

Lernförderliche Gestaltung computerbasierter Instruktionen zur Roboterkonstruktion

Shirin Esmaeili Bijarsari¹, Maria Wirzberger² und Günter Daniel Rey³

Abstract: Durch den zunehmenden Einzug computerbasierter Technologien in den Lehr- und Lernbereich ist die Untersuchung der lernförderlichen Gestaltung wieder stärker in den Vordergrund gerückt. Besonders in praktisch-motorischen Lernszenarien besteht der Bedarf einer angepassten Methodik. Vor diesem Hintergrund diskutiert diese Studie eine Methodik zur computerbasierten Instruktion für die Konstruktion von Lego Mindstorm Robotern. In einem 2x2 Design werden die Instruktionselemente Guidance Fading und Color Coding auf ihre Lernförderlichkeit untersucht. Abschließend werden Vorteile der webbasierten Umsetzung der Studie diskutiert.

Keywords: Instruktionsgestaltung; Guidance Fading; Color Coding; Schemabildung; Roboterkonstruktion

1 Motivation

Computerbasierte Technologien finden vermehrte Relevanz im alltäglichen Gebrauch. In Lernumgebungen bieten sie eine Alternative und Verbesserung klassischer Lehrmethoden an. Der Einfluss dieser lernförderlichen Gestaltung ist dabei breit gefächert und kann von praktischen Trainingseinheiten in einer Gefahrensituation [BTG97] bis hin zu studentischen Lernumgebungen reichen [Zh04]. Während E-Learning Methoden bei überwiegend kognitiver Tätigkeit hierbei gut erforscht sind, mangelt es an Gestaltungsprinzipien in praktisch-motorischen Anwendungen. Bessere und einfachere, an die Situation angepasste Lehr- und Lernmethoden müssen gefunden werden, um ein individuell bestmögliches Ergebnis zu gewährleisten. Um dies zu sichern, muss die Lernförderlichkeit der verwendeten Methoden unter Betrachtung der kognitiven Prozesse des Lernenden untersucht werden. Der Grundsatz der Lernförderlichkeit zielt dabei darauf ab, mithilfe von Unterstützung und Anleitung über Gestaltungselemente des Mediums das Erlernen zu erleichtern [Sc08].

Ein wesentliches Kerncharakteristikum des Lernens stellt die Bildung von Schemata dar, die als organisierte Repräsentationen von Informationen im Langzeitgedächtnis beschrieben werden können [Ba32]. Ihre Funktion besteht in der Minimalisierung von Zeitaufwand und Kapazitätsverbrauch der mentalen Ressourcen [BJ72, RO77]. Die mentalen Ressourcen werden wiederum nach der Cognitive Load Theorie von verschiedenen Facetten der Lernsituation beansprucht [PM94, PRS03]. Während die

¹ TU Chemnitz, Psychologie digitaler Lernmedien, s.esmaeili.bijarsari@googlemail.com

² TU Chemnitz, Psychologie digitaler Lernmedien, maria.wirzberger@phil.tu-chemnitz.de

³ TU Chemnitz, Psychologie digitaler Lernmedien, guenter-daniel.rey@phil.tu-chemnitz.de

intrinsische kognitive Beanspruchung (ICL) über inhärente Charakteristiken wie die Komplexität der Lernaufgabe, und die extrinsische Beanspruchung (ECL) über ihre Präsentation [Sw10] das Lernen behindern können, wirkt sich die germane kognitive Beanspruchung (GCL) auf den Schemaerwerb und die Automatisierung von Gedächtnisinhalten förderlich aus [Ka11]. Nach der Embodied Cognition Theorie muss weiterhin die Sensomotorik und Umwelt des Lernenden mit betrachtet werden [MC08], auf die über das sogenannte off-loading kognitive Beanspruchung übertragen werden kann [Wi02].

2 Methodik

2.1 Stichprobe

An der Studie nahmen $N = 78$ Probandinnen ($M = 23.1$ Jahre, $SD = 3.5$, Range: 18-33) teil, mit überwiegend deutschen Sprachkenntnisse auf Muttersprachniveau ($n = 69$) oder einer längeren Spracherfahrung ($M = 10.0$ Jahre, $SD = 7.5$). Die Teilnahme begrenzte sich auf Probandinnen, um eine Verzerrung durch geschlechterspezifische Differenzen in den räumlich-visuellen Fähigkeiten [LP85, VVB95] wie auch der Relevanzzuteilung von Farbcodierungen in der Gestaltung [BKJ04, DM01] vorzubeugen.

2.2 Studiendesign

Zur Untersuchung der Lernförderlichkeit im computerbasierten, praktischen Lehrbereich wurde eine computerbasierte Instruktion und das zugehörige Arbeitsumfeld über ein 2x2 Design basierend auf theoretischen Erkenntnissen der Cognitive Load Theory und des Embodied Cognition Ansatzes variiert. Als Lernaufgabe diente die Konstruktion zweier Lego Mindstorms EV3 Roboter.

Die Anleitung der Konstruktion unterschied sich einerseits im Ausmaß ihrer instruktionalen Unterstützung (abnehmende instruktionale Unterstützung vs. vollständige instruktionale Unterstützung). Das Lernen anhand von Instruktionen über in diesem Fall visuellen Angaben wie Pfeilen oder Bilder des Endproduktes, ist besonders für Lernende ohne Expertise eine Notwendigkeit. Das Prinzip der abnehmenden instruktionalen Unterstützung (Guidance Fading) geht jedoch davon aus, dass ein Abnehmen der Hilfestellung bei Zunahme des Erfahrungslevels des Lernenden zu einem besseren Lernen bzw. stärkeren Schemakonstrukt führen kann [Re12]. Während Studien darauf hinweisen, dass generell eine graduelle Abnahme als Grundlage dieser Herangehensweise dienen sollte, bestehen Unstimmigkeiten über deren Art, Stärke und Varianz [Sa09, RA03]. Aus diesem Grund wurde für diese Studie nach der Hierarchical Task Analysis [An03] die Instruktion systematisch um logische Handlungsschritte bei sich wiederholenden Konstruktionsabschnitten reduziert. Diese Variation im Design sollte Resultate bezüglich der Schemakonstruktion und folglich Behaltens- wie auch Transferfähigkeit erbringen,

d.h. der Fähigkeit erlerntes Wissen abzurufen und der Fähigkeit, das Erlernte auf neue, unbekannte Konzepte anzuwenden. Zur besseren Nachverfolgung der Schemakonstruktion wurde eine konstante, auditiv-verbale Zweitaufgabe während der gesamten Konstruktionsphase ausgeführt. Im Abstand von 5s wurde ein hoher oder tiefer Klavierton kurz abgespielt, den die Probandinnen als solchen benennen mussten. Reaktionszeiten und Fehler über den Konstruktionsverlauf hinweg sollten dabei Rückschlüsse auf die aktuelle kognitive Auslastung im Arbeitsgedächtnis angeben [De96].

Die zweite Variation erfolgte über den Einsatz farblicher Codierung (Color Coding). So wurde das Material, wie in Abbildung 1 dargestellt, funktional in sechs verschiedene Schachteln eingeteilt, entweder farblich differenziert (sechs verschiedene Farben) oder nicht differenziert (sechs Mal die gleiche Farbe). Das Color Coding sollte nach der Theorie der Embodied Cognition bzw. dem off-loading den Cognitive Load verringern.



Abb. 1: Variation des Color Coding. links: Computeranleitung mit farblicher Kodierung eines Funktionsteils; rechts: farblich kodierte Aufbewahrung des Materials

2.3 Material

Neben dem computerbasierten Manual als Anleitung zur Roboterkonstruktion sowie den Lego Mindstorms EV3 Roboterteilen, kamen verschiedene Tests und Fragebögen zum Einsatz. Die gesamte Studie fand am PC über eine selbst erstellte Website statt.

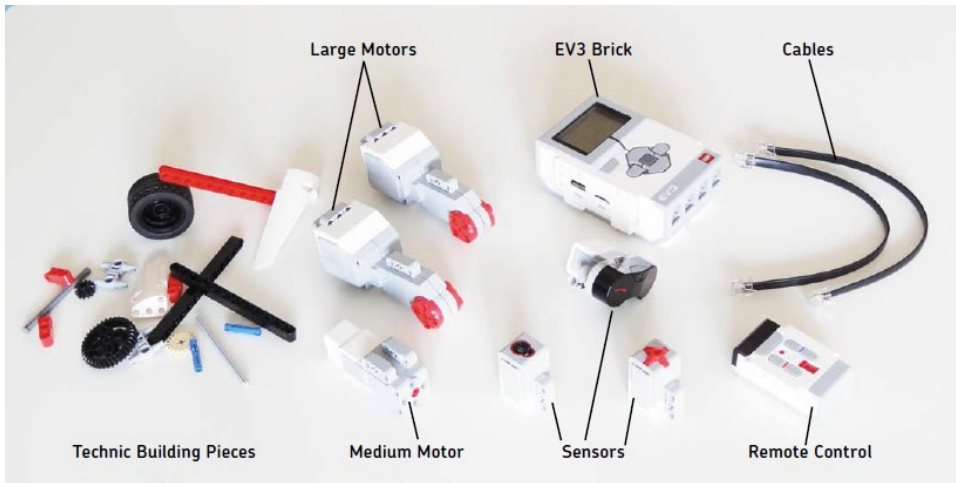


Abb. 2: Materialien eines Lego Mindstorms EV3 [Va15]

Wie in Abbildung 2 erkennbar ist, bestehen die Roboter aus mehreren Einzelteilen verschiedener Funktionalität, Motoren, Sensoren, Kabeln und den Bricks. Die Bricks stellen dabei den zentralen Computer und Programmkern dar. Anhand des Bricks kann der Roboter mit verschiedenen Handlungen programmiert werden und nur über einige Verknüpfung mit diesem können Motoren oder Sensoren funktionieren.

2.4 Durchführung

Nach der Begrüßung und Einleitung wurden Tests zum Ausschluss von Farbenblindheit [Is60] und der Prüfung mentaler Rotationsfähigkeiten [VK78] durchgeführt. Darauf folgte ein Fragebogen zur Demographie, ein Fragebogen zur Erfassung der Technikaffinität (TA-EG) [Ka09] und eine Abfrage der Vorerfahrung in der Arbeit mit Konstruktionen und Manualen. Wie in Abbildung 3 dargestellt, startete anschließend die Roboterkonstruktion mit einem kurzen Übungsteil und nachfolgend zwei zu konstruierenden Robotern. Beide Roboter waren nur in ihrem letzten Konstruktionselement der Sensorik unterscheidbar. Diese Differenz war damit begründet, dass die Probandinnen die Breite der Funktionalität der Materialien erkennen sollten. So konnte ein Roboter durch den Lichtsensor Linien nachfahren, der andere konnte durch den Drucksensor Blockaden erkennen und umfahren. Der Zusammenbau erfolgte immer mit der gleichzeitig ablaufenden auditiv-verbale Zweitaufgabe und schloss nach jeder kompletten Konstruktion eines Roboters mit dem Cognitive Load Fragebogen nach Leppink ab [Le14]. Die Konstruktionen waren jeweils voneinander durch eine kurze Pause abgetrennt, in der die gebauten Roboter kurz getestet werden konnten. Nach Abschluss der Konstruktionsphase folgten Behaltens- und Transferaufgaben. Die Probandinnen mussten zwischen bekannten und unbekanntem Materialien unterscheiden sowie diese nach ihrer Funktionalität den jeweiligen Schachteln bzw. Farben zu ordnen. Weiterhin mussten sie Abbildungen fertiger Konstrukte aus der

Konstruktionsphase auf Fehler untersuchen und einschätzen, ob neue, unbekannte Konstruktionen mit den in der Studie genutzten Materialien nachzubauen wären.

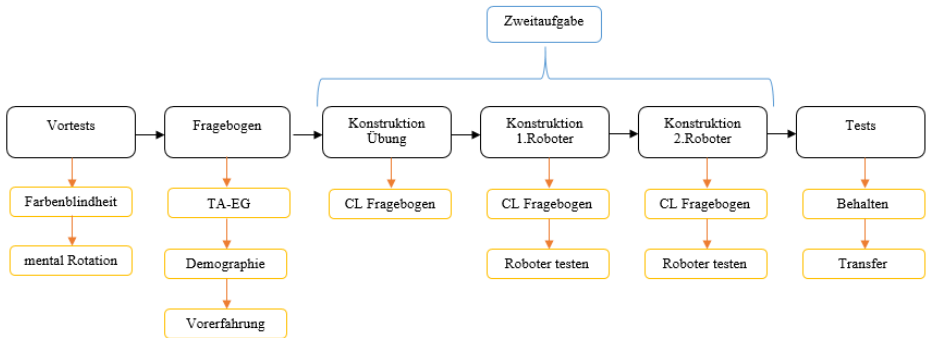


Abb. 3: Schematischer Ablauf einer Studiensitzung.

3 Programmierung

Der komplette Ablauf erfolgte am PC über eine Website im Localhost. Fragebögen, die Manuale wie auch der Ablauf der Zweitaufgabe und die Speicherung verschiedener Variablen in Logfiles mussten selbst erstellt werden. Dazu wurde u.a. das Programm Microsoft Expression Web 4 genutzt, und die Webseite überwiegend mit PHP 5.3 und grundlegenden HTML5 wie auch CSS 3 Elementen erstellt. Einige Elemente wie die Zweitaufgabe mussten über Javascript eingebunden werden, um deren konstanten Ablauf über die fortlaufenden Seiten zu gewährleisten. Die fertige Website wurde anhand eines über das XAMPP Control Panel simulierten Servers lokal gehostet. Dadurch konnten u.a. Ladezeiten umgangen werden. Standardisierte Tests wie der Mental Rotation Test [VK78] mussten exakt nach der Paper-Pencil Testvorlage gestaltet werden, da noch keine elektronische Vorlage existiert.

Ein weiteres programmierbares Element der Studie stellten die Lego Mindstorms EV3 Roboter dar. Zum Testen der fertiggestellten Roboter mussten die Bricks, also der programmierbare Microcomputer, vorab mit Handlungsprogrammen beschrieben worden sein. Dazu wurden über das Lego Mindstorms EV3 Home Edition Programm zwei verschiedene Handlungen für die Roboter codiert: der erste Roboter sollte vorwärts und um Kurven fahren können, während er über den Lichtsensor einer schwarzen Linie folgt und der zweite Roboter sollte über den Drucksensor auf Druck reagieren, in dem er zurückfährt, sich um ca. 45° dreht und dann einen neuen Weg entlang fährt. Weitere Elemente wie Geräusche und Geschwindigkeit konnten ebenfalls eingefügt werden, dienten aber lediglich eher als gestalterische Akzente. Das Lego Mindstorms EV3 Programm nutzt zur Programmierung das Baukasten-Prinzip, in dem Handlungsschritte oder -elemente in vordefinierten Blöcken zusammengefasst wurden. Dies setzt nur geringe

Programmierfähigkeiten voraus und erfordert vielmehr ein Verständnis über die richtige Nutzungsweise des programmeeigenen Blocksystems. Diese vereinfachte Darstellung lässt sich mit der Zielgruppe der Lego Mindstorms Roboter erklären, welche sich überwiegend an Kinder und Jugendliche richtet und für diese als ein erster Schritt in die Programmier- und Informatikwelt verstanden werden kann.

4 Diskussion

Gerade im E-Learning Bereich sollte der Informatik mehr Gewicht gegeben werden, da dessen Grundlage auf der computergesteuerten Gestaltung von Lehr- und Lernmaterial basiert. Besonders die Erstellung von eigenen, lokal nutzbaren Webseiten könnte großen Nutzen in der Studiendurchführung mit sich bringen, da weitaus flexibler und mit wenig Einschränkungen, bis auf die eigenen Programmierfähigkeiten, Inhalte erstellt werden können. Weiterhin würden rechtliche Sorgen durch den Einsatz Copyright geschützter Materialien entfallen, da diese nicht mehr an Drittanbieter weitergeleitet und möglicherweise online abgespeichert werden, z.B. bei der Nutzung von Online-Portalen zur Fragebogen- und Testgestaltung. Der Gebrauch wie auch die Datenspeicherung findet streng lokal statt. Auch der Einsatz von Testmaterial sollte auf computerbasierter Ebene erfolgen, da damit nicht nur weitaus bessere Testbedingungen realisiert werden können, z.B. durch die ergonomisch anpassbare Anzeige, sondern auch eine sicherere Speicherung der Daten gewährleistet wird. Der möglichen Gefahrenquelle beim Übertragen der Testergebnisse vom Papierformat in die Auswertungsdatei würde somit entgegengewirkt werden.

Aktuell kann noch keine Aussage über die Ergebnisse der Studie getroffen werden, da diese erst kürzlich beendet wurde und eine Auswertung noch nicht stattfinden konnte. Trotzdem waren bereits während der Durchführung interessante Beobachtungen zu verzeichnen. So haben Probandinnen häufig den falschen Sensor ausgewählt, weil sie nur auf das Bild der Konstruktion, in dem dieser nicht gut erkennbar war, geachtet haben, nicht aber auf die Materialangabe. Nach eigenen Angaben konnten sie sich nicht an eine korrekte Darstellung des Sensors erinnern. Dies wirft die Frage auf, ob das Color Coding wirklich wahrgenommen wurde, wenn möglicherweise die Materialangabe eher als redundant angesehen und ignoriert wird. Einen weiteren Hinweis darauf lieferten manche Probandinnen, die sich an keine farbliche Unterscheidung hinsichtlich der Materialien und Schachteln erinnern konnten. Bezüglich des Guidance Fadings zeigten die Probandinnen bis auf einige Einzelfälle keine großen Probleme in der Konstruktion selbst, waren aber erkennbar verzögert in ihren Antworten zur Zweitaufgabe. Die Betrachtung der verzögerten Antwortzeiten, aber auch sprachlicher Beanspruchungsindikatoren über den gesamten Konstruktionsverlauf sollte interessante Erkenntnisse bezüglich der kognitiven Beanspruchung in praktisch-motorischen Lernszenarien erbringen.

Danksagung

Die vorgestellte Arbeit wurde im Rahmen des GRK 1780/1 mit freundlicher Unterstützung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) realisiert.

Literaturverzeichnis

- [An03] Annett, J.: Hierarchical Task Analysis. In *The Handbook of Task Analysis for Human-Computer Interaction*, 2003; S. 67.
- [Ba32] Bartlett, F. C.: *Remembering: An Experimental and Social Study*. Cambridge University Press, Cambridge, MA, USA, 1932.
- [BJ72] Bransford, J. D.; Johnson, M. K.: Contextual prerequisites for understanding. Some investigations of comprehension and recall. In *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 1972, 11; S. 717–726.
- [BKJ04] Bimler, D. L.; Kirkland, J.; Jameson, K. A.: Quantifying variations in personal color spaces. Are there sex differences in color vision? In *Color Research & Application*, 2004, 29; S. 128–134.
- [BTG97] Bliss, J. P.; Tidwell, P. D.; Guest, M. A.: The Effectiveness of Virtual Reality for Administering Spatial Navigation Training to Firefighters. In *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 1997, 6; S. 73–86.
- [De96] D'Esposito, M. et al.: Working memory impairments in multiple sclerosis. Evidence from a dual-task paradigm. In *Neuropsychology*, 1996, 10; S. 51–56.
- [DM01] Dwyer, F. M.; Moore, D. M.: The effect of gender, field dependence and color-coding on student achievement of different educational objectives. In *International Journal of Instructional Media*, 2001, 28; S. 309.
- [Is60] Ishihara, S.: *Tests for colour-blindness*. Kanehara Shuppan Company, 1960.
- [Ka09] Karrer, K. et al.: Technikaffinität erfassen-der Fragebogen TA-EG. In *Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme*, 2009, 8; S. 196–201.
- [Ka11] Kalyuga, S.: Cognitive Load Theory. How Many Types of Load Does It Really Need? In *Educational Psychology Review*, 2011, 23; S. 1–19.
- [Le14] Leppink, J. et al.: Effects of pairs of problems and examples on task performance and different types of cognitive load. In *Learning and Instruction*, 2014, 30; S. 32–42.
- [LP85] Linn, M. C.; Petersen, A. C.: Emergence and Characterization of Sex Differences in Spatial Ability. A Meta-Analysis. In *Child Development*, 1985, 56; S. 1479.
- [MC08] Mahon, B. Z.; Caramazza, A.: A critical look at the embodied cognition hypothesis and a new proposal for grounding conceptual content. In *Journal of physiology, Paris*, 2008, 102; S. 59–70.
- [PM94] Paas, F.; van Merriënboer, J. J. G.: Instructional control of cognitive load in the training of complex cognitive tasks. In *Educational Psychology Review*, 1994, 6; S. 351–371.

- [PRS03] Paas, F.; Renkl, A.; Sweller, J.: Cognitive Load Theory and Instructional Design. Recent Developments. In *Educational Psychologist*, 2003, 38; S. 1–4.
- [RA03] Renkl, A.; Atkinson, R. K.: Structuring the Transition From Example Study to Problem Solving in Cognitive Skill Acquisition. A Cognitive Load Perspective. In *Educational Psychologist*, 2003, 38; S. 15–22.
- [Re12] Reiser, R. A. et al.: Guidance-Fading Effect. In (Seel, N. M. Hrsg.): *Encyclopedia of the sciences of learning*. Springer, New York, 2012; S. 1400–1402.
- [RO77] Rumelhart, D. E.; Ortony, A.: The representation of knowledge in memory. In (Anderson, R. C.; Spiro, R. J.; Montague, W. E., Hrsg.): *Schooling and the acquisition of knowledge*; S. 99–135. Lawrence Erlbaum Associates Inc, Hillsdale, NJ, 1977.
- [Sa09] Salden, R. J. C. M. et al.: Worked examples and tutored problem solving: redundant or synergistic forms of support? In *Topics in cognitive science*, 2009, 1; S. 203–213.
- [Sc08] Schneider, W.: *Ergonomische Gestaltung von Benutzungsschnittstellen. Kommentar zur Grundsatznorm DIN EN ISO 9241-110*. Beuth, Berlin, Wien, Zürich, 2008.
- [Sw10] Sweller, J.: Element Interactivity and Intrinsic, Extraneous, and Germane Cognitive Load. In *Educational Psychology Review*, 2010, 22; S. 123–138.
- [Va15] Valk, L.: *The Lego Mindstorms EV3 discovery book. A beginner's guide to building and programming robots*. No Starch Press, San Francisco, CA, 2015.
- [VK78] Vandenberg, S. G.; Kuse, A. R.: Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. In *Perceptual and motor skills*, 1978, 47; S. 599–604.
- [VVB95] Voyer, D.; Voyer, S.; Bryden, M. P.: Magnitude of sex differences in spatial abilities. A meta-analysis and consideration of critical variables. In *Psychological Bulletin*, 1995, 117; S. 250–270.
- [Wi02] Wilson, M.: Six views of embodied cognition. In *Psychonomic Bulletin & Review*, 2002, 9; S. 625–636.
- [Zh04] Zhang, D. et al.: Can e-learning replace classroom learning? In *Communications of the ACM*, 2004, 47; S. 75–79.