

Blickmuster auf ein digitalisiertes Lernmittel zum historischen Lernen im Sachunterricht der Grundschule

Eine Scanpath-Analyse

Ines Oldenburg¹ , Clemens Hillenbrand¹  und Dorte Behrens¹ 

¹ Carl von Ossietzky Universität Oldenburg

Zusammenfassung

Lernmittel können wertvolle Unterstützungsfunktionen im Rahmen des historischen Lernens im Sachunterricht der Grundschule einnehmen. Von Text-Bild-Kombinationen sind positive Effekte belegt. Besonders für Schüler:innen mit Leseschwierigkeiten ist die lernförderliche Gestaltung des Lernmittels von grosser Bedeutung. Allerdings bleibt unklar, wie Grundschüler:innen im Sachunterricht im Themenbereich des historischen Lernens entsprechende Lernmittel visuell wahrnehmen. Entsprechende Erkenntnisse können wertvolle weiterführende Hinweise für die Gestaltung solcher Lernmittel geben.

Ziel dieses Beitrags ist daher, per Eye-tracking erhobene und mittels Scanpath dargestellte Blickmuster von Grundschüler:innen mit und ohne Leseschwierigkeiten kontrastiv zu analysieren. Bisherige erziehungswissenschaftliche Forschungen mit Scanpath-Analysen greifen regelmässig auf solche Kontrastierungen zurück. Zu den Lernmaterialien zum Sachunterricht gibt es jedoch bisher keine Forschung zu grundschulpädagogisch und fachdidaktisch relevanten Aspekten der visuellen Aufmerksamkeit, die zugleich die Heterogenität der Lernenden berücksichtigt.

Die Studie vergleicht daher die Blickmuster zweier Schüler:innen mit hoher versus niedriger Leseleistung. Ihnen wird ein Lernmaterial (Kombination von Sachtext und Bildern zum historischen Lernen im Sachunterricht) in digitaler Form am Bildschirm präsentiert. Die Scanpaths werden anschliessend auf Unterschiede hin analysiert: Niedrige Leseleistung hängt mit längeren, unsystematischen und wenig zielgerichteten Blickmustern auf das Lernmaterial zusammen, auch die Nutzung der als Hilfe konzipierten Bildelemente erfolgt ohne erkennbare Systematik. Abschliessend werden Perspektiven für die Gestaltung digitaler Lernmittel und der Unterstützung von Lernprozessen diskutiert.

Gaze Patterns on a Digitalized Learning Tool for Historical Learning in Primary Social Science Lessons. A Scanpath Analysis

Abstract

Learning materials can play a valuable supporting role in the context of historical learning in primary school science lessons. Text-image combinations have been proven to have positive effects. Especially for pupils with reading difficulties, the design of the learning material to promote learning is of great importance. However, it remains unclear how primary school pupils visually perceive corresponding learning materials in the subject area of historical learning. Corresponding findings can provide valuable further information for the design of such learning materials.

The aim of this article is therefore to contrastively analyse gaze patterns of primary school pupils with and without reading difficulties that were collected using eye-tracking and displayed using Scanpath. Previous educational research with scanpath analyses regularly uses such contrasts, but there is a lack of such research on aspects of visual attention relevant to primary school pedagogy and subject didactics in learning materials in subject lessons that also takes into account the heterogeneity of learners.

The study therefore compares the viewing patterns of two pupils with high versus low reading performance. They are presented with a learning material (combination of factual text and images for historical learning in general knowledge lessons) in digital form on the screen. The scanpaths are then analysed for their differences: Low reading performance is related to longer, unsystematic and less focussed patterns of looking at the learning material, and the use of the pictorial elements designed as an aid is also without any recognisable systematic approach.

1. Einleitung

Die Unterstützung schulischen Lernens durch geeignetes Lernmaterial bietet für Lernprozesse von Grundschüler:innen grosses Potenzial (Böhme et al. 2020), jedoch stellt sich die Frage, wie Lernende mit solchem Lernmaterial umgehen. Erkenntnisse über den Prozess der visuellen Aufmerksamkeit auf das Lernmaterial können dazu beitragen, im weiteren Forschungsprozess Merkmale für eine lernförderliche Gestaltung von Lernmitteln zu ermitteln, auch im Kontext digitalen Lernens (KMK 2016). Besonders angesichts der Heterogenität der Lernvoraussetzungen in Grundschulen (Ludewig et al. 2023) und verstärkt gegenüber Schüler:innen mit Leseschwierigkeiten (Gasteiger-Klicpera und Klicpera 2014) oder generalisierten Lernschwierigkeiten (Gold 2018) stellt sich diese Frage eindringlich.

Eyetracking in erziehungswissenschaftlichen Forschungen (Lai et al. 2013) bietet die Möglichkeit, detailliert die Blickbewegungen bei der Beobachtung des Lernmaterials und damit die visuelle Informationsaufnahme zu Beginn des Informationsverarbeitungsprozesses zu analysieren (Jarodzka 2022; Jarodzka et al. 2017). Forschungsaktivitäten mithilfe dieser Technologie nehmen in den letzten Jahren daher nach Publikationsanzahl und Themenfeldern (u.a. Mathematik, Naturwissenschaften, Lehrkräfteaktivitäten, spezifische fachdidaktische Fragestellungen) international und im deutschsprachigen Bereich zu (Klein et al. 2022). Ein Anstieg der internationalen Forschungsaktivitäten zeigt sich auch zu sonderpädagogischen Fragestellungen (Donmez 2022).

Innerhalb der Eyetracking-Forschung verdeutlichen Scanpath-Analysen, ob die Blickmuster der Proband:innen, also die Struktur im Verlauf der Blickbewegungen, systematisch oder unsystematisch erfolgen (Popelka und Beitlova 2022). Aus der konsekutiven Sequenz aufeinander folgender Fixationen, also Phasen des relativen Stillstandes der Augen, und Sakkaden, der sehr schnellen Augenbewegungen zur Ausrichtung auf ein neues Ziel (Goldberg und Helfman 2010), können Muster von Strategien der Informationsaufnahme erkannt werden (Stranc und Muldner 2020; Tablatin und Rodrigo 2018). Dieser Ansatz wurde bisher jedoch selten bei Grundschüler:innen und nicht im Bereich des Sachunterrichts eingesetzt.

In einer explorativen Eyetracking-Studie werden mittels Scanpath-Analysen daher Blickmuster auf ein digital repräsentiertes Lernmaterial zum historischen Lernen im Sachunterricht analysiert. Zur Untersuchung, mit welchen Blickmustern Schüler:innen das Lernmaterial in Abhängigkeit von ihrer Leseleistung visuell erfassen, werden zwei Scanpaths vergleichend analysiert. Zu erwarten sind deutliche Unterschiede, die kontrastiv die unterschiedlichen Blickmuster einer lesestarken versus lese schwachen Versuchsperson erfassen. Daraus lassen sich dann erste Hinweise ableiten, wie die Lernmittel unterstützend gestaltet werden sollten.

Die Scanpath-Analyse knüpft an ähnliche Studien an, die bereits mit anderen Zielgruppen, Lernbereichen und Altersstufen durchgeführt wurden (Mohammadhasani et al. 2020; Stranc und Muldner 2020; Tablatin und Rodrigo 2018). Schlussfolgerungen für die Unterstützung von Lernenden und die Gestaltung digitaler Lernmittel gehen in zwei Richtungen: die unterstützende Gestaltung des Lernmaterials durch didaktische Strukturierungshilfen einerseits und gezielte personenbezogene Interventionen zur Steigerung wirksamer Blickmuster andererseits.

2. Lernmittel zum historischen Lernen im Sachunterricht

Historisches Lernen zielt auf mehr als Faktenwissen (Schreiber et al. 2006), dies gilt auch für den Sachunterricht der Grundschule. Ein wesentlicher Bezugspunkt der Geschichtsdidaktik stellt das FUER-Modell dar: Es betont umfassend historisches

Denken, auch mit Relevanz für Grundschulkinder (vgl. dazu z. B. Becher und Gläser 2017. Schreiber et al. (2006, 29) verweisen darauf, dass der Erwerb historischer Sachkompetenz mehr ist als nur der Erwerb von inhaltlichem, historisch gewissermaßen kanonisiertem Wissen: Auch die methodischen Zugänge zu Geschichte bilden wichtige Lerngegenstände. Dieser Aneignungsprozess ist für den hier gewählten Gegenstand der Untersuchung besonders wichtig, da hier die Proband:innen ohne spezifisch historische Lernvoraussetzungen den Inhalt des präsentierten Materials – durch Lesen des Textes und Anschauen der Illustrationen – erfassen können.

Historisches Lernen im Primarbereich wird also konzeptionell berücksichtigt, stellt jedoch ein grosses Desiderat empirischer Forschung dar. Bisher liegen nur wenige Studien vor, die darüber Aufschluss geben, wie und mit welchen Grundlagen historisches Lernen in der Grundschule gelehrt und historisches Wissen gelernt wird (Becher 2021, 151). Neben der Kompetenz der Lehrkräfte und den Lernenden selbst stellen für die Unterrichtsqualität die Lernmittel grundsätzlich eine bedeutende Grösse dar: «Die drei starken kausalen Faktoren im Unterricht sind die Lehrkräfte, die Schülerinnen und Schüler sowie die Lehrmittel» (Oelkers 2010, 34). Als Lernmittel bezeichnet die Literatur «Arbeitsmaterialien, die die Schülerin/der Schüler zur erfolgreichen Teilnahme am Unterricht» (KMK, o.J.) benötigt. Der Terminus Lehrmittel hingegen bezeichnet «die zur Ausstattung der Schule gehörenden Unterrichtsmittel» (ebd.). Zu den Lernmitteln gehören auch in entscheidendem Masse die Schulbücher (ebd.), allerdings fehlt weitgehend eine schulbuchbezogene Forschung für das historische Lernen im Sachunterricht. Eine wissenschaftliche Aufarbeitung zur Qualität von historischem Lernen im Sachunterricht über Schulbücher liegt nur in «rudimentären Ansätzen vor» (Blaseio 2004, 98; vgl. Becher 2021, 153). In den Lernmitteln zum historischen Lernen im Sachunterricht spielen Abbildungen eine grosse Rolle; sie stellen den Gegenwartsbezug von Vergangenen (Schreiber 2008) her. Ohne solche Bild-Text-Kombinationen wäre insbesondere im Grundschulbereich kaum ein historisches Lernmittel sinnvoll einsetzbar. Für «alle Klassenstufen gilt, dass (...) neben einer Vielzahl von Illustrationen und bildhaften Darstellungen von historischen Ereignissen, Gebäuden und Personen meist Bild- und Sachquellen enthalten sind – durch Fotos und/oder Zeichnungen abgebildet» (Becher 2021, 155). Visualisierungen sind also ein konstitutives Element von Lernmitteln zum historischen Lernen generell (Ammerer 2019, 125–27) und in der Grundschule im Besonderen.

Von besonderer Relevanz sind zukünftig digital gestützte Lernmittel, die als essenziell für die Bildung für eine digitale Welt gelten (KMK 2016). Die fachdidaktische Forschung zum Sachunterricht legt bisher nur wenige empirisch-quantitative Studien zur Gestaltung von Lernmitteln vor (Möller et al. 2009; Möller 2010), im Zentrum steht eher die konzeptionelle Diskussion (zur Übersicht: Gervé et al. 2023). Im Rahmen einer aktuellen Bestandsaufnahme zu Herausforderungen und

Zukunftsperspektiven eines Sachunterrichts mit digitalen Medien stellen Gervé und Kolleg:innen fest, dass es an Unterrichtskonzepten fehlt, die wissenschaftlich evaluiert und in der Praxis erprobt sind (ebd.). Sie unterstreichen, dass «digitale Technologien, Online-Materialien und Lernplattformen allein noch keinen guten Unterricht» sicherstellen (ebd., 38). Gerade digitale Medien sollen das Lernen heterogener Gruppen im Grundschulunterricht befördern. Mit ihnen wird die Erwartung einer adaptiven Lernunterstützung verbunden, die Barrieren im Lernprozess wie hohes Abstraktionsniveau, abstrahierende Modellvorstellungen etc. reduzieren kann:

«Multimedialität, Multicodierung und verstärkte Interaktivität als Merkmale digitaler Medien sollen helfen, allen Schülerinnen und Schülern einen Zugang zu naturwissenschaftlichen Inhalten und Methoden zu ermöglichen» (Schroeder 2023, 49; vgl. Küpper und Weck 2021; Stinken-Rösner und Abels 2021).

Historisches Lernen im Sachunterricht kommt in diesen Überlegungen bisher nicht vor.

Von Gestaltungsmerkmalen digitaler Lernmittel, etwa Bild-Text-Kombinationen, Hypermedia oder Gamification, lassen sich grundsätzlich, basierend auf der Theorie des Multimedia Learning (Mayer 2001), positive Effekte auf die kognitiven Verarbeitungsprozesse erwarten. Dabei sind komplexe Bedingungsgefüge zu berücksichtigen (Böhme et al. 2020). Insbesondere Bild-Text-Kombinationen erzielen ein tieferes Verständnis. Dieser Effekt konnte u. a. für das Grundschulalter repliziert werden (Böhme et al. 2020, 5) und weitere Fachdiskurse betonen die Kombination von Bild und Text und deren Wirkung auf die Nutzenden, z. B. in der Kunstdidaktik (Glas et al. 2016) oder im Kontext von Kunsttheorie zur Ästhetik von sog. «Schriftbildakten» (Westerkamp 2022), die unterschiedliche Arten möglicher Handlungsbezüge von Bild und Schrift diskutieren (Handeln mit, in und durch Schriftbilder).

Die Kombination aus Bild und Text gilt demnach auch bei digitalen Lernmitteln als lernförderlich. Es liegen aber bisher keine empirischen Befunde vor, wie Lernmittel, auch in digitaler Form, für das historische Lernen im Sachunterricht von Schüler:innen visuell genutzt werden. Insbesondere fehlen Untersuchungen, wie eine Adaption an die Lernvoraussetzungen, wie sie insbesondere bei Lernschwierigkeiten wie Leseschwäche (Gold 2018) relevant sind, gestaltet werden sollte. Eine Scanpath-Analyse soll daher relevante Hinweise auf die visuelle Informationsaufnahme bei digitalen Lernmitteln geben.

3. Stand der Forschung

Eyetracking-Studien untersuchen die visuelle Aufmerksamkeit der Proband:innen und werden mit steigender Häufigkeit, u. a. aufgrund der technischen Möglichkeiten, in der empirischen Bildungsforschung genutzt (Jarodzka et al. 2017). Sie finden zunehmend auch zu Fragen von Grundschule und besonderen Unterstützungsbedarfen in der Sonderpädagogik (Donmez 2022) Verwendung. Durch Eyetracking-Daten können Einsichten in das Blickverhalten von Schüler:innen gewonnen werden, die Hinweise auf die visuelle Wahrnehmung der angebotenen Stimuli liefern (Lai et al. 2013). Eyetracking-Daten zeigen den Fokus der visuellen Aufmerksamkeit (Fixationen) und dessen Wanderbewegungen (Sakkaden) in den Stimuli (Melo et al. 2017, nach Tablatin und Rodrigo 2018, 286). Die Fixationen und Sakkaden der Augenbewegungen werden technisch erfasst und quantitativ analysiert.

Scanpath-Analysen gehen einen Schritt weiter und untersuchen die Muster im Blickverhalten. Sie stellen damit den systematischen Prozess der Blickbewegungen in den Mittelpunkt der Analyse. Ein Scanpath wird definiert als eine Sequenz von konsekutiven Fixationen und Sakkaden (Goldberg und Helfman 2010; Tablatin und Rodrigo 2018, 286). Die dabei abgebildeten Blickmuster helfen zu beschreiben, welche Verstehensstrategien (‹actual comprehension strategies›) die Proband:innen anwenden (Bednarik et al. 2014). Solche Analysen kommen relativ selten zum Einsatz. Donmez (2022) kann keine Studien für sein Review zu sachunterrichtlich oder sonderpädagogisch relevanter Forschung heranziehen.

Grundlagen und Vorgehensweisen für Scanpath-Studien entwickelten Noton und Stark (1971); seitdem wird solchen Studien eine hohe Relevanz für das Verständnis der visuellen Aufmerksamkeit zugeschrieben (Kosel et al. 2021, 3). Mittels Eyetracking-Technologie werden Proband:innen getrackt, die ein Bild oder eine bestimmte Szene betrachten. Dabei werden sowohl die Merkmale der Szene wie auch die Blickbewegung gespeichert, mit der die beobachtete Person dieses Bild bzw. diese Szene inspiziert. Noton und Stark gehen davon aus, dass bei einer ähnlichen Situation das Blickmuster (Scanpath) erneut genutzt wird.

Kanan et al. (2015) entwickeln diese Theorie weiter, indem sie den Begriff von Blickmustern weniger strikt auslegen und von «scanpath routines» sprechen (zit. n. Kosel et al. 2021, 3). Da sich in der realen Welt (‹real-world-situation›) in aller Regel nicht ein und dieselbe Szene zweimal zeigen wird, sodass im Wiederholungsfall identische Blickmuster abgerufen werden könnten, ist mit variablen Mustern zu rechnen. Somit stellen die per Scanpath ermittelten Blickmuster replizier- und vergleichbare, aber durchaus variierende Routinen dar, die dennoch empirisch belegt werden können (Kosel et al. 2021, 4).

Scanpath-Routinen werden zudem durch kognitive Schemata, wie z. B. Expert:innenwissen, Erfahrungen bzw. Vorwissen beeinflusst. Diese Befunde lassen sich in verschiedenen Anwendungsbereichen nutzen. Geschulte Radiolog:innen mit

Expert:innenstatuts beispielsweise unterscheiden sich in ihrem Scanpath deutlich von Noviz:innen, sodass eine gezielte Anleitung der visuellen Aufmerksamkeit bei Noviz:innen zur Erkennung von Anomalien in Röntgenbildern zu besserer Diagnosefähigkeit führt (ebd.).

Diese Erkenntnisse lassen sich auf das Blickverhalten von Lehrkräften im Kontext ihres Classroom Managements übertragen (Kosel et al. 2021, 4; McIntyre und Foulsham 2018). Es zeigt sich, dass die Scanpaths intra-individuell sich stärker gleichen als inter-individuell. Dennoch lassen sich beispielsweise visuelle Strategien von Lehrkräften mit Expert:innenstatus von denjenigen mit Noviz:innenstatus unterscheiden.

Neben der Untersuchung von Blickmustern bei Lehrkräften im Klassenraum im Kontrast von Novizen versus Experten werden auch Blickmuster von leistungsstarken mit leistungsschwächeren Schüler:innen kontrastiert und Unterschiede ermittelt (Parshina et al. 2021): Höhere Leistungsfähigkeit zeigt sich in den Blickmustern im Leseprozess in höherer Geschwindigkeit, in kürzerer Dauer der Fixationen, im Überspringen von Wörtern und selteneren Rekursen auf frühere Textstellen.

Eine Studie, die Kinder mit ADHS (Mohammadhasani et al. 2020) mit entwicklungstypischen Kindern vergleicht, zeigt ebenso deutliche Unterschiede im Scanpath: «the visual scanning of these children is characterized by specific type of saccades, such as line returns, regressive saccades, and external saccades» (ebd., 562, insbes. Fig. 2) und die Blickmuster werden als «discontinuous, uncoordinated, and chaotic» (ebd., 562) beschrieben. Die Studie diskutiert die Ergebnisse im Hinblick auf die Verbindung eines atypischen visuellen Scanpaths mit der Leistung des Arbeitsgedächtnisses sowie Möglichkeiten der Intervention.

Aktuelle Weiterentwicklungen betonen die Möglichkeit, mehrere Scanpaths zusammenzufassen und zu quantifizieren (Popelka und Beitlova 2022). Dafür stehen inzwischen mehrere digitale Programme bereit. Die Studie von Tablatin und Rodrigo (2018) untersucht Studierende beim Lesen der Codes von Computerprogrammen. Diese sind von Logik und Linearität geprägt. Probanden mit Expertenstatus folgen dieser Logik und können gezielt Fehlerquellen im Code entdecken, während Student:innen im Noviz:innenstatus in ihren Blickmustern nicht der Logik des Programms folgen und daher Schwierigkeiten haben, Fehler zu entdecken. Die Autorinnen stehen, wie in anderen Studien auch, vor dem Problem, dass diese Blickmuster (Codereading-Patterns) «highly individualistic» (ebd., 290) sind. Durch ein Analysetool (STA: Scanpath Trend Analysis) können über einzelne Unterschiede hinweg die verschiedenen Scanpaths aggregiert und zu einem gemeinsamen Scanpath Pattern für leistungsstarke bzw. leistungsschwache Studierende zusammengefasst werden. Die Blickmuster von leistungsstarken bzw. leistungsschwachen Lernenden lassen sich so über individuelle Unterschiede hinweg systematisch unterscheiden. Ein ähnliches Ziel verfolgen auch Popelka und Beitlova (2022) in der Erprobung des Tools

«Scan Graph». Sie wenden diesen Algorithmus im Bereich der Geografie (Kartografie) und Physik an und berechnen die Masse der Übereinstimmung zwischen verschiedenen Scanpaths. Die Scanpath-Analysen, die solche Software nutzen, um die Tendenzen der Scanpaths (trending scanpath) für verschiedene Zielgruppen wie Experten und Novizen zu generieren, werden mit dem Ziel durchgeführt, über die Blickmuster (Patterns) Einblicke in Strategien zu erhalten, wie bestimmte Materialien (Codes, Webseiten, Karten etc.) visuell wahrgenommen werden. Daraus lassen sich effektive Strategien ableiten, wie dieses spezielle Material am besten erfasst werden kann.

Insgesamt zeigen diese internationalen Studien ein zunehmendes Bemühen darum, die Blickmuster kontrastiv zu vergleichen und mithilfe digitaler Tools quantitativ auszuwerten. Diese Analysen führen zu quantifizierenden Vergleichen der Blickmuster verschiedener Zielgruppen.

In der deutschsprachigen Literatur (Klein et al. 2022) steht derzeit eher die deskriptive Analyse von Blickmustern im Vordergrund. Die Muster- und Strukturerkennungsprozesse von (vermutlich) mathematisch begabten versus unauffälligen Grundschulkindern werden beispielsweise per Scanpath-Analyse untersucht und mit verbalen Aussagen verglichen (Reuter und Bruns 2022). Auch hier zeigen sich deutliche individuelle Unterschiede, die die Fähigkeiten mathematisch begabter Schüler:innen zur Erkennung von Mustern und Strukturen belegen (ebd., 55).

Solche deskriptiven Analysen generieren interessante Ergebnisse, die in Zukunft durch quantifizierende Auswertungsverfahren abgesichert und differenziert werden können. Ähnliche Forschungen zu grundschulpädagogisch relevanten Aspekten im historischen Lernen im Sachunterricht beim Einsatz analoger oder digitaler Lernmaterialien, die zugleich die Heterogenität der Lernenden berücksichtigen, fehlen jedoch bisher. Eine explorative Studie kann daher die Blickmuster von Grundschüler:innen im Kontrast von guter versus schwacher Leseleistung per Scanpath-Analyse vergleichen. Analog zur Studie von Kastaun und Meier (2022) zielt eine solche Untersuchung letztlich auf den Zusammenhang von individuellen Merkmalen und möglichen Unterstützungsmaßnahmen im Lernprozess:

«Diese Muster im Blickverhalten können zukünftig genutzt werden, um Zusammenhänge zwischen der Ausprägung unterschiedlicher kognitiver Merkmale von Lernenden und dem Umgang mit unterschiedlichen Repräsentationskombinationen in Form von Lernunterstützungen zu untersuchen» (Kastaun und Meier 2022, 22).

Die Entwicklung einer solchen Perspektive für zukünftige Forschungsaktivitäten benötigt aufgrund des derzeitigen Forschungsstands im spezifischen Themenfeld jedoch zunächst explorative Versuche zur Erprobung einer solchen Forschungskonzeption.

4. Forschungsfragen

Scanpath-Analysen untersuchen die Blickmuster der Proband:innen. Internationale Studien führen zu Erkenntnissen über Zusammenhänge von Expertise und Blickverhalten. Deutschsprachige Untersuchungen im Kontext des historischen Lernens im Sachunterricht fehlen bisher. Daher prüft die Studie einerseits die Blickmuster von Proband:innen mit hoher versus niedriger Expertise, um differenziell spezifische Muster der Erfassung des Lernmittels zu erkennen. Der Beitrag geht daher der Frage nach:

Inwiefern unterscheiden sich die Blickmuster von Schüler:innen hinsichtlich ihres Scanpaths auf ein schulbuchbasiertes und digital präsentiertes Lernmittel im Sachunterricht, Schwerpunkt historisches Lernen, in Abhängigkeit von ihrer Lesekompetenz?

Mit der Beantwortung der Fragestellung ist zugleich die Erwartung verbunden, Hinweise für die Gestaltung von Lernmitteln für historisches Lernen im Sachunterricht ableiten zu können, die auch für digitale Lernmittel bedeutsam sind. Damit kann die Studie auf das forschungsmethodische Potenzial von Scanpath-Analysen bei dieser Zielgruppe hinweisen. Aufgrund des Forschungsstands zu den Blickmustern von Grundschüler:innen bei der Arbeit mit Lernmitteln im Sachunterricht, Schwerpunkt historisches Lernen, ist diese Untersuchung als explorative Studie einzuordnen.

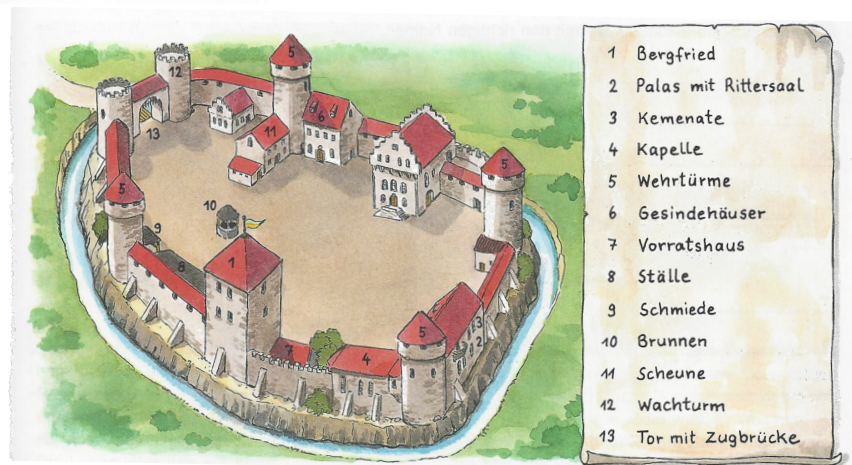
5. Methode

5.1 Das Lernmittel

Die Studie zielt auf eine möglichst hohe ökologische Validität und greift dafür auf ein häufig genutztes Lernmittel aus einem verbreiteten Schulbuch zum Sachunterricht zurück. Den Proband:innen wird das Material mit einer Kombination von Sachtext und Bildern zum historischen Lernen im Sachunterricht am Bildschirm digital präsentiert. Ein solches Lernmittel entspricht im Hinblick auf den Grad der Digitalisierung der Stufe «Substitution» nach Puentedura, die als erste Stufe des SAMR-Modells gilt (Puentedura 2013). Diese häufig rezipierte Konzeption digitalen Lernens sieht vier Stufen digitalen Lernens vor (Puentedura 2012). Die hier eingesetzte Variante setzt die Funktion der Substitution ein: «Tech acts as a direct tool substitute, with no functional change» (Puentedura 2012): Das bedeutet, dass sehr nah an analogen Lernmaterialien die digitalen Lernformen gestaltet und didaktisch eingesetzt werden.

Das analoge Lernmaterial, die Schulbuchseite zum historischen Lernen im Sachunterricht, bestehend aus Text und Bild, wurde durch das Einscannen in ein digitales Format gebracht, es verbleibt durch seine Nicht-Interaktivität auf Stufe 1 der SAMR-Konzeption.

Ritter und Burgen



Vor mehr als 1000 Jahren regierten **Grafen** und **Fürsten** über viele Gebiete Deutschlands. Sie ließen Burgen bauen, um ihr Land vor Angreifern zu schützen und zu verteidigen. Der Burgherr wohnte mit seiner Familie im Palas. Auch seine **Ritter**, Handwerker, **Mägde** und **Knechte** lebten in der Burg. Oft lagen die Burgen auf Bergen, weil man von oben Feinde früher erkennen und besser bekämpfen konnte. In flacheren Gegenden baute man Wasserburgen. Sie waren von Wassergräben oder Gewässern geschützt. Außen waren die Burgen von einer dicken Ringmauer umgeben. Wer hineinkommen wollte, musste oft erst über eine bewachte

Zugbrücke durch das Burgtor eintreten, das durch ein Fallgitter rasch versperrt werden konnte. Von den hohen Wehrtürmen aus konnte die Burg gut verteidigt werden. Der höchste Turm war der **Bergfried**. In den Ställen waren die Pferde untergebracht. Die großen Scheunen und Vorratshäuser waren stets gefüllt, damit die Bewohner der Burg in Kriegszeiten nicht so leicht ausgehungert werden konnten. In Friedenszeiten mussten die Bauern der Umgebung einen Teil ihrer Ernte an den Burgherrn abliefern, denn alle Felder gehörten ihm. Dafür schützte der Burgherr mit seinen Kriegen die Bauern und ihren Besitz, wenn Gefahr drohte.



Ein Höhepunkt des Lebens auf einer Burg war das Ritterturnier. Dann probten die Ritter ihren Mut und ihr Geschick im Kampf. Ein **Knappe** half dem Ritter, die Waffen anzulegen und das Pferd zu besteigen. Weil die Rüstung 30 bis 40 kg wog, wurde dabei meist eine Leiter aufgestellt oder das Pferd in einen Graben geführt. Auf dem Turnierplatz ritten die Ritter aufeinander zu und versuchten, sich mit ihren Lanzen vom Pferd zu stürzen. Gab ein Ritter auf, war der Kampf beendet.

Abb. 1: Digitales Lernmittel «Ritter und Burgen» (aus: Pustebblume – Das Arbeitsbuch Sachunterricht für Klasse 3 und 4, Ausgabe [anonym.], 2015, 189).

Es handelt sich um eine Kombination von Bild- und Textelementen, es müssen keine Aufgaben auf dem Material bearbeitet werden. Die Proband:innen bekommen die Aufgabe, die Bilder zu betrachten und den Text zu lesen, damit sie im Anschluss daran kleine Quizaufgaben lösen können.

Das obere Bild mit der zugehörigen Legende stellt den schematischen Aufbau einer Burg dar. Die einzelnen Bereiche der Burg sind mit Ziffern versehen, und in der sich rechts neben der Darstellung befindlichen Legende sind den Ziffern Begriffe zugeordnet.

Unter der Abbildung befindet sich der Text, der zunächst den Zeitraum (vor mehr als 1.000 Jahren) einordnet und dann beschreibt, wer die Burgen gebaut hat und aus welchem Grund. Die Textabschnitte, die sich unter dem oberen Bild befinden, beinhalten Begriffe, die sich in dem Bild wiederfinden lassen. Im unteren Bereich des Lernmaterials befindet sich ein weiteres Bild, auf dem u. a. ein Ritter auf einem Pferd abgebildet ist. Auch diesem Bild ist eine wiederholende Funktion zuzusprechen, da es die Inhalte zum Ritterturnier aus dem Textabschnitt rechts neben dem Bild wiederholt.

Die Funktion von Bildern auf Lernmitteln unterscheidet sich (Wang et al. 2022, 558): *Erforderliche* Illustrationen sind unverzichtbar, um eine Aufgabe bearbeiten zu können, *dekorative* Illustrationen hingegen besitzen keine Funktion im Problemlösungsprozess (Lenzner et al. 2013). Die dritte Funktion einer Illustration besteht in der *Wiederholung* der Informationen des Textes (Wang et al. 2022, 558). Im vorliegenden Lernmittel nehmen die Bilder eine wiederholende Funktion ein, da sowohl konkrete Begriffe als auch die Thematik wieder aufgegriffen werden.

5.2 Blickbewegungen

Für eine Analyse von Blickbewegungen sind Areas of Interest (AOI) zu definieren. Die Eye-tracking-Daten – wie die Anzahl von Fixationen oder deren Dauer – werden pro AOI erhoben. Im Mittelpunkt dieser Studie stehen die Blickbewegungen bei einem digitalen Lernmaterial. Damit steht die Kombination von Bildern und Texten sowie das damit verbundene visuelle Erfassen im Fokus. Abbildung 2 zeigt die zehn AOI innerhalb des analysierten Lernmaterials. Dabei werden vorrangig Bilder (B) und Texte (T) voneinander unterschieden. Das obere Bild und die Legende werden in zwei unterschiedliche AOI aufgeteilt, da sich hier textliche und bildliche Informationen voneinander unterscheiden lassen und so ggf. Sakkaden zwischen den beiden AOI, B1 und Legende, festgestellt werden können. Der Text wird insgesamt in sieben Textteile gegliedert. Die Textnummerierung erfolgt in der Reihenfolge, in der die Texte gelesen werden sollen. Die letzten drei Textabschnitte T5-T7 wurden im

Vergleich zu den restlichen Textabschnitten wesentlich kürzer festgelegt, um differenzierter erfassen zu können, wie weit die Schüler:innen den Text innerhalb der vorgegebenen Zeit (5 Minuten) bearbeiten.



Abb. 2: Definierte Areas of Interest.

Das Lernmittel strukturiert die Blickbewegung folgend der kulturell normierten Leserichtung: die primäre Lese- und Schreibrichtung von links nach rechts, die sekundäre Leserichtung von oben nach unten. Dem folgt auch die inhaltliche Darstellungslogik. Das Material strukturiert durch seinen Aufbau die folgende Reihenfolge der AOIs vor:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
B1	L	T1	T2	T3	T4	B2	T5	T6	T7

Tab. 1: Erwartete Blickreihenfolge der AOIs.

Ausserdem sind zwischen einzelnen AOIs Sakkaden zu erwarten, die sich mit dem Aufbau des Lernmaterials begründen lassen: Zwischen B1 und L werden Sakkaden vermutet: Da die Abbildung der Burg in B1 mit Ziffern versehen ist und sich die zugehörigen Begriffe in der danebenstehenden Legende (L) befinden, werden zwischen diesen beiden AOIs viele Sakkaden vermutet. Ausserdem werden in T3 die Begriffe «Zugbrücke» und «Bergfried» aus der Legende und aus B1 aufgegriffen und sind zudem farbig hinterlegt, sodass zwischen T3, L und B1 ebenfalls Sakkaden vermutet werden. In T6 werden die Worte «Knappe» (farbig hinterlegt) und «Ritter» genannt, die in B2 inhaltlich aufgegriffen werden (wenn auch nicht wörtlich). Aus diesem Grund können auch Sakkaden zwischen T6 und B2 vermutet werden.

Zusammenfassend werden Sakkaden zwischen B1 und L; T3, B1 und L; T6 und B2 erwartet.

5.3 Stichprobe

Die Durchführung der Eye-tracking-Studie erfolgt an zwei [anonymisierten] Grundschulen mit insgesamt n = 60 Drittklässler:innen, deren Leseleistung durch das Salzburger Lesescreening, (SLS 2–9, Wimmer und Mayringer 2014) erhoben wird. Die Leistungen der Gesamtstichprobe sind normalverteilt. Anschliessend werden die Blickbewegungen der Proband:innen (Pbn) mithilfe eines Eyetrackers erfasst. Aus dem Pool der erhobenen 60 Grundschüler:innen werden für einen kontrastiven Vergleich die Blickmuster des Pbn mit der stärksten mit der des Pbn mit der schwächsten Leseleistung ausgewählt und verglichen.

5.4 Apparatus

Das Lernmittel wird auf einem Monitor mit einem daran befestigten Eyetracker gezeigt, sodass während des Trackings die Kinder visuell das Lernmittel erfassen, das dort präsentiert wird. Diese Konstruktion ermöglicht eine relativ alltagsübliche Nutzung des digitalen Lernmittels am Bildschirm.

Bei dem verwendeten Gerät handelte es sich um den Remote-Eyetracker «TobiiPro x2», ein bildschirmbasiertes Aufzeichnungssystem mit einer Abtastrate von 60 Hz, das sich mit PC-Monitoren kombiniert einsetzen lässt. Für die vorliegende Studie zur Erfassung von Blickmustern bei kombinierten Darstellungsformen (Text und Bild) kann dies als ausreichend gelten, während für Studien zu Leseprozessen höhere Abtastraten erforderlich sind.

Der verwendete Eyetracker liefert neben den bekannten Eyetracking-Daten wie Sakkaden sowie Anzahl und Dauer von Fixationen auch visuelle Darstellungen der Blickbewegungen in Form von *Gazeplots* und *Heatmaps* sowie entsprechende Videos dazu. Für diese explorative Studie werden die gewonnenen Videos in Scanpaths transformiert und anschliessend auf die Unterschiede hin analysiert (vgl. z. B. Reuter und Bruns 2022 oder ähnlich Parshina et al. 2022).

5.5 Durchführung

Die Blickbewegungen der Proband:innen werden innerhalb eines Schulvormittags parallel zum regulären Unterricht mithilfe des Eyetrackers erfasst. Zunächst erfolgt eine Instruktion der Proband:innen, wobei der Versuchsablauf kindgerecht vorgestellt und auftretende Fragen geklärt werden. Anschliessend wird der Eyetracker je nach Körpergrösse und Sitzposition individuell kalibriert. Nach erfolgreicher Kalibrierung erscheint auf dem Bildschirmmonitor das im Vorfeld ausgewählte Lernmittel. Um sicherzustellen, dass die Kinder möglichst sorgfältig alle Bereiche des präsentierten Materials visuell ansteuern, gerade auch die Illustrationen, bekommen die Kinder die Aufgabe: «*Betrachte das Bild und lies den Text*». Zur Bearbeitung von Bildern und zum Lesen des Textes erhalten die Proband:innen ein Zeitlimit von fünf Minuten. Für den Fall, dass Kinder weniger Zeit benötigen, wird die Messung entsprechend vorzeitig beendet.

6. Ergebnisse

Aus der mit dem Salzburger Lesescreening (SLS) erfassten Gesamtstichprobe von 60 Grundschulkindern der dritten Jahrgangsstufe zweier [anonymisierter] Grundschulen werden die Eyetracking-Daten der beiden Pbn analysiert, die jeweils den höchsten und niedrigsten Leserohwert haben. Zunächst werden die Ergebnisse des Eyetrackings mit den Parametern Fixationen und Sakkaden dargestellt, dann erfolgen die Gazeplot-Darstellungen, die dann als Scanpaths entsprechend visualisiert werden.

6.1 Fixationen und Sakkaden

Die Auswertung der quantitativen Eyetracking Daten belegt deutliche Unterschiede in der visuellen Aufmerksamkeit auf das Lernmittel.

	Pb 1	Pb 2
Geschlecht	männlich	weiblich
Leserohwert (SLS)	59	18
Lesequotient (SLS)	131, sehr gut	0, sehr schwach
Fixierte AOIs	alle	B1, L, T1, T2, T3, T4 (teilweise), B2.
Gesamtdauer der Fixationen und Sakkaden	80 sek. (1:20min)	302 sek. (5:02 min)
Anzahl der Fixationen		
gesamt	201	332
in Bildern (B1, L, B2)	5	19
in Textblöcken	196	321
ausserhalb der AOIs	0	1
Dauer der Fixationen		
gesamt	63,88 sek. (1:04 min)	271,1 sek. (4:31 min)
in Bildern (B1, L, B2)	0,86 sek.	3,91 sek.
in Texten (T1-T7)	63,02 sek.	267,19 sek.
Mittlere Fixationsdauer	0,32 sek.	0,82 sek

Tab. 2: Leseleistung und Überblick der Eye-tracking-Daten der beiden Pbn.

Die beiden Proband:innen unterscheiden sich nicht nur in ihrer Leseleistung voneinander, sondern auch nach Anzahl und Dauer der Fixationen. Pb 1 ist nach dem Befund des SLS als lesestark einzustufen, er fixiert alle AOIs und benötigt für die Betrachtung und das Lesen des Lernmaterials insgesamt 80sek. (1:20 min). Pb 2 fixiert nicht alle AOIs, sondern erreicht nach Ablauf des vorgegebenen Zeitlimits von 5 min. nur die AOI T4, hingegen werden T5, T6 und T7 nicht fixiert. Dennoch weist Pb 2 insgesamt deutlich mehr Fixationen auf (332 ggü. 201). Pb 1 weist im Vergleich zu Pb 2 weniger Fixationen insgesamt und in allen AOIs auf, er hat zudem eine kürzere mittlere Fixationsdauer.

6.2 Gazeplots

Gazeplots dienen der Visualisierung von Eyetracking-Daten: Sieht ein Pb eine bestimmte Stelle an, wird diese mit einem Punkt markiert. Je länger die Stelle fixiert wurde, desto grösser wird der Punkt dargestellt. Die Grösse der Gazeplots bildet

folglich die Fixationsdauer ab. Die Nummerierung der Punkte erlaubt zudem einen Rückschluss auf die Abfolge der Blickbewegungen. Auch hier zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den beiden Pbn.

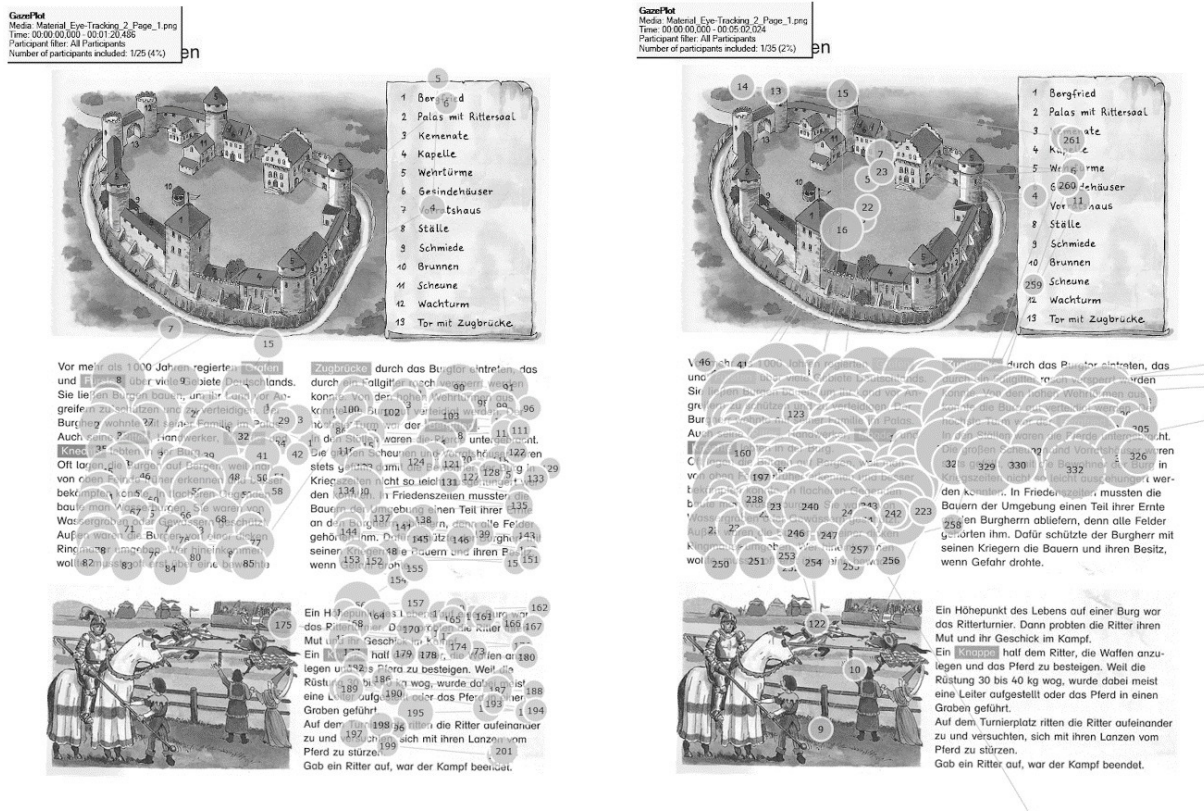


Abb. 3: Gazeplots, links Pb 1 (hohe Leseleistung), rechts Pb 2 (niedrige Leseleistung).

Die Gazeplot-Darstellung der Eyetracking-Daten ermöglicht einen visualisierten Überblick über die von den Pbn betrachteten AOIs. So wird hier deutlich, dass Pb 1 mit hoher Leseleistung (links) die AOI des Textes vollständig bis zu T7 betrachtet, während Pb 2 mit niedriger Leseleistung (rechts) die AOI des Textes innerhalb der vorgegebenen Zeit (5min) nur bis zu T4 betrachtet. Wie bereits aus den quantitativen Befunden bekannt, ist die mittlere Fixationsdauer des leseschwachen Kindes (rechts) höher als die des lesestarken Kindes (links), was sich in der Grösse der Gazeplots widerspiegelt. Die Gazeplots des leseschwachen Kindes folgen dichter aufeinander als bei dem lesestarken Kind. Zudem ist hier deutlich zu erkennen, dass beim leseschwachen Kind mehr Fixationen als beim lesestarken vorhanden sind.

6.3 Scanpath

Aus den Gazeplot-Darstellungen lassen sich Anzahl und Dauer der Fixationen visualisieren, die Analyse von Blickbewegungsmustern lässt sich damit jedoch nicht durchführen. Die Gazeplot-Videos werden daher für jeden Pbn in einen Scanpath transformiert. Der Scanpath ist zu verstehen als die Darstellung der Sequenz von konsekutiven Fixationen und Sakkaden (Goldberg und Helfman 2010; Tablatin und Rodrigo 2018). Demnach werden alle Fixationen in derselben Grösse dargestellt, in der Reihenfolge der Blickbewegungen durchnummeriert und durch Linien miteinander verbunden. Die Linien stellen die Sakkaden zwischen den Fixationen dar.

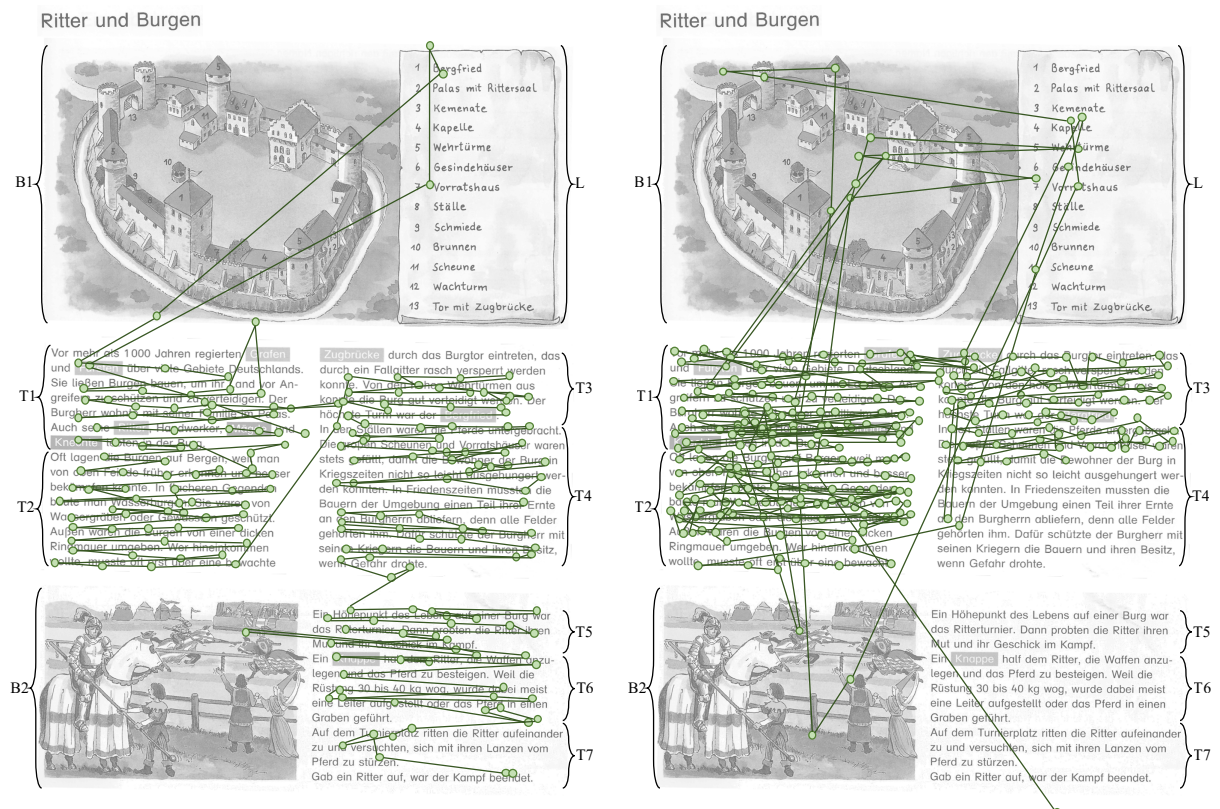


Abb. 4: Scanpaths der Pbn (inkl. AOIs): Pb 1 (links: hohe Leseleistung), Pb 2 (rechts: niedrige Leseleistung).

Die Scanpath Darstellungen machen bei Pb 1 (hohe Leseleistung, links) ein strukturiertes und systematisches Lesevorgehen erkennbar. Die Fixationen erfolgen in Leserichtung und mit diesem Vorgehen wird systematisch der gesamte Text fixiert. Ausserdem werden die Textblöcke in der vom Lernmaterial vorgegebenen Reihenfolge fixiert. Die Fixationen scheinen mit voranschreitendem Lesen weniger zu werden und liegen weiter auseinander. Besonders in den unteren rechten Textabschnitten T6 und T7 sind weniger Fixationen vorhanden, sodass die einzelnen Sätze

nur wenig fixiert werden. Dieses Vorgehen weist auf ein zügiges Beenden des Lesens hin. Auffällig ist des Weiteren, dass kaum Fixationen der AOI L, B1 und B2, also der Bilder sowie der Legende L, zu beobachten sind. Es sind kaum Sakkaden zwischen den verschiedenen AOIs zu beobachten, der Pb folgt der erwarteten Leserichtung und besitzt eine zielführende Orientierung auf dem Lernmittel. Damit wird das Material vor Ablauf der zur Verfügung stehenden Zeit vollständig visuell fixiert.

Der Scanpath von Pb 2 (niedrige Leseleistung, rechts) zeigt dagegen ein idiosynkratisches und wenig strukturiertes Blickmuster. Besonders innerhalb der Textblöcke sind zahlreiche Wiederholungen von Fixationen und Sakkaden zu erkennen, die ein mehrfaches Fixieren von Sätzen und Wörtern belegen. Dies scheint besonders bei längeren Wörtern der Fall zu sein. Zudem gibt es Sakkaden zwischen mehreren Zeilen entgegen der erwarteten Leserichtung. Durch die genannten Aspekte ist die Leserichtung nicht immer deutlich erkennbar und nicht stringent. Besonders zwischen den AOIs T1 und T3 scheint das leseschwache Kind die Spalte zwischen den Textblöcken, die die Leserichtung strukturiert, nicht wahrgenommen zu haben: Pb 2 liest über diese Lücke hinweg. Auf den Bildern B1 und B2 und der Legende L sind jedoch mehr Fixationen und Sakkaden zu erkennen als bei Pb 1.

Im kontrastiven Vergleich zeigt die Analyse der Scanpaths beider Pbn deutliche Unterschiede: Während Pb 1 einen der Leserichtung stringent folgenden, kürzeren Scanpath und ein zielgerichtetes, effizientes Blickmuster aufweist, ist der Scanpath von Pb 2 idiosynkratisch, deutlich länger, weicht von der zu erwartenden Leserichtung ab, ist unsystematisch und daher weniger zielgerichtet. Höhere Leseleistung hängt somit zusammen mit systematischen Blickmustern, die eine zielstrebige visuelle Aufnahme der Textabschnitte des Lernmittels erlauben. Hingegen korrelieren niedrige Leseleistung und eine unsystematische Visualisierung der Textabschnitte des Lernmittels: Die Blickmuster zeigen keine klare Systematik, sie folgen nicht der zu erwartenden Leserichtung, sodass die Bearbeitungszeit deutlich länger ist und letztlich nicht ausreicht. Die Blickbewegungsmuster zeigen somit deutlich unterschiedliche Eigenschaften.

Auch in der Fixierung der AOI mit Bildern zeigen sich deutliche Unterschiede: Während Pb 1 kaum Fixationen auf die Bilder und Legende zeigt, fixiert Pb 2 Bilder und Legende deutlich häufiger, allerdings kaum in systematischer Strategie. Auch hier – wie bei der Fixierung der Textabschnitte – lässt sich ein wenig stringentes Blickmuster feststellen. Die Funktion der Bilder – eine Wiederholung und damit eine Lernunterstützung anzubieten – wird nicht erreicht. Eher ist eine ablenkende und damit die Nutzung effektiver Blickmuster störende Wirkung zu beobachten.

Zusammenfassend lässt sich festhalten: Die Scanpaths der beiden Pbn unterscheiden sich deutlich voneinander. Während der Scanpath bei hoher Leseleistung auf ein systematisches, gut strukturiertes Vorgehen und zügige visuelle Fixierung des Lernmittels schliessen lässt, deuten die Blickbewegungsmuster bei niedriger

Leseleistung auf eine unsystematische, kaum strukturierte Suche und deutlich aufwendigere Blickbewegungsaktivitäten hin. Dennoch schafft es Pb 2 nicht, innerhalb der vorgegebenen Zeit das gesamte Lernmittel zu fixieren. Auch hinsichtlich der Fixationen und Sakkaden auf den Bildern unterscheiden sich die beiden Kinder voneinander. Während Pb 1 mit hoher Leseleistung kaum auf die Bilder blickt, hält sich Pb 2 häufiger und länger dort auf, ohne jedoch systematisch die Zusammenhänge zwischen Text, Bild und Legende zu fixieren.

7. Diskussion

Die vorliegende explorative Studie geht der Frage nach, inwiefern sich die Blickmuster von Schüler:innen auf ein Lernmaterial im historischen Lernen des Sachunterrichts in Abhängigkeit von ihrer Lesekompetenz unterscheiden. Die Ergebnisse belegen deutliche Divergenzen der Blickmuster:

- – Der Schüler mit hoher Leseleistung fixiert in einem stringenten Prozess weniger Fixationspunkte und folgt einem systematisch-strukturierten Prozess der visuellen Bearbeitung des Lernmaterials. Bilder mit ihrer Wiederholungsfunktion werden kaum fixiert, die Konzentration liegt auf den Textelementen. Bei diesem Vorgehen kann angezweifelt werden, ob die Inhalte der Bilder inhaltlich verarbeitet werden. Die visuelle Bearbeitung ist bereits vor dem gesetzten Zeitraum abgeschlossen.
- – Die Schülerin mit schwachen Leseleistungen hingegen zeigt Blickbewegungsmuster mit zahlreichen und längerdauernden Fixationen sowie unsystematischen Sakkaden, die innerhalb der gesetzten Zeit das angebotene Lernmittel nicht vollständig visuell bearbeiten. Die Bilder, die als Lernunterstützung zur Wiederholung herangezogen werden könnten, fixiert sie zwar häufiger als der Schüler, es erfolgt aber kaum eine systematische Beachtung und die Funktion der Wiederholung von Inhalten schlägt sich in den Scanpaths nicht nieder.

Die Ergebnisse schliessen an ähnliche Befunde vorliegender Scanpath-Analysen in der erziehungswissenschaftlichen Forschung an (Popelka und Beitlova 2022). Wenig strukturierte, idiosynkratische Blickmuster, die auch als «discontinuous, uncoordinated, and chaotic» (Mohammadhasani et al. 2020, 562) beurteilt werden, sind auch hier bei der Probandin mit schlechten Leseleistungen zu beobachten. Interessant und bedeutsam ist dabei, dass auch die unterstützenden Potenziale der Visualisierungen nicht systematisch genutzt werden.

Scanpath-Routinen geben Hinweise auf die Unterschiede der zugrunde liegenden Strategien der Informationsaufnahme in Abhängigkeit vom Novizen- oder Expertenstatus und zeigen sich in der vorliegenden Studie bei den Schüler:innen im historischen Lernen des Sachunterrichts in Abhängigkeit von der Leseleistung

ebenfalls und deutlich. Die Blickmuster bei niedriger Leseleistung stellen sehr individualistische, aufwendige und wenig effektive Routinen dar, die ein erfolgreiches Bearbeiten des Lernmittels verhindern. Visualisierende Darstellungen stellen dabei keine Hilfe, sondern eher noch Distraktoren dar.

Limitationen dieser Befunde liegen in der Stichprobe, im Lernmaterial und im Auswertungsverfahren begründet. Die Scanpath-Analyse in der Bildungsforschung erfolgt zwar häufig an sehr kleinen Stichproben und immerhin konnten auf der Basis einer normalverteilten Stichprobe recht zuverlässig die Extremwerte bestimmt werden, jedoch sind Erweiterungen der Stichprobe sinnvoll und notwendig, zugleich erfordert dies anspruchsvollere Auswertungsmöglichkeiten. Hier stellt die Weiterentwicklung der technischen Grundlagen mit der Entwicklung von digitalen Tools zur Verrechnung von multiplen Scanpaths zukünftig eine erfolgversprechende Perspektive dar, um reliablere Aussagen zu den divergierenden Blickmustern zu gewinnen. Die genutzte Auswertungsstrategie greift auf die durch das Eyetracking-System erhobenen Daten zurück, die in ihren technischen Rahmenbedingungen zunehmend verbessert werden: Höhere Auflösung und Frequenz führen zu differenzierteren Befunden, zudem können die Tools zur Bestimmung kumulierter Blickmuster die hohe interindividuelle Differenz quantitativ ermitteln. Solche Tools ermöglichen in zukünftigen Studien reliablere und validere Aussagen zu den Blickmustern größerer Stichproben. Das Lernmaterial begrenzt ebenfalls die Aussagekraft der Studie: Einerseits bildet es in Verbreitung und Struktur (Text/Bildkombination) ein häufig genutztes Material und auch die digitale Version, die der Stufe der Substitution nach Puentedura entspricht, ist durchaus repräsentativ für andere digitale Medien. Damit werden jedoch die Potenziale digitaler Medien wenig genutzt. Erkenntnisreich wäre die Anwendung des Studiendesigns auf digitale Medien in den anderen Stufen des SAMR-Modells um zu prüfen, ob weitere Stufen digitaler Medien stärker die Blickmuster von leseschwächeren Schüler:innen unterstützen. Weitere Limitationen im Hinblick auf die Ergebnisse der Studie können auch darin gesehen werden, dass die hier untersuchten Proband:innen über unterschiedliche Lernausgangslagen wie z. B. Vorstellungen im Hinblick auf das Thema verfügen, die zu unterschiedlicher visueller Erfassung des Lernmaterials geführt haben können (zusammenfassend dazu Zabold 2020, 71ff.). Das Vorwissen, die Vorstellungen und ähnliche Indikatoren, die auch das historische Denken beeinflussen können, wurden nicht erhoben.

Die vorliegende Studie zeigt zugleich in forschungsmethodischer Perspektive die Möglichkeiten, mittels Scanpath-Analysen zu Fragen digital gestützten historischen Lernens im Sachunterricht zu wissenschaftlich fundierten Erkenntnissen zu gelangen. Die Untersuchung versteht sich daher als Beitrag zur Grundlagenforschung mithilfe der Scanpath-Analyse: Ein solcher Ansatz kann weiterführende Erkenntnisse zur grundschulpädagogischen Forschung im Bereich des Sachunterrichts generieren.

In dieser Hinsicht lassen sich auch Konsequenzen für die optimierte Gestaltung des Lernmaterials ableiten: Die Gestaltung in zwei Textblöcken, die fehlende Verbindung von Textinhalten mit der Visualisierung und die wenig hilfreiche Textstruktur (keine Unterstreichungen, komplexere Satzmuster) sollten für eine zukünftige Optimierung geprüft werden. Gerade wenn es in Zukunft stärker digitale Lernmaterialien geben soll, wären die Chancen digitalen Lernens auch in den anderen Formaten nach dem SAMR-Modell (Puentedura 2013) zur Lernunterstützung intensiv zu nutzen.

8. Fazit

Die Ergebnisse der vorgestellten Scanpath-Analyse von Schüler:innen im Sachunterricht, Schwerpunkt historisches Lernen, die sich in ihrer Lesefähigkeit deutlich unterscheiden, schliessen an ähnliche Befunde vorliegender Scanpath-Analysen in der erziehungswissenschaftlichen Forschung an, wie sie zusammenfassend Popelka und Beitlova (2022) darstellen. Bisher standen jedoch eher ältere Proband:innen bzw. andere Lernbereiche im Fokus.

Die Ergebnisse zeigen differenzierte Zusammenhänge zwischen Expertise (hier Lesekompetenz) und Blickmustern. In der Konsequenz kann die Optimierung des Lernmaterials selbst, aber auch eine Unterstützung der visuellen Aufmerksamkeit der Lernenden als sinnvoller Schritt zu erfolgreichem Lernen angenommen werden (Blicktraining).

Deutlich wird, dass Grundschüler:innen mit Leseschwierigkeiten schon bei der Informationsaufnahme anhand üblicher Lernmaterialien wirksame Unterstützung benötigen. Aus den vorliegenden Ergebnissen lassen sich Hinweise für geeignete Gestaltungsformen digitalen Lernens ableiten, insbesondere zur Frage, wie ein digitales Lernmaterial adaptiv strukturiert werden sollte. Strukturierungshilfen in digitalen Lernmitteln, z. B. eine klarere und leseunterstützende Struktur des Textes, die sichtbare Zuordnung von Text und Bild, Beschriftungen im Bild, inhaltliche Verknüpfungen von Text und Bild und eindeutige Strukturmerkmale des Lernmittels zur Steuerung der Blickmuster stellen wichtige Chancen zukünftiger Lernunterstützung dar.

Einen grossen Vorteil digitaler Lernmaterialien stellt aus der Perspektive der Scanpath-Forschung insbesondere die Möglichkeit zur Steuerung der Blickbewegung dar. So liesse sich entsprechendes Lernmaterial digital so gestalten, dass die darin implizit vorhandene Sachstruktur durch die Anleitung der Blickmuster der Lernenden nachvollziehbar wird. Das sukzessive Erscheinen der Inhalte des Lernmittels könnte die Blickmuster steuern. Wäre beispielsweise zunächst nur das obere Bild B1 und die Legende zu sehen, würden alle Schüler:innen, unabhängig von ihrer Lesekompetenz, dazu angehalten, sich intensiv mit dieser Visualisierung

auseinanderzusetzen und die in der Legende genannten Begriffe damit direkt zu verknüpfen. Wenn zudem die Begriffe nicht in einer räumlich getrennten Legende stehen würden, sondern direkt in das Bild integriert wären, würden die Kinder in ihrer kognitiven Aktivität (cognitive load) entlastet, da sie die Verbindung zwischen den Begriffen und den Ziffern nicht kognitiv ausführen müssten und eine visuelle Suche vermieden würde. Im Anschluss daran könnten die Textblöcke vereinzelt gezeigt werden, wodurch die Leserichtung deutlich würde und ein «über-die-Spalte-hinweg-Lesen» zwischen T 1 und T 3 verhindert werden könnte. Ausserdem wäre es besonders bei entsprechenden Unterstützungsbedarfen hilfreich, wenn die Möglichkeit bestünde, sich den Text vorlesen zu lassen.

Durch solche Massnahmen würden sowohl lesestarke als auch leseschwache Schüler:innen unterstützt. Der lesestarke Schüler in dieser Studie beachtet kaum die Bilder und die Legende in diesem Lernmaterial. Das Lesen erfolgt zwar schnell und zielgerichtet, aber auch nachdem der Schüler das Lesen beendet hat, fixiert er nicht noch einmal die Bilder oder die Legende. Mit diesem Vorgehen kann angezweifelt werden, ob die Inhalte aus den Bildern tiefer verarbeitet worden sind. Die Förderung durch ein sukzessives Erscheinen der Inhalte, insbesondere die Fokussierung der Blickbewegung auf das Bild und dessen Inhalte, besteht in diesem Fall darin, dass lesestarke Schüler:innen sich intensiver mit den Inhalten der Bilder auseinandersetzen.

Der so unterstützte Aufbau kompetenterer Blickmuster ist daher ein sinnvoller Ansatz, der insbesondere durch digitalisierte Lernmittel realisiert werden kann. Eine solche Anleitung der Blickmuster zu höherer Expertise kann durch digitale Präsentationen realisiert werden und verspricht eine wirksame und transferierbare Unterstützung der Lernaktivitäten von Schüler:innen.

Neben der Gestaltung des Lernmaterials können auch die Blickmuster der Schüler:innen direkt unterstützt werden. Trainings zur Blicksteuerung liegen bereits vor (Jarodzka et al. 2017, 10) und zeigen vielversprechende Möglichkeiten, die über reine Drill and Practice Übungen der Lesefertigkeiten hinausgehen. Die Eyetracking-Technologie selbst kann inzwischen durch geeignete Tools, die dem Blick folgen und bei längeren Fixationen die fokussierten Textelemente hervorheben, ebenfalls einen Beitrag zur Unterstützung effektiver Blickmuster leisten. Diese Entwicklungen weisen auf die wissenschaftlichen und praktischen Perspektiven der erziehungswissenschaftlichen Eyetracking-Forschung hin.

Literatur

- Ammerer, Heinrich. 2019. «Herausforderungen und Probleme im Umgang mit visuellen Repräsentationen im Schulbuch». In *Das Geschichtsschulbuch: Lernen-Lehren-Forschen*, herausgegeben von Christoph Kühberger, Roland Bernhard und Christoph Bramann, 125–46. Münster: Waxmann.
- Becher, Andrea. 2021. «Förderung historischen Denkens in der Primarstufe». In *Historisches Lernen in der Primarstufe: Standpunkte – Herausforderungen – Perspektiven*, herausgegeben von Wolfgang Buchberger und Christoph Kühberger, 151–71. Innsbruck: StudienVerlag.
- Becher, Andrea, und Eva Gläser. 2017. «Präkonzepte von Grundschulkindern zur historischen Methodenkompetenz». In *Frühes historisches Lernen. Projekte und Perspektiven empirischer Forschung*, herausgegeben von Monika Fenn, 75–88. Frankfurt a.M.: Wochenschau.
- Bednarik, Roman, Teresa Busjahn, und Carsten Schulte, Hrsg. 2014. *Eye Movements in Programming Education: Analyzing the Expert's Gaze. Proceedings of the First International Workshop*. Reports and Studies in Forestry and Natural Sciences 18. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-61-1539-9>.
- Blaseio, Beate. 2004. *Entwicklungstendenzen der Inhalte des Sachunterrichts: eine Analyse von Lehrwerken von 1970 bis 2000*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Böhme, Richard, Meike Munser-Kiefer, und Sarah Prestridge. 2020. «Lernunterstützung mit digitalen Medien in der Grundschule. Theorie und Empirie zur Wirkweise zentraler Funktionen und Gestaltungsmerkmale». *Zeitschrift für Grundschulforschung* 13: 1–14. <https://doi.org/10.1007/s42278-019-00066-3>.
- Donmez, Mehmet. 2022. «A systematic literature review for the use of eye-tracking in special education». *Education and Information Technologies* 28: 6515–40. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11456-z>.
- Gasteiger-Klicpera, Barbara, und Christian Klicpera. 2014. «Lese-Rechtschreibschwäche» In *Interventionen bei Lernstörungen: Förderung, Training und Therapie in der Praxis*, 2. Auflage, herausgegeben von Gerhard W. Lauth, Matthias Grünke und Joachim C. Brunstein, 56–65. Göttingen: Hogrefe.
- Gervé, Friedrich, Markus Peschel, Michael Haider, Inga Gryl, Daniela Schmeinck, und Martin Brämer. 2023. «Herausforderungen und Zukunftsperspektiven eines Sachunterrichts mit und über Medien». In *Herausforderungen und Zukunftsperspektiven für den Sachunterricht*, herausgegeben von Daniela Schmeinck, Kerstin Michalik und Thomas Goll, 32–47. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Glas, Alexander, Ulrich Heinen, Jochen Krautz, Gabriele Lieber, Monika Miller, Hubert Sowa, und Bettina Uhlig, Hrsg. 2016. *Sprechende Bilder – besprochene Bilder: Bild, Begriff und Sprachhandeln in der deiktisch-imaginativen Verständigungspraxis*. München: kopaed.
- Gold, Andreas. 2018. *Lernschwierigkeiten. Ursachen, Diagnostik, Intervention*, 2. Auflage. Stuttgart: Kohlhammer.

- Goldberg, Joseph H., und Jonathan Helfman. 2010. «Scanpath Clustering and Aggregation». *Proceedings of the 2010 Symposium on Eye Tracking Research and Applications*, ACM, New York, USA, 18–27. <https://doi.org/10.1145/1743666.1743721>.
- Jarodzka, Halszka. 2022. «Eye-Tracking – ein Versprechen für die MINT-Bildung?» In *Eye-Tracking in der Mathematik- und Naturwissenschaftsdidaktik. Forschung und Praxis*, herausgegeben von Pascal Klein, Nicole Graulich, Jochen Kuhn und Maike Schindler, XI–XIII. Berlin: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-63214-7>.
- Jarodzka, Halszka, Kenneth Holmqvist, und Hans Gruber. 2017. «Eye tracking in Educational Science: Theoretical frameworks and research agendas». *Journal of Eye Movement Research* 10 (1): 1–18. <https://doi.org/10.16910/jemr.10.1.3>.
- Kanan, Christopher, Dina N.F. Bseiso, Nicholas A. Ray, Janet H. Hsiao, und Garrison W. Cottrell. 2015. «Humans have idiosyncratic and task-specific scanpaths for judging faces». *Vision Research* 108: 67–76. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2015.01.013>.
- Kastaun, Marit, und Monique Meier. 2022. «Eine qualitative Analyse von Blickdaten bei statischen und dynamischen Repräsentationen im naturwissenschaftlichen Erkenntnisprozess». In *Eye-Tracking in der Mathematik- und Naturwissenschaftsdidaktik. Forschung und Praxis*, herausgegeben von Pascal Klein, Nicole Graulich, Jochen Kuhn und Maike Schindler, 19–39. Berlin: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-63214-7>.
- Klein, Pascal, Nicole Graulich, Jochen Kuhn, und Maike Schindler, Hrsg. 2022. *Eye-Tracking in der Mathematik- und Naturwissenschaftsdidaktik. Forschung und Praxis*. Berlin: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-63214-7>.
- KMK (Kultusministerkonferenz). 2016. «Bildung in der digitalen Welt. Strategie der Kultusministerkonferenz». https://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/pdf/PresseUndAktuelles/2018/Digitalstrategie_2017_mit_Weiterbildung.pdf.
- KMK. o.J. «Begriff Lernmittel». <https://www.kmk.org/themen/allgemeinbildende-schulen/weitere-themen/lehr-und-lernmittel.html>.
- Kosel Christina, Doris Holzberger, und Tina Seidel. 2021. «Identifying Expert and Novice Visual Scanpath Patterns and Their Relationship to Assessing Learning-Relevant Student Characteristics». *Frontiers in Education* 5: 1–16. <https://doi.org/10.3389/feduc.2020.612175>.
- Küpper, Alexander, und Hannah Weck. 2021. »Experimentelle Unterrichtsphasen im inklusiven Physikunterricht mit digitalen Medien gestalten«. In *Naturwissenschaftsdidaktik und Inklusion*, herausgegeben von Sarah Hundertmark, Xiaokang Sun, Simone Abels, Andreas Nehring, Robin Schildknecht, Vanessa Seremet und Christian Lindmeier, 10–25. Weinheim: Basel.
- Lai, Meng-Lung, Meng-Jung Tsai, Fang-Ying Yang, Chung-Yuan Hsu, Tzu-Chien Liu, Silvia Wen-Yu Lee, Min-Hsien Lee, Gou-Li Chiou, Jyh-Chong Liang, und Chin-Chung Tsai. 2013. «A review of using eye-tracking technology in exploring learning from 2000 to 2012». *Educational Research Review* 10: 90–115. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2013.10.001>.
- Lenzner, Alwine, Wolfgang Schnotz, und Andreas Müller. 2013. «The Role of Decorative Pictures in Learning». *Instructional Science: An International Journal of the Learning Sciences* 41 (5): 811–31. <https://www.jstor.org/stable/43575400>.

- Ludewig, Ulrich, Laura Becher, Alissa Müller, und Nele McElvany. 2023. *IGLU 2021 kompakt. Studienergebnisse, effektive Leseförderung und Umsetzung in die schulische Praxis*. Münster: Waxmann.
- Mayer, Richard E. 2001. *Multimedia Learning*. Cambridge: Cambridge University Press.
- McIntyre, Nora A., Tom Foulsham. 2018. «Scanpath analysis of expertise and culture in teacher gaze in real-world classrooms». *Instructional Science* 46: 435-455. <https://doi.org/10.1007/s11251-017-9445-x>.
- Melo, Jean, Fabricio Batista Narcizo, Dan Witzner Hansen, Claus Braband, Andrzej Wasowski. 2017. «Variability through the Eyes of the Programmer». In *2017 IEEE/ACM 25th International Conference on Program Comprehension (ICPC)*. Buenos Aires: 34-44. <https://doi.org/10.1109/ICPC.2017.34>.
- Mohammadhasani, Nasrin, Tindara Caprì, Andrea Nucita, Giancarlo Iannizzotto, und Rosa Angela Fabio. 2020. «Atypical Visual Scan Path Affects Remembering in ADHD». *Journal of the International Neuropsychological Society* 26(6): 557-66. <https://doi.org/10.1017/S135561771900136X>.
- Möller, Kornelia. 2010. «Lehrmittel als Tools für die Hand der Lehrkräfte – ein Mittel zur Unterrichtsentwicklung?» *Beiträge zur Lehrerbildung* 28 (1): 97-108.
- Möller, Kornelia, Thilo Kleickmann, und Steffen Tröbst. 2009. «Die forschungsgeleitete Entwicklung von Unterrichtsmaterialien für die frühe naturwissenschaftliche Bildung». *Beiträge zur Lehrerbildung* 27(3): 415-23. <https://doi.org/10.25656/01:13711>.
- Noton, David, und Lawrence Stark. 1971. «Scanpaths in saccadic eye movements while viewing and recognizing patterns». *Vision Research* 11 (9): 29-42. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(71\)90213-6](https://doi.org/10.1016/0042-6989(71)90213-6).
- Oelkers, Jürgen. 2020. «Bildungsstandards und deren Wirkung auf die Lehrmittel». *Beiträge zur Lehrerbildung* 28: 33-41.
- Parshina, Olga, Irina A. Sekerina, Anastasiya Lopukhina, und Titus von der Malsburg. 2021. «Monolingual and Bilingual Reading Processes in Russian: An Exploratory Scanpath Analysis». *Reading Research Quarterly* 57 (2): 469-92. <https://doi.org/10.1002/rrq.414>.
- Popelka, Stanislav, und Marketa Beitlova. 2022. «Scanpath Comparison using ScanGraph for Education and Learning Purposes: Summary of previous educational studies performed with the use of ScanGraph». *Symposium on Eye Tracking Research and Applications* 51: 1-6. <https://doi.org/10.1145/3517031.3529243>.
- Puentedura, Ruben R. 2012. «Focus:Redefinition». <http://www.hippasus.com/rrpweblog/archives/2012/06/18/FocusRedefinition.pdf>.
- Pustebblume – Das Arbeitsbuch Sachunterricht für Klasse 3 und 4, Ausgabe [anonym.], 2015, 189.
- Reuter, Dinah, und Julia Bruns. 2022. «Muster- und Strukturerkennungsprozesse bei potenziell mathematisch begabten Grundschulkindern untersuchen – Das Potenzial von Eye-Tracking und retrospektivem Interview im Vergleich». In *Eye-Tracking in der Mathematik- und Naturwissenschaftsdidaktik. Forschung und Praxis*, herausgegeben von Pascal Klein, Nicole Graulich, Jochen Kuhn und Maike Schindler, 41-57. Berlin: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-63214-7>.

- Schreiber, Waltraud. 2008. «Ein Kompetenz-Strukturmodell historischen Denkens». *Zeitschrift für Pädagogik* 54 (2): 198–212. <https://doi.org/10.25656/01:4345>.
- Schreiber, Waltraud, Andreas Körber, Bodo v. Borries, Reinhard Krammer, Sibylla Leutner-Ramme, Sylvia Mebus, Alexander Schöner, und Beatrice Ziegler. Hrsg. 2006. *Historisches Denken. Ein Kompetenz-Strukturmodell*. Neuried: ars una.
- Schroeder, René. 2023. «Potentiale und Barrieren beim Einsatz digitaler Medien im inklusiven naturwissenschaftlichen Sachunterricht – Ergebnisse eines systematischen Reviews». In *Herausforderungen und Zukunftsperspektiven für den Sachunterricht*, herausgegeben von Daniela Schmeink, Kerstin Michalik und Thomas Goll, 48–55. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Stinken-Rösner, Lisa, und Simone Abels. 2021. «Digitale Medien als Mittler im Spannungsfeld zwischen naturwissenschaftlichem Unterricht und inklusiver Pädagogik». In *Naturwissenschaftsdidaktik und Inklusion*, herausgegeben von Sarah Hundertmark, Xiaokang Sun, Simone Abels, Andreas Nehring, Robin Schildknecht, Vanessa Seremet und Christian Lindmeier, 161–75. Weinheim: Basel.
- Stranc, Samantha, und Kasia Muldner. 2020. «Scanpath Analysis of Student Attention During Problem Solving with Worked Examples». *International Conference on Artificial Intelligence in Education AIED 2020*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-52240-7_56.
- Tablatin, Christine Lourrine, und Ma Mercedes Rodrigo. 2018. «Identifying Common Code Reading Patterns using Scanpath Trend Analysis with a Tolerance». In *Proceedings of the 26th International Conference on Computers in Education. Philippines: Asia-Pacific Society for Computers in Education*, herausgegeben von J. C. Yang, et al., 286–91.
- Wang, Xiaoting, Wu Kang, Liuyue Huang, und Longxi Li. 2022. «The impact of illustrations on solving mathematical word problems for Chinese primary school students: evidence for a split attention effect on eye-movement research». *ZDM Mathematics Education* 54 (1): 555–67. <https://doi.org/10.1007/s11858-022-01357-3>.
- Westerkamp, Dirk. 2022. *Schrift, Bild, Handlung*. Hamburg: Felix Meiner.
- Wimmer, Heinz, und Heinz Mayringer. 2014. *SLS 2-9. Salzburger Lesescreening für die Schulstufen 2–9. 1 Manual*. Bern: Hans Huber.
- Zabold, Stefanie. 2020. *Vor dem ersten Geschichtsunterricht. Zur empirischen Erschließung des historischen Denkens junger Lernerinnen und Lerner*. Frankfurt a.M. Wochenschau.

Danksagung

Ich danke den Gutachtenden dieser Zeitschrift für ihre konstruktiven Anmerkungen und Überarbeitungsvorschläge. Für ihre hilfreichen Rückmeldungen zu früheren Versionen dieses Beitrags möchte ich mich darüber hinaus herzlich bei Dagmar Hoffmann und Michael Corsten bedanken.