

TATIANA ESAU (Universität-Duisburg-Essen)

STEFAN FLETCHER (Universität-Duisburg-Essen)

**Erforschung der Unterschiede zwischen erfolgreichen und weniger
erfolgreichen Schüler/-innen beim Bearbeiten konstruktiver
Probleme auf Basis der Analyse von Eye-Tracking Daten**

Herausgeber

BERND ZINN

RALF TENBERG

DANIEL PITTICH

Journal of Technical Education (JOTED)

ISSN 2198-0306

Online unter: <http://www.journal-of-technical-education.de>

TATIANA ESAU / STAFAN FLETCHER

Erforschung der Unterschiede zwischen erfolgreichen und weniger erfolgreichen Schüler/-innen beim Bearbeiten konstruktiver Probleme auf Basis der Analyse von Eye-Tracking Daten

ZUSAMMENFASSUNG: In diesem Beitrag wurden Unterschiede zwischen erfolgreichen und weniger erfolgreichen Schüler/-innen der Sekundarstufe I beim Bearbeiten konstruktiver Probleme auf Basis der Analyse von Eye-Tracking Daten mit dem Ziel der Generierung von Hypothesen erforscht. Dafür wurde die gesamte Stichprobe mithilfe des modifizierten Mediansplits künstlich in erfolgreiche und weniger erfolgreiche Schüler/-innen dichotomisiert und die abhängigen Variablen: Relative Fixationsdauer, relative Fixationshäufigkeit, Fixationshäufigkeit pro Zeit sowie relative Suchfixations- und Verarbeitungsfixationshäufigkeit für die beiden Gruppen analysiert. Die Ergebnisse zeigen, dass die erfolgreichen Schüler/-innen sich in allen untersuchten abhängigen Variablen von den weniger erfolgreichen unterscheiden. Daraufhin konnten 16 prozessbezogene Hypothesen generiert werden.

Schlüsselwörter: Konstruieren, Eye-Tracking, Fixation, Problemlösen, Sekundarstufe I

Researching of differences between successful and less successful pupils working on engineering design problem based on the analysis of eye-tracking data

ABSTRACT: In this paper, differences between successful and less successful secondary school pupils working on engineering design problems were researched based on the analysis of eye-tracking data with the aim of generating hypotheses. The total sample was artificially dichotomized into successful and less successful students using modified median split. Dependent variables: Relative fixation duration, relative fixation frequency, fixation frequency per time, relative seek, and processing fixation frequency were analysed for both groups. The results show, that the successful students differed from the less successful ones in all dependent variables. As a result, 16 process-related hypotheses were generated.

Keywords: Engineering design problems, eye-tracking, fixation, problem solving, secondary school

1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Das Konstruieren ist eine spezifische Form des technischen Problemlösens, die zu den bedeutendsten handlungsorientierten Lernmethoden sowohl im allgemeinbildenden Technikunterricht als auch in der beruflichen Bildung zählt (vgl. Fletcher 2005, S. 15f.; Hüttner 2002, S. 161f.; Henseler & Höpken 1996, S. 66). Das konstruktive Problemlösen ist ein synthetisch und analytisch orientiertes Unterrichtsverfahren, das eigenständiges Denken und Handeln voraussetzt, sowie eine kreative und kritische Auseinandersetzung mit Technik ermöglicht (vgl. Henseler & Höpken 1996, S. 66).

Ist es das Ziel, grundlegende Erkenntnisse über die Problemlöseprozesse beim Konstruieren zu erforschen, muss der Blick auf die Ebene des Individuums gerichtet werden und hier insbesondere auf die kognitiven Prozesse beim Problemlösen. Problemlösen ist ein aktiver Prozess, der entsprechend der ACT-R Theorie die Aufnahme von Informationen und das Ausführen von Handlungen der Lernenden voraussetzt. Diese Erkenntnis stützen auch schon ältere Handlungstheorien, die davon ausgehen, dass die Prozesse der Erkenntnisgewinnung erst durch die tätige Auseinandersetzung eines Individuums mit Gegenständen, Erscheinungen und Prozessen in der Realität möglich sind (vgl. Galperin 1967, S. 367-405). Folglich ist davon auszugehen, dass die individuellen komplexen kognitiven Prozesse der Informationsverarbeitung von Schüler/-innen beim Problemlösen in ihrer Struktur und ihrem Wirkungsgefüge als ursächlich für die Problemlösefähigkeit angesehen werden können.

1.1 Forschungszugänge

Der forschungsmethodische Zugang zur Erkundung von solchen kognitiven Prozessen der Informationsverarbeitung ist naturgemäß schwierig, da die kognitiven Prozesse eines Menschen nicht direkt zugänglich sind. Als grundsätzliche indirekte diagnostische Zugangsmöglichkeiten zur Erkundung von kognitiven Vorgängen beim Problemlösen können Selbstauskünfte oder Verhaltensbeobachtungen genutzt werden.

Unter Selbstauskünfte versteht man Verfahren, bei der die Probanden zur Auskunft über ihre kognitiven Prozesse vor, während und/oder nach der Lösung des Problems bewegt werden. Hier haben sich insbesondere unterschiedliche Methoden des „Lauten Denkens“ etabliert. Neben vielen Vorteilen dieser Methode, die im gewissen Grad Aufschlüsse über die ablaufenden kognitiven Prozesse beim Problemlösen geben können, sind jedoch auch zahlreiche Nachteile bekannt. Hierzu zählen z. B. Probleme der Bewusstheit, der zusätzlichen kognitiven Belastung, der sozialen Erwünschtheit und das Problem der sprachlichen Umsetzung (vgl. Weidle & Wagner 1994, S. 81f.).

Gegenüber Selbstauskünften haben Verhaltensbeobachtungen, die zumeist über Videoaufnahmen erfasst werden, generell den Vorteil, dass zu mindestens die Rohdaten weitgehend objektiv sind. Bei der Analyse der Videoaufnahmen muss aber immer eine qualitative Interpretation der Beobachtungen erfolgen. In der videogestützten Forschung ist dem entsprechend ein zentrales Merkmal der Grad der Inferenzen der eingesetzten Beobachtungs- und Auswertungsinstrumente. Niedriginferenten Verfahren wird eine höhere Objektivität zugeschrieben, wohingegen hochinferente Verfahren den Vorteil bieten, komplexe Prozesse in Ihrem Zusammenhang zu analysieren, allerdings zumeist mit dem Nachteil einer geringeren Beurteilerreliabilität (vgl. Clausen et al. 2003, S. 122f.). Da man aus Beobachtungen eines Probanden beim Problemlösen keinerlei direkte Daten gewinnen kann, in Bezug auf die damit verbundenen kognitiven Informationsverarbeitungsprozesse, ist man auf hochinferente Interpretationen angewiesen mit dem Nachteil einer geringen Reliabilität und Validität.

Neben den Möglichkeiten der Datengewinnung über Selbstauskünfte oder Verhaltensbeobachtungen können zur Erforschung von kognitiven Problemlöseprozessen auch psychophysiologische Verfahren genutzt werden, bei denen biophysikalische Daten erfasst und mit psychologischen Konzepten in Beziehung gesetzt werden können (vgl. Rösler 1996, S. 491f.). Diese bieten den Vorteil, dass sie objektive hoch genaue Daten liefern, die in mehr oder weniger direkten Zusammenhang mit den kognitiven Prozessen stehen. Neben sehr aufwendigen bildgebenden Verfahren aus dem Bereich der Medizin, wie die Elektroenzephalographie (EEG), die Positronen-Emissions-Tomografie (PET) und die Magnetresonanztomografie (MRT), hat sich die Eye-Tracking Technologie als vielversprechendes und praktikables Erkenntnismittel der Wissenschaft in den letzten Jahren etabliert. Über Eye-Tracking Aufnahmen können nicht invasiv hochgenaue Prozess-Daten über das visuelle Verhalten, den Aufmerksamkeitsfokus und die Selektionsentscheidungen einer Person gewonnen werden. Grundannahme der Eye-Tracking Forschung ist es, dass zwischen sensorischer Wahrnehmung, kognitiver Verarbeitung und Handlungsmotorik ein enger Zusammenhang besteht. Die sogenannte „eye-mind hypothesis“ (vgl. Just & Carpenter 1980, S. 329f.) besagt, dass Blickbewegungen Aufschluss über höhere psychologische Prozesse erlauben. Diese Grundannahme wird auch bestätigt in Untersuchungen, bei denen ein Vergleich von Blickbewegungsdaten und Daten aus dem lauten Denken zur gegenseitigen Validierung vorgenommen wurde. Es zeigte sich eine relativ hohe Übereinstimmung zwischen den aus verbalen Auskünften gewonnenen Informationen über den Aufmerksamkeitsfokus des Probanden und den ermittelten Fixationsorten und der Fixationsdauer (vgl. Knoblich & Rhenius 1995, S. 419f.; Russo & Rosen 1975, S.267f.).

Wenn es gelingt, die individuellen Informationsverarbeitungsprozesse mithilfe moderner Eye-Tracking Technologie einer systematischen Auswertung zugänglich zu machen, eröffnen sich hierdurch neue Möglichkeiten einer vertieften empirischen Erforschung von Problemlöseprozessen im Sinne einer Grundlagenforschung. Hierdurch könnten entscheidende Impulse zur Weiterentwicklung der Problemlöseforschung mit Bezug auf das Lösen konstruktiver Probleme im Technikunterricht erzielt werden. Entsprechend leitet sich hieraus das Anliegen der Autoren ab, durch den Einsatz von Eye-Tracking einen neuen forschungsmethodischen Zugang zu nutzen, mit dem die Analyse und Auswertung von individuellen Informationsverarbeitungsprozessen von Schüler/-innen bei der Bearbeitung von typischen konstruktiven Aufgabenstellungen ermöglicht wird.

Konkretes Ziel der hier im Beitrag dargestellten Studie ist es entsprechend, das Blickverhalten von Schüler/-innen beim Bearbeiten von konstruktiven Problemen mithilfe der Eye-Tracking Technologie zu analysieren und spezifische Prozessmerkmale zu identifizieren. Da bisher noch keine theoretischen Anhaltspunkte oder Befunde vorliegen, ist die Studie explorativ angelegt. In diesem Sinne werden erste Hypothesen bezüglich der unterschiedlichen Prozessmerkmale bei den mehr und weniger erfolgreichen Schüler/-innen generiert, die in einer weiteren Studie überprüft werden können. Die Zielgruppe für das Projekt sind Schüler/-innen zum Ende der Sekundarstufe I aus unterschiedlichen Schulformen. Die Zielgruppe wurde gewählt, da das Ende der Sekundarstufe I ein wesentlicher Abschnitt innerhalb der Schullaufbahn darstellt, mit dem das Erreichen zentraler übergreifender Kompetenzen, wie die technische Problemlösefähigkeit, verbunden ist.

2 Theoretische Bezugspunkte

Im folgenden Kapitel werden für den Beitrag relevante theoretische Bezugspunkte zur Beschreibung konstruktiver Problemlöseprozesse aus informationstheoretischer Sicht mithilfe der ACT-R Theorie erläutert sowie die Grundlagen der Datengewinnung mit Eye-Tracking Systemen dargestellt.

2.1 Konstruieren als spezifischer Fall des Problemlösens

Aus der Sicht der Psychologie wird über ein Problem dann gesprochen, wenn aus irgendeinem Grund, ein unbefriedigender Anfangszustand, ein mehr oder weniger vorgegebenen Zielzustand und ein vollkommen unbekannter Lösungsweg zum Erreichen des Zielzustandes vorliegen (vgl. Anderson, Funke & Plata 2007, S. 291; Dörner 1976, S. 10; Hussy 1984, S. 114). Das Problemlösen als Prozess unterteilt Polya in vier Phasen: In der ersten Phase soll das Problem erkannt und in der nächsten ein Plan zum Lösen des Problems erarbeitet werden (vgl. Polya 1988, S. 5f). Der Plan aus der zweiten Phase soll in der dritten realisiert werden und zum Schluss soll einen Abgleich der Lösung mit den gestellten Anforderungen vorgenommen werden (ebd.).

Unter Konstruieren versteht man einen hochkomplexen Prozess, der als Ziel die Findung der für das bestehende technische Problem besten Lösung hat (vgl. Fletcher 2005, S. 171f.; Koller 1985, S.XV). Ein Konstruktionsprozess besteht im Allgemeinen ebenfalls aus vier Phasen (vgl. Hubka & Eder 1992, S. 121). In der ersten Phase *Planen* soll das technische Problem erkannt und die Anforderungen des Problems spezifiziert werden (ebd.). Diese Phase zeichnet sich durch eine ausführliche Recherche und das Sammeln von für das Problem relevanten Informationen aus (ebd.). Das Ziel der zweiten Phase *Konzipieren* ist es, mithilfe der gefundenen Informationen und unter Berücksichtigung aller Anforderungen des Problems, mehrere Lösungsprinzipien zu entwickeln (ebd.). Außerdem soll in dieser Phase aus den gefundenen Lösungsprinzipien eines, das am besten geeignet ist, ausgewählt werden (ebd.). Eine Entwurfszeichnung auf Basis des ausgewählten Lösungsprinzips zu erstellen ist das Ziel der dritten Phase *Entwerfen* (ebd.). Die letzte Phase eines Konstruktionsprozesses ist die Phase *Ausarbeiten*, in der die vollständigen Herstellungs- und Nutzungsunterlagen angefertigt werden (ebd.).

Stellt man konstruktive Probleme den allgemeinen Problemen gegenüber, so zeigt sich, dass konstruktive Probleme auch durch die typischen drei Kriterien allgemeiner Probleme gekennzeichnet sind: einem Anfangszustand, der durch die aktuellen technischen Möglichkeiten repräsentiert wird, einem Zielzustand, der durch die Anforderungen an das Produkt vorgegeben wird, und einem vollkommen unbekanntem Lösungsweg (vgl. Fletcher 2005, S. 247–250). Beim Vergleichen der Phasen des allgemeinen Problemlösens nach Polya (vgl. Polya 1988, S. 5f.) mit den Phasen eines Konstruktionsprozesses fällt auf, dass die ersten zwei Phasen sich in ihren Zielen stark ähneln. Hierzu zählen eine detaillierte Auseinandersetzung mit der Problemstellung und ihren Anforderungen sowie die Planung der notwendigen Schritte zur Lösung des Problems. Die Phasen Entwerfen und Ausarbeiten sind für einen Konstruktionsprozess spezifisch und beschränken sich lediglich auf die Darstellung des Lösungsergebnisses.

2.2 ACT-R Theorie zur Beschreibung von konstruktiven Problemlöseprozessen als Informationsverarbeitungsprozesse

Um grundsätzliche Anhaltspunkte für die Analyse von konstruktiven Problemlöseprozessen zu finden, bietet es sich an die Sicht der Kognitionswissenschaft auf den Prozess des Problemlösens mit zu berücksichtigen. Dabei kann man eine Vielfalt von komplexen Theorien finden, die kognitive Prozesse von Menschen aus unterschiedlichen Perspektiven beschreiben. Das informationstheoretisch ausgerichtete ACT-R Modell bietet den Vorteil, dass alle kognitiven Prozesse des Menschen, einschließlich Problemlösen, auf einige wenige elementare Prozesse der Informationsverarbeitung zurückgeführt werden können. Außerdem harmonisiert die ACT-R Theorie in besonderer Weise mit den Möglichkeiten der Datenerfassung durch Eye-Tracking Systeme.

Die ACT-R Theorie unterscheidet zwischen einem deklarativen und einem prozeduralen Langzeitgedächtnis (vgl. Wallach & Lebiere 1998, S. 94). Prozedurales Wissen wird dabei in Form von sogenannten Produktionen, als abstrakte *Wenn-Dann-Regeln* und deklaratives Wissen in Form von sogenannten *Chunks* repräsentiert (ebd.). Außerdem sind Chunks in einem Zielstapel hierarchisch angeordnet und bestimmen somit das aktuelle Ziel (ebd.), siehe die vereinfachte Darstellung des Modells in Abb. 1.

Kognitive Prozesse beim konstruktiven Problemlösen lassen sich vor dem Hintergrund der ACT-R Theorie stark vereinfacht, wie folgt vorstellen: Das Lesen der Aufgabenstellung führt zum Entstehen von Zielen im Zielstapel. Um diese Ziele abzuarbeiten, müssen entsprechende Produktionen ausgeführt werden, d.h. zum Beispiel die in der Aufgabenstellung beschriebene Schaltung aufgebaut bzw. gezeichnet werden. Die Produktionen referieren im WENN-Teil immer auf das aktuelle Ziel und der DANN-Teil kann dann realisiert werden, wenn dazugehörige Produktionen existieren. Sind diese nicht vorhanden, werden sie aufgebaut, indem auf die Wissens Elemente aus dem deklarativen Gedächtnis zurückgegriffen bzw. neue Wissens Elemente aus der Umgebung, also in unserem Fall aus den Informationstabellen sowie aus den Problemlösungsoperatoren encodiert werden. Ein Beispiel einer Produktionsregel könnte sein: Wenn die Aufgabenstellung nicht klar ist, lese die Aufgabenstellung erneut durch. Über Rückkopplungsprozesse der ausgeführten Aktionen über die Wahrnehmung werden die Produktionen weiterentwickelt und in Bezug auf die jeweilige Problemstellung optimiert.

Von den oben dargestellten kognitiven Prozessen können lediglich die Wahrnehmungen aus der Umwelt und die ausgeführten Aktionen direkt beobachtet werden. Diese lassen sich mit einem geeigneten Eye-Tracking System hochpräzise erfassen und können dann im Detail analysiert werden (vgl. Esau & Fletcher 2018, S. 68–70).

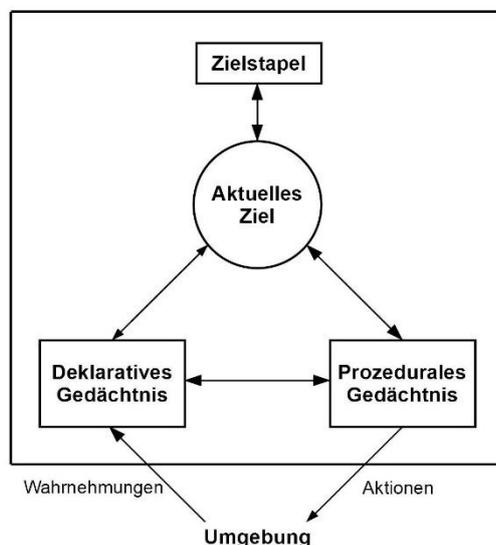


Abb. 1: ACT-R (Adaptive Control of Thought) Modell der menschlichen Kognition von J.R. Anderson (vgl. Wallach & Lebiere, 1998), stark vereinfachte Darstellung

2.3 Grundlagen der Datengewinnung mit Eye-Tracking Systemen

Obwohl Eye-Tracking bisher kein Standardverfahren in der empirischen Bildungsforschung ist, wird es in den letzten Jahren zunehmend sowohl als eine eigenständige Methode als auch in der

Kombination mit anderen Forschungsmethoden verwendet. Im Forschungsprojekt wird der Ansatz zur Verfolgung von Augenbewegungen genutzt, um exakte, bisher nur schwer zugängliche Informationen über die konstruktiven Lösungsprozesse auf der Ebene eines Individuums zu gewinnen. Im folgenden Kapitel werden die Grundlagen der visuellen Wahrnehmung sowie die für die Analyse von konstruktiven Lösungsprozessen relevanten Eye-Tracking Messgrößen dargestellt.

2.3.1 Visuelle Wahrnehmungen mit dem menschlichen Auge

Aufgrund der Besonderheit des Aufbaus des menschlichen Auges kann der Mensch visuelle Informationen nur in einem schmalen Bereich, der ca. 2° um die Sehachse beträgt, scharf wahrnehmen (foveal vision). Im restlichen Bereich des Sehfeldes, der etwa 160° um die Sehachse beträgt, ist nur eine grobe unscharfe schwarz-weiße Registrierung von Objekten möglich (peripheral vision) (vgl. Berghaus 2005, S. 83), Abb. 2.

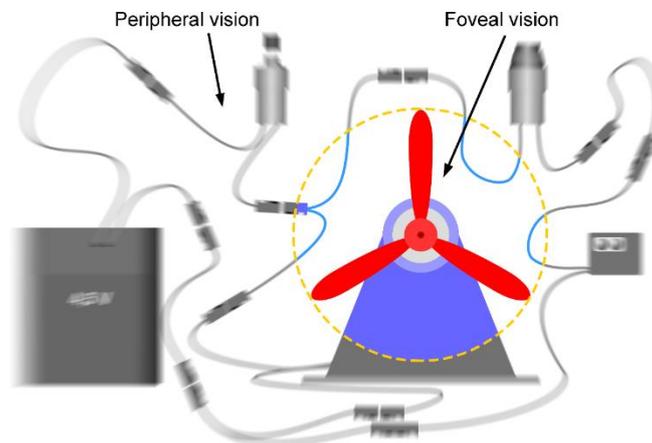


Abb. 2: Foveales und peripherales Sehfeld (eigene Darstellung)

Daher bewegt der Mensch das Auge, um ihn interessierende Gegenstände in den Bereich des fovealen Sehens zu bringen. Die Betrachtung eines interessierenden Gegenstandes erfolgt nach einem spezifischen Ablauf: Das Auge gleitet nicht kontinuierlich über das Gegenstand, sondern verharrt für eine Weile auf einem Detail, was als Fixation bezeichnet wird, wonach es mit einer hohen Geschwindigkeit zu dem nächsten springt (vgl. Berghaus 2005, S. 85). Jeder Augenbewegungsverlauf besteht somit mindestens aus drei Strukturkomponenten: 1. *den Fixationen*, also Fokussierung des Objektes im fovealen Bereich, 2. *den Sakkaden (zielsuchende Augenbewegungen)*, die das Auge zum nächsten Bereich, der fokussiert werden soll bringen und in einer Fixation enden, 3. *den Mikrobewegungen* des Auges, die den Überreiz des fovealen Bereiches verhindern (vgl. Geise, 2011, S. 167). In einer dynamischen Situation treten außerdem 4. *vestibuläre Augenbewegungen (stabilisierende Augenbewegungen)* auf. Physiologisch bedingt sind die visuellen Wahrnehmungen der Umgebung nur während der Fixationen möglich. Alle Augenbewegungen finden statt, um das interessierenden Gegenstand im fovealen Bereich zu fixieren (vgl. Duchowski 2003, S. 17).

2.3.2 Möglichkeiten und Grenzen der Interpretation von Eye-Tracking Daten

Vor der sensorischen Registrierung und Verarbeitung eines visuellen Reizes steht allerdings die visuelle Aufmerksamkeit (vgl. Geise 2011, S. 164). Unter der visuellen Aufmerksamkeit wird die grundsätzliche Bereitschaft des Probanden visuelle Informationen aus der Umwelt aufzunehmen verstanden (ebd.). Sie ist die Voraussetzung dafür, dass ein Proband sich aus einer großen Menge von unbewussten visuellen Informationen einer kleiner bewusstwerdenden Menge an Informationen zuwendet (ebd.). Dabei wird bei einer erhöhten Aufmerksamkeit auf einem Gegenstand die Aufmerksamkeit zu allen anderem unterdrückt, somit bietet das Eye-Tracking Anhaltspunkte zu den folgenden Fragen:

- Welche Inhalte die Probanden foveal fixieren, d.h. welche Inhalte für sie von besonderem Interesse sind;
- wie zeitlich intensiv sie sich diesen Inhalten zuwenden;
- in welcher zeitlichen und inhaltlichen Reihenfolge sich die Probanden den Inhalten zuwenden;
- zu welchen Inhalten keine visuelle Aufmerksamkeit besteht (vgl. Geise 2011, S. 161).

Das Eye-Tracking liefert hingegen keine Antworten auf die Fragen:

- Welche Inhalte die Probanden im extrafovealen Bereich wahrnehmen;
- warum sich die Probanden bestimmten Inhalten zuwenden und was sie dabei denken oder fühlen;
- welche emotionalen und kognitiven Prozesse dem Beobachten visueller Stimuli folgen (ebd.).

2.3.3 Eye-Tracking Messgrößen

Je nach gewähltem Eye-Tracking System erhält man eine beträchtliche Menge an unterschiedlichen Eye-Tracking Daten, die entsprechend dem Forschungsziel ausgewählt und weiterverarbeitet werden müssen. Nachfolgend werden die Eye-Tracking Messgrößen, die im Rahmen der hier vorgestellten Studie genutzt wurden, erläutert.

Fixationsort

Die wichtigsten Fixationsparameter stellen die vom eingesetzten Eye-Tracking System gemessenen Blickpunkte dar (vgl. Berghaus 2005, S. 105). Bei Nutzung der Cornea-Reflex-Methode sind die gemessenen Blickpunkte die einzelnen Corneareflexe, die nicht notwendigerweise mit einer Informationsaufnahme einhergehen (ebd.). Daher werden die Blickpunkte innerhalb eines bestimmten Radius zu einer Fixation verdichtet (ebd.). Somit ist der Fixationsort der Mittelwert der Blickbewegungskordinaten, die zu einer Fixation zusammengefasst sind (ebd.). Der Fixationsort kann in Grad Sehwinkel oder als Referenz zu einem Betrachtungsobjekt angegeben werden (ebd.). Er gibt an, welche Inhalte aus der Umwelt aufgenommen und somit einer weiteren Verarbeitung unterzogen werden könnten (ebd.).

Fixationshäufigkeit

Die Fixationshäufigkeit gibt die absolute Gesamtfixationszahl oder die absolute Fixationsanzahl bezüglich einzelnen Bereiche an (ebd.). Die Fixationszahl kann durch folgende Kenngrößen ausgedrückt werden:

- a) *Die absolute Fixationshäufigkeit eines Bereiches* gibt die Gesamtzahl der Fixationen an, die auf einen bestimmten Bereich entfallen. Die Fixationshäufigkeit wird als Maß für die aufgenommene Informationsmenge herangezogen. Eine große Anzahl an Fixationen deutet auf die Aufnahme vieler Informationen hin (vgl. Rötting 2001, S. 102–103). Bei Suchaufgaben können viele Fixationen ein Hinweis sein, dass Schwierigkeiten bei der Wahrnehmung bestehen, die sich beispielsweise durch die Gestaltung der Aufgabe, bzw. durch die Erfahrungen der Testperson ergeben (vgl. Rötting 2001, S. 102–103). Beim Vergleich der Fixationshäufigkeiten von mehreren Bereichen sind die relativen Fixationshäufigkeiten aussagekräftiger (vgl. Berghaus 2005, S. 108).
- b) *Die relative Fixationshäufigkeit eines Bereiches* beschreibt wie oft ein Bereich fixiert wird relativ zu der Gesamtfixationszahl (vgl. Berghaus 2005, S. 108). Die Interpretationsmöglichkeiten sind analog zur absoluten Fixationshäufigkeit.
- c) *Die Fixationen eines Bereiches pro Zeiteinheit* wird als Quotient von Fixationszahl in einem Bereich und der Gesamtzeit dieses Bereiches definiert (ebd.). Interpretiert wird die Fixation pro Zeiteinheit als ein Maß für die relative Wichtigkeit des fixierten Bereiches (ebd.).

Fixationsdauer

Einer Fixation folgt immer eine Sakkade und daher wird die Fixationsdauer als Differenz zwischen dem Ende vorheriger und dem Anfang der folgenden Sakkade definiert (vgl. Rötting 2001, S. 106–107). Da während einer Sakkade keine Informationsaufnahme möglich ist, findet die Informationsaufnahme ausschließlich während der Fixationen statt und somit wird die Fixationsdauer oft als Bearbeitungsdauer der betrachteten Information interpretiert (vgl. Rötting 2001, S. 109). In den Theorien werden zwei Fixationstypen unterschieden: Suchfixationen, die im Durchschnitt eine Länge von ca. 100–300 ms aufweisen und Verarbeitungsfixationen, deren durchschnittliche Dauer länger als 300 ms ist (vgl. Berghaus 2005, S. 109). Mithilfe der Unterschiede in der Fixationsdauer können Aussagen in Bezug auf die stimulispezifische und probandspezifische Informationsaufnahme und -verarbeitung gemacht werden (ebd.). Bezüglich der Informationsaufnahme gibt die Fixationsdauer Aufschluss über die Intensität der Informationsaufnahme, außerdem kann eine lange Fixation auf Schwierigkeiten bei der Aufnahme und Interpretation von Informationen hindeuten (ebd.). Ein empfundener Zeitdruck kann wiederum zu einer beschleunigten Informationsaufnahme führen, was sich durch eine kürzere Fixationsdauer äußert (ebd.). Hinsichtlich der stimulispezifischen Merkmale nimmt die Fixationsdauer zu, je auffälliger ein Stimulus gestaltet ist (ebd.). Außerdem können lange Fixationen auf ein schlechtes Layout oder einen hohen Informationsgehalt des Stimulus hindeuten (ebd.). In Bezug auf die probandspezifischen Merkmale können die Unterschiede in der Fixationsdauer Hinweise auf das kognitive Leistungsniveau und Erfahrungen der Testperson geben (ebd.). Die Fixationsdauer kann durch folgende Kenngrößen ausgedrückt werden:

- a) *Die absolute Fixationsdauer eines Bereiches* ist als die Summe über alle Fixationszeiten in einem Bereich definiert (vgl. Berghaus 2005, S. 111).
- b) *Die relative Fixationsdauer eines Bereiches* ist als Quotient aus absoluter Fixationsdauer eines Bereiches und der gesamten Fixationsdauer über alle Bereiche definiert (ebd.).

3 Forschungsdesign

Im ersten Abschnitt dieses Kapitels wird das Studiendesign und die gewählte Forschungsmethode vorgestellt. Danach erfolgen die Darstellung der gewählten konstruktiven Problemstellung und die

Durchführung der Studie im Überblick. Zu Details des Studiendesigns sowie der Studiendurchführung siehe in (Esau & Fletcher 2018, S. 70–73).

3.1 Studiendesign und forschungsmethodischer Zugang

Das hier vorgestellte Projekt dient der Erforschung von konstruktiven Problemlöseprozessen auf der Ebene von Problemlösenden und ist als eine zweiteilige *explorative* Studie angelegt. Im ersten Teil der Studie wurden mögliche Lösungsstrategien, die Schüler/-innen zum Lösen eines konstruktiven Problems wählen, ermittelt (vgl. Esau & Fletcher 2018, S. 70–73). Im zweiten Teil der Studie wurden Unterschiede zwischen erfolgreichen und weniger erfolgreichen Schüler/-innen beim Bearbeiten konstruktiver Probleme auf Basis der Analyse von Eye-Tracking Daten mit dem Ziel der Generierung von Hypothesen erforscht. Der vorliegende Beitrag beschränkt sich auf die Darstellung des letzten Aspektes.

Da bisher nur wenige Erkenntnisse über die komplexen Informationsverarbeitungsprozesse beim Lösen eines konstruktiven Problems aus dem Bereich der Entwicklung von einfachen elektrotechnischen Schaltungen vorliegen, wurde die zweite Teilstudie als eine *explorative* Studie angelegt. Hierbei werden sowohl qualitative als auch quantitative Forschungsmethoden im Sinne des Mixed-Method-Ansatzes genutzt. In diesem Teil der Studie wurde der Ansatz der Verfolgung von Augenbewegungen zum exakten Erfassen von Problemlöseprozessen genutzt, wobei sowohl quantitative als auch qualitative Prozessdaten erhoben wurden. Durch den anatomischen Aufbau des menschlichen Auges kann der Mensch nur in einem kleinen Bereich von ca. 2° scharf sehen. Um die Informationen aus der Umgebung aufzunehmen, muss der Mensch die ihn interessierenden Szenen im Bereich des scharfen Sehens fixieren. Daher stellen Fixationen die wichtigste Eye-Tracking Messgröße dar, die in diesem Teil des Projektes von Interesse ist.

Zur Datenerhebung wurde ein mobiles Eye-Tracking-Dark-Pupil-System von Tobii, welches mit einer Frequenz von 100 Hz arbeitet und mit einem Tonaufnehmer ausgestattet ist, eingesetzt. Die Frequenz, mit der das ausgewählte System arbeitet, ist vollkommen ausreichend, um die typischen Fixationen, die eine Fixationsdauer zwischen 100 und 1000 ms haben, zu erfassen. Mithilfe des genutzten Eye-Tracking Systems konnten sowohl die Daten über die aufgenommenen Informationen und ausgeführten Handlungen des Probanden beim Lösen eines konstruktiven Problems als auch die dazugehörigen auditiven Informationen, die durch die Aufforderung von Probanden zum lauten Denken entstanden sind, erfasst werden.

3.2 Gewählte konstruktive Problemstellung und Studiendurchführung

In der hier dargestellten Teilstudie mussten Schüler/-innen ein konstruktives Problem aus dem Bereich der Elektrotechnik lösen. Das Aufgabesetting wurde so gestaltet, dass die Probanden alle in dem ACT-R Modell postulierten kognitiven Prozesse ausführen konnten. Die Problemstellung bestand darin eine einfache elektrische Schaltung zu konstruieren, die bestimmte Funktionen erfüllt, was gemäß der ACT-R Theorie als *Zielvorgabe* anzusehen ist. Als Hilfsmaterialien erhielten die Probanden Informationstabellen, die als *deklarative Wissens Elemente* und Problemlösungsoperatoren (Hilfestellung), die als *prozedurale Wissens Elemente* zu betrachten sind. Außerdem bekamen die Schüler/-innen reale elektrische Komponenten, mit welchen *Aktionen auf realer Ebene* ausgeführt werden konnten. Der Informationsteil umfasste Abbildungen von unterschiedlichen elektrischen Komponenten, eine kurze Erklärung deren Funktionsweise sowie die Darstellung von Schaltsymbolen dieser Komponenten. Um den Lösungsraum des Problems zu vergrößern, wurden

in den Tabellen sowohl die elektrischen Komponenten, die zum Lösen des Problems notwendig sind als auch solche, die zu keiner sinnvollen Lösung benötigt werden, dargestellt. Die Hilfestellung wurde in Form eines Diagramms erstellt und beinhaltet abstrakt formulierte Problemlöseoperatoren, deren Ausführung helfen sollte, eine Lösung für das Problem zu finden. Alle in dem

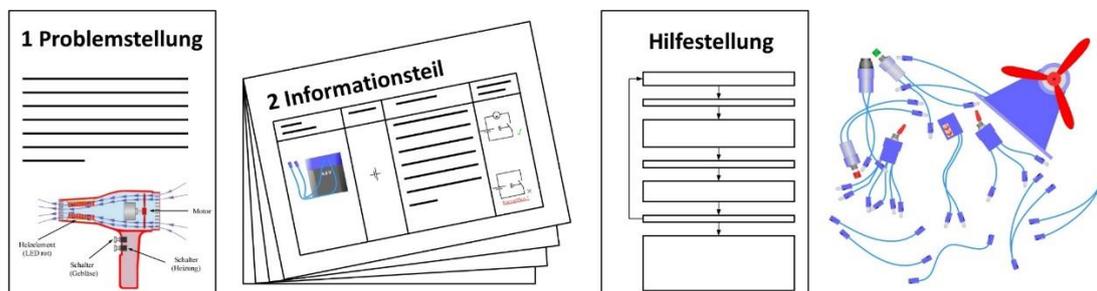


Abb. 3: Arbeitssetting, die Schüler/-innen zum Lösen eines konstruktiven Problems erhalten (eigene Darstellung)

Informationsteil dargestellten elektrischen Komponenten wurden den Probanden auch als reale elektrische Bauteile angeboten, sodass es möglich war die Lösung des Problems sowohl theoretisch, durch das Zeichnen eines Schaltplans (*Aktionen auf symbolischer Ebene*), als auch praktisch durch das Zusammenstecken von den realen Komponenten (*Aktionen auf realer Ebene*) zu entwickeln. Die Schüler/-innen wurden darauf hingewiesen, dass sie frei in der Entscheidung sind, welche der vorgegebenen Materialien sie zum Lösen des Problems nutzen (vgl. Esau & Fletcher 2018, S. 70–73). Das vollständige Aufgabesetting ist schematisch in Abb. 3 dargestellt.

Die Testpersonen wurden willkürlich aus den jeweiligen Klassen ausgewählt und mussten einzeln in separaten Räumen das konstruktive Problem bearbeiten. Zunächst wurde den Probanden die Eye-Tracking-Brille aufgesetzt und kalibriert, wonach eine kurze Arbeitsanweisung sowie eine Einweisung in das laute Denken erfolgten. Die Schüler/-innen hatten dann 40 Minuten Bearbeitungszeit, um das konstruktive Problem zu lösen, die genaue Beschreibung der gesamten Studie siehe Esau und Fletcher (2018, S. 72–73).

3.3 Bewertung der Lösungsergebnisse

Die konstruktive Problemstellung wurde so formuliert, dass die Schüler/-innen die Möglichkeit hatten das Problem praktisch, durch das Aufbauen des elektrischen Schaltkreises, bzw. theoretisch durch das Erstellen eines elektrischen Schaltplans, zu lösen. Für den praktischen Aufbau der Schaltung bzw. für die theoretische Lösung (Zeichnung des Schaltplans) bekamen die Probanden *vier Punkte*, wenn die Schaltung alle in der Aufgabenstellung geforderten Funktionen erfüllt und keine überflüssigen elektrischen Komponenten enthält. *Drei Punkten* erhielten die Testpersonen, wenn sie die Schaltungslogik richtig erkannt *und* alle Komponenten richtig ausgewählt haben. Außerdem bekamen die Probanden *drei Punkte*, wenn sie eine Schaltung entwickelt haben, die die in der Aufgabenstellung beschriebenen Funktionen vollständig erfüllt, aber in der nicht alle Komponenten optimal gewählt worden sind. Für eine Lösung, in der entweder die Schaltungslogik richtig erkannt wurde *oder* die Komponenten richtig ausgewählt wurden, gab es *zwei Punkte*. *Ein Punkt* gab es für einen geschlossenen Schaltkreis, in jedem anderen Fall wurde *kein Punkt* vergeben.

4 Analysemethodik

In diesem Kapitel wird die Kategorisierung der Lösungsprozesse mithilfe von Area of Interest (AOIs) sowie die ausgewählten Eye-Tracking Messgrößen als Indikatoren für die Analyse der Informationsverarbeitungsprozesse beschrieben.

4.1 Kategorisierung der Informationsverarbeitungsprozesse mithilfe von Areas of Interest (AOIs)

Um die Analyse der konstruktiven Problemlöseprozesse vornehmen zu können, müssen zunächst sinnvolle Kategorien gebildet werden. Da Informationen aus der Umwelt nur während einer Fixation aufgenommen werden können, stellen die den Fixationen zugeordneten Fixationsorte den Ausgangspunkt für die Kategoriebildung dar. Die einzelnen Fixationsorte werden zu sinnstiftenden Einheiten im Sinne einer Kategorie mit Bezug auf ACT-R Theorie zusammengefasst und bilden somit die sogenannten Areas of Interest (AOIs). Im Weiteren werden AOI und Kategorie als synonyme Begriffe genutzt. Die Analyse von Lösungsprozessen kann auf unterschiedlichen Auflösungsstufen der Informationsverarbeitung erfolgen, wobei ein sinnvoller Auflösungsgrad für die Analyse gefunden werden muss (vgl. Esau & Fletcher 2018, S. 74–75). Die größte Auflösung bietet die Makroebene, wobei lediglich zwischen zwei AOIs unterschieden wird: zwischen der Informationsaufnahme und den ausgeführten Handlungen (ebd.). Die Mesoebene stellt eine detailliertere Auflösung dar (ebd.). Die Informationsaufnahme wird hier in drei weiteren AOIs unterteilt: Informationsaufnahme über die Zielvorgabe, über deklarative oder prozedurale Wissens-elemente (ebd.). Die Handlungen werden in Handlungen auf realer oder symbolischer Ebene weiter differenziert (ebd.). Es sind noch detailreichere Auflösungen möglich, allerdings wird mit dem zunehmenden Auflösungsgrad eine eindeutige Zuordnung zu den entsprechenden Kategorien schwieriger bis unmöglich (ebd.).

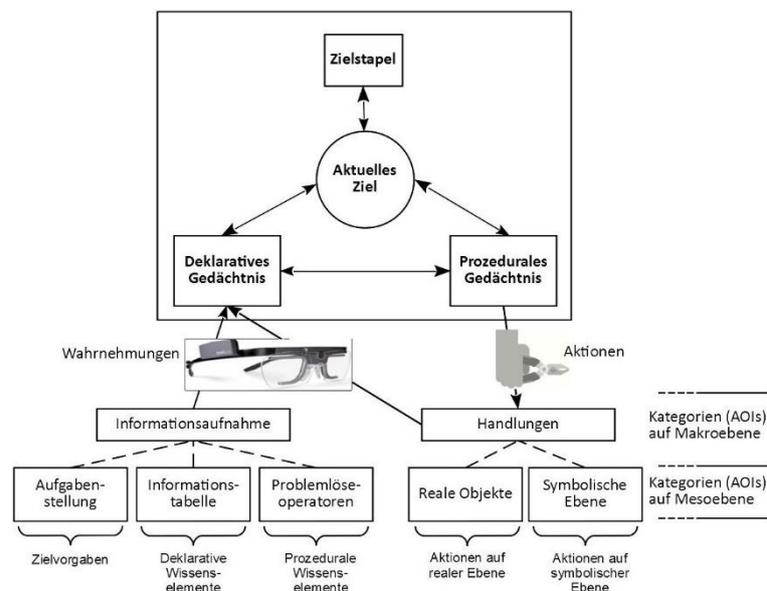


Abb. 4: Konstruktives Problemlösen als Informationsverarbeitungsprozess (eigene Darstellung)

Im hier vorgestellten Beitrag werden die Eye-Tracking Daten auf der Mesoebene analysiert, wobei auf die interne Informationsverarbeitung nicht näher eingegangen wird. Eine bildhafte Veranschaulichung der Kategorien mit der Zuordnung zu den entsprechenden Analyseebenen ist in Abb. 4 zu sehen, wobei die Eye-Tracking Brille eine Schnittstelle zwischen der aus der Umwelt aufgenommenen Informationen und dem kognitiven Inneren darstellt.

4.2 Ausgewählte Eye-Tracking Messgrößen als Indikatoren für die Analyse der Informationsverarbeitungsprozesse

Im Rahmen der Studie wurden die drei Messgrößen: *Fixationsort*, *Fixationshäufigkeit* und *Fixationsdauer* als wesentliche Indikatoren zur Analyse ausgewählt.

Fixationsort

In Bezug auf die konstruktiven Problemlöseprozesse werden die Fixationsorte als Referenz zu den gemäß der ACT-R Theorie vordefinierten Kategorien (AOI) angegeben. Auf der Mesoebene wird zwischen den fünf Fixationsorten: Aufgabenstellung (AS), Informationstabellen (IT), Problemlöseoperatoren (PLO), reale Objekte (RO) und symbolische Ebene (SE) unterschieden. Die Variable Fixationsort gibt an, welche AOIs für die Testperson vom Interesse waren und welche gar keine Aufmerksamkeit auf sich gezogen haben (vgl. Kap. 2.3.3 Eye-Tracking Messgrößen). In der Tobii Lab Analysesoftware wurden alle Fixationen durch das Setzen von Markern den entsprechenden AOIs zugeordnet und zusammen mit den dazugehörigen Zeiten exportiert.

Fixationshäufigkeit und Fixationsdauer

Um die Unterschiede zwischen den AOIs verdeutlichen zu können, werden relative Fixationshäufigkeiten und Fixationsdauern sowie die Fixationshäufigkeit pro Zeiteinheit ermittelt. Die relativen Größen werden in Bezug auf den gesamten Lösungsprozess berechnet. Außerdem wird zwischen den zwei Fixationstypen: Suchfixationen (Fixationsdauer ≤ 300 ms) und Verarbeitungsfixationen (Fixationsdauer > 300 ms) differenziert.

5 Ergebnisse

Durch den Einsatz der Eye-Tracking Technologie wurde eine sehr große Anzahl von unterschiedlichen Daten generiert. In dem folgenden Abschnitt wird eine Auswahl der zentralen Ergebnisse aus den Eye-Tracking Analysen dargestellt. Darauf aufbauend werden ersten Hypothesen generiert.

5.1 Deskriptive Ergebnisse

Stichprobenbeschreibung

Insgesamt wurden 38 SuS¹ getestet, wovon aufgrund von unterschiedlichen Bedingungen nur 30 Probanden ausgewertet werden konnten. Die Zusammensetzung der Stichprobe ist in Abb. 5 dargestellt, wobei M für die männlichen und W für die weiblichen Probanden steht.

1 Vier aus 38 Probanden wurden an einer Schule im Vereinigten Königreich getestet.

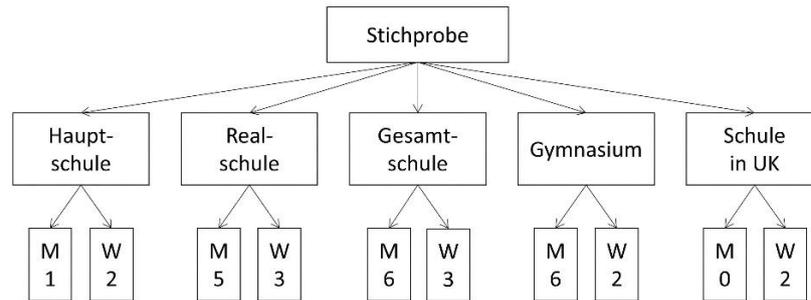


Abb. 5: Zusammensetzung der Stichprobe (eigene Darstellung)

Von den 30 Probanden lösten zwei Probanden das gestellte konstruktive Problem sowohl theoretisch als auch praktisch vollständig (vier Punkte). Ein Schüler löste das Problem vollständig theoretisch und ein weiterer vollständig praktisch. Sechs Probanden erhielten keine Punkte weder für eine theoretische noch für eine praktische Lösung. Acht Schüler/-innen bekamen für die Lösung einen Punkt. Sechs Schüler/-innen erreichten zwei und die weiteren sechs drei Punkte.

Relative Fixationshäufigkeit und relative Fixationsdauer

Aus den Eye-Tracking Daten wurden mithilfe der Statistiksoftware R Mittelwerte für die relativen Fixationshäufigkeiten und Fixationsdauer auf der Mesoebene sowohl für die gesamte Stichprobe als auch für die erfolgreichen und weniger erfolgreichen Schüler/-innen berechnet (siehe Abb. 6 bis Abb. 8). Vergleicht man die relative Fixationshäufigkeit und relative Fixationsdauer der gesamten Stichprobe, Abb. 6, so stellt man fest, dass die beiden Variablen den gleichen qualitativen Verlauf haben. So zeigt sowohl die Variable relative Fixationshäufigkeit als auch die Variable relative Fixationsdauer, dass die Probanden sich am meisten mit der AOI Reale Objekte (RO) befasst haben und am wenigsten mit der AOI Problemlöseoperatoren (PLO). Die zweit wichtigste AOI war Informationstabellen (IT), gefolgt von Aufgabenstellung (AS) und Symbolische Ebene

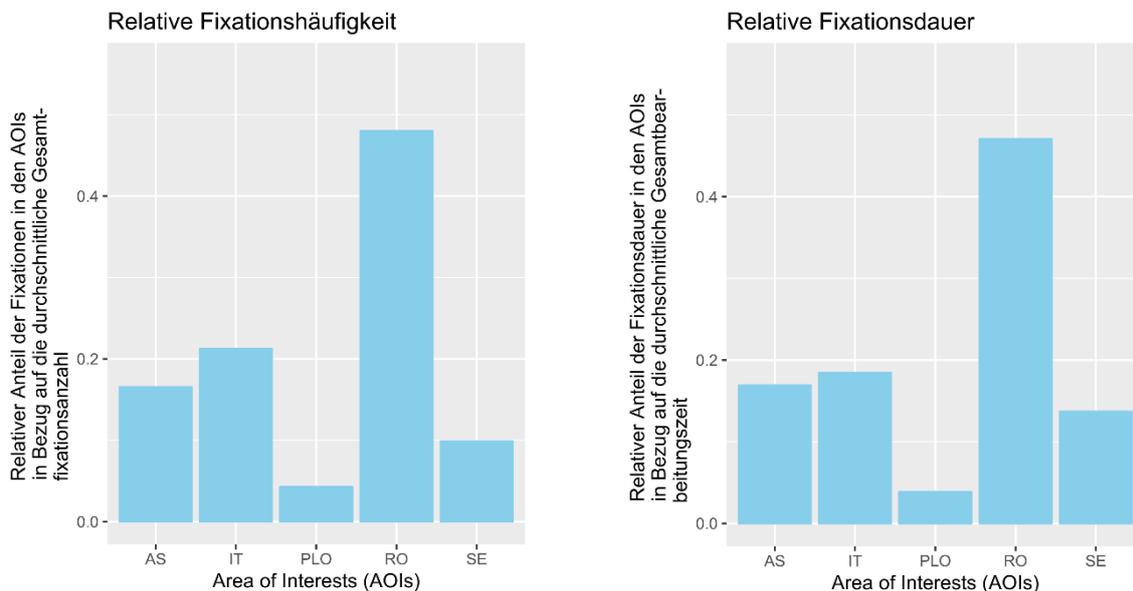


Abb. 6: Mittlere relative Fixationshäufigkeit (links) und mittlere relative Fixationsdauer (rechts) über die gesamte Stichprobe auf der Mesoebene der Informationsverarbeitung, wobei AS \equiv Aufgabenstellung, IT \equiv Informationstabellen, PLO \equiv Problemlöseoperatoren, RO \equiv reale Objekte, SE \equiv symbolische Ebene

(SE). Die Fixationshäufigkeit ist ein Maß für die aufgenommene Menge der Information und die Fixationsdauer ein Maß für die Verarbeitungsdauer der aufgenommenen Information. Entsprechend zeigt die Analyse der beiden Variablen, dass im statistischen Mittel über alle Fixationen die Verteilung über die AOIs vergleichbar ist. Bei einer Differenzierung in die erfolgreichen und weniger erfolgreichen Probanden, zeigen sich Unterschiede mit Bezug auf die Variablen in jedem AOI (siehe Abb. 7 und Abb. 8), wobei sich die beiden Variablen auch hier tendenziell gleich verhalten. Am deutlichsten sind die Unterschiede zwischen den Probandengruppen in den AOIs Symbolische Ebene (SE) und Informationstabellen (IT). Wobei die Unterschiede zwischen den erfolgreichen und weniger erfolgreichen Probanden in den beiden Variablen im Mittel qualitativ gleich sind. So zeigt sich, dass die erfolgreichen Schüler/-innen sich mehr mit Aufgabenstellung (AS) und Symbolische Ebene (SE) befasst haben, als die weniger erfolgreichen. In den drei weiteren AOIs: Informationstabellen (IT), Problemlöseoperatoren (PLO), Reale Objekte (RO) agierten hingegen mehr die weniger erfolgreichen Probanden.

Die Fixationshäufigkeit pro Zeiteinheit (pro Minute) einer AOI ist nach Berghaus ein Maß für relative Wichtigkeit dieser AOI (vgl. Berghaus 2005, S. 108). Beim Vergleichen der Fixationszahl pro Zeiteinheit jeder AOI fällt auf, dass die erfolgreichen Schüler/-innen in jeder AOI bis auf Symbolische Ebene (SE) eine höhere relative Wichtigkeit aufweisen (siehe Abb. 9). Besonders interessant ist hier die Tatsache, dass obwohl die erfolgreichen Schüler/-innen sowohl eine geringere Fixationshäufigkeit als auch eine geringere Fixationsdauer in den AOIs Informationstabellen (IT), Problemlöseoperatoren (PLO) und Reale Objekte (RO) zeigen, die relative Wichtigkeit in allen diesen AOIs deutlich höher ist als bei den weniger erfolgreichen Probanden, was darauf hindeutet, dass die erfolgreichen Schüler/-innen mehr Informationen pro Zeiteinheit aufnehmen. Für die erfolgreichen Probanden ist die relative Wichtigkeit am höchsten in der AOI Informationstabellen (IT), für die weniger erfolgreichen in den AOIs Informationstabellen (IT) und Problemlöseoperatoren (PLO). Obwohl Testpersonen beider Gruppen sich am wenigsten mit der AOI Problemlöseoperatoren (PLO) befasst haben, ist ihre relative Wichtigkeit im Vergleich zu den anderen AOIs hoch.

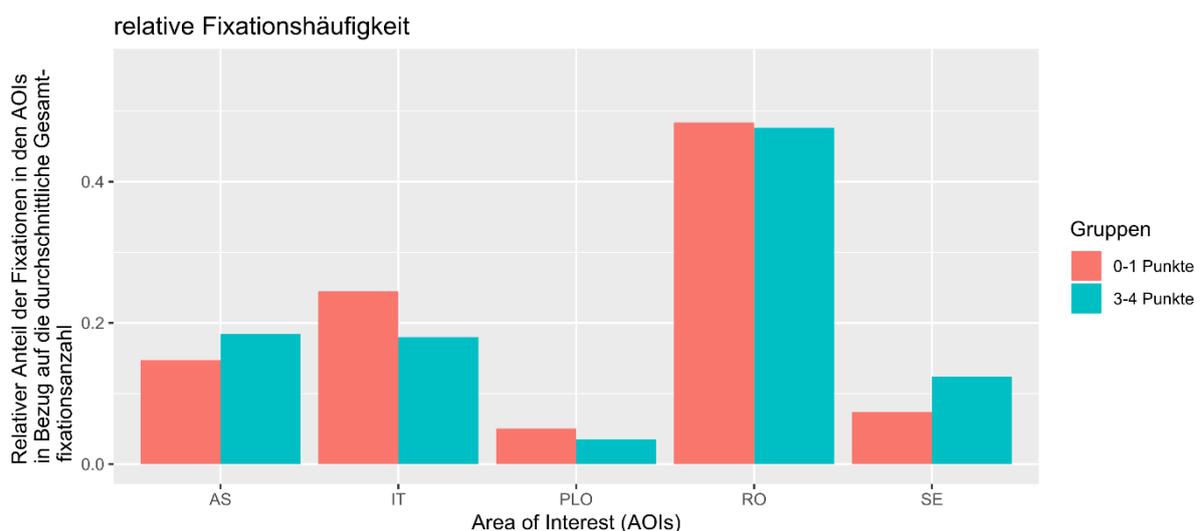


Abb. 7: Relative Fixationshäufigkeit für die erfolgreiche (türkis) und weniger erfolgreiche (rot) Schüler/-innen auf der Mesoebene der Informationsverarbeitung, wobei AS \equiv Aufgabenstellung, IT \equiv Informationstabellen, PLO \equiv Problemlöseoperatoren, RO \equiv reale Objekte, SE \equiv symbolische Ebene

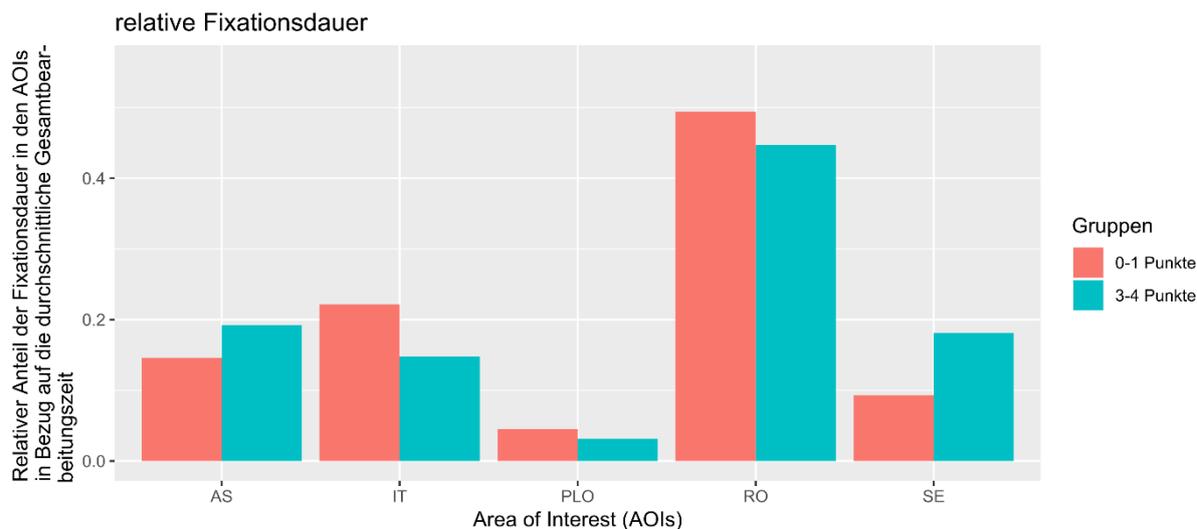


Abb. 8: Relative Fixationsdauer für die erfolgreiche (türkis) und weniger erfolgreiche (rot) Schüler/-innen auf der Mesoebene der Informationsverarbeitung, wobei AS \equiv Aufgabenstellung, IT \equiv Informationstabellen, PLO \equiv Problemlöseoperatoren, RO \equiv reale Objekte, SE \equiv symbolische Ebene

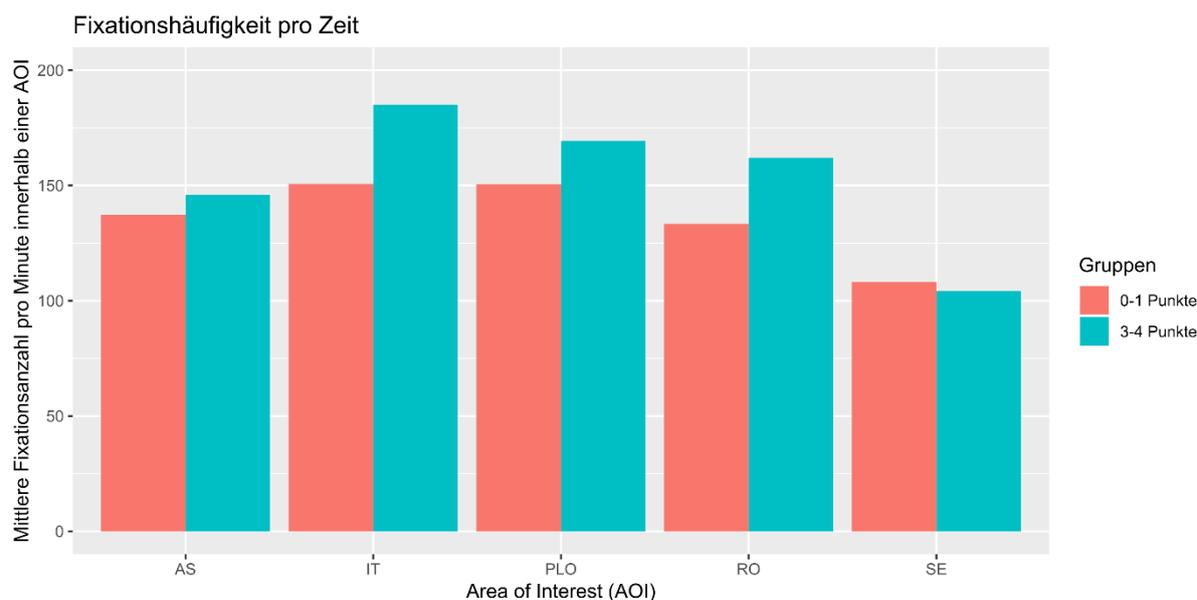


Abb. 9: Fixationsanzahl pro Zeit der jeweiligen AOIs für erfolgreiche und weniger erfolgreiche Schüler/-innen auf der Mesoebene der Informationsverarbeitung, wobei AS \equiv Aufgabenstellung, IT \equiv Informationstabellen, PLO \equiv Problemlöseoperatoren, RO \equiv reale Objekte, SE \equiv symbolische Ebene

Bei einer Differenzierung der Fixationsdauer in Suchfixationen (≤ 300 ms) und Verarbeitungsfixationen (> 300 ms) ist festzustellen, dass die erfolgreichen Schüler/-innen mehr Suchfixationen und somit weniger Verarbeitungsfixationen ausführen, als die weniger erfolgreichen, siehe Abb. 10.

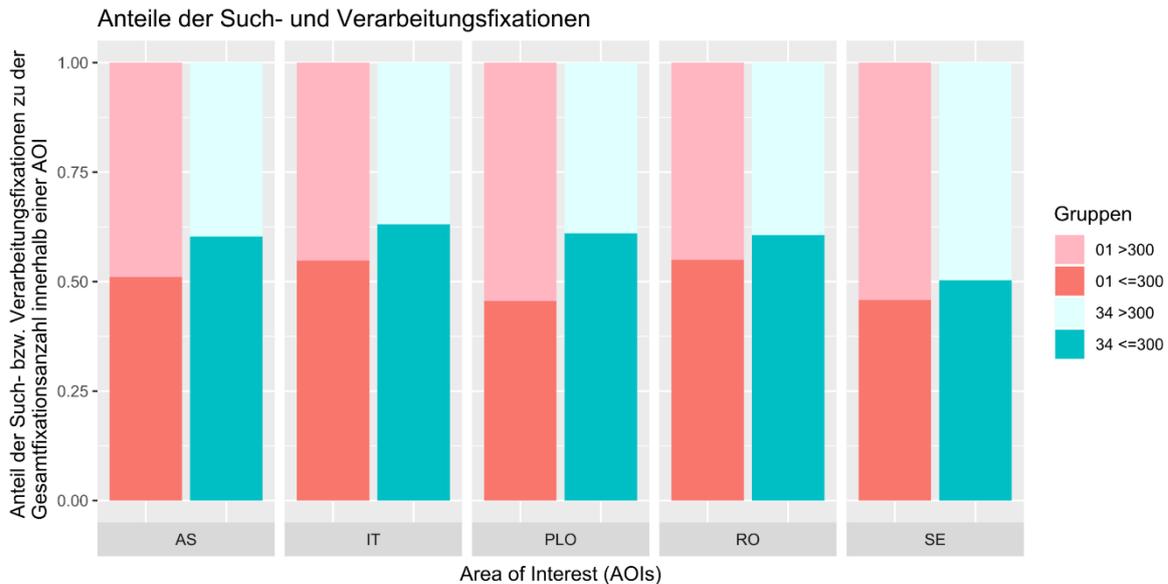


Abb. 10: : Relative Fixationshäufigkeiten unterteilt in Suchfixationen (≤ 300 ms) und Verarbeitungsfixationen (> 300 ms) für erfolgreichen und weniger erfolgreichen Schüler/-innen auf der Mesoebene der Informationsverarbeitung, wobei AS \equiv Aufgabenstellung, IT \equiv Informationstabellen, PLO \equiv Problemlöseoperatoren, RO \equiv reale Objekte, SE \equiv symbolische Ebene

5.2 Hypothesen

Basierend auf der Analyse von Eye-Tracking Daten im Kap. 5.1 konnten folgenden Unterschiedshypothesen generiert werden:

H1: Sowohl die erfolgreichen als auch weniger erfolgreichen Schüler/-innen haben die höchste Bearbeitungsdauer in der AOI reale Objekte.

H2: Sowohl die erfolgreichen als auch weniger erfolgreichen Schüler/-innen haben die geringste Bearbeitungsdauer in der AOI Problemlöseoperatoren

H3: Die erfolgreichen Schüler/-innen haben eine höhere Bearbeitungsdauer in der AOI Aufgabenstellung als die weniger erfolgreichen.

H4: Die erfolgreichen Schüler/-innen haben eine höhere Bearbeitungsdauer in der AOI symbolische Ebene als die weniger erfolgreichen.

H5: Die erfolgreichen Schüler/-innen haben eine geringere Bearbeitungsdauer in der AOI Informationstabellen als die weniger erfolgreichen.

H6: Die erfolgreichen Schüler/-innen haben eine geringere Bearbeitungsdauer in der AOI Problemlöseoperatoren als die weniger erfolgreichen.

H7: Die erfolgreichen Schüler/-innen haben eine geringere Bearbeitungsdauer in der AOI realen Objekten als die weniger erfolgreichen.

H8: Die erfolgreichen Schüler/-innen nehmen mehr Information aus der AOI Aufgabenstellung auf als die weniger erfolgreichen.

H9: Die erfolgreichen Schüler/-innen nehmen weniger Information aus der AOI Informationstabellen als die weniger erfolgreichen.

H10: Die erfolgreichen Schüler/-innen nehmen weniger Information aus der AOI Problemlöseoperatoren auf als die weniger erfolgreichen.

H11: Die erfolgreichen Schüler/-innen haben eine höhere relative Wichtigkeit in der AOI Aufgabenstellung als weniger erfolgreichen.

H12: Die erfolgreichen Schüler/-innen haben eine höhere relative Wichtigkeit in der AOI Informationstabellen als weniger erfolgreichen.

H13: Die erfolgreichen Schüler/-innen haben eine höhere relative Wichtigkeit in der AOI Problemlöseoperatoren als weniger erfolgreichen.

H14: Die erfolgreichen Schüler/-innen haben eine höhere relative Wichtigkeit in der AOI reale Objekte als weniger erfolgreichen.

H15: Die erfolgreichen Schüler/-innen haben eine geringere relative Wichtigkeit in der AOI symbolische Ebene als weniger erfolgreichen.

H16: Die erfolgreichen Schüler/-innen haben einen höheren Anteil der Suchfixationen in dem gesamten Lösungsprozess als die weniger erfolgreichen.

6 Diskussion

Mithilfe der Eye-Tracking Technologie konnten erste Einblicke in die sonst nur schwer zugänglichen Lösungsprozesse beim Bearbeiten von einem konstruktiven Problem auf der Ebene von einzelnen Schüler/-innen ermöglicht werden. Aus den gewonnenen Eye-Tracking Daten wurde als ein entscheidender Indikator für die Informationsverarbeitungsprozesse beim Problemlösen die Fixation gewählt und die damit verbundenen Variablen: relative Fixationshäufigkeit, relative Fixationsdauer, Fixationshäufigkeit pro Zeiteinheit sowie relative Häufigkeit von Such- und Verarbeitungsfixationen analysiert. Um Unterschiede in den Lösungsprozessen herauszufinden wurde die Stichprobe in die erfolgreichen und weniger erfolgreichen Schüler/innen mithilfe eines modifizierten Mediansplits unterteilt. Eine ausführliche Diskussion der Qualitätskriterien der Datenaufnahme und Datenanalyse sind in Esau und Fletcher (2018, S. 70–73) dargestellt.

Anhand der gewonnen Daten ist ersichtlich, dass sich sowohl die Menge der aufgenommenen Information als auch die Verarbeitungsdauer von AOI zu AOI stark unterscheiden. Diese Variablen sind in der AOI Reale Objekte (RO) bei beiden Probandengruppen am größten und in der AOI Problemlöseoperatoren (PLO) am geringsten ausgeprägt. Obwohl die Nutzung von den realen Objekten (RO) für die Entwicklung einer Lösung nicht erforderlich war, wurde in dieser AOI am meisten gearbeitet. Daraus lässt sich schließen, dass Schüler/-innen eine handlungsorientierte Vor-

gehensweise beim konstruktiven Problemlösen vorziehen. Nur einige wenigen Probanden entwickelten die Lösung rein theoretisch ohne die Nutzung der zur Verfügung gestellten realen Bauelemente. Die Problemlöseoperatoren (PLO) lagen in Form eines abstrakten Diagramms vor, was vermutlich der Grund dafür ist, dass diese nur wenig genutzt wurden. Eine Datenanalyse mit höherem Auflösungsgrad könnte hierzu Aufschlüsse liefern, warum genau die Problemlöseoperatoren (PLO) von den Schüler/-innen nur wenig genutzt wurden.

Hingegen unterscheiden sich die Anteile zwischen Such- und Verarbeitungsfixationshäufigkeiten innerhalb einer Probandengruppe (erfolgreiche / weniger erfolgreiche) in den unterschiedlichen AOIs nur wenig. Der Anteil der Suchfixationen beträgt in etwa 50 % bezogen auf die einzelnen AOIs. Dies bedeutet, dass die Art der Informationsquelle bzw. die Art der Handlungskontrolle keine Bedeutung für Informationsverarbeitungsprozesse hat. Dabei ist zu bedenken, dass in der Literatur unterschiedliche Größen für die Einteilung in Such- und Verarbeitungsfixationen genannt werden. In dem hier dargestellten Projekt wurde die Grenze für Suchfixationen mit 300 ms angenommen. Insgesamt wurde eine große Bandbreite (von 100 bis mehr als 1500 ms) für die Fixationsdauer gemessen. Es stellt sich die Frage, ob es individuelle Unterschiede in der Fixationsdauer gibt und inwieweit sich die Ergebnisse ändern, wenn man einen anderen Grenzwert für die Einteilung annimmt. Wenig unterscheiden sich auch die Werte der Variable Fixationshäufigkeit pro Zeit zwischen den AOIs innerhalb einer Probandengruppe. Diese Variable wird in der Literatur als Indikator für die relative Wichtigkeit des entsprechenden Bereichs interpretiert (vgl. Berghaus 2005, S. 108). Entsprechend der Einheit (Fixationshäufigkeit pro Zeit) dieser Messgröße könnte die Variable auch als Geschwindigkeit der Informationsaufnahme bzw. Handlungskontrolle interpretiert werden. Besonders wenig unterscheidet sich die Geschwindigkeit der Informationsaufnahme innerhalb einer Probandengruppe in den AOIs Informationstabellen (IT), Problemlöseoperatoren (PLO) und Reale Objekte (RO), wobei diese drei AOIs in sehr unterschiedlichen Formen vorliegen. Auch hier lässt sich feststellen, dass die Art der Informationsquelle bzw. Handlungskontrolle so gut wie keinen Einfluss auf die Geschwindigkeit der Informationsaufnahme bzw. Handlungskontrolle hat.

Die wichtigste Erkenntnis der Datenanalyse ist, dass die erfolgreichen Schüler/-innen sich in allen untersuchten Variablen von weniger erfolgreichen unterscheiden. Da das gleiche Setting für alle Probanden verwendet wurde, sind die Unterschiede nicht auf stimulispezifische Merkmale zurückzuführen, sondern sprechen für probandenspezifische Merkmale. Es ist entsprechend davon auszugehen, dass die erfolgreichen Schüler/-innen grundsätzlich eine andere Art der Informationsverarbeitung haben, als die weniger erfolgreichen.

In Bezug auf die Menge der Informationsaufnahme und Verarbeitungsdauer liegen die Unterschiede zwischen den zwei Probandengruppen im Bereich von 2 bis 10%. Die erfolgreichen Schüler/-innen zeigen höhere Werte in AOIs Aufgabenstellung (AS) sowie Symbolische Ebene (SE) und die weniger erfolgreichen höhere Werte insbesondere in der AOI Informationstabellen (IT). Somit befassten sich die erfolgreichen Schüler/-innen intensiver mit der Aufgabenstellung, was die bekannte didaktische Erfahrung bestätigt, dass eine gründliche Auseinandersetzung mit der Aufgabenstellung beim Problemlösen für den Erfolg von großer Bedeutung ist. Dass die erfolgreichen Schüler/-innen sich weniger intensiv mit Informationstabellen (IT) und Problemlöseoperatoren (PLO) befasst haben, kann darauf hindeuten, dass sie weniger Zusatzinformation benötigen haben auf Grund eines höheren fachspezifischen Vorwissens. Die Unterschiede in der Auseinandersetzung mit Realen Objekten (RO) fallen deutlich geringer aus. Das liegt vermutlich daran, dass der Umgang mit den konkreten Bauelementen für beide Gruppen neu war und keine der Probanden auf Vorkenntnisse zurückgreifen konnte. Der geringere Anteil in AOI Symbolische Ebene (SE) bei den weniger erfolgreichen Schüler/-innen kann dadurch erklärt werden, dass diese aufgrund der misslungenen Lösung oft nicht versucht haben eine Lösungsskizze zu erstellen.

Des Weiteren haben die erfolgreichen Schüler/innen eine höhere Informationsaufnahme- bzw. Handlungskontrollgeschwindigkeit in allen AOIs bis auf Symbolische Ebene (SE). Das spricht für eine grundsätzlich höhere kognitive Leistungsfähigkeit der erfolgreichen Probanden. Außerdem zeigen die erfolgreichen Schüler/-innen einen höheren Anteil an Suchfixationen in allen AOIs, was wiederum für eine grundsätzlich andere Vorgehensweise beim Bearbeiten des Problems spricht. Die erfolgreichen Schüler/-innen befassen sich mehr mit der Suche und weniger mit der Verarbeitung von Informationen.

Grundsätzlich muss insgesamt berücksichtigt werden, dass durch den Einsatz der Eye-Tracking Technologie sehr viele exakte Daten gewonnen werden können, die aber keinen direkten Aufschluss über die kognitiven Prozesse ermöglichen. Es ist unmöglich zu sagen, wie die physisch aufgenommenen Informationen kognitiv weiterverarbeitet werden. Daher ist es sinnvoll für eine bessere Interpretation der Eye-Tracking Daten diesen mit weiteren Daten im Sinne des Mixed-Method Ansatzes zu kombinieren. Hierzu bietet sich zum Beispiel die Methode des lauten Denkens an.

Kritisch anzumerken ist, dass bedingt durch die kleine Stichprobengröße und aufgrund von sehr hohen Ausreißern in den Messwerten die aufgestellten Hypothesen (Kap. 5.2) entsprechend mit Ungenauigkeiten verbunden sind. Durch die Analyse von Daten einer größeren Stichprobe könnten die Hypothesen präzisiert werden, um erste theoretische Gesetzmäßigkeiten über die Faktoren für erfolgreiches Problemlösen beim Konstruieren zu formulieren, welche dann in einer umfassenderen Studie inferenzstatistisch geprüft werden können.

Literatur

- Anderson, J. R., Funke, J. & Plata, G. (Hrsg.) (2007). *Kognitive Psychologie*. Berlin: Spektrum Akadem. Verl.
- B. Chandrasekaran (1990). *Design Problem Solving: A Task Analysis*, 11(4), 59–71.
- Berghaus, N. (2005). *Eye-Tracking im stationären Einzelhandel: Eine empirische Analyse der Wahrnehmung von Kunden am Point of Purchase*. Zugl.: Duisburg, Essen, Univ., Diss., 2005. Lohmar: Eul.
- Clausen, M., Reusser, K. & Klieme, E. (2003). *Unterrichtsqualität auf der Basis hochinferenter Unterrichtsbeurteilungen. Ein Vergleich zwischen Deutschland und der deutschsprachigen Schweiz*. *Unterrichtswissenschaft* 31(2), 122–141.
- Dörner, D. (1976). *Problemlösen als Informationsverarbeitung*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Duchowski, A. T. (2003). *Eye Tracking Methodology: Theory and Practice*. London, s.l.: Springer London.
- Duchowski, A. T. (2007). *Eye tracking methodology: Theory and practice*. London: Springer.
- Esau, T. & Fletcher, S. (2018). *Prozessorientierte Analyse von konstruktiven Problemlöseprozessen auf Basis von Eye-Tracking-Aufnahmen*. *Journal of Technical Education*, 6(1), 65–83.
- Fletcher, S. (2005). *Förderung der Problemlösefähigkeit zum Konstruieren: Gestaltung von Lernprozessen mit Hilfe eines wissensbasierten Lernsystems*. Zugl.: Magdeburg, Univ., Diss, 2004. Bielefeld: Bertelsmann.
- Galperin, P.J. (1967). *Die Entwicklung der Untersuchungen über die Bildung geistiger Operationen*. In: H. Hiebsch (Hrsg.), *Ergebnisse der sowjetischen Psychologie*, Berlin.
- Geise, S. (2011). *Eyetracking in der Kommunikations- und Medienwissenschaft: Theorie, Methode und kritische Reflexion*. *SCM Studies in Communication and Media*, 2, 149–263.
- Goldstein, E. B., Irtel, H. & Plata, G. (Hrsg.) (2011). *Wahrnehmungspsychologie: Der Grundkurs*. Berlin: Spektrum Akad. Verl.
- Henseler, K. & Höpken, G. (1996). *Methodik des Technikunterrichts*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Holmqvist, K., Nyström, M. & Andersson, R. (2011). *Eye Tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. Oxford: OUP Oxford.
- Hubka, V. & Eder, W. E. (1992). *Einführung in die Konstruktionswissenschaft: Übersicht, Modell, Ableitungen*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Hussy, W. (1984). *Denkpsychologie: Ein Lehrbuch*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Hüttner, A. (2002). *Technik unterrichten: Methoden und Unterrichtsverfahren im Technikunterricht*. Haan-Gruiten: Verl. Europa-Lehrmittel Nourney Vollmer.

- Just, M. A. & Carpenter, P. A. (1980). A theory of reading: From eye fixations to comprehension. *Psychological Review*, 87, 329-354.
- Knoblich, G. & Rhenius, D. (1995). Zur Reaktivität lauten Denkens beim komplexen Problemlösen. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie*, 42, 419-454.
- Koller, R. (1985). *Konstruktionslehre für den Maschinenbau: Grundlagen des methodischen Konstruierens*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Leven, W. (1991). *Blickverhalten von Konsumenten: Grundlagen, Messung und Anwendung in der Werbeforschung*. Heidelberg: Physica-Verlag HD.
- Newell, A. & Simon, H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs, NJ: PrenticeHall.
- Polya, G. (1988). *How to solve it: A new aspect of mathematical method*. Princeton, NJ: Princeton Univ. Press.
- Rösler, F. (1996). Methoden der Psychophysiologie. In E. Erdfelder, R. Mausfeld, T. Meiser & G. Rudinger (Hrsg.), *Handbuch Quantitative Methoden* (491-514). Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Rötting, M. (Hrsg.) (1999). *Blickbewegungen in der Mensch-Maschine-Systemtechnik*. Sinzheim: Pro-Universitats-Verl.
- Rötting, M. (2001). *Parametersystematik der Augen- und Blickbewegungen für arbeitswissenschaftliche Untersuchungen*. Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2001. Aachen: Shaker.
- Russo, J. & Rosen, L. D. (1975). An eye fixation analysis of multialternative choice. *Memory & Cognition*, 3, 267-276.
- Schmidt, R. F., Schaible, H.-G. & Birbaumer, N.-P. (Hrsg.) (2006). *Neuro- und Sinnesphysiologie*. Berlin, Heidelberg: Springer Medizin Verlag Heidelberg.
- Tobii AB (2017). *Eye tracker data quality report: Accuracy, precision and detected gaze under optimal conditions—controlled environment*. Tobii Pro Glasses 2 firmware v1.61.
- Wallach & Lebiere (1998). *Modellierung von Wissenserwerbsprozessen bei der Systemregelung: Intelligente Informationsverarbeitung*.
- Weidle, R. & Wagner, A. C. (1994). Die Methode des lauten Denkens. In G. L. Huber & H. Mandl (Hrsg.), *Verbale Daten* (81-103). Weinheim: Psychologie Verlags Union.

TATIANA ESAU, MR. SC.

Universität-Duisburg-Essen, Technologie und Didaktik der Technik
Universitätsstr. 15, 45141 Essen
tatiana.esau@uni-due.de

PROF. DR. STEFAN FLETCHER

Universität-Duisburg-Essen, Technologie und Didaktik der Technik
Universitätsstr. 15, 45141 Essen
Stefan.fletcher@uni-due.de

Zitieren dieses Beitrags:

Esau, T. & Fletcher, S. (2019). Erforschung der Unterschiede zwischen erfolgreichen und weniger erfolgreichen Schüler/-innen beim Bearbeiten konstruktiver Probleme auf Basis der Analyse von Eye-Tracking-Daten. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 8(1), 56–75.