

Dynamische, interaktive Visualisierungen – Erkenntnisse eines systematischen Reviews und Vorstellung einer digitalen Lernumgebung für die Domäne Wirtschaft

Stefanie Findeisen, Jennifer Messner und Josef Guggemos

1. Problemstellung

Visualisierungen sind von zentraler Bedeutung für das Erlernen neuer Inhalte (vgl. z.B. Duval 2006). Der Einsatz führt potentiell zur tieferen Verarbeitung der Lerninhalte im Vergleich zu einer rein verbalen Informationsdarbietung (*multimedia learning hypothesis*; Mayer 2014b). Visualisierungen ermöglichen eine Verbindung von verbalen Informationen mit bildhaften Darstellungen und erleichtern somit die Informationsverarbeitung. Die Aktivierung mehrerer Kanäle (z. B. auditiv und visuell) kann zu einer höheren Behaltensleistung führen (Mayer 2014b). Aufgrund technischer Möglichkeiten, kommen seit einigen Jahren vermehrt *dynamische* Visualisierungsformen zum Einsatz. Im Vergleich zu statischen Varianten, dienen diese insbesondere dazu, Veränderungen, bspw. über die Zeit, darzustellen (Ploetzner & Lowe 2004). Häufig genutzte dynamische Repräsentationsformen sind Videos und Animationen. Empirische Befunde zeigen, dass diese insbesondere dann den Lernerfolg begünstigen, wenn die Lernenden die Präsentation selbst steuern können (*Interaktivität*; vgl. z.B. Tversky, Morrison & Bétrancourt 2002). Zusätzlich erscheint es sinnvoll, dynamische, interaktive Visualisierungen auch für typische domänenspezifische Darstellungsformen zu implementieren (z.B. Diagramme, Koordinatensysteme, Modelle). Beispielsweise kann Lernenden die Möglichkeit eingeräumt werden, Parameter in Funktionen interaktiv zu verändern (z.B. Eingabe von Zahlenwerten, Bewegung von grafischen Elementen durch Drag-and-Drop) (El Saddik, 2001; Wedekind 2007). Für die Domäne Mathematik besteht hier mit der Software GeoGebra bereits eine etablierte, viel genutzte Anwendung (z.B. Hohenwarter, Hohenwarter & Lavicza 2009). Auch für die Domäne Wirtschaft bieten solche Anwendungen vielversprechende Ansatzpunkte zur Förderung des Verständnisses für Veränderungen in Modellen oder Funktionen.

Übergreifend wird dynamischen, interaktiven Visualisierungen ein hohes Lernpotenzial zugeschrieben. Die positive Wirkung des Einsatzes könnte allerdings durch zusätzliche Anforderungen an die kognitiven Fähigkeiten der

Lernenden vermindert werden (vgl. z.B. Ploetzner & Lowe 2004). Im Vergleich zu statischen stellen dynamische Visualisierungen höhere Anforderungen an die Informationsverarbeitung der Lernenden. Das kann die kognitiven Kapazitäten der Lernenden übersteigen (Lewalter 2003). Auch Interaktivität erfordert – bei allen Vorteilen der aktiven Steuerung durch Lernende – zusätzliche kognitive Ressourcen, weil Planungs- und Entscheidungsprozesse nötig sind (de Jong & van Joolingen 1998). Ferner scheint eine Abhängigkeit der kognitiven Belastung von der Art des Lerninhalts naheliegend.

Vor dem beschriebenen Hintergrund verfolgt der vorliegende Beitrag die Fragestellung, welche Effekte sich durch das Lernen mit dynamischen, interaktiven Visualisierungsformen ergeben. Insbesondere ist von Interesse, unter welchen Bedingungen dynamische, interaktive Visualisierungen Vorteile gegenüber statischen Visualisierungen aufweisen. Zu diesem Zweck wird ein systematisches Literaturreview durchgeführt. Basierend auf dem Literaturüberblick wird die digitale Lernumgebung *Dynamic Interactive Visualizations in Economics (DIVE)* für die volkswirtschaftliche Domäne vorgestellt.

2. Theoretische Fundierung

2.1 Kognitive Theorie des multimedialen Lernens

Multimediales Lernen findet statt, wenn Lernende auf Basis verbaler Informationen (gesprochener oder schriftlicher Text) und Visualisierungen (Illustrationen, Animationen, Video etc.) mentale Repräsentationen entwickeln (Mayer 2014b). Die kognitive Theorie des multimedialen Lernens nach Mayer (vgl. z.B. Mayer 2014a) trifft dabei drei Grundannahmen (Mayer 2014a):

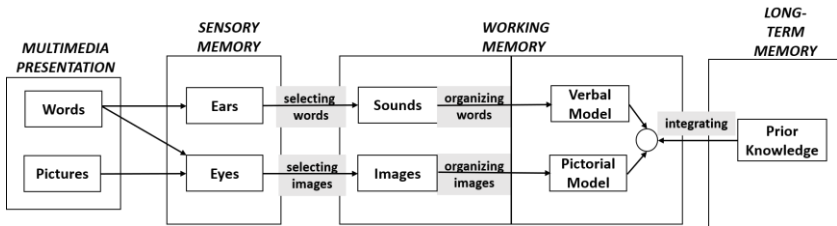
(1) *Dual channels*. In Anlehnung an die Theorie der dualen Kodierung von Paivio (1986) sowie an das Arbeitsgedächtnismodell von Baddeley (1999) wird angenommen, dass die Informationsverarbeitung vorerst über zwei unterschiedliche Kanäle stattfindet: einen auditiven/verbalen Kanal und einen visuellen/bildlichen Kanal.

(2) *Limited capacity*. Ferner wird angenommen, dass die Menge an Informationen, die in den beiden Kanäle gleichzeitig verarbeitet werden kann, begrenzt ist (in Anlehnung an das Arbeitsgedächtnismodell [Baddeley, 1999] sowie die Cognitive Load Theory [z.B. Paas, Renkl & Sweller 2003; Sweller 2011]).

(3) *Active processing*. Schließlich wird angenommen, dass die Lernenden die dargebotenen Informationen aktiv verarbeiten und versuchen, die multimedial dargebotenen Inhalte zu verstehen. Sie verfolgen relevante Informationen, organisieren diese zu einer kohärenten kognitiven Struktur und integrieren die neuen Informationen in bestehende Wissensstrukturen.

Multimediale Lernprozesse sind nach Mayer (2014a) durch fünf kognitive Prozesse gekennzeichnet (Abb. 1). Zunächst identifizieren die Lernenden relevante Worte aus der multimedialen Präsentation, die als *sounds* im Arbeitsgedächtnis erscheinen (*selecting words*). Außerdem nehmen die Lernenden relevante Visualisierungen wahr, welche *images* im Arbeitsgedächtnis bilden (*selecting images*). Die Lernenden stellen Verbindungen zwischen ausgewählten Wörtern her und erstellen ein kohärentes verbales Modell im Arbeitsgedächtnis (*organizing words*). Gleiches gilt für die bildhaften Darstellungen, wodurch ein kohärentes visuelles Modell entsteht (*organizing images*). Der wohl wichtigste Schritt besteht im Zusammenführen der beiden Modelle (*integrating*). Hier stellen die Lernenden Verbindungen her zwischen verbalem und visuellem Modell. Dabei wird auch das verfügbare Vorwissen einbezogen.

Abb. 1: Cognitive Theory of Multimedia Learning



Quelle: Mayer 2014a, S. 52

Im multimedialen Lernen bestehen drei Anforderungsarten an das Informationsverarbeitungssystem der Lernenden (Mayer 2014a):

1. *Extraneous Processing*. Belastung des Arbeitsgedächtnisses, die nicht zur Lernzielerreichung beiträgt und bspw. durch ungünstige Designmerkmale entsteht; Pendant der Cognitive Load Theory: *Extraneous Cognitive Load*
2. *Essential Processing*. Basiert auf der kognitiven Verarbeitung und mentalen Repräsentation des präsentierten Lernmaterials (gemäß Abb. 1); Pendant der Cognitive Load Theory: *Intrinsic Cognitive Load*
3. *Generative Processing*. Beinhaltet die Reorganisation der aufgenommenen Informationen und deren Integration in das Vorwissen, ausgelöst durch die Motivation eines Lernenden, die präsentierten Inhalte verstehen zu wollen; Pendant der Cognitive Load Theory: *Germane Cognitive Load*.

Sowohl *Essential Processing* als auch *Generative Processing* zielen auf die Erreichung des Lernziels ab.

Das Ausmaß dieser drei Verarbeitungsformen bestimmt gemeinsam die Belastung des Arbeitsgedächtnisses eines Lernenden. Inwiefern eine multimediale Lernumgebung einen Lernenden überlastet, hängt u.a. ab vom Vorwissen, Fähigkeiten oder auch Einstellungen (Mayer 2014a).

2.2 ICAP-Rahmenkonzept

Das ICAP-Rahmenkonzept (Chi & Wylie 2014) kann dazu dienen, unterschiedlich hohe Lernzuwächsen beim Einsatz von Visualisierungen zu erklären. Das Akronym ICAP steht für die Lernaktivitäten **I**nteractive, **C**onstructive, **A**ctive und **P**assiv. Die Autorenschaft argumentiert, dass hinsichtlich des zu erwartenden Lernerfolgs gilt: Interactive > Constructive > Active > Passive; für diese theoretisch begründete Vermutung liefern sie empirische Evidenz.

Bei *passiven* Lernaktivitäten nehmen die Lernenden Informationen aus dem Lernmaterial auf, ohne lernbezogene Aktivitäten zu zeigen, z.B. aufmerksames Schauen eines Erklärvideos ohne weitere Aktivitäten. *Aktive* Lernaktivitäten sind gekennzeichnet durch motorische Aktivitäten, die aber nicht über die präsentierten Informationen hinausgehen, z.B. wörtliche Notizen beim Schauen eines Videos anfertigen. Bei *konstruktiven* Lernaktivitäten generieren die Lernenden Output, der über die im Lernmaterial enthaltenen Informationen hinausgeht, z.B. Entwickeln einer Mind Map auf Basis eines Erklärvideos. Bei *interaktiven* Aktivitäten führen die Lernenden die konstruktiven Aktivitäten zusammen mit anderen Personen aus, z.B. gemeinsames Entwickeln einer Mind Map auf Basis eines Erklärvideos in einer Gruppe.

Interaktive, dynamische Visualisierungen scheinen vor dem beschriebenen Hintergrund im Vergleich zu statischen Grafiken vielversprechend. Sie erlauben ein aktives Manipulieren der Grafik. Die Lernenden können verschiedene Parameter anpassen und üben damit ein motorisches Verhalten aus. Beispielsweise können Steigungen von Kurven in einem Diagramm dynamisch angepasst werden. Das wäre vorteilhaft im Vergleich zu einer passiven Lernaktivität, in denen die unterschiedlichen Konstellationen lediglich präsentiert werden (statisch), ohne Möglichkeit für die Lernenden hierauf einzuwirken.

Interaktive, dynamische Visualisierungen haben auch das Potential, konstruktive Lernaktivitäten zu ermöglichen. Hypothesen lassen sich mithilfe der interaktiven, dynamischen Grafiken generieren und testen. Damit ermöglichen dynamische, interaktive Visualisierungen, Output zu generieren, der über das vorhandene Lernmaterial hinausgeht. Beispielsweise können Hypothesen über die Auswirkungen von Kurvenverschiebungen sofort überprüft werden. Die

Lernwirksamkeit könnte potentiell weiter gesteigert werden, wenn die beschriebenen konstruktiven Aktivitäten zusammen mit weiteren Personen ausgeführt werden (*interaktiv* im Sinne des ICAP-Konzepts).

Vor dem Hintergrund des ICAP-Rahmenkonzepts scheint der Wert interaktiver, dynamischer Visualisierungen im Vergleich zu statischen Visualisierungen in der lernwirksameren Interaktion mit dem Lerngegenstand zu liegen.

3. Methodisches Vorgehen des Literaturreviews

Zur systematischen Sichtung der vorliegenden Befunde zu den Effekten des Einsatzes dynamischer, interaktiver Visualisierungen wurde im Frühjahr 2021 ein Literaturreview durchgeführt. Das Vorgehen orientierte sich an den Empfehlungen des PRISMA-Ansatzes (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*; Moher, Liberati, Tetzlaff & Altman 2009) (Abb. 2). Mithilfe von EBSCOhost wurden folgende Datenbanken durchsucht: Business Source Premier, EconLit, ERIC, PsychINFO und PsychARTICLES. Die Suchbegriffe „interactive“ AND „dynamic“ wurden verbunden mit verschiedenen Begriffsvarianten für grafische Darstellungen: „graphic“ OR „visualization“ OR „visualisation“ OR „presentation“ OR „figure“ OR „diagram“ OR „illustration“ OR „animation“ OR „representation“. Ergänzend wurde eine Suche mit analogen deutschen Begriffen durchgeführt. Berücksichtigung fanden referierte Zeitschriftenbeiträge, die im Zeitraum von 2001 bis 2021 veröffentlicht wurden¹. Es ergaben sich 1.041 Treffer; zwei Studien waren darüber hinaus zuvor bereits bekannt. Nach dem Entfernen der Duplikate verblieben 955 Studien.

Inhaltlich wurden die Studien danach selektiert, dass sie (1) interaktive, dynamische Visualisierungen adressieren² und (2) die Untersuchung der *Effekte* solcher Visualisierungen (im Vergleich zu statischen Visualisierungen) zum Ziel haben. Hinsichtlich der Visualisierung wurden neben Graphen auch interaktive Animationen berücksichtigt, allerdings keine Erklärvideos, bei denen lediglich die Wiedergabe durch die Lernenden gesteuert werden kann. Auf Basis des Beitragstitels wurden 806 Beiträge ausgeschlossen, nach Lesen des Abstracts weitere 65 Beiträge. Bei den verbleibenden 84 Studien wurde der Volltext begutachtet und 62 Studien ausgeschlossen. Gründe hierfür waren die fehlende Passung zur Forschungsfrage (n = 49), eine unzureichende Qualität

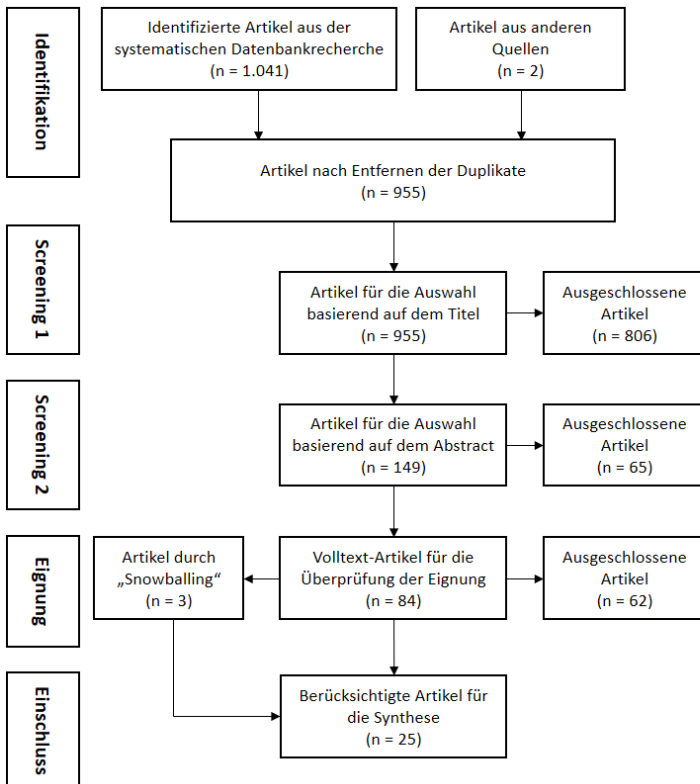
1 Die Metaanalysen, die im Review berücksichtigt werden, enthalten ihrerseits Einzelbeiträge, die zwischen 1994 und 2009 (Höfller, 2010) bzw. 2000 und 2013 (McElhaney et al., 2015) publiziert wurden.

2 Studien, welche keine Erkenntnisse zur Interaktivität liefern, blieben unberücksichtigt. Allgemeine Vorteile dynamischer ggü. statischer Visualisierungen sind in mehreren Metaanalysen bereits gut belegt (vgl. z.B. Castro-Alonso, Wong, Adesope, Ayres & Paas, 2019).

(n = 5) sowie ein fehlender Zugang zum Volltext bzw. zu relevanten Materialien (n = 5)³. Drei der identifizierten Studien sind in ebenfalls berücksichtigten Meta-Analysen enthalten; diese wurden folglich nicht erneut betrachtet.

Nach den Selektionsschritten verblieben 22 für die Fragestellung relevante Studien; drei weitere Beiträge wurden durch Verweise („Snowballing“) identifiziert. Die Literaturübersicht umfasst folglich 25 Studien (Tab. A1, Anhang). Die 25 Studien fokussieren vornehmlich mathematisch-naturwissenschaftliche Inhalte (n = 13). Für die Domäne Wirtschaft liegen zwei Studien vor.

Abb. 2: PRISMA-Statement: Selektionsprozess des vorliegenden Literaturreviews



Quelle: eigene Darstellung

³ Bei fehlendem Zugriff auf Volltexte wurden die Autoren*innen kontaktiert. Für vier Beiträge erhielten wir auch auf diesem Weg keine Rückmeldung bzw. keinen Zugang zum Volltext.

4. Ergebnisse

Tabelle 2 fasst die Ergebnisse zusammen. Insgesamt ergeben sich sowohl für **kognitive Aspekte** als auch für **non-kognitive Aspekte** überwiegend positive Effekte dynamischer, interaktiver Visualisierungen. Hinsichtlich des *kurzfristigen Lernerfolgs* zeigen sich beispielsweise positive Effekte sowohl in Bezug auf den Wissenserwerb (z.B. Chang 2013: thermodynamische Kenntnisse) und den Verständnisszuwachs (z.B. Akpınar 2014: Verständnis für Konzepte statischer Elektrizität) als auch hinsichtlich der Problemlösefähigkeit (z.B. Kohen, Amram, Dagan & Miranda 2019; Kostić, Stankov Jovanovic, Sekulić & Takači 2016). Auch für zeitversetzte Follow-Up-Messungen (*langfristiger Lernerfolg*) konnten Vorteile des Lernens mit dynamischen, interaktiven Visualisierungen festgestellt werden (Akpınar 2014; Kohen et al. 2019). Bezüglich **non-kognitiver Aspekte**, beispielsweise der *Lernzufriedenheit*, zeigen sich ebenfalls (überwiegend) positive Effekte (z.B. Berding, Jahncke & Albersmann 2020; McElhaney, Chang, Chiu & Linn 2015).

Hinsichtlich des **Lernprozesses** sind die Erkenntnisse gemischt. Neben einem positiven Effekt auf die *aktive Beteiligung* der Lernenden (z.B. Akpınar 2014), scheinen dynamische, interaktive Visualisierungsformen (teilweise) einen höheren *Zeitaufwand* zu erfordern (z.B. McElhaney et al. 2015) und auch zur *Überforderung* der Lernenden beizutragen (z.B. Höffler 2010). Eine Überforderung der Lernenden zeigt sich beispielsweise im Umgang mit der Technik (z.B. DeBoer et al. 2014) oder in der Identifikation relevanter Informationen (z.B. Lavy 2007). Hinsichtlich *kognitiver Belastung* der Lernenden sind die Erkenntnisse uneindeutig. Deutlich wird allerdings die Notwendigkeit der Unterstützung beim Lernen mit dynamischen, interaktiven Visualisierungen (z.B. McElhaney et al. 2015). Der *Unterstützungsbedarf* bezieht sich sowohl auf eine Schulung im Umgang mit der digitalen Anwendung (z.B. DeBoer et al. 2014) als auch auf einen höheren Anleitungs- und Betreuungsbedarf bei der Auseinandersetzung mit den Inhalten (z.B. McElhaney et al. 2015).

Tab. 1: Identifizierte Effekte interaktiver, dynamischer Visualisierungen

Merkmal	Effekt	Quellen
(1) Kognitive Aspekte		
Lernerfolg kurzfristig	+	Akpınar 2014; Anastopoulou, Sharples & Baber 2011; Božić, Takači & Stankov 2019; Brophy, Magana & Strachan 2013; Chang 2013; Chien & Chang 2012; DeBoer et al. 2014; Fang & Guo 2016; Höffler 2010; Hoyer & Girwidz 2020; Kohen et al. 2019; Kostić et al. 2016; Lowe 2004; Nguyen, Nelson & Wilson 2012; Oliver et al. 2019; Övez & Kızılcı

		2018; Ploetzner & Lowe 2004; Ryoo & Bedell 2017; Zengin & Tatar 2015
	-	Hoyer & Girwidz 2020; Lavy 2007; Li, Santhanam & Carswell 2009; Övez & Kiyıcı 2018; Rey & Diehl 2010
	0	Berding et al. 2020; Hoyer & Girwidz 2020; Lavy 2007
Lernerfolg langfristig	+	Akpinar 2014; Kohen et al. 2019
Reduktion von Fehlern	+	DeBoer et al. 2014; Fang & Guo 2016; Géryk 2017
(kritische) Reflexion	+	Kostić et al. 2016; McElhaney et al. 2015; Ryoo & Bedell 2017
(2) Non-kognitive Aspekte		
Lernzufriedenheit	+	Berding et al. 2020; McElhaney et al. 2015; Övez & Kiyıcı 2018; Zengin & Tatar 2015
Motivation	+	Akpinar 2014; Chang 2013; Li et al. 2009; McElhaney et al. 2015; Oliver et al. 2019; Övez & Kiyıcı 2018; Yuen 2006; Zengin & Tatar 2015
	0	Berding et al. 2020
Relevanzwahrnehmung	+	Berding et al. 2020
(3) Lernprozess		
Zeitaufwand	+	DeBoer et al. 2014; Hoyer & Girwidz 2020; McElhaney et al. 2015
	-	Nguyen et al. 2012; Ryoo & Bedell 2017
	0	Chien & Chang 2012; Géryk 2017
	+	Lavy 2007
kognitive Belastung	-	Akpinar 2014; Božić et al. 2019; Chien & Chang 2012; Höffler 2010; Li et al. 2009; Lowe 2004; Övez & Kiyıcı 2018
Aufmerksamkeit	-	Hoyer & Girwidz 2020; Lavy 2007; McElhaney et al. 2015
aktive Beteiligung der Lernenden	+	Akpinar 2014; Chang 2013; Övez & Kiyıcı 2018; Ryoo & Bedell 2017; Yuen 2006; Zengin & Tatar 2015
Erhöhter Anspruch / Überforderung	+	Chien & Chang 2012; DeBoer et al. 2014; Fang & Guo 2016; Höffler 2010; Hoyer & Girwidz 2020; Lavy 2007; Li et al. 2009; Lowe 2004; Oliver et al. 2019; Rey & Diehl 2010; Yuen 2006

Unterstützungsbedarf	+	Chang 2013; DeBoer et al. 2014; Fang & Guo 2016; Géryk 2017; Hoyer & Girwidz 2020; Lowe 2004; McElhaney et al. 2015
----------------------	---	---

Anmerkung: +: positiver Effekt; -: negativer Effekt; 0: kein sig./eindeutiger Effekt

Quelle: eigene Darstellung

Vereinzelt lassen sich aus den vorliegenden Studien auch Befunde zu den Bedingungen ableiten, unter denen dynamische, interaktive Visualisierungen lernwirksam sind. So zeigen sich beispielsweise beim Lernen mit dynamischen, interaktiven Visualisierungen differenzielle Effekte in Abhängigkeit der Eigenschaften der Lernenden. Die Befunde von Li et al. (2009) zeigen beispielsweise, dass Lernende, die angeben, grafische Darstellungen gegenüber Textdarstellungen zu präferieren, stärker von dynamischen, interaktiven Animationen profitieren als Lernenden mit abweichenden Präferenzen. Auch das räumliche Vorstellungsvermögen zeigt sich als relevante Moderatorvariable (Höffler 2010). Darüber hinaus zeigen Berding et al. (2020) für den Rechnungswesenunterricht, dass der Wissenszuwachs der Experimentalgruppe mit dynamischen, interaktiven Arbeitsblättern für Schüler*innen an Berufsfachschulen Wirtschaft höher ausfällt als jener der Kontrollgruppe mit traditionellem Unterrichtskonzept. Für Industriekaufleute zeigt sich jedoch ein umgekehrtes Bild. Folglich scheinen Lernende mit niedrigeren allgemeinen Bildungsabschlüssen stärker von dynamischen, interaktiven Arbeitsblättern zu profitieren. Außerdem zeigen sich geschlechtsspezifische Effekte dynamischer, interaktiver Visualisierungen. Für männliche und weibliche Lernende zeigen sich beispielsweise unterschiedliche Effekte hinsichtlich des Kompetenzerlebens. In der Experimentalgruppe ist das Kompetenzerleben für Frauen geringer und für Männer höher als in der Kontrollgruppe (Berding et al. 2020).

Insgesamt ist die Art der Gestaltung der Lernprozesse mit dynamischen, interaktiven Visualisierungen entscheidend. Beispielsweise unterstreichen die Befunde von Chang (2013) die Bedeutung der Lehrperson und deren Unterrichtsgestaltung für den Lernerfolg der Lernenden im Umgang mit dynamischen, interaktiven Visualisierungen. Darüber hinaus scheinen sich dynamische, interaktive Visualisierungen auch für das Erarbeiten von Inhalten in kollaborativen Gruppen gut zu eignen (Božić et al. 2019).

5. Diskussion

5.1 Einordnung der Befunde des Literaturreviews

Im vorliegenden Beitrag werden Effekte dynamischer, interaktiver sowie statischer Visualisierungsformen verglichen. Insbesondere wird das Ziel verfolgt, Erkenntnisse zu den Bedingungen, unter denen dynamische, interaktive Visualisierungen vorteilhafter sind, herauszuarbeiten. Mittels eines systematischen Literaturreviews wurden 25 Studien identifiziert und deren Befunde berichtet. Eindrücklich belegen lässt sich die positive Wirkung dynamischer, interaktiver Visualisierungen auf den kurzfristigen sowie langfristigen Lernerfolg im Vergleich zu statischen Visualisierungsformen. Darüber hinaus zeigen sich positive Effekte für nicht-kognitive Aspekte (z.B. Zufriedenheit, Motivation). Weniger eindeutig fallen die Befunde hinsichtlich der Lernprozesse aus. Hier scheint es auf die Gestaltung der Lernprozesse anzukommen, insbesondere auf gezielte Unterstützungsmaßnahmen. Unklar scheint die Befundlage zur kognitiven Belastung der Lernenden, die nach der Theorie des multimedialen Lernens (siehe Abschnitt 2.1) von hoher Bedeutung für multimediale Lernprozesse ist. Schließlich konnten auch nur wenige Erkenntnisse hinsichtlich der Bedingungen, unter denen dynamische, interaktive Visualisierungen effektiver sind als statische identifiziert werden (z. B. Lernvoraussetzungen wie räumliches Vorstellungsvermögen; Höffler 2010).

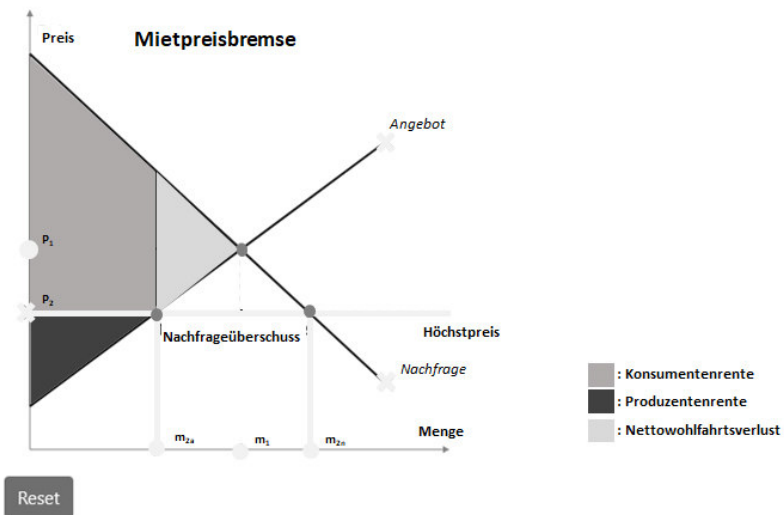
Ein Defizit vorliegender Forschung besteht in der fehlenden detaillierten Untersuchung von *Lernprozessen*, in denen interaktive, dynamische Visualisierungen genutzt werden. Insbesondere gilt es, mögliche Unterstützungsmaßnahmen beim Lernen mit dynamischen, interaktiven Grafiken näher zu untersuchen. Darüber hinaus fehlen Untersuchungen zu zielführenden Lernstrategien bei der Auseinandersetzung mit dynamischen, interaktiven Grafiken. Hier setzt das Projekt *DIVE* an, das dynamische, interaktive Grafiken in der Domäne Wirtschaft fokussiert (siehe Abschnitt 5.2). Letztlich sind von den verschiedenen dynamischen, interaktiven Visualisierungsformen jene, welche die Möglichkeit bieten, Graphen in Koordinatensystemen zu verändern – was für den Wirtschaftsunterricht von großer Bedeutung ist – bislang nicht hinreichend untersucht.

5.2 Ausblick: Vorstellung des Projekts *Dynamic Interactive Visualizations in Economics (DIVE)*

Im Projekt *Dynamic Interactive Visualizations in Economics (DIVE)* wurde eine digitale Lernumgebung entwickelt, in der Lernende die Grundlagen der Volkswirtschaftslehre (Angebot, Nachfrage, Preisbildung, Staatseingriffe etc.)

selbstständig erarbeiten. Zur Instruktion dienen Erklärvideos sowie kurze Texte. Zentrales Element der Lernumgebung ist eine umfangreiche Übungsphase. Hier wird das Angebots-Nachfrage-Modell mithilfe dynamischer, interaktiver Grafiken (siehe Abb. 3) implementiert. D.h. die Lernenden können zentrale Parameter (Steigung der Kurven, Auftreten von Schocks, Implementierung eines Höchst- bzw. Mindestpreises, Höhe erhobener Steuern) selbstständig verändern. Die Auswirkungen der Änderungen (resultierende Gleichgewichtspreise und -mengen, Veränderung der Produzenten- und Konsumentenrente) sind dann direkt im grafischen Modell ersichtlich. Beim selbstständigen Lernen während der Übungsphase werden die Lernenden durch Scaffolding-Elemente gezielt unterstützt (Kim & Hannafin 2011). Die Lernenden erhalten bei falschen Antworten einen Hinweis, um die durch die Antwort implizierte Fehlvorstellung zu reflektieren. Auch wird bei falschen Antworten auf die passende interaktive, dynamische Grafik verwiesen; die Lernenden können die Problemstellung dann mit dieser Hilfe (nochmals) bearbeiten.

Abb. 3: Dynamische, interaktive Grafik in der DIVE Lernumgebung



Quelle: eigene Darstellung⁴

In einer experimentellen Studie werden die Wirkungen des Einsatzes dynamischer, interaktiver Grafiken im Vergleich zu statischen Grafiken untersucht.

⁴ Die Grafiken sind in Anlehnung an die Website VWL-Online der FH Nordwestschweiz gestaltet (<http://www.vwl-online.ch/>).

Eine Datenerhebung (n = 200 Lernende, randomisierte Zuteilung in Experimental- und Kontrollgruppe) ist für Frühjahr 2022 geplant. Die positiven Lerneffekte dynamischer, interaktiver Grafiken, die sich in anderen Domänen zeigten, sind insgesamt auch für die Domäne Wirtschaft zu erwarten. Interessant ist jedoch, inwiefern Merkmale der Lernenden sowie des Lernprozesses sich auf die Lerneffekte auswirken. Ein entscheidender Vorteil der Lernumgebung DIVE ist die automatisierte Erfassung umfassender Prozessdaten (Zeitdauer für einzelne Aktivitäten, Art der Interaktion mit den Grafiken, benötigte Scaffolding-Elemente, Lösungsschritte für Übungsaufgaben etc.). Folglich liefert die geplante Studie neue Erkenntnisse zur bisher uneindeutigen Wirkung auf Lernprozesse sowie zu den Bedingungen, unter welchen dynamische, interaktive Grafiken ihre Wirksamkeit entfalten.

Literatur⁵

- *Akpınar, E. (2014). The Use of Interactive Computer Animations Based on POE as a Presentation Tool in Primary Science Teaching. *Journal of Science Education and Technology*, 23(4), 527–537. <https://doi.org/10.1007/s10956-013-9482-4>
- *Anastopoulou, S., Sharples, M. & Baber, C. (2011). An evaluation of multimodal interactions with technology while learning science concepts. *British Journal of Educational Technology*, 42(2), 266–290. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2009.01017.x>
- Baddeley, A. D. (1999). Human memory. Boston: Allyn & Bacon.
- *Berding, F., Jahncke, H. & Albersmann, M. (2020). Dynamische und interaktive Arbeitsblätter im Rechnungswesenunterricht. Eine Wirkungsstudie im Kontrollgruppendesign. In F. Berding, H. Jahncke & A. Slopinski (Hrsg.), *Moderner Rechnungswesenunterricht 2020. Status quo und Entwicklungen aus wissenschaftlicher und praktischer Perspektive*, (275-315). Springer VS.
- *Božić, R., Takači, Đ. & Stankov, G. (2019). Influence of dynamic software environment on students' achievement of learning functions with parameters. *Interactive Learning Environments*, 29(4), 655–669. <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1602842>
- *Brophy, S., Magana, A. & Strachan, A. (2013). Lectures and Simulation Laboratories to Improve Learners' Conceptual Understanding. *Advances in Engineering Education*, 3(3), 1–27.
- Castro-Alonso, J. C., Wong, M., Adesope, O. O., Ayres, P. & Paas, F. (2019). Gender Imbalance in Instructional Dynamic Versus Static Visualizations: a Meta-analysis. *Educational Psychology Review*, 31(2), 361–387. <https://doi.org/10.1007/s10648-019-09469-1>

5 Die im Review verwendeten Studien sind mit einem Sternchen gekennzeichnet.

- *Chang, H.-Y. (2013). Teacher guidance to mediate student inquiry through interactive dynamic visualizations. *Instructional Science*, 41(5), 895–920. <https://doi.org/10.1007/s11251-012-9257-y>
- Chi, M. T., & Wylie, R. (2014). The ICAP Framework: Linking Cognitive Engagement to Active Learning Outcomes. *Educational Psychologist*, 49(4), 219–243. <https://doi.org/10.1080/00461520.2014.965823>
- *Chien, Y.-T. & Chang, C.-Y. (2012). Comparison of Different Instructional Multimedia Designs for Improving Student Science-Process Skill Learning. *Journal of Science Education and Technology*, 21(1), 106–113. <https://doi.org/10.1007/s10956-011-9286-3>
- De Jong, T. & van Joolingen, W. R. (1998). Scientific Discovery Learning with Computer Simulations of Conceptual Domains. *Review of Educational Research*, 68(2), 179–201. <https://doi.org/10.3102/00346543068002179>
- *DeBoer, G., Quellmalz, E., Davenport, J., Timms, M., Herrmann-Abell, C., Buckley, B. et al. (2014). Comparing three online testing modalities: Using static, active, and interactive online testing modalities to assess middle school students' understanding of fundamental ideas and use of inquiry skills related to ecosystems. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(4), 523–554. <https://doi.org/10.1002/tea.21145>
- Duval, R. (2006). A Cognitive Analysis of Problems of Comprehension in a Learning of Mathematics. *Educational Studies in Mathematics*, 61(1-2), 103–131. <https://doi.org/10.1007/s10649-006-0400-z>
- El Saddik, A. (2001). *Interactive multimedia learning*. Berlin: Springer.
- *Fang, N. & Guo, Y. (2016). Interactive computer simulation and animation for improving student learning of particle kinetics. *Journal of Computer Assisted Learning*, 32(5), 443–455. <https://doi.org/10.1111/jcal.12145>
- *Géryk, J. (2017). Visual analytics of educational time-dependent data using interactive dynamic visualization. *Expert Systems*, 34(1), 1-14. <https://doi.org/10.1111/exsy.12175>
- *Höffler, T. (2010). Spatial Ability: Its Influence on Learning with Visualizations—a Meta-Analytic Review. *Educational Psychology Review*, 22(3), 245–269. <https://doi.org/10.1007/s10648-010-9126-7>
- Hohenwarter, J., Hohenwarter, M. & Lavicza, Z. (2009). Introducing Dynamic Mathematics Software to Secondary School Teachers: the Case of GeoGebra. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 28(2), 135–146.
- *Hoyer, C. & Girwitz, R. (2020). Animation and interactivity in computer-based physics experiments to support the documentation of measured vector quantities in diagrams: An eye tracking study. *Physical Review Physics Education Research*, 16(2), 311–329. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.020124>
- Kim, M. C. & Hannafin, M. J. (2011). Scaffolding problem solving in technology-enhanced learning environments (TELEs): Bridging research and theory with practice. *Computers & Education*, 56(2), 403–417. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.08.024>
- *Kohen, Z., Amram, M., Dagan, M. & Miranda, T. (2019). Self-efficacy and problem-solving skills in mathematics: the effect of instruction-based dynamic versus static visualization. *Interactive Learning Environments*, 52(3), 1–20. <https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1683588>

- *Kostić, V., Stankov Jovanovic, V., Sekulić, T. & Takači, D. (2016). Visualization of problem solving related to the quantitative composition of solutions in the dynamic GeoGebra environment. *Chemistry Education Research and Practice*, 17(1), 120–138. <https://doi.org/10.1039/C5RP00156K>
- *Lavy, I. (2007). A case study of dynamic visualization and problem solving. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 38(8), 1075–1092. <https://doi.org/10.1080/00207390601129196>
- Lewalter, D. (2003). Cognitive strategies for learning from static and dynamic visuals. *Learning and Instruction*, 13(2), 177–189. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(02\)00019-1](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(02)00019-1)
- *Li, P., Santhanam, R. & Carswell, C. (2009). Effects of Animations in Learning - A Cognitive Fit Perspective. *Decision Sciences Journal of Innovative Education*, 7(2), 377–410.
- *Lowe, R. (2004). Interrogation of a dynamic visualization during learning. *Learning and Instruction*, 14(3), 257–274. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2004.06.003>
- Mayer, R. E. (2014a). Cognitive Theory of Multimedia Learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*, (2. Aufl., S. 43–71). New York: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2014b). Introduction to Multimedia Learning. In R. E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*, (2. Aufl., S. 1–24). New York: Cambridge University Press.
- *McElhaney, K., Chang, H.-Y., Chiu, J. & Linn, M. (2015). Evidence for effective uses of dynamic visualisations in science curriculum materials. *Studies in Science Education*, 51(1), 49–85. <https://doi.org/10.1080/03057267.2014.984506>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J. & Altman, D. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS medicine*, 6(7), 264–270.
- *Nguyen, N., Nelson, A. & Wilson, T. (2012). Computer visualizations: factors that influence spatial anatomy comprehension. *Anatomical Sciences Education*, 5(2), 98–108. <https://doi.org/10.1002/ase.1258>
- *Oliver, J., Hodges, G., Moore, J., Cohen, A., Jang, Y., Brown, S. et al. (2019). Supporting high school student accomplishment of biology content using interactive computer-based curricular case studies. *Research in Science Education*, 49(6), 1783–1808. <https://doi.org/10.1007/s11165-017-9675-6>
- *Övez, F. & Kızılcı, O. (2018). 6th Grade Students' Views about Mathematical Teaching Based on Technology Integration. *World Journal of Education*, 8(5), 160–171. <https://doi.org/10.5430/wje.v8n5p160>
- Paas, F., Renkl, A. & Sweller, J. (2003). Cognitive Load Theory and Instructional Design: Recent Developments. *Educational Psychologist*, 38(1), 1–4. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_1
- Paivio, A. (1986). *Mental representations: A dual coding approach*. Oxford: Oxford University Press.
- Ploetzner, R. & Lowe, R. (2004). Dynamic visualisations and learning. *Learning and Instruction*, 14(3), 235–240. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2004.06.001>
- *Rey, G. & Diehl, S. (2010). Controlling Presentation Speed, Labels, and Tooltips in Interactive Animations. *Journal of Media Psychology*, 22(4), 160–170. <https://doi.org/10.1027/1864-1105/a000021>

- *Ryoo, K. & Bedell, K. (2017). The effects of visualizations on linguistically diverse students' understanding of energy and matter in life science. *Journal of Research in Science Teaching*, 54(10), 1274–1301. <https://doi.org/10.1002/tea.21405>
- Sweller, J. (2011). Cognitive Load Theory. In J. P. Mestre & B. H. Ross (Hrsg.), *Psychology of Learning and Motivation*, (Bd. 55, S. 37–76). Oxford: Academic Press.
- Tversky, B., Morrison, J. & Bétrancourt, M. (2002). Animation: Can it facilitate? *International Journal of Human-Computer Studies*, 57(4), 247–262.
- Wedekind, J. (2007). Interaktive Visualisierungen. In P. Baumgartner & G. Reinmann (Hrsg.), *Überwindung von Schranken durch E-Learning. Festschrift für Rolf Schulmeister*, (Bd. 1, S. 57–76). Innsbruck-Wien-Bozen: Studien Verlag.
- *Yuen, A. (2006). Learning to program through interactive simulation. *Educational Media International*, 43(3), 251–268. <https://doi.org/10.1080/09523980600641452>
- *Zengin, Y. & Tatar, E. (2015). The teaching of polar coordinates with dynamic mathematics software. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 46(1), 127–139. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2014.904529>

Appendix

Tab. A1: Übersicht über die berücksichtigten Studien

Studie	Domäne	Vis.	Methode/Stichprobe
Akpinar (2014)	Naturwissenschaft	An	Experimentelles Design (Pre-, Post-, Follow-Up- Test) KG: $n = 27$; EG: $n = 30$ Schüler*innen
Anastopoulou et al. (2011)	Physik	G	Experimentelles Design (Pre-, Posttest) KG: $n = 9$; EG: $n = 9$ Studierende
Berding et al. (2020)	Wirtschaft	Arb	Experimentelles Design (Pre-, Posttest) KG: $n = 30$; EG: $n = 31$ Schüler*innen
Božić et al. (2019)	Mathematik	G	Experimentelles Design (Pre-, Posttest) KG: $n = 105$; EG: $n = 105$ Studierende
Brophy et al. (2013)	Ingenieurwissenschaft	Sim	Experimentelles Design (Posttest) 3 Untersuchungsgruppen; $n = 46$ Studierende
Chang (2013)	Naturwissenschaft	G	Experimentelles Design (Pre-, Post-, Follow-Up- Test) $n = 3$ Lehrpersonen, $n = 157$ Lernende
Chien und Chang (2012)	Naturwissenschaft	An	Experimentelles Design (Posttest); 3 Untersuchungsgruppen; $n = 27$ Lernende
DeBoer et al. (2014)	Naturwissenschaft	An	Experimentelles Design (Posttest) 3 Untersuchungsgruppen $n = 22$ Lehrpersonen, $n = 1.566$ Lernende
Fang und Guo (2016)	Technik, Ingenieurwesen	An	Quasi-experimentelles Design (Pre-, Posttest); KG: $n = 65$, EG: $n = 77$ Studierende
Géryk (2017)	Informatik	An	Experimentelles Design (Posttest) $n = 16$ Studierende
Höffler (2010)	/	/	Metaanalyse, $n = 19$ Studien
Hoyer und Girwidz (2020)	Physik	An	Experimentelles Design (Pre-, Posttest) KG: $n = 40$; EG: $n = 79$ Schüler*innen

Kohen et al. (2019)	Mathematik	G	Quasi-experimentelles Design (Pre-, Post-, Follow-Up-Test) KG: $n = 53$; EG: $n = 58$ Schüler*innen
Kostić et al. (2016)	Chemie	G	Experimentelles Design (Pre-, Posttest) KG: $n = 45$; EG: $n = 45$ Studierende
Lavy (2007)	Informatik	An	Experimentelles Design (Posttest) $n = 92$ Studierende
Li et al. (2009)	Wirtschaft	An	Exp. 1: $n = 107$ Exp. 2: $n = 62$ Studierende
Lowe (2004)	Erziehungswissenschaft	An	Experimentelles Design (Posttest) $n = 12$ Studierende
McElhaney et al. (2015)	/	/	Metaanalyse, $n = 26$ Studien
Nguyen et al. (2012)	Anatomie	An	Experimentelles Design (Pre-, Posttest) $n = 60$ Studierende
Oliver et al. (2019)	Biologie	k. A.	Quasi-experimentelles Design (Pre-, Posttest); $n = 393$ Schüler*innen
Övez und Kiyıcı (2018)	Mathematik	G	Semi-strukturierte Interviews $n = 10$ Schüler*innen
Rey und Diehl (2010)	k. A.	G	Experimentelles Design (Posttest) $n = 111$ Studierende
Ryoo und Bedell (2017)	Biologie	An	Experimentelles Design (Pre-, Posttest) KG: $n = 165$; EG: $n = 166$ Schüler*innen
Yuen (2006)	IT	An	Fallstudien, $n = 4$ Schüler*innen
Zengin und Tatar (2015)	Mathematik	G	Experimentelles Design (Pre-, Posttest) $n = 25$ Studierende, Interview; $n = 5$ Lehrpersonen

Anmerkung: KG = Kontrollgruppe, EG = Experimentalgruppe, An = Animation, Arb = Arbeitsblätter, G = Grafik, Sim = Simulation

Quelle: eigene Darstellung.

