

TATIANA ESAU (Universität-Duisburg-Essen)

STEFAN FLETCHER (Universität-Duisburg-Essen)

**Prozessorientierte Analyse von konstruktiven Problemlöseprozessen
auf Basis von Eye-Tracking-Aufnahmen**

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 / STEFAN FLETCHER

Prozessorientierte Analyse von konstruktiven Problemlöseprozessen auf Basis von Eye-Tracking-Aufnahmen

ZUSAMMENFASSUNG: Konstruktives Problemlösen ist eine spezifische Form des Problemlösens und eine wichtige handlungsorientierte Lernmethode im allgemeinbildenden Technikunterricht. Die damit verbundenen individuellen konstruktiven Problemlösungsprozesse sind auf der Ebene von Schülerinnen und Schülern empirisch schwer zu erfassen und bisher so gut wie unerforscht. Mithilfe mobiler Eye-Tracking-Brillen lassen sich sowohl Daten über die Informationsaufnahme als auch über die ausgeführten Handlungen eines Probanden im Detail erfassen. In Anlehnung an die informationsverarbeitende ACT-R Theorie von J. R. Anderson und unter der Berücksichtigung von Konstruktionsphasen wurde eine neue Analysemethodik entwickelt, mit der die Lösungsprozesse von 14 Schülern analysiert und die drei Lösungsstrategien: Praktisch-orientierte, theoretisch-orientierte sowie Mischstrategie qualitativ ermittelt wurden.

Schlüsselwörter: Konstruieren, Problemlösen, Lösungsstrategien, Eye-Tracking-Aufnahmen

Process-oriented analysis of engineering-design problem solving processes based on the eye-tracking recording

ABSTRACT: Engineering-design problem solving is a specific form of problem solving and an important action-oriented learning method in technology education in general schools. The individual, engineering-design problem-solving processes at the level of pupils are empirically difficult to explore and therefore they are so far almost not researched. Using mobile eye-tracking glasses the data about the perception of information as well as the actions of a subject can be captured. Following the ACT-R theory from J. R. Anderson and considering engineering design phases, a new analytical methodology was developed. The method was used to analyze the solution processes of 14 students and qualitatively determine the three solution strategies: practical-oriented, theoretical-oriented and mixed strategy.

Keywords: Engineering-design problems, problem solving, solving strategy, eye-tracking recordings

1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Durch das kreative Denken und Handeln schafft der Mensch technische Mittel, die seine Lebensbedingungen verbessern und seine Existenz sichern sollen (vgl. Hüttner 2002, S. 30; vgl. Ropohl 2009, S. 15). In einer modernen sich stetig entwickelnden Gesellschaft werden neue Erkenntnisse und Technologien in immer kürzeren Zeitabständen gewonnen und in den Alltag integriert (vgl. Hüttner 2002, S. 36, 2002, S. 213). Dabei erfordern die hohe Komplexität der modernen Technik, ihre rasant schnelle Entwicklung und die Verflochtenheit mit anderen Disziplinen Lernkonzepte, die fachübergreifende Kompetenzen fördern (vgl. Hüttner 2002, S. 216). Ein solches Lernkonzept ist die Förderung von technischen Problemlösefähigkeiten.

Das Konstruieren zählt zu den bedeutendsten handlungsorientierten problemlösenden Lernmethoden sowohl im allgemeinbildenden Technikunterricht als auch in der beruflichen Bildung (vgl. Fletcher 2005, S. 15 f.; vgl. Hüttner 2002, S. 161 f.; vgl. Henseler & Höpken 1996, S. 66). Das Lösen von konstruktiven Problemen 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).

In der fachdidaktischen Literatur, aber auch in der allgemein pädagogischen Literatur werden handlungsorientierte problemlösende Lernprozesse, insbesondere unter Nutzung von gegenständlichen Lernmedien, als hoch effektiv eingestuft (vgl. Henseler & Höpken 1996, S. 16). Dennoch existieren bisher kaum empirische Untersuchungen, in denen die Lösungsprozesse von Schülerinnen und Schülern beim Lösen von Konstruktionsproblemen in ihrer Struktur und ihrem Wirkungsgefüge und deren Einflussfaktoren im Detail erforscht wurden (vgl. Fletcher 2005, S. 233). Eben diese komplexen Informationsverarbeitungsprozesse müssen aber für die individuelle Kompetenzentwicklung im Rahmen von Problemlöseprozessen als ursächlich angesehen werden. Um diese bestehende Forschungslücke zu schließen, ist es erforderlich die konstruktiven Problemlöseprozesse auf der Ebene des Individuums im Detail zu erforschen und einer systematischen Auswertung zugänglich zu machen. Durch die Nutzung der aktuellen mobilen Eye-Tracking-Technologie in Kombination mit traditionellen Erhebungsmethoden eröffnet sich hierfür eine neue Zugangsmöglichkeit. Um diese neue Möglichkeiten für die Forschung zu erschließen wurden am Lehrstuhl für Technologie und Didaktik der Technik der Universität Duisburg-Essen mobile Eye-Tracking-Brillen angeschafft, mit denen es möglich ist Probanden in der natürlichen Interaktion mit konkreten Gegenständen beim Lösen von Problemen zu beobachten und deren Verhalten exakt zu analysieren. Die Zielgruppe für das Projekt sind Schülerinnen und Schüler zum Ende der Sekundarstufe I an Haupt-, Real- und Gesamtschulen sowie Gymnasien in Nordrhein-Westfalen, Niedersachsen und dem Vereinigten Königreich. Das Ende der Sekundarstufe I bildet einen wesentlichen Abschnitt innerhalb der Schullaufbahn, mit dem aus gesellschaftlicher Sicht das Erreichen zentraler übergreifender Kompetenzen, wie die technische Problemlösefähigkeit, verbunden ist.

2 Theoretische Bezugspunkte

Probleme und allgemeines Problemlösen

Zu den wesentlichen Merkmalen des Problemlösens gehört eine zielgerichtete Vorgehensweise, die Zerlegung des Hauptziels des Problems in die Teilziele und die Anwendung von Lösungsoperatoren und ihren Kombinationen (vgl. Anderson, Funke & Plata 2007, S. 291). Aus der Sicht der Psychologie wird über ein Problem dann gesprochen, wenn eine Ausgangssituation,

bzw. ein Anfangszustand, ein mehr oder weniger vorgegebener Zielzustand, bzw. Endzustand und ein vollkommen unbekannter Lösungsweg zum Erreichen des Zielzustandes vorliegen (vgl. Anderson, Funke & Plata 2007, S. 292; vgl. Dörner 1976, S. 10; vgl. Hussy 1984, S. 114). Demnach kann ein Problem durch drei Kriterien gekennzeichnet werden: *einen Anfangszustand, einen Zielzustand und eine Barriere*, d.h. die Schwierigkeit den Übergang von dem Anfangs- in den Zielzustand zu realisieren (ebd.).

Um ein Problem zu lösen, also den Anfangszustand in den Endzustand zu transformieren, werden bestimmte Lösungsschritte, sogenannte *Lösungsoperatoren*, ausgeführt (vgl. Dörner, 1976, S. 10; vgl. Hussy 1984, S. 114 f.). Sind diese bekannt und ist deren Anzahl abzählbar, handelt es sich nicht mehr um ein Problem, sondern um eine Aufgabe (vgl. Dörner 1976, S. 10). Demnach gibt es per Definition kein Problem im absoluten Sinne. Die Feststellung, ob es sich in einer bestimmten Situation um eine Aufgabe oder ein Problem handelt, hängt mit den Erfahrungen der Problemlöserinnen und Problemlöser zusammen (vgl. Hussy 1984, S. 114).

Im Hinblick auf Anforderungen können Probleme nach den Arten der Barrieren und nach den Arten des Realitätsbereiches, dem Bereich aus dem ein Problem stammt, unterschieden werden. Dörner unterscheidet folgende Barriere Arten (vgl. Dörner 1976, S. 11):

- Barriere bei *Problemen mit einem bekannten Zielzustand*:

Interpolationsbarriere, wobei das Lösen des Problems alleine auf die Auswahl und die richtige Anordnung von bekannten Operatoren zurückzuführen ist,

Synthesebarriere, wobei das Kombinieren von bekannten Operatoren zum Lösen des Problems nicht ausreicht, vielmehr müssen neue Operatoren gefunden werden (ebd. S. 11 f.).

- Barriere bei *Problemen mit einem unbekanntem Zielzustand*:

Dialektische Barriere, hierbei wird eine Lösung erstellt und auf Widersprüche zu den gestellten Anforderungen geprüft (ebd. S. 13). Werden Widersprüche gefunden, wird die Lösung überarbeitet und erneut bezüglich der Anforderungen geprüft (ebd.). Der Prozess wird solange wiederholt bis eine optimale Lösung, die den gestellten Anforderungen entspricht, gefunden wird (ebd.).

Das Problemlösen als Prozess wird von Polya in vier Schritte unterteilt: Im ersten Schritt soll das Problem erkannt und verstanden werden, im zweiten Schritt soll ein Plan zum Lösen des Problems erstellt werden, dieser Plan soll im dritten Schritt ausgeführt werden und zum Schluss einen Abgleich der Lösung und der Problemstellung durchgeführt werden (vgl. Polya 1988, S. 5 f.).

Konstruieren

Konstruieren ist ein hochkomplexer Vorgang, der das Wissen aus unterschiedlichen Fachbereichen und die Durchführung von unterschiedlichen Tätigkeiten, mit dem Ziel die beste Lösung eines technischen Problems zu finden, vereint (vgl. Fletcher 2005, S. 171 f.; vgl. Koller 1985, XV). Koller definiert das Konstruieren als

„... Synthese und Analysetätigkeiten, die notwendig sind, um für eine bestimmte technische Aufgabe eine zu einem bestimmten Zeitpunkt bestmögliche Lösung anzugeben.“ (Koller 1985, XV).

In der beruflichen Praxis beschränkt man sich meistens nur auf die Ergebnisse des Konstruierens und interessiert sich nicht für das Konstruieren als ein Prozess (vgl. Fletcher 2005, S. 183). Aus der fachdidaktischen Perspektive ist aber gerade das Konstruieren als Prozess von großer Bedeutung (ebd.). Ein Konstruktionsprozess kann im Allgemeinen in vier Phasen unterteilt werden: *Planen, Konzipieren, Entwerfen* und *Ausarbeiten* (vgl. Hubka & Eder 1992, S. 121), siehe Abb. 1. In der Phase *Planen* sollen die Problemstellung nachvollzogen und die Anforderungen des Problems spezifiziert werden (ebd.). Außerdem zeichnet sich diese Phase durch die

ausführliche Recherche und das Sammeln von Informationen aus, die für das Lösen des konstruktiven Problems notwendig sind (ebd.). Als Ergebnis dieser Phase soll eine Anforderungsliste aufgestellt werden (ebd.). In der Phase *Konzipieren* sollen anhand der gefundenen Informationen und unter Berücksichtigung der Anforderungsliste mehrere Lösungsprinzipien entwickelt werden (ebd.). Inwieweit die gefundenen Lösungen den Anforderungen des Problems entsprechen, soll im nächsten Schritt dieser Phase geprüft werden (ebd.). Anhand der Ergebnisse soll die am besten geeignete Lösung gewählt werden (ebd.). Durch die Festlegung auf ein Lösungsprinzip wird die Phase des *Konzipierens* abgeschlossen (ebd.). Das Ziel der Phase *Entwerfen* ist es einen maßstäblichen Entwurf auf Basis des ausgewählten Lösungsprinzips anzufertigen (ebd.). Der Konstruktionsprozess wird mit der Phase *Ausarbeiten*, in der die vollständigen Herstellungs- und Nutzungsunterlagen angefertigt werden, beendet (ebd.).

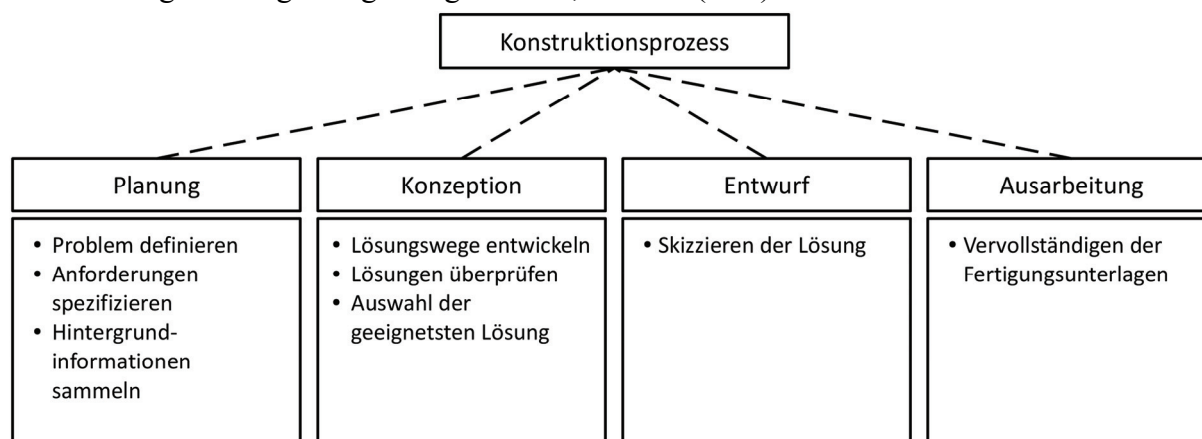


Abb. 1: Phasen des Konstruktionsprozesses nach Hubka (vgl. Hubka & Eder 1992, S. 121).

Das Konstruieren als spezifischer Fall des Problemlösens

Konstruktive Probleme sind durch einen Anfangszustand, der durch die zur Verfügung stehenden technischen Möglichkeiten repräsentiert wird, einen Zielzustand, der zumeist durch eine Anforderungsliste vorgegeben wird und keinen bekannten Lösungsweg gekennzeichnet (vgl. Fletcher 2005, S. 247–250). Die gezielte Vorgehensweise beim Konstruieren ist für eine erfolgreiche Lösung unverzichtbar (ebd.). Bei dem Vergleich der Phasen eines Problemlöseprozesses nach Polya (vgl. Polya 1988, S. 5 f.) mit den Phasen eines Konstruktionsprozesses nach (vgl. Hubka & Eder 1992) zeigt sich, dass die erste Phase des Problemlösens und die Phase „Planung“ die gleichen Ziele verfolgen, eine detaillierte Auseinandersetzung mit der Problemstellung und ihren Anforderungen. Die restlichen drei Phasen des Problemlösens finden ihre Entsprechungen in der Phase „Konzeption“. Hier werden die zum Lösen des Problems notwendigen Schritte durchgeplant und durchgeführt. Die letzten zwei Phasen des Konstruierens sind für ein konstruktives Problem spezifisch und beziehen sich lediglich auf die Darstellung der Lösungsergebnisse.

ACT-R Theorie zur Beschreibung von Problemlöseprozessen als Informationsverarbeitungsprozess

Die in diesem Forschungsprojekt angestrebte Erforschung von Problemlöseprozessen auf Ebene des Individuums erfordert es, die Sicht der Kognitionswissenschaft auf den Prozess des Problemlösens mitzuberücksichtigen, um grundsätzliche Ansatzpunkte für die Analyse der Prozesse zu finden. Dabei findet man eine Vielfalt von komplexen Theorien, welche kognitive Prozesse von Menschen aus unterschiedlichen Perspektiven beschreiben. Hier bietet sich die ACT-Theorie von J. R. Anderson als Bezugspunkt an. Die Theorie wurde im Laufe der Jahre, mit dem Anspruch die gesamte menschliche Kognition im Rahmen eines einzigen Modells vollständig

beschreiben zu können, immer weiterentwickelt (vgl. Anderson & Lebiere 1998, S. 7–11). Das Modell ist in

Abb. 2 dargestellt (vgl. Anderson & Lebiere 1998, S. 11; vgl. Wallach & Lebiere, S. 95).

Die ACT-Theorie ist konsequent informationstheoretisch ausgerichtet und bietet den Vorteil, dass alle kognitiven Prozesse sich auf einige wenige elementare Prozesse der Informationsverarbeitung zurückführen lassen. Dieser Ansatz harmoniert in besonderer Weise mit den Möglichkeiten der Datenerfassung durch Eye-Tracking-Systeme, die Rückschlüsse über menschliche Informationsverarbeitungsprozesse ermöglichen.

Das ACT-R Modell ist eine allgemeine Kognitionstheorie, die zwischen einem deklarativen und einem prozeduralen Langzeitgedächtnis unterscheidet (vgl. Wallach & Lebiere, S. 94). Im Rahmen dieser Theorie wird prozedurales Wissen in Form von sogenannten Produktionen, also abstrakten *Wenn-Dann Regeln* und deklaratives Wissen in Form von sogenannten *Chunks*, die konkretes Faktenwissen darstellen, repräsentiert (ebd.). Chunks sind in einem sogenannten Zielstapel hierarchisch organisiert, wobei zu jedem Zeitpunkt ein ausgezeichnete Chunk existiert, der das aktuelle Ziel bestimmt (ebd.). Durch die entsprechenden Aktionen von Produktionen können neue Chunks in dem Zielstapel abgelegt werden (*push*) bzw. entfernt werden (*pop*) (ebd.). Der Zielstapel hat eine zentrale Rolle in der Informationsverarbeitung, da die Produktionen im Bedingungsteil (Wenn-Teil) immer auf das aktuelle Ziel referieren (ebd.). Wenn ein Ziel abgearbeitet ist, wird der zugehörige Chunk aus dem Zielstapel entfernt und als ein neues Element im deklarativen Gedächtnis abgelegt (ebd.). Eine andere Möglichkeit neue Chunks zu erwerben besteht in der Enkodierung der Wahrnehmung der Umgebung (ebd.). Somit beschreibt ACT-R die kognitiven Prozesse als sequenzielle Prozesse der Anwendung von Produktionen (ebd.).

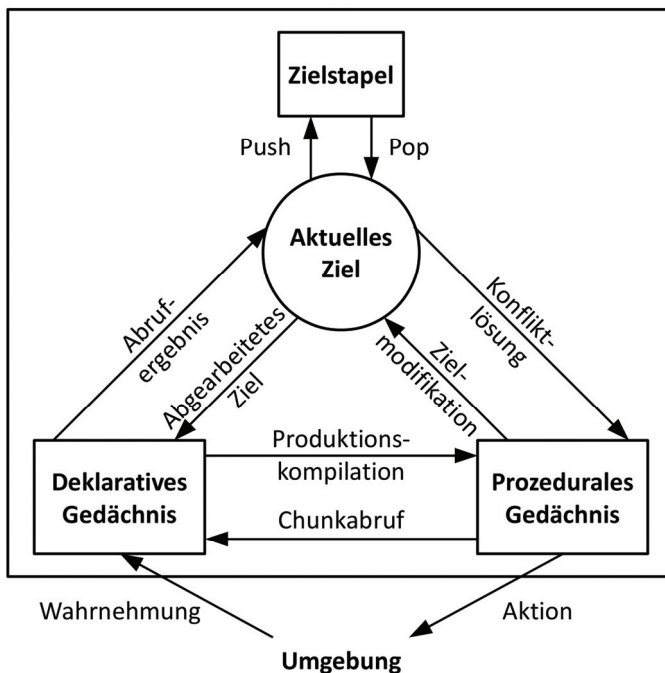


Abb. 2: ACT-R (Adaptive Control of Thought) Modell der menschlichen Kognition von J. R. Anderson (Wallach & Lebiere).

Das Modell von Anderson beschreibt die menschliche Kognition auf einer abstrakten informationstheoretischen Ebene, wobei die einzelnen Abläufe einer direkten Beobachtung vollständig entzogen sind. Eine direkte Wechselwirkung mit der Umwelt ist gemäß der ACT-R Theorie über die ausgeführten Aktionen und Wahrnehmungen möglich. Mithilfe von entsprechenden For-

schungsmethoden werden diese beiden Größen aufgegriffen, in der Hoffnung dadurch auf die komplexen Informationsverarbeitungsprozesse bei Probanden schließen zu können.

3 Forschungsdesign

Angewandte Forschungsmethode

Das gesamte Forschungsprojekt zur Erforschung von konstruktiven Lösungsprozessen auf der Ebene des Individuums ist als zweiteilige Studie angelegt. Der erste Teil der Studie dient der Ermittlung von Strategien, die Schülerinnen und Schüler zum Lösen eines konstruktiven Problems wählen. Im zweiten Teil werden die Einflussfaktoren, die die Wahl einer Strategie begründen, im Detail erforscht und es wird versucht über eine größere Stichprobe die gefundenen Ergebnisse zu verallgemeinern. Da so gut wie keine Erkenntnisse über die möglichen Lösungsstrategien von Schülerinnen und Schüler beim Lösen eines konstruktiven Problems aus dem Bereich der Entwicklung von einfachen elektrotechnischen Schaltungen bekannt sind, werden in einem ersten qualitativen Zugang die Ansätze der entdeckenden Logik für die Analyse der Lösungsprozesse genutzt. Entsprechend ist der erste Teil der Studie als Laborstudie mit Fallstudiencharakter angelegt. Die sich danach anschließende Erforschung von Einflussfaktoren wird als eine Feldstudie durchgeführt, die sowohl qualitative als auch quantitative Methoden im Sinne des Mixed-Method-Ansatzes einsetzt (vgl. Mey & Mruck 2010, S. 284).

Im Forschungsprojekt soll der Ansatz der Verfolgung von Augenbewegungen genutzt werden, um exakte, bisher nur schwer zugängliche Informationen über die ausgeführten Lösungsprozesse zu gewinnen. Durch den physiologischen Aufbau der menschlichen Augen kann der Mensch nur in einem kleinen Bereich, der ca. 2° vom Sichtfeld beträgt, scharf sehen (vgl. Holmqvist, Nyström & Andersson 2011, S. 21). Die neuen visuellen Informationen aus der Umwelt kann der Mensch aber nur dann vollständig wahrnehmen, wenn er sie scharf sehen kann, d.h. wenn sie sich im genannten Sichtfeld von ca. 2° befinden (vgl. Duchowski 2007, S. 3). Somit bewegt der Mensch seine Augen um die Objekte aus der Umfeld in den Bereich des scharfen Sehens zu platzieren (ebd.). Verfolgt man als Forscher die Bewegung der Augen eines Probanden, so lassen sich visuelle Informationen, die für den Probanden vom Interesse waren, erfassen (ebd.). Aus der Eye-Tracking-Forschung sind unterschiedliche Augenbewegungsarten bekannt (vgl. Holmqvist, Nyström & Andersson 2011, S. 21). Die wichtigste für die Wahrnehmung von Informationen sind sogenannte Fixationen (ebd.), deren Dauer zwischen 100 und 600 ms liegt. Somit ermöglicht ein mobiles Eye-Tracking System sowohl eine präzise Aufzeichnung von Informationen, die Probanden wahrnehmen, als auch die Aufzeichnung der ausgeführten Handlungen, da diese fast immer auch im Blickfeld der Probanden liegen. Weitere Informationen können durch die in den meisten Eye-Tracking-Brillen eingebauten Mikrofone gewonnen werden, wenn die Probanden zum lauten Denken aufgefordert werden.

Zur Aufnahme von Lösungsprozessen wurde im Rahmen des Forschungsprojektes ein mobiles video-basiertes Eye-Tracking System von Tobii verwendet, was mit einer Frequenz von 100 Hz arbeitet und somit für die Aufnahme von Fixationen gut geeignet ist. Die gewählte Eye-Tracking-Brille ist mit fünf Kameras ausgestattet, wobei vier Kameras zu den Augen gerichtet sind (zwei pro Auge) um die Augenbewegungen aufzuzeichnen. Die fünfte Kamera ist auf der Außenseite der Brille platziert und nimmt die Umgebung auf. Die beiden Aufnahmen werden von einer Software gleichzeitig ausgewertet, wobei die Blickrichtung über die Ermittlung vom Mittelpunkt der Pupillen, sowie Hornhautreflexionspunkt errechnet wird (vgl. Holmqvist, Nyström & Andersson 2011, S. 24–29). Grundsätzlich ist es möglich die Blickrichtung nur ba-

sierend auf der Ermittlung vom Pupillenmittelpunkt zu ermitteln (ebd.). Die Zunahme eines zusätzlichen Referenzpunktes, des Hornhautreflexionspunktes, ermöglicht aber den Ausgleich von Kopfbewegungen, was angesichts eines dynamischen Bearbeitungsprozesses sinnvoll ist (ebd.). Bei der im Projekt verwendeten Brille handelt es sich um ein sogenanntes Dark-Pupel-System, welches einen Reflexionspunkt mithilfe einer Infrarotquelle ermittelt. Im Gegensatz zu einem Bright-Pupil-System ist die Infrarotquelle gegenüber dem optischen Pfad versetzt (ebd.). Durch die in den letzten Jahren stark verbesserten Kameratechnologien arbeiten die Dark-Pupil-Systeme mit sehr hoher Genauigkeit (ebd.). Das ausgewählte Eye-Tracking-System von Tobii enthält außerdem ein integriertes Tonaufnahmegerät.

Entwicklung der konstruktiven Problemstellung

Für den Erfolg des Projektes ist es von besonderer Bedeutung eine geeignete konstruktive Problemstellung zu finden, die als Grundlage für die Analyseprozesse dient. Als Ausgangspunkt für die Auswahl und Gestaltung der Problemstellung wurden die folgenden Anhaltspunkte festgelegt:

- Die Lösung der Problemstellung muss die wichtigen Handlungsschritte (Planen, Konzipieren, Entwerfen) eines konstruktiven Problems umfassen,
- es handelt sich um ein Problem mit Synthese- oder mit Interpolationsbarriere,
- der Schwierigkeitsgrad muss für die Zielgruppe (Schülerinnen und Schüler am Ende der Sekundarstufe I) angemessen sein,
- der Lösungsraum muss überschaubar sein,
- die Problemstellung sollte klare Bezüge zur Lebensumwelt der Schülerinnen und Schüler aufweisen,
- zum Lösen der Aufgabe sind keine spezifischen Technikenkenntnisse notwendig.

Um die inhaltliche Validität der Problemstellung abzusichern wurden zunächst die Curricula von unterschiedlichen Bundesländern ausführlich analysiert. Dabei ist man mit der Problematik konfrontiert, dass eine große Heterogenität in Bezug auf die Ausgestaltung des Faches Technik in den unterschiedlichen Schulformen und Bundesländern besteht. Teilweise wird das Fach Technik nur als Wahlpflichtfach angeboten oder ist in einem Lernbereich (z. B. Arbeitslehre) integriert. Um auch in dem Test Schülerinnen und Schüler zu berücksichtigen, die keinen Technikunterricht besucht haben, wurde in die Analyse auch die Curricula des Faches Physik miteinbezogen. Im Ergebnis zeigte sich, dass das Thema: Aufbau einfacher elektrischer Schaltungen auf Basis von Parallel- und Reihenschaltungen, eine Thematik ist, mit denen sich alle Schülerinnen und Schüler bis zum Ende der Sekundarstufe I im Rahmen von Schulunterricht auseinandergesetzt haben müssen.

In einer umfassenden Vorstudie an unterschiedlichen Schulformen wurden drei alternative konstruktive Problemstellungen mit unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden und Gegenstandsbezügen getestet und eine der drei Probleme auf Basis der Testergebnisse für die Hauptstudie ausgewählt. Die gewählte Problemstellung besteht darin, eine Schaltung aus vorgegebenen einfachen elektrischen Elementen (zum Beispiel Schalter, Elektromotor usw.) für einen elektrischen Haar-Föhn zu entwickeln. Dabei ist das zu realisierende Funktionsverhalten des Haarföhns genau vorgegeben (Zielvorgaben). Das Ergebnis des Lösungsprozesses soll in Form einer Skizze des elektrischen Schaltplans aufgezeichnet werden. Die Problemstellung wird den Schülerinnen und Schülern sowohl durch eine textliche Darstellung als auch durch eine Visualisierung des grundsätzlichen Aufbaus des Föhns dargeboten.

Zusätzlich wurden Hilfsinformationen (deklarative Wissens Elemente) in Form von Tabellen entwickelt. Die Tabellen enthalten Texte, Abbildungen, Schaltsymbole von elektrischen Bauteilen sowie Beispiele von einfachen elektrischen Schaltungen, in denen diese Bauteile verwendet werden können. Um den Lösungsraum zu vergrößern, wurden in den Tabellen sowohl die elektrischen Elemente, die zum Lösen des konstruktiven Problems verwendet werden können, als auch solche, deren Einsatz zu keinem richtigen Ergebnis führt, dargestellt. Außerdem wurde ein Flussdiagramm erstellt, das auf einer abstrakten Ebene alle zum Lösen des Problems notwendigen Schritte, sogenannte Problemlöseoperatoren (prozedurale Wissens Elemente), enthält. Neben den theoretischen Hilfsmaterialien stehen den Probanden auch die realen elektrischen Bauteile zur Verfügung, die in den Hilfsinformationen erläutert werden. Somit wurde für die Probanden die Möglichkeit geschaffen das konstruktive Problem sowohl theoretisch als auch praktisch zu lösen. Alle Materialien, die Schülerinnen und Schüler zum Bearbeiten der Problemstellung erhalten, sind schematisch in Abb. 3 dargestellt.

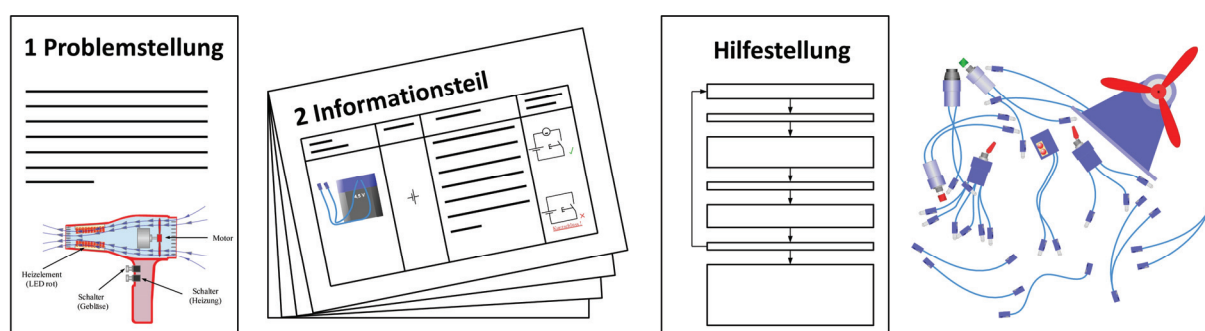


Abb. 3: Arbeitsmittel, die Schülerinnen und Schüler zum Lösen eines konstruktiven Problems erhalten (eigene Darstellung).

Durchführung der Datenerhebung

Der erste Teil der Studie wurde an einer niedersächsischen Schule (im Realschulzweig und Hauptschulzweig), zwei nordrhein-westfälischen Schulen (Realschule und Gesamtschule) und an einer Schule im Vereinigten Königreich durchgeführt. Dabei wurden insgesamt die Lösungsprozesse von 16 Schülerinnen und Schülern der Jahrgangsstufen 9 und 10 mit dem Eye-Tracking System erfasst und analysiert. Vollständigkeitshalber sind im nachfolgend dargestellten Ablaufdiagramm (Abb. 4) auch die verschiedenen Vortests mitaufgenommen worden, die für den hier dargestellten ersten Teil des Projektes keine Bedeutung haben.

Jeder Proband wurde in einem separaten Raum getestet, (die Probanden der Schule im Vereinigten Königreich wurden im gleichen Raum, wo sich die gesamte Klasse befand, separiert) und durch einen Testleiter betreut. Zur Sicherstellung der Durchführungsobjektivität wurde ein Test-Manual mit einheitlichen Instruktionen verwendet. Um die Motivation von Schülerinnen und Schülern hochzuhalten, wurde ein Preis für die richtige Lösung ausgelobt. Nach der allgemeinen Einführung folgte zunächst die Durchführung von zwei Vortests. Dann begann der Teil der Studie zur Erfassung der Lösungsprozesse. Nach der siebenminütigen Einführung zum Test und Eye-Tracking sowie Einführung in das laute Denken, bekamen die Probanden eine Eye-Tracking Brille aufgesetzt und wurden auf die bevorstehende Eye-Tracking-Aufnahme vorbereitet. Nach dem Start der Aufnahme erhielten die Testpersonen die Problemstellung, zusätzliche Hilfsinformationen und reale elektrische Bauteile. Außerdem wurden die Schülerinnen und Schüler angewiesen, dass sie frei darin sind, zu entscheiden, welche der zur Verfügung stehenden Materialien sie zum Lösen des Problems verwenden und wurden aufgefordert während des Lösungsprozesses laut zu denken. Die Testdauer dieses Teils betrug 40 Minuten.

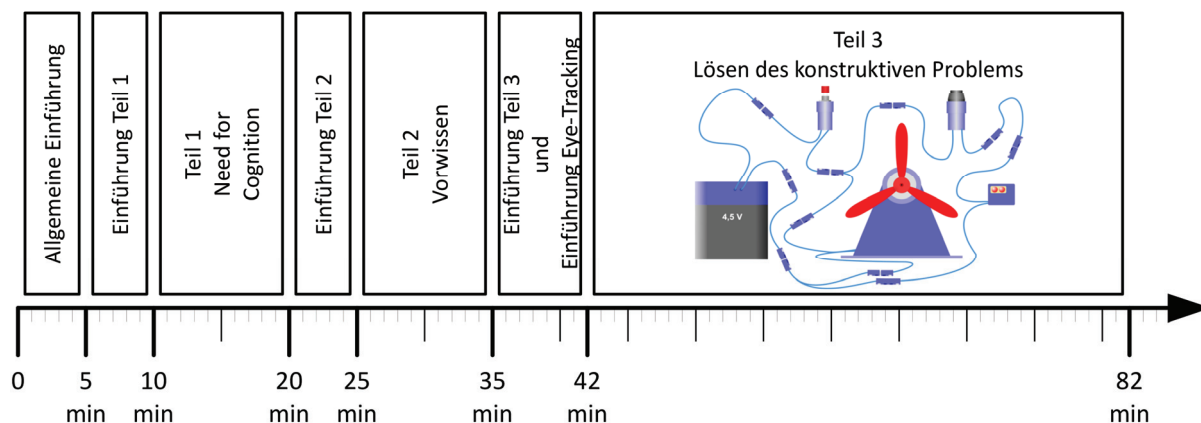


Abb. 4: Zeitlicher Ablauf der Studie zur Erforschung von konstruktiven Lösungsprozessen (eigene Darstellung).

Eye-Tracking-Datenauswertung

Das Eye-Tracking-System liefert eine Vielfalt von Rohdaten, die mit einer spezifischen Analyse-Software je nach Ziel unterschiedlich aufbereitet werden können. Für das dargestellte Forschungsprojekt sind die Lokalisierung von Augenfixationen und die Fixationsdauer vom Interesse. Um diese ermitteln zu können wurde jede einzelne Augenfixation der jeweiligen Eye-Tracking-Aufnahme manuell durch das Setzen eines Markers in der Tobii-Analyse-Software zu den vordefinierten Kategorien, die bestimmte Objekte aus dem Versuchsetting entsprechen, zugeordnet. Nachdem die gesamte Aufnahme mit den entsprechenden Markern versehen wurde, kann die Software die Wertepaare (Fixationsdauer und Objekt) in unterschiedlichen Formaten für die weitere Auswertung exportieren. Für die Forschungsfelder, in denen mit statischen Objekten gearbeitet wird, bietet die Tobii-Software eine automatische Zuordnung der Daten zu den vordefinierten Kategorien, was viel Zeit bei der Auswertung von Eye-Tracking Daten erspart. Da aber in den konstruktiven Lösungsprozessen dynamische Objekte genutzt wurden, ist die Anwendung der automatischen Auswertung leider nicht möglich.

4 Analysemethodik

Analyse von konstruktiven Lösungsprozessen

Lösungsprozesse werden sowohl auf der Informationsverarbeitungsebene als auch auf der Konstruktionsebene analysiert.

Analyse von Lösungsprozessen auf der Informationsverarbeitungsebene

Im Rahmen dieser Arbeit werden die konstruktiven Problemlöseprozesse gemäß der ACT-R Theorie von J. R. Anderson als Informationsverarbeitungsprozesse verstanden, siehe Kapitel 2. Mit Bezug auf die in der Theorie dargelegten modellhaften kognitiven Prozesse beim Problemlösen, wurde das Aufgabensetting so gestaltet, dass die Probanden alle postulierten kognitiven Prozesse ausführen können. Das heißt es stehen Wissens Elemente zum Aufbau von deklarativem Wissen (Textinformationen in Form von Hilfstabellen), prozeduralem Wissen (Lösungsoperatoren) und Zielvorgaben (Aufgabenstellung mit geforderten Funktionen) zur Verfügung. Des Weiteren sind Handlungen sowohl auf der symbolischen als auch auf der realen Ebene möglich um das deklarative und prozedurale Wissen über die Rückkopplung der Handlungsergebnisse zu prozeduralisieren und auf bestimmte Anwendungsbedingungen zu konditionalisieren. Alle diese Tätigkeiten lassen sich zumindest auf der äußeren Ebene über das Eye-Tracking-System erfassen

und somit in die Analyse einbeziehen. Dabei werden im Folgenden unter Informationsverarbeitungsprozessen alle Tätigkeiten des Probanden aufgefasst, die mit der Aufnahme von Informationen über Text oder Bildelemente zu tun haben als auch die von dem Probanden ausgeführten Handlungen mit den realen Objekten und das Anfertigen von Skizzen.

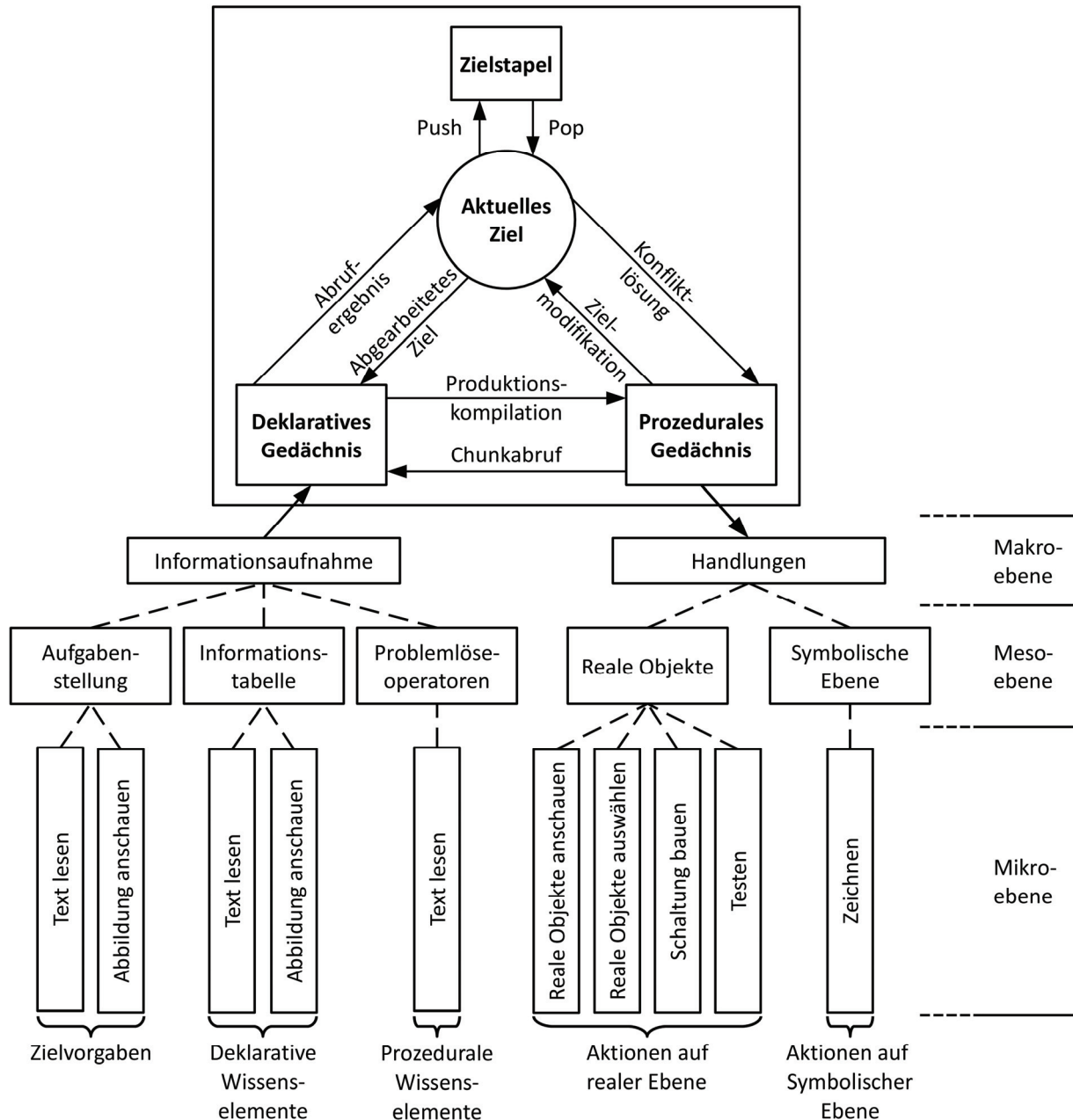


Abb. 5: Konstruktives Problemlösen als Informationsverarbeitungsprozess (eigene Darstellung).

Die Analyse der Lösungsprozesse kann dementsprechend auf drei unterschiedlichen Ebenen der Informationsverarbeitung erfolgen. Auf der Makroebene werden alle Tätigkeiten der Probanden auf die zwei grundsätzlichen Kategorien: Informationsaufnahme oder Handlung zurückgeführt, siehe Abb. 5. Auf der Mesoebene werden die Tätigkeiten detaillierter aufgelöst. Die Informationsaufnahmekategorie wird in die folgenden drei Gruppen differenziert: Informationsaufnahme aus der Aufgabenstellung (Zielvorgaben), aus den Informationstabellen (deklarative Wis-

senselemente) und aus den vorgegebenen Problemlöseoperatoren (prozedurale Wissenselemente). Die übergeordnete Kategorie Handlungen wird in die Subkategorien Handlungen mit realen Objekten oder Handlungen auf einer symbolischen Ebene (z. B. Skizzen anfertigen) aufgegliedert. Die am detailgenauen aufgelöste Ebene ist die Mikroebene. Diese Ebene beinhaltet weitere Detailinformationen darüber, welche Informationselemente im Detail die Probanden genutzt haben, z. B. ob sie den Text der Aufgabenstellung gelesen oder ob sie die Informationen aus der zugehörigen Abbildung entnommen haben oder in Bezug auf die ausgeführten Handlungen, ob die Handlungsoperation dazu diente ein Objekt auszuwählen oder damit eine Schaltung aufzubauen. Die Auswertung auf der Mikroebene ist deutlich aufwendiger, da sich die ausgeführten Handlungsoperationen zum Teil durch die rein visuelle Analyse der Eye-Tracking Aufnahmen nicht immer voneinander scharf abgrenzen lassen. Hier müssen zusätzlich über die Methode des lauten Denkens auditive Informationen in die Auswertung miteinbezogen werden. Diese lässt sich im Rahmen der Triangulation in das Forschungsdesign gut integrieren. Die in diesem Beitrag dargestellten Analysen der Lösungsprozesse erfolgen auf der Makro- und Mesoebene.

Analyse von Lösungsprozessen auf der Ebene des Konstruktionsprozesses

Um die Lösungsstrategien zu ermitteln, wurde eine komparative Analyse der Lösungsprozesse auf der Mesoebene, unter Berücksichtigung der Konstruktionsphasen, durchgeführt. Dafür wurden alle Lösungsprozesse für jeden Probanden individuell in die drei Phasen des Konstruktionsprozesses: Planung, Konzeption und Entwurf aufgeteilt.

Die erste Phase, die Planung findet zum Beginn des Problemlösens statt und gilt als abgeschlossen, wenn die Testperson entweder beginnt einen Schaltkreis aus den realen Objekten aufzubauen oder versucht eine Lösung theoretisch, also durch das Zeichnen eines Schaltplans, zu entwickeln. Ab dem Zeitpunkt, an dem Planung endet, beginnt die nächste Konstruktionsphase, Konzipieren. In dieser Phase soll eine Lösung entwickelt und bezüglich der Anforderungen der Problemstellung geprüft werden. Somit endet diese Phase an dem Zeitpunkt, an dem die Schülerinnen und Schüler eine, aus ihrer Sicht richtige Lösung, entwickelt haben. Die Entwurfsphase beginnt mit dem Zeichnen eines elektrischen Schaltkreises.

Bewertung von Lösungsergebnissen

Das konstruktive Problem konnte sowohl theoretisch, durch das Zeichnen eines elektrischen Schaltkreises als auch praktisch, durch den Aufbau einer funktionsfähigen Schaltung gelöst werden. Die gezeichneten und aufgebauten Schaltkreise wurden in einem fünfstufigen System bewertet. Für das Zeichnen bzw. Aufbauen eines Schaltkreises, der alle Anforderungen der Problemstellung erfüllt und keine unnötigen Bauteile enthält, bekamen die Schülerinnen und Schüler *4 Punkte*. Für eine Schaltung, in der alle Bauteile richtig ausgewählt wurden und Typ der Schaltung richtig erkannt wurde, erhielten die Probanden *3 Punkte*. Außerdem erhielten die Probanden *3 Punkte*, wenn sie eine Schaltung entwickelt haben, in der nicht alle Komponenten optimal ausgewählt wurden, die Funktion der Schaltung aber der geforderten Funktion aus der Problemstellung entspricht. Für eine Lösung, in der entweder Bauteile oder Typ der Schaltung richtig erkannt wurden, wurden *2 Punkte* vergeben. *Ein Punkt* gab es für einen geschlossenen Schaltkreis mit einer Quelle und mindestens einem Verbraucher. Für alle anderen Lösungen wurden keine Punkte vergeben. Bei Diskrepanzen zwischen der Punktezahl für die praktische und theoretische Lösung erhielten die Schülerinnen und Schüler die bessere Bewertung.

Grafische Darstellung der Analyse von konstruktiven Lösungsprozessen

Eine grafische Aufbereitung der aus der Prozessanalyse gewonnenen Daten ist von essenzieller Bedeutung, um diese für eine qualitative Auswertung zugänglich zu machen und um die meist komplexen Vorgänge im Zusammenhang veranschaulichen zu können. Allerdings gibt es für die grafische Darstellung von Prozessanalysen, die auf Eye-Tracking-Aufnahmen basieren, keine standardisierten Darstellungsformen. Die Idee der im weiteren Verlauf dargestellten Prozessdiagramme beruht darauf, eine Darstellungsart zu finden, bei der der zeitliche Verlauf des Lösungsprozesses sowohl in Hinblick auf die Informationsverarbeitungsprozesse als auch in Hinblick auf die typischen Konstruktionsphasen gleichzeitig dargestellt werden. Die Einteilung der y-Achse beruht auf der Differenzierung der unterschiedlichen Informationsverarbeitungsprozesse. Hier kann eine Differenzierung auf Makro-, Meso- oder Mikroebene erfolgen, siehe Abb. 6. Die x-Achse stellt die Zeitachse dar, so dass eine zeitliche Zuordnung zu den unterschiedlichen Informationsverarbeitungsprozessen erfolgen kann. Zusätzlich wird auf der x-Achse die individuell ermittelten Phasen des Konstruktionsprozesses eingetragen, so dass aus dem Diagramm sofort zu erkennen ist, welche Tätigkeiten der Proband in welcher Phase des Konstruktionsprozesses durchgeführt hat. Ein wesentlicher Aspekt für die Darstellung ist der gewählte Auflösungsgrad. Da die Eye-Tracking-Systeme Daten im Hundertstelsekundentakt liefern, ist dies die theoretisch feinste Auflösung auf der Zeitachse. Auf der Ebene der y-Achse stellt die feinste Auflösung die Mikroebene dar, hier wird eine Differenzierung von zehn unterschiedlichen Informationsverarbeitungsprozessen vorgeschlagen, siehe Abb. 5. Prinzipiell ist auf dieser Ebene auch eine höhere Auflösung möglich, da die Eye-Tracking-Systeme sehr genaue Daten liefern, auf deren Basis, z. B. bei Texten, bis auf die Ebene einzelner Wörter aufgelöst werden kann. Der gewählte Auflösungsgrad hängt stark vom Ziel ab und muss entsprechend individuell festgelegt werden. Im Rahmen dieses Beitrags wird die Analyse auf der Mesoebene durchgeführt mit einer hochauflösenden Zeitachse. Diese Darstellung stellt einen guten Kompromiss dar, um detaillierte Informationen über den Prozess gewinnen zu können ohne mit einer zu hohen Informationsdichte konfrontiert zu werden.

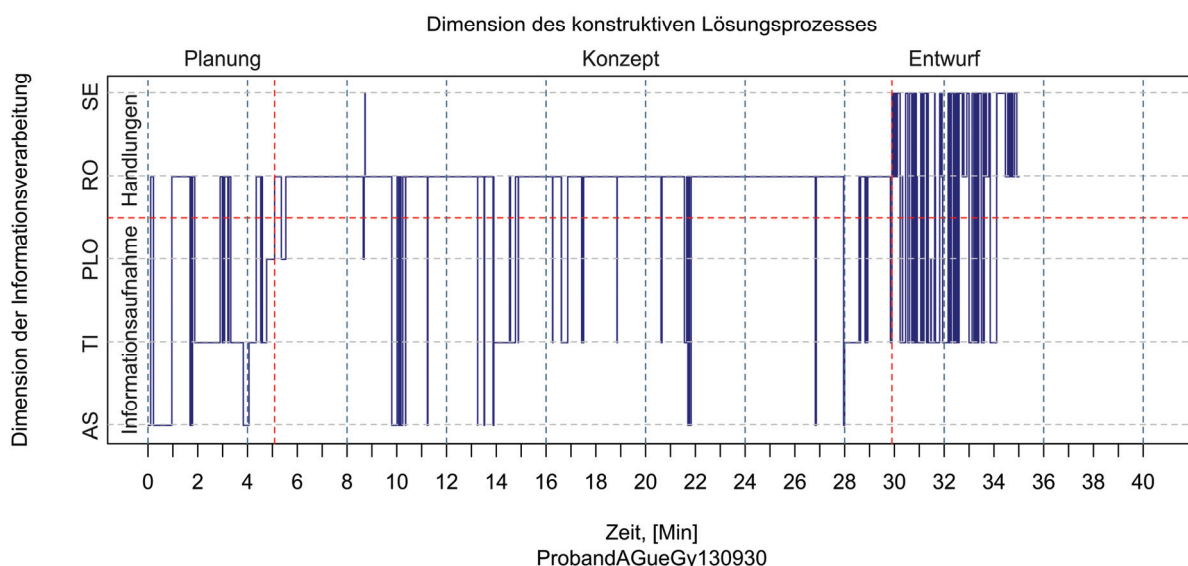


Abb. 6: Grafische Darstellung eines erfolgreichen Lösungsprozesses, wobei unter der Abkürzung AS-Aufgabenstellung, IT-Informationstabellen, PLO-Problemlöseoperatoren, RO-reale Objekte, SE-symbolische Ebene zu verstehen sind (eigene Darstellung).

In Abb. 6 ist ein Beispiel eines erfolgreichen Lösungsprozesses, der auf der Mesoebene analysiert ist, zu sehen. Mit einer horizontalen roten Linie ist die Unterteilung des Informationsverarbeitungsprozesses in die Makroebene sichtbar. Die Tätigkeiten, die unterhalb der roten Linien liegen, gehören zu der Informationsaufnahme, oberhalb der Linien zu den Handlungen. Die Phasen des Konstruierens werden für jeden Prozess individuell ermittelt und im Diagramm durch die vertikalen roten Linien dargestellt. Im dargestellten Beispiel betrug die Planungsphase ca. 5,1 Minuten. In der Planungsphase machte sich der Schüler mit der Problemstellung vertraut und verschaffte sich einen Überblick über die vorhandenen Materialien. In der Phase Konzept begann der Schüler mit der Entwicklung einer praktischen Lösung, wobei er immer wieder zur Problemstellung zurückkehrte, um die Anforderungen des Problems mit seiner Lösung abzugleichen. Außerdem sah er sich die Informationstabellen an, um herauszufinden, welche Funktionen bestimmte elektrische Bauteile haben. Nach dem die Schaltung aufgebaut und geprüft wurde, begann der Proband diese zu zeichnen. Diese Tätigkeit wurde der Entwurfsphase zugeordnet. Die Entwurfsphase begann im Beispielprozess in der 29. Minute. Bei der Erstellung einer Zeichnung nutzte der Schüler die Informationstabellen, um die richtigen Schaltsymbole ermitteln zu können, sowie die Problemlöseoperatoren, die ebenfalls Informationen über das Erstellen von Schaltplänen enthalten.

5 Ergebnisse

Deskriptive Analyse

Im Folgenden werden deskriptive Analyseergebnisse von Lösungsprozessen auf der Informationsverarbeitungsebene sowie auf der Konstruktionsebene vorgestellt.

Lösungsergebnisse und Befunde auf der Ebene der Informationsverarbeitung

Es konnten 14 der 16 Eye-Tracking Aufnahmen analysiert werden. Eine der beiden nicht-auswertbaren Aufnahmen konnten aufgrund technischer Probleme mit dem Eye-Tracking-Recorder während der Aufnahme nicht zu einer Auswertung herangezogen werden. Eine weitere Aufnahme konnte bei der Auswertung nicht berücksichtigt werden, da der Proband keine Versuche unternommen hat das Problem zu bearbeiten. Aus den 14 ausgewerteten Fällen löste ein Schüler das Problem vollständig, sowohl theoretisch als auch praktisch, d.h. er baute einen elektrischen Schaltkreis mithilfe von realen elektrischen Bauteilen auf und zeichnete diesen. Zwei weitere Schüler lösten das Problem lediglich auf der praktischen Ebene, d.h. sie bauten den elektrischen Schaltkreis auf. Zwei Testpersonen bekamen keine Punkte für ihre Lösung, alle anderen Schülerinnen und Schüler bekamen zwischen 1 und 3 Punkte. Die Durchschnittszeit, die die Probanden zum Bearbeiten des Problems benötigt haben, betrug 36,2 Minuten. Dabei benötigten die erfolgreichen Probanden im Durchschnitt 33,8 Minuten und die Probanden, die keine Punkte bekommen haben 40,1 Minuten. Im Durchschnitt befassten sich alle Schülerinnen und Schüler 36,7% der Zeit mit der Informationsaufnahme und 63,3% der Zeit führten sie unterschiedliche Handlungen aus. Dabei beschäftigten sich die Probanden im Durchschnitt mit der Aufgabenstellung, ca. 11,8%, mit den Informationstabellen ca. 21,7% und Problemlöseoperatoren ca. 3,2% der Gesamtzeit. Sie befassten sich ca. 55,6% der Gesamtzeit mit den realen Bauteilen und nutzten ca. 7,7% der Zeit zum Erstellen von Zeichnungen. Der prozentuelle Anteil der ausgeführten Tätigkeiten in Bezug auf die Gesamtdurchführungszeit eines durchschnittlichen Lösungsprozesses auf der Mesoebene, ist in Abb. 7 dargestellt.

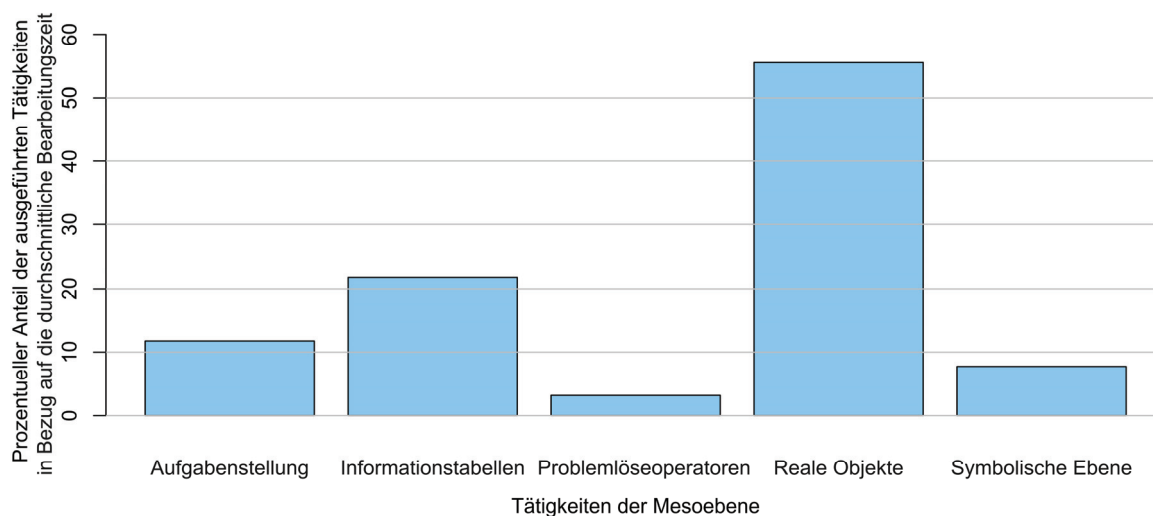


Abb. 7: Prozentueller Anteil der ausgeführten Tätigkeiten eines durchschnittlichen Problemlöseprozesses in Bezug auf die Gesamtzeit (eigene Berechnung und Darstellung).

Befunde auf der Ebene des konstruktiven Lösungsprozesses

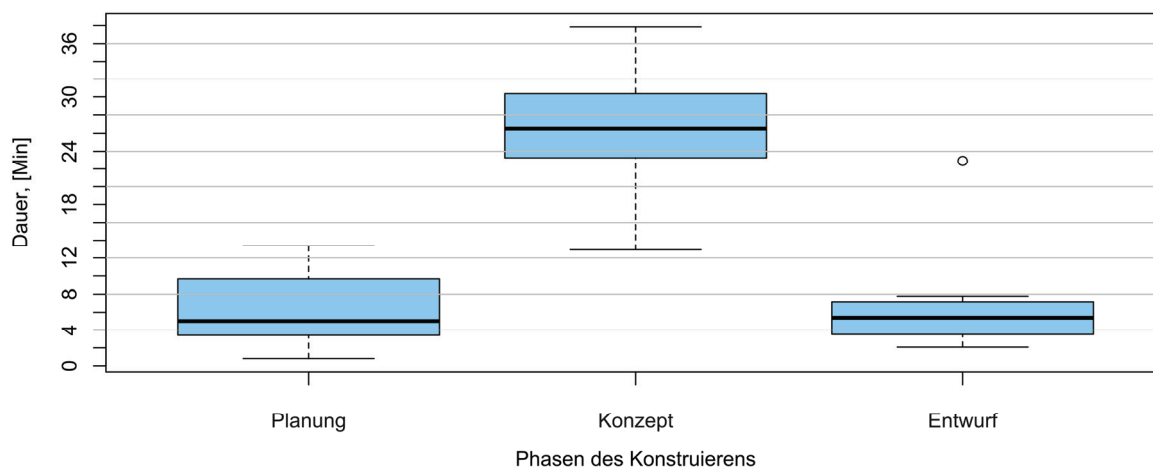


Abb. 8: Zeiten, die Schülerinnen und Schüler brauchten um die einzelnen Konstruktionsphasen zu bearbeiten (eigene Berechnung und Darstellung).

Werden die Lösungsprozesse auf der Ebene des konstruktiven Lösungsprozesses betrachtet, ergeben sich folgende Werte (siehe auch Abbildung 8): Die Planungsphase dauerte im Durchschnitt über alle 14 Prozesse 6,07 Minuten, dabei zeigten sich sehr große Varianzen, die längste Planungsphase dauerte 13,35 Minuten und die kürzeste 0,82 Minuten. Die Konzept- und Entwurfsphase konnten bei 8 von 14 Probanden voneinander scharf abgegrenzt werden. Dabei dauerte die Konzeptphase im Durchschnitt ca. 26,01 Minuten (minimal 12,91 Minuten, maximal 37,85 Minuten). Der Durchschnitt bei dem Entwurf liegt bei 7,14 Minuten (minimal 2,08 Minuten, maximal 22,91 Minuten). Bei 6 Prozessen konnte keine Trennung zwischen der Konzept-

und der Entwurf Phase beobachtet werden. Dies lag daran, dass die entsprechenden Probanden entweder keine Lösung gefunden haben und deswegen keine Zeichnung der elektrischen Schaltung fertigen konnten oder die Problemstellung nicht vollständig verstanden haben. Bei Prozessen mit einer „zusammengefassten“ Konzept- und Entwurfsphasen dauerte diese im Durchschnitt 31,31 Minuten.

Ermittlung von Lösungsstrategien

Zur Ermittlung der Lösungsstrategien wurden komparative Analysen von 14 Eye-Tracking Aufnahmen durchgeführt. Da die unmittelbare Entwicklung der Lösung in der Konzept-Phase des Problemlösens stattfindet, ist diese Phase für die Ermittlung von Lösungsstrategien von besonderer Bedeutung. Bei der näheren Betrachtung dieser Phase wurden drei typische Vorgehensweisen herauskristallisiert.

Praktisch orientierte Strategie

Nach der Planungsphase versuchten die meisten Schülerinnen und Schüler (10 von 14) eine Lösung ausschließlich auf der praktischen Ebene, also durch den Aufbau der elektrischen Schaltung aus den realen Bauteilen, zu entwickeln. Dabei kehrten sie immer wieder zu den Informationsteilen zurück, um sich mit der Funktionsweise von bestimmten Bauteilen vertraut zu machen, bzw. zu der Aufgabenstellung, um sich die Anforderungen des Problems vor Augen zu halten. Die 7 der 10 Probanden, die diese Strategie verfolgten, kamen nachdem sie eine Lösung gefunden haben zum Zeichnen des Schaltplanes und erreichten somit die Entwurfsphase. Die drei anderen Testpersonen hatten keine Lösung gefunden und nutzten die gesamte Zeit zur Entwicklung einer praktischen Lösung. Diese Schülerinnen und Schüler fertigten keinen Schaltplan. Unter dieser Vorgehensweise wird die erste Lösungsstrategie verstanden, welche als *praktisch-orientierte Lösungsstrategie* bezeichnet wird. Zwei für die praktisch orientierte Strategie typischen Prozesse sind in Abb. 9 und Abb. 10 dargestellt.

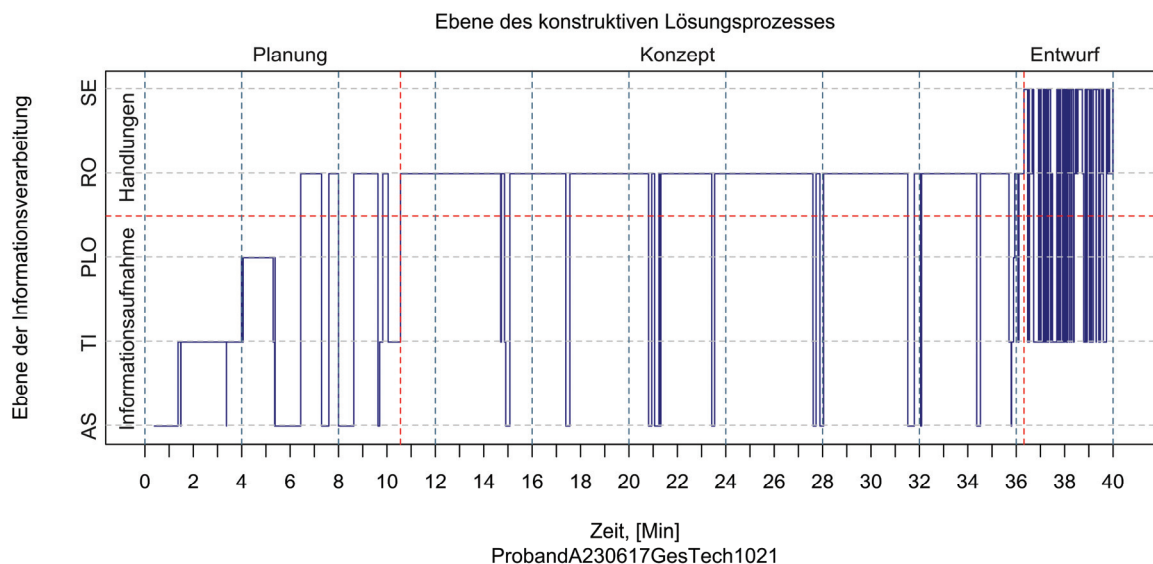


Abb. 9: Lösungsprozess mit der praktisch-orientierten Lösungsstrategie mit der Entwurfsphase, wobei unter der Abkürzung AS-Aufgabenstellung, IT-Informationstabellen, PLO-Problemlöseoperatoren, RO-reale Objekte, SE-symbolische Ebene zu verstehen sind (eigene Darstellung).

Theoretisch-orientierte Lösungsstrategie

Eine Testperson begann nach der Planungsphase die Lösung auf der theoretischen Ebene, also durch das Zeichnen eines Schaltplans, zu entwickeln. Der Proband erstellte einen elektrischen Schaltplan, wonach er versuchte eine Schaltung aus den vorhandenen Komponenten aufzubauen. Diese Strategie wird als theoretisch-orientierte Lösungsstrategie aufgefasst. Ein typischer Lösungsprozess hierfür ist in Abb. 12 zu finden.

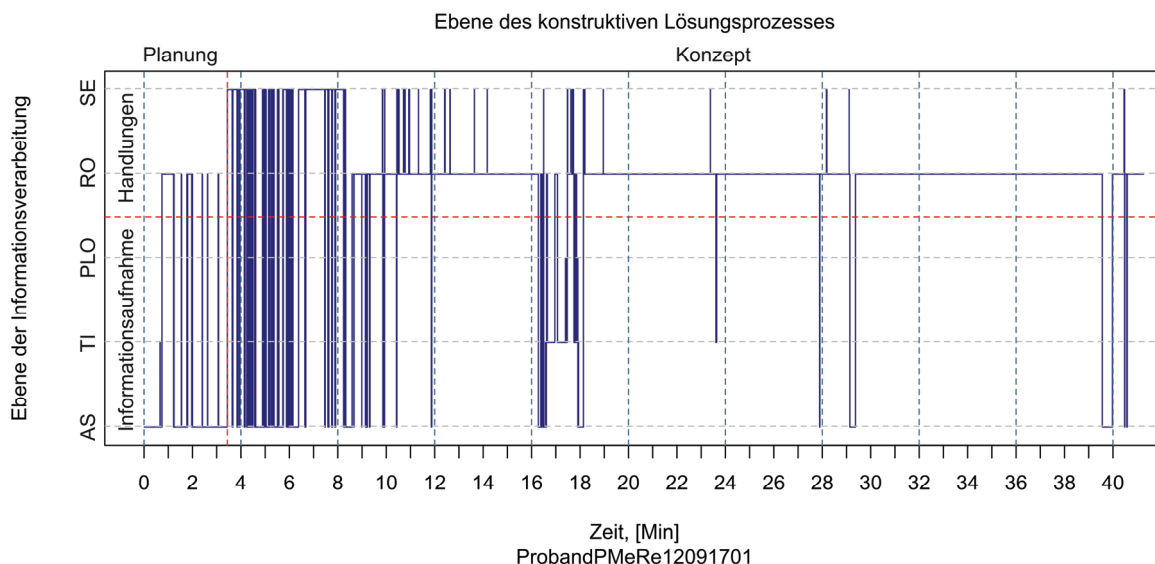


Abb. 12: Lösungsprozess mit der theoretisch-orientierten Lösungsstrategie, wobei unter der Abbeviatur AS-Aufgabenstellung, IT-Informationstabellen, PLO-Problemlöseoperatoren, RO-reale Objekte, SE-symbolische Ebene zu verstehen sind (eigene Darstellung).

6 Zusammenfassung und Diskussion

In diesem Beitrag wurde eine neu entwickelte Analysemethodik zur Erforschung von konstruktiven Problemlöseprozessen auf der Basis von Eye-Tracking-Daten dargestellt. Wesentliches Qualitätsmerkmal von Analysewerkzeugen zu empirischen Forschungszwecken sind die drei zentralen Gütekriterien Objektivität, Reliabilität und Validität (Bortz & Döring 2006, S. 195-202). Bei der Betrachtung des Gütekriteriums Objektivität sind hier insbesondere die Durchführungsobjektivität und Interpretationsobjektivität von Bedeutung. Die Durchführungsobjektivität wurde durch standardisierte Instruktionen zur Durchführung der Prozessanalyse und eine standardisierte Testsituation sichergestellt. Zur Bestimmung der Güte der Interpretationsobjektivität der Auswertung der Eye-Tracking Daten auf der Mesoebene wurde die Berechnung von Cohens-Kappa-Koeffizient durchgeführt. Dafür wurden drei der 14 ausgewerteten Aufnahmen von jeweils zwei Ratern ausgewertet und Cohens-Kappa-Koeffizient für jedes Paar berechnet. Der Durchschnittswert über die drei Fälle beträgt $\kappa = 0.96$, was auf eine erfreulich hohe Interpretationsobjektivität schließen lässt. Die Reliabilität bei der Datenerfassung durch Eye-Tracking-Systeme wird im Wesentlichen durch die Genauigkeit der eingesetzten Technologie bestimmt. Die maximale Reliabilität eine Messung liegt dann vor, wenn der registrierte Fehler zwischen dem gemessenen und dem von dem Probanden fixierten Ort gleich null ist. Die Genauigkeit der Eye-Tracking-Technik wird durch die Parameter Accuracy und Precision bestimmt. Unter Accuracy wird dabei die Differenz zwischen dem wahren und dem gemessenen Blickpunkt verstanden und mit Preci-

sion wird die Fähigkeit des Eye-Tracking-Systems die Messwerte zu reproduzieren bezeichnet. In einem Report (vgl. Tobii AB 2017, S. 1–16) gibt Tobii die folgenden Werte für diese technischen Charakteristiken an: Accuracy = $0,56^\circ$ (SD = $0,19^\circ$), Precision = $0,11^\circ$ (SD = $0,14^\circ$). Die Werte wurden bei einer im Durchschnitt als eine „Good calibration“ beurteilte Kalibrierung mithilfe von 17 Probanden, die sich im Abstand von 0,5 m von dem Stimulus befanden, ermittelt (ebd.). Rechnet man die angegebenen Winkel in die räumlichen Abstände in Bezug auf unser Versuchssetting um, so erhält man die folgenden Werte: Für die Accuracy = 4,40mm (SD = 1,49mm) und für die Precision = 0,86mm (SD = 1,10mm). Die schriftlichen Materialien wurden unter Berücksichtigung dieser maximalen Ungenauigkeiten der Messtechnik erstellt. Es wurden eine entsprechende Schriftgröße gewählt sowie die Abstände zwischen den Zeilen und die Größe der Abbildungen daran angepasst. Des Weiteren wurden die Schülerinnen und Schüler angewiesen nicht mit den realen Objekten über den schriftlichen Materialien zu arbeiten, um Überlagerungen im Blickfeld zu vermeiden. Mit diesen Maßnahmen konnte sichergestellt werden, dass mit einer nur sehr geringen Fehlerrate eine eindeutige Zuordnung der Blickpunkte zu den einzelnen Versuchsmaterialien erfolgen konnte. Die Beurteilung der Validität einer Analysemethode ist immer besonders schwierig, da hierzu zumeist keine exakt bestimmbar Parameter zur Verfügung stehen und die Validität auf unterschiedliche Aspekte bezogen werden kann. In Bezug auf den Anwendungsfall besteht die Validität darin, wie gut es gelingt die individuellen Tätigkeiten (Informationsverarbeitungsprozesse) eines Probanden bei der Bearbeitung eines technischen Problems möglichst exakt zu erfassen. Dies bedeutet es gilt einzuschätzen, inwieweit die gemessenen Fixationshäufigkeiten und Fixationszeiten von Texten, Bildern und realen Objekten valide Indikatoren sind für die damit in Zusammenhang stehenden Informationsverarbeitungsprozesse. Hierzu wurden die synchronen Audiodaten über die lauten Denkprozesse der Probanden mit in die Auswertung einbezogen, wobei sich eine gute Übereinstimmung zeigte.

Die ersten Einschätzungen in Bezug auf die Gütekriterien deuten darauf hin, dass mit der neu entwickelten Analysemethodik die schwer zugänglichen konstruktiven Lösungsprozesse mithilfe eines mobilen Eye-Tracking-Systems gut erfasst werden können. Keine bisher bekannten Forschungsmethoden bieten die Möglichkeit individuelle Lösungsprozesse so detailreich mit hoher Objektivität und Reliabilität, wie mit einem Eye-Tracking-System, zu untersuchen.

Zur Ermittlung von Lösungsstrategien wurden die graphisch dargestellten Lösungsprozesse qualitativ mittels der komparativen Analyse ausgewertet. Dafür wurden 14 repräsentative Fälle auf der Mesoebene betrachtet, mit dem Ergebnis, dass alle 14 Lösungsprozesse zu den 3 unterschiedlichen Vorgehensweisen beim Lösen des gegebenen Problems zugeordnet werden konnten. Der größte Teil (10 aus 14) von Schülerinnen und Schülern wählten die *praktisch-orientierte Lösungsstrategie*, drei die *Mischstrategie* und lediglich ein Schüler bevorzugte die *theoretisch-orientierte Lösungsstrategie*. Aufgrund der geringen Probandenzahl ist es denkbar, dass bei Hinzunahme von neuen Fällen weitere Lösungsstrategien gefunden werden könnten. Insbesondere wenn die Lösungsprozesse auf der Mikroebene analysiert werden, kann man davon ausgehen, dass sich stärker differenzierte Lösungsstrategien herauskristallisieren werden. Die stark ungleiche Verteilung von Probanden in die Gruppen unterschiedlicher Lösungsstrategien deutet zwar darauf hin, dass einige Lösungsstrategien bevorzugt gewählt werden, es konnte allerdings bei den 14 untersuchten Fällen keine Tendenz beobachtet werden, dass erfolgreiche Problemlöserinnen und Problemlöser andere Lösungsstrategien wählen als weniger erfolgreiche.

Literatur

- Anderson, J. R., Funke, J. & Plata, G. (Hrsg.) (2007). *Kognitive Psychologie*. Berlin: Spektrum Akadem. Verl.
- Anderson, J. R. & Lebiere, C. J. (Hrsg.) (1998). *The Atomic Components of Thought*. Hoboken: Taylor and Francis.
- Dörner, D. (1976). *Problemlösen als Informationsverarbeitung*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Duchowski, A. T. (2007). *Eye tracking methodology: Theory and practice*. London: Springer.
- Fletcher, S. (2005). *Förderung der Problemlösefähigkeit zum Konstruieren: Gestaltung von Lernprozessen mit Hilfe eines wissensbasierten Lernsystems*. Zugl.: Magdeburg, Univ., Diss, 2004. Bielefeld: Bertelsmann.
- 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, New York, London, Paris, Tokyo, Hong Kong, Barcelona, Budapest: 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.
- Koller, R. (1985). *Konstruktionslehre für den Maschinenbau: Grundlagen des methodischen Konstruierens*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Mey, G. & Muck, K. (2010). *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften/Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH Wiesbaden.
- Polya, G. (1988). *How to solve it: A new aspect of mathematical method*. Princeton, NJ: Princeton Univ. Press.
- Ropohl, G. (2009). *Allgemeine Technologie: Eine Systemtheorie der Technik*. s.l.: KIT Scientific Publishing.
- Wallach & Lebiere, I. *Modellierung von Wissenserwerbsprozessen bei der Systemregelung: Intelegente Informationsverarbeitung*. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag (93–100).

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. (2018). Prozessorientierte Analyse von konstruktiven Problemlöseprozessen auf Basis von Eye-Tracking-Aufnahmen. *Journal of Technical Education (JOTED)*, 6(1), 65–83.

