 \cdot 0,15 + 1$	5,95
02. Juni	42	$42 \cdot 0,15$	$42 \cdot 0,15 + 1$	7,30
Für jede beliebige Fahrzeit:	x	$x \cdot 0,15$	$x \cdot 0,15 + 1$	

Abbildung 1: Auszug aus den Erarbeitungsaufgaben vor dem Erklärvideo

Der Einsatz des Erklärvideos in der Systematisierung verfolgt auch den Zweck, Fehlvorstellungen der Lernenden aufzugreifen und ihnen Korrekturangebote zu unterbreiten (KA1). Bspw. führen die eigenständigen Verallgemeinerungen der Lernenden in der Regel zur Nutzung generischer Beispielzahlen oder Wortvariablen (in der letzten Tabellenzeile in Abb. 1). Für einige Lernende geht dies mit der Deutung einher, dass für die Variable immer eine feste Zahl gefunden oder eingesetzt werden muss. Hier zeigt sich eine typische Vermischung der Vorstellung der Variable als Unbestimmter und als Unbekannter, denn *allgemeine* Beschreibungen mit Hilfe der Variable als Unbestimmter zeichnen sich dadurch aus, dass gerade keine konkrete Zahl gewählt werden muss. Im Erklärvideo wird daher der konzeptuelle Unterschied zwischen generisch gewählten Beispielen und jeder beliebigen Zahl explizit anhand der letzten beiden Zeilen der Fahrzeittabelle (Abb. 2) herausgearbeitet (VO1: *Verknüpfen von Verstehenselementen*).

Die Analyse vorangegangener Designexperimente zeigte, dass der konzeptuelle Unterschied zwischen einem generisch gewählten Beispiel und jeder beliebigen Zahl auch auf sprachlicher Ebene adressiert werden muss: Manche Lernende assoziieren Sprachmittel wie „irgendeine Zahl“ oder „x-beliebige Zahl“ mit der Bedeutung der Variable als einer gesuchten festen Zahl, die man sich aussuchen muss. Daher wurde im Video als Sprachvorbild „irgendeine Zahl“ für generische Beispiele reserviert und explizit vom Sprachmittel „jede beliebige Zahl“ abgegrenzt (VO3: *Ausbau der bedeutungsbezogenen Denksprache*).

Die Fokussierung auf den konzeptuellen Unterschied zwischen „irgendeiner festen Zahl“ und „jeder beliebigen Zahl“ (KA3) erfolgt durch den gezielten Einsatz von geschriebenem Text: Nach der ausführlichen Erläuterung, dass „jede beliebige Fahrzeit“ gerade nicht bedeutet, dass man sich eine Fahrzeit aussuchen muss, wird ein Merksatz im Videobild eingeblendet, ohne dass dabei gesprochen wird (Abb. 2). Hierdurch wird auf die relevante verdichtete Information fokussiert und das Arbeitsgedächtnis nicht durch unnötige Information (gesprochene Sprache) überlastet (KA2). Zudem wird die Unterscheidung zwischen „irgendeiner festen“ und „jeder beliebigen Zahl“ auch am Ende des Videos in einer interaktiven Single-Choice-Aufgabe fokussiert (Welche Aussage ist die richtige? Eine Variable steht für...), welche durch den zusätzlichen Selbsterklärungsimpuls, die Auswahl zu begründen, begleitet wird (KA3).

Vervollständigt die zweite Spalte für jede beliebige Fahrzeit. Überprüfen

E-Scooter Servicepreis

0,15 € pro Minute
1 € fürs Entsperren

Standardtarif (0,15 €/min) wird fällig, wenn du einen E-Scooter über die App entsperst

Tag	Fahrzeit (min)	Kosten reine Fahrzeit (€)	Gesamtkosten Term (€)	Gesamtkosten ausgerechnet (€)
16. Mai	20	$20 \cdot 0,15$	$20 \cdot 0,15 + 1$	4,00
19. Mai	12	$12 \cdot 0,15$	$12 \cdot 0,15 + 1$	2,80
24. Mai	27	$27 \cdot 0,15$	$27 \cdot 0,15 + 1$	5,05
25. Mai	18	$18 \cdot 0,15$	$18 \cdot 0,15 + 1$	3,70
29. Mai	33	$33 \cdot 0,15$	$33 \cdot 0,15 + 1$	5,95
02. Juni	100	$100 \cdot 0,15$	$100 \cdot 0,15 + 1$	16,00
Für jede beliebige Fahrzeit				

**Jede beliebige Fahrzeit heißt:
Es ist keine bestimmte Zahl für die Fahrzeit festgelegt.**

04:35/06:27

Abbildung 2: Interaktionselement (offene Eingabe) und visuelle Hervorhebung zur Fokussierung der kognitiven Aktivitäten auf die Variable als Unbestimmte

Die konzeptuell relevante Verknüpfung der Symbolisierung der Variable durch einen Buchstaben mit ihrer inhaltlichen Deutung als Unbestimmte wird im Video adressiert (*VO1: Verknüpfen von Verstehens- und Kalkülelementen*) und durch ein Interaktionselement fokussiert (*KA3*). Abbildung 2 zeigt die Aufforderung zu einer offenen Eingabe für jede beliebige Fahrzeit im Anschluss an die ausführliche Erklärung, dass jede beliebige Fahrzeit gerade nicht bedeutet, dass eine bestimmte Zahl festgelegt ist. Hierdurch wird die Beschreibung *aller* relevanten Zahlen durch die Buchstabenvariable in den Aufmerksamkeitsfokus der Lernenden gerückt.

Die farbliche Hervorhebung der Einträge in der Fahrzeit-Spalte (Abb. 2) übernimmt zwei Funktionen: Einerseits soll sie die Lernenden bei der vertikalen Sichtweise auf die Tabelle unterstützen, die bedeutsam ist, um die relevante Veränderung in den Termen wahrzunehmen (*KA3*). Weiterhin soll hierdurch und durch die gleichfarbige Umrandung in der letzten Tabellenzeile auch eine Darstellungsvernetzung unterstützt werden (*VO2*): *alle* numerischen Einträge der Fahrzeitspalte werden durch die Buchstabenvariable in der letzten Tabellenzeile (Abb. 1) erfasst.

Im Sinne der *Einbindung des Erklärvideos in den aktiven Wissensaufbau über mehrere Phasen (KA1)* werden die Lernenden einerseits im Anschluss an die Arbeit mit dem Video aufgefordert, ihre offenen Fragen zu beantworten, die sie vor der Videobearbeitung hatten. Andererseits werden die wichtigsten thematisierten Konzepte und Unterschiede in anschließenden Aufgaben geübt und vertieft.

4. Zusammenfassung und Ausblick

In Abbildung 3 werden die Designprinzipien und -elemente zur gegenstandsbezogenen Realisierung von kognitiver Aktivierung und Verstehensorientierung zusammengefasst. Sie enthält auch ein drittes wichtiges Qualitätsmerkmal: Adaptivität. Gerade fokussierte kognitive Aktivierung (*KA3*), Explizieren und Verknüpfen von Verstehenselementen (*VO2*) und Ausbau der bedeutungsbezogenen Denksprache (*VO3*) gelingen nur, wenn die Lernangebote und Aufträge zum jeweiligen

Stand der Wissenskonstruktion der Lernenden passen, daher sind adaptives Feedback und ggf. adaptive Vertiefungen bedeutsam (Mayer, 2014), auch wenn sie in diesem Beitrag nicht thematisiert wurden.

Designprinzipien Gegenstandsbezogene Designelemente für das Erklärvideo und unterrichtliche Einbettung	
Kognitive Aktivierung	
KA1: Einbindung in aktiven Wissensaufbau über mehrere Phasen	<p>Erarbeiten vor dem Einsatz des Videos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • eigenständig zu bearbeitende Erarbeitungsaufgaben • metakognitive Aktivierung durch Bewusstmachen eigener Lernbedarfe; hier durch Impulse zum Sammeln offener Fragen aus der Erarbeitungsphase <p>Systematisieren mit dem Erklärvideo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Segmentierung des Erklärvideos mit unterbrechenden Interaktionselementen • metakognitive Aktivierung zur Integration des Gelernten; hier durch Impulse zur anschließenden Reflexion, ob eigene Fragen beantwortet wurden <p>Üben und Vertiefen nach dem Erklärvideo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Durcharbeitung des Systematisierten durch Follow-Up-Aufgaben; hier durch anschließende Arbeitsaufträge zum Üben und Vertiefen des Videoinhalts
KA2: Unterstützung relevanter kognitiver Verarbeitung	<ul style="list-style-type: none"> • Vermeidung unnötiger oder redundanter Sprach- und Bildinformation, insbes. bewusster Einsatz von geschriebenem Text; hier u. a. durch stummes Einblenden eines Merksatzes • Sprachliche oder visuelle Hervorhebung relevanter Information; hier bspw. die vertikale Blickrichtung auf die Tabelle (siehe Abb. 2) • Segmentierung des Erklärvideos in inhaltliche Sinnabschnitte • Einsatz von Selbsterklärungsimpulsen; hier u. a. zur Erläuterung der Darstellungsvernetzung von verbaler und symbolisch-numerischer Beschreibung eines Terms • Einsatz von Interaktionselementen; hier u. a. Single-Choice-Aufgaben am Ende des Videos zur Zusammenfassung der wichtigsten Videoinhalte
KA3: Fokussierte kognitive Aktivierung	<ul style="list-style-type: none"> • Thematisierung der fachlich relevanten Konzepte; hier der Variable als unbestimmter Zahl • Explizites Herausarbeiten konzeptueller Beziehungen und Unterschiede; hier bspw. des Unterschieds zwischen der Variable als unbestimmter Zahl und als einer wählbaren Zahl • Nutzung der Designelemente aus KA1/KA2, um relevante Konzepte und Beziehungen zu fokussieren, z. B. durch Hervorhebung, Interaktionselemente oder Selbsterklärungsprompts
Verstehensorientierung	
VO1: Explizieren und Verknüpfen von Verstehens- (und ggf. Kalkül-) elementen	<ul style="list-style-type: none"> • Explizieren des Konzepts der Variable als Unbestimmter; hier durch ausführliche Erläuterung des Konzepts aufbauend auf das Vorwissen der Lernenden aus der Erarbeitung • In-Beziehung-Setzen der Symbolisierung der Variable durch einen Buchstaben und der Deutung der Variable als Unbestimmter; hier durch Herausarbeiten der Verallgemeinerung vieler numerischer Terme in einem algebraischen Term, durch offene Eingabe (Abb. 2) • Explizites Abgrenzen der Deutung der Variable als unbestimmter / einer wählbaren Zahl; hier durch explizites Kontrastieren mit Fehlvorstellungen in letzten 2 Zeilen der Tabelle (Abb. 1/2)
VO2: Darstellungs- vernetzung	<ul style="list-style-type: none"> • Vernetzung von symbolisch-algebraischer Darstellung der Variable durch Buchstaben mit vielen numerischen Werten; hier durch farbliche Hervorhebung der Tabellenspalte (Abb. 2) • Vernetzung numerischer und symbolisch-algebraischer Darstellung von Termen mit verbaler Darstellung; hier durch Drag&Drop-Elemente mit Distraktoren fehlerhafter Verbalisierungen
VO3: Ausbau bedeutungs- bezogener Denksprache	<ul style="list-style-type: none"> • Angebot von Sprachmitteln für bedeutungsbezogene Denksprache; hier u. a. durch explizite Unterscheidung von „irgendeiner festgelegten Zahl“ und „jeder beliebigen Zahl“ • Erkläraufträge zur Nutzung angebotener Denksprache; hier durch Selbsterklärungsprompts
Adaptivität	(hier nicht thematisiert)
	<ul style="list-style-type: none"> • Adaptives Feedback • Adaptive Weiterführung der Aufgaben / Videos

Abbildung 3: Gegenstandsbezogene Umsetzung von Kognitiver Aktivierung und Verstehensorientierung (und Adaptivität) durch Designprinzipien und Designelemente für Erklärvideos

Das vorgestellte Beispiel verdeutlicht, wie gegenstandsspezifisch die Design-Entscheidungen sind. Sie werden zunächst durch den existierenden gegenstandsbezogenen Forschungsstand (in unserem Fall zur elementaren Algebra) fundiert und bedürfen dann der prozessbezogenen Tiefenanalysen in Designexperimenten, um tatsächlich die notwendige Fokussierung und Adaptivität zu erreichen (Fey, 2021). In unserem Forschungsprozess werden derzeit durchgeführte Designexperimente tiefgehend analysiert und danach mit weiterentwickelten Lernumgebungen Wirksamkeitsstudien zur Wirkung spezifischer Designelemente durchgeführt.

Insgesamt erhoffen wir uns, damit für mathematikbezogene Erklärvideos (in Schule und Hochschule) die Vorgehensweisen zur Herstellung didaktischer Qualität und einer professionelleren Medienproduktion zu fundieren, die mediendidaktische, instruktionspsychologische und gegenstandsbezogen fachdidaktische Aspekte systematisch integrieren.

Förderung: Der Beitrag entstand im Projekt *MuM-Video – Erklärvideos als Resource für fach- und sprachintegrierten Mathematikunterricht*, das von 2020–24 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wird (Förderkennzeichen 01JD2001A, Projektleitung S. Prediger und M. Altieri).

Literatur:

- Drollinger-Vetter, B. (2011). *Verstehenselemente und strukturelle Klarheit: Fachdidaktische Qualität der Anleitung von mathematischen Verstehensprozessen im Unterricht*. Münster: Waxmann.
- Fey, C.-C. (2021). Erklärvideos – eine Einführung zu Forschungsstand, Verbreitung, Herausforderungen. In E. Mattes, S. T. Siegel & T. Heiland (Hrsg.), *Lehrvideos – das Bildungsmedium der Zukunft?* (S. 15–30). Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.
- Findeisen, S., Horn, S. & Seifried, J. (2019). Lernen durch Videos: Empirische Befunde zur Gestaltung von Erklärvideos. *MedienPädagogik*, 2019 (Occ. Papers), 16–36.
- Freudenthal, H. (1973). *Mathematics as an educational task*. Dordrecht: Reidel.
- Henningsen, M. & Stein, M. K. (1997). Mathematical tasks and student cognition: classroom-based factors that support and inhibit high-level mathematical thinking and reasoning. *Journal for Research in Mathematics Education*, 28(5), 524–549. doi:10.2307/749690
- Hiebert, J. & Carpenter, T. P. (1992). Learning and teaching with understanding. In D. A. Grouws (Hrsg.), *Handbook of research on mathematics teaching and learning* (S. 65–97). New York: Macmillan.
- Hiebert, J. & Grouws, D. A. (2007). The effects of classroom mathematics teaching on students' learning. In F. K. Lester (Hrsg.), *Second Handbook of Research on Mathematics Teaching and Learning* (S. 371–404). Charlotte: Information Age.
- Kant, J. M., Scheiter, K. & Oschatz, K. (2017). How to sequence video modeling examples and inquiry tasks to foster scientific reasoning. *Learning and Instruction*, 52, 46–58. doi:10.1016/j.learninstruc.2017.04.005
- Kay, R. & Edwards, J. (2012). Examining the use of worked example video podcasts in middle school mathematics classrooms: a formative analysis. *Canadian Journal of Learning and Technology*, 38(2), 1–20.

- Korntreff, S. & Prediger, S. (2022). Verstehensqualität von YouTube-Erklärvideos – Konzeptualisierung und Analyse am Beispiel algebraischer Konzepte. *Journal für Mathematikdidaktik*, 43(2), 281–310. doi:10.1007/s13138-021-00190-7
- Kulgemeyer, C. (2020). A framework of effective science explanation videos informed by criteria for instructional explanations. *Research in Science Education*, 50, 2441–2462. doi:10.1007/s11165-018-9787-7
- Lloyd, S. A. & Robertson, C. L. (2012). Screencast tutorials enhance student learning of statistics. *Teaching of Psychology*, 39(1), 67–71. doi:10.1177/0098628311430640
- Lo, C. K., Hew, K. F. & Chen, G. (2017). Toward a set of design principles for mathematics flipped classrooms: A synthesis of research in mathematics education. *Educational Research Review*, 22, 50–73. doi:10.1016/j.edurev.2017.08.002
- Loibl, K., Roll, I. & Rummel, N. (2017). Towards a Theory of When and How Problem Solving Followed by Instruction Supports Learning. *Educational Psychology Review*, 29(4), 693–715. doi:10.1007/s10648-016-9379-x
- Malle, G. (1993). *Didaktische Probleme der elementaren Algebra*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner.
- Mayer, R. E. (2014). Cognitive theory of multimedia learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 43–71). Cambridge: Cambridge University Press.
- Prediger, S. (2009). Inhaltliches Denken vor Kalkül. In A. Fritz & S. Schmidt (Hrsg.), *Fördernder Mathematikunterricht in der Sek. I* (S. 213–234). Weinheim: Beltz.
- Prediger, S. (2022, im Druck). Enhancing language for developing conceptual understanding. In J. Hodgen et al. (Hrsg.), *Proceedings of 12th Congress of the European Society for Research in Math. Education (CERME 12)*. Bolzano: ERME / HAL.
- Prediger, S., Barzel, B., Hußmann, S. & Leuders, T. (2021). Towards a research base for textbooks as teacher support: The case of engaging students in active knowledge organization in the KOSIMA project. *ZDM – Mathematics Education*, 53(6), 1233–1248. doi.org/10.1007/s11858-021-01245-2
- Radford, L. (2014). The progressive development of early embodied algebraic thinking. *Mathematics Education Research Journal*, 26(2), 257–277.
- Rat für Kulturelle Bildung (2019). *Jugend/YouTube/Kulturelle Bildung*. Horizont 2019. www.rat-kulturelle-bildung.de/fileadmin/user_upload/pdf/Studie_YouTube_Webversion_final.pdf
- Renkl, A. (2015). Different roads lead to Rome: the case of principle-based cognitive skills. *Learning: Research and Practice*, 1(1), 79–90.
- Renkl, A., Berthold, K., Große, C. S. & Schwonke, R. (2013). Making better use of multiple representations: How fostering metacognition can help. In R. Azevedo & V. Alevin (Hrsg.), *International Handbook of Metacognition and Learning Technologies* (S. 397–408). New York: Springer.
- Scheiter, K. (2021). Lernen und Lehren mit digitalen Medien: Eine Standortbestimmung. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 24(5), 1039–1060.
- Wittwer, J. & Renkl, A. (2008). Why instructional explanations often do not work: a framework for understanding the effectiveness of instructional explanations. *Educational Psychologist*, 43(1), 49–64. doi:10.1080/0046152070175642