

Stelter, Annette; Goldhammer, Frank; Naumann, Johannes; Rölke, Heiko
**Die Automatisierung prozeduralen Wissens. Eine Analyse basierend auf
Prozessdaten**

Stiller, Jurik [Hrsg.]; Laschke, Christin [Hrsg.]: Berlin-Brandenburger Beiträge zur Bildungsforschung 2015. Herausforderungen, Befunde und Perspektiven interdisziplinärer Bildungsforschung. Frankfurt, M. : Lang 2015, S. [111]-131



Quellenangabe/ Reference:

Stelter, Annette; Goldhammer, Frank; Naumann, Johannes; Rölke, Heiko: Die Automatisierung prozeduralen Wissens. Eine Analyse basierend auf Prozessdaten - In: Stiller, Jurik [Hrsg.]; Laschke, Christin [Hrsg.]: Berlin-Brandenburger Beiträge zur Bildungsforschung 2015. Herausforderungen, Befunde und Perspektiven interdisziplinärer Bildungsforschung. Frankfurt, M. : Lang 2015, S. [111]-131 - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-129034 - DOI: 10.25656/01:12903

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-129034>

<https://doi.org/10.25656/01:12903>

in Kooperation mit / in cooperation with:



PETER LANG

INTERNATIONALER VERLAG DER WISSENSCHAFTEN

<http://www.peterlang.com>

Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document.

This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Kontakt / Contact:

peDOCS
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung
E-Mail: pedocs@dipf.de
Internet: www.pedocs.de

Jurik Stiller / Christin Laschke (Hrsg.)

Berlin-Brandenburger Beiträge zur Bildungsforschung 2015

Herausforderungen, Befunde und Perspektiven
interdisziplinärer Bildungsforschung



PETER LANG
EDITION

Jurik Stiller / Christin Laschke (Hrsg.)

Berlin-Brandenburger Beiträge zur Bildungsforschung 2015

Jurik Stiller und Christin Laschke präsentieren aktuelle Themen, Herausforderungen und Perspektiven der empirischen Bildungsforschung. Das Buch enthält Beiträge zu laufenden und künftigen Untersuchungen der Berliner und Brandenburger Universitäten und Forschungseinrichtungen. Dabei werden aktuelle Befunde der qualitativen und quantitativen empirischen Bildungsforschung vorgestellt und methodische Herausforderungen diskutiert. Mit einem Ausblick auf zukünftige Projekte werden Perspektiven der empirischen Bildungsforschung erörtert.

Die Herausgeber

Jurik Stiller studierte Chemie und Geographie an der Humboldt-Universität zu Berlin. Momentan forscht er dort u.a. zu Kompetenzmodellierung und -erfassung.

Christin Laschke ist Soziologin und forscht an der Humboldt-Universität Berlin zur Mathematiklehrausbildung in Deutschland und Taiwan.

Berlin-Brandenburger Beiträge zur Bildungsforschung 2015

Jurik Stiller / Christin Laschke (Hrsg.)

Berlin-Brandenburger
Beiträge zur
Bildungsforschung 2015

Herausforderungen, Befunde und Perspektiven
interdisziplinärer Bildungsforschung

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.



Interdisziplinäres Zentrum
für Bildungsforschung



Umschlagabbildung:
Jakob-und-Wilhelm-Grimm-Zentrum,
Zentralbibliothek der Humboldt-Universität zu Berlin.
© 2014, Jurik Stiller

ISBN 978-3-631-65709-6 (Print)
E-ISBN 978-3-653-04961-9 (E-Book)
DOI 10.3726/978-3-653-04961-9

© Peter Lang GmbH
Internationaler Verlag der Wissenschaften
Frankfurt am Main 2015
Alle Rechte vorbehalten.
Peter Lang Edition ist ein Imprint der Peter Lang GmbH.

Peter Lang – Frankfurt am Main · Bern · Bruxelles ·
New York · Oxford · Warszawa · Wien

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Diese Publikation wurde begutachtet.

www.peterlang.com

Die Automatisierung prozeduralen Wissens: Eine Analyse basierend auf Prozessdaten

Annette Stelter¹, Frank Goldhammer^{1,2},
Johannes Naumann^{1,2} & Heiko Rölke¹

¹DIPF, Frankfurt & ²ZIB, Frankfurt

Zusammenfassung

Prozessbezogene Verhaltensdaten aus computerbasierten Large Scale Assessments bieten neue Möglichkeiten zur Beschreibung des Bearbeitungsprozesses von Testteilnehmerinnen und -teilnehmern. Dieser beinhaltet in der Regel auch die Anwendung von prozeduralem Wissen, also Wissen darüber, wie Tätigkeiten ausgeführt werden. Dabei nimmt mit zunehmender Expertise der Automatisierungsgrad prozeduralen Wissens zu, was anspruchsvollere kognitive Leistungen ermöglicht. Testteilnehmerinnen und Teilnehmer brauchen selbst zum Lösen komplexer Probleme auch potentiell routinisierbares prozedurales Wissen und werden sich dabei im Grad der Automatisierung dieses Wissens unterscheiden. In dieser Studie wird ein Indikator für Automatisierung anhand aggregierter Testteilnehmerinnen und -teilnehmerinteraktionen aus Prozessdaten extrahiert. Hierfür werden Daten aus dem computerbasierten Teil des „Programme for the International Assessment of Adult Competencies“ (PIAAC) genutzt. Basierend auf theoretischen Annahmen zum Kompetenzerwerb werden basale Teilaufgaben identifiziert, für die der individuelle Grad an Automatisierungen durch zeit-basierte Indikatoren erfasst wird. Anschließend werden logistische Regressionen berechnet, um die Beziehung dieser Indikatoren zur Wahrscheinlichkeit, mit der eine Aufgabe gelöst wird, zu ermitteln. Die Ergebnisse zeigen erwartungsgemäß einen negativen Zusammenhang zwischen der Lösungswahrscheinlichkeit einer Problemlöseaufgabe und der Geschwindigkeit bei der Bearbeitung basaler Teilaufgaben.

Abstract

Through the use of behavioral process data research questions considering the test-taking process can be answered. Behavioral process data gives detailed insight into the problem solving behavior of each test taker, including the activation of procedural knowledge. Procedural knowledge means knowing how to solve a task. With

a higher degree of experience this kind of knowledge will become more automated and allows persons to successfully engage in more demanding cognitive tasks. Even Problem Solving requires this automation in procedural knowledge and test takers will differ in their degree of automation. This study shows how the degree of automation can be measured with process data and is related to success in problem solving tasks. To this end, we use data from the 'Programme for the International Assessment of Adult Competencies' (PIAAC). We first identify routine steps in PIAAC problem solving tasks that can be accomplished by activation of automated procedural knowledge. We measure the degree of automation through the time subjects need to take these routine steps. Logistic regression models are used to calculate the relation between the time taken and the probability of success on the task. First results show that indeed probability of success is highest, when subjects need only little time to take routine steps, presumably due to a high degree of automation.

Einleitung

Routinen basieren auf Repräsentationen im Langzeitgedächtnis, die kognitive Prozesse oder Tätigkeiten beschleunigen (van Merriënboer & Sweller, 2005). Routinen entstehen durch die Übung von Handlungsabläufen. Sie können lange Zeit gespeichert und nach Bedarf abgerufen werden, wenn eine bestimmte Handlung oder Tätigkeit ausgeführt werden soll. Die Tatsache, dass die Routine bereits vorhanden ist, wenn eine entsprechende Reaktion erfordert wird, führt direkt zu einer Schonung von kognitiven Ressourcen (Ericsson & Kintsch, 1995; Sweller, 2003, 2004). Besonders im Umgang mit dem Computer sind solche Routinen notwendig, da viele relevante Tätigkeiten auf basaler Ebene, wie das Schließen eines Dialogfensters (Popup) oder das Vornehmen von Einstellungen, nicht zwingend einer aktiven Steuerung bedürfen sollen.

Die massenhafte Verbreitung von Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) in den letzten Jahrzehnten des vergangenen Jahrhunderts hat vorteilhafte Neuerungen, aber auch neue Anforderungen an ihre Nutzer mit sich gebracht (siehe OECD, 2009). Kompetenzen im Umgang mit dem Computer sind von zentraler Bedeutung für die Teilhabe an modernen Informationsgesellschaften: Informations- und Kommunikationstechnologien bieten Zugang zu Informationen (z.B. Fox & Fallows, 2003), Kommunikationsmöglichkeiten (z.B. OECD, 2000), Zugang zu Stellenangeboten (Green, Felstead & Gallie, 2000) und Möglichkeiten, das Lernen zu verbessern und zu motivieren (Sweet & Meates 2004; Überblick siehe Wilhelm, 2003). IKT ist so komplex und verändert sich so schnell, dass sowohl unerfahrene als auch erfahrene Nutzer immer wieder vor neuen Herausforderungen oder Problemen stehen (Fox & Fallows, 2003).

Kompetenzen im Umgang mit IKT sind, besonders im heutigen Alltag von Erwachsenen, Faktoren, die Exklusion entgegenwirken (Norris, 2001).¹ IKT-Kompetenzen unterstützen sowohl erfahrene als auch den unerfahrenen PC-Nutzerinnen und Nutzer in Alltag und Berufsleben, setzen aber grundlegendes Wissen voraus (Bromme, Jucks & Runde, 2005). Die obengenannten Routinen sind eine Voraussetzung für die Problemlösung mit Hilfe von IKT.

Kognitive Routinen spielen eine wichtige Rolle in Konstrukten, die für die Bildungsforschung relevant sind, wie zum Beispiel technologiebasiertes Problemlösen („problem solving in technology rich environments“, PS-TRE). Nach Mayer (1994) zeichnet sich Problemlösen im Allgemeinen durch vier Merkmale aus: (1) Probleme sind neu und nicht routinisierbar; (2) Probleme beinhalten realistische und anspruchsvolle Aufgabenstellungen; (3) die Lösung von Problemen erfordert den Einsatz kognitiver Prozesse und Strategien; (4) Probleme implizieren dynamische Rückwirkungen der Problemsituation auf das Verhalten des Problemlösers (zitiert nach: Klieme, Leutner & Wirth, 2005). PS-TRE ist eine Kompetenz, die benötigt wird, um (neue) komplexe und neuartige Anforderungen mit Hilfe von Computer und Internet im Alltag zu bewältigen (OECD, 2009). Technologiebasiertes Problemlösen umfasst private, berufsbezogene und gesellschaftliche Herausforderungen, die durch die Nutzung von moderner Technologie gemeistert werden. Bei der Betrachtung von PSTRE ist nicht nur von Interesse, dass eine Person ein Problem löst, sondern auch, wie es gelöst wurde und welche kognitive Ressourcen, Strategien und Prozesse zur Problemlösung oder zum Scheitern geführt haben (vgl. Klieme et al., 2001; Mayer & Wittrock 1996). Die Problembearbeitung enthält unterschiedliche Teilschritte, wozu auch die Verwendung von Routinen gehört.

Die Fähigkeit, Probleme zu lösen, wird als einer der komplexesten und anspruchsvollsten Aspekte menschlichen Denkens verstanden (Newell & Simon, 1972). Zur Lösung eines Problems genügt bloßes Sachwissen nicht, denn sie erfordert zusätzlich systematisches Denken und Strategien. PS-TRE fokussiert auf Situationen, die eine aktive Gestaltung von (Teil-)Zielen und Strategien fordern (OECD, 2009). Die Untersuchung des Bearbeitungsprozesses ist hierfür relevant, weil dadurch ein Zugang zu den zugrundeliegenden Strategien (z.B. Funke, 2010) und Aufschlüsse über die Verteilung kognitiver Ressourcen (z.B. Goldhammer,

1 Aus diesem Auseinanderdriften einzelner Gruppen in der Gesellschaft resultiert auch die „Digital Generation Gap“, welche für die Differenzen zwischen Generationen im Zugang und Wissen um Technologie steht (Fieldhouse & Nicholas, 2008). Hier werden Personen entweder der Generation der „digital natives“ oder jener der „digital immigrants“ zugeordnet.

Naumann, Stelter, Rölke, Tóth & Klieme, 2014) ermöglicht werden.² Bislang wenig untersucht ist die Rolle, die Routinen, also routinisierbare Teilhandlungen, bei PS-TRE spielen. Dies mag damit zu tun haben, dass automatisierte Routinen selbst nicht zur Lösung von Problemen dienen können: Qua definitionem können Probleme eben *nicht* durch Routineoperationen gelöst werden. Gerade *weil* Problemlösen jedoch kognitiv anspruchsvoll ist, sollten routinisierbare Teilhandlungen so weit wie möglich automatisiert sein, um kognitive Ressourcen für strategische Planung frei zu machen. Ziel dieser Arbeit ist, diese Teilhandlungen näher zu definieren und ihren Einfluss auf die Lösungswahrscheinlichkeit mit dem der Gesamtbearbeitung zu vergleichen. Erwartet wird, dass die Bearbeitungszeit der Gesamtaufgabe in einem positiven Zusammenhang mit der Lösungswahrscheinlichkeit steht, da mehr Zeit notwendig ist zur Lösung der relativ schwierigen Problemlöseaufgaben. Im Gegensatz hierzu steht die Annahme über Routinen im Bearbeitungsprozess, bei denen mehr benötigte Zeit zur Bearbeitung mit einer geringeren Lösungswahrscheinlichkeit assoziiert ist.

Bearbeitungszeiten

Wie kann der potenziell für die Lösung von PS-TRE-Aufgaben relevante Routinisierungsgrad von Teilhandlungen gemessen werden? In der kognitiven Psychologie sind Bearbeitungszeiten ein gängiges Maß für Automatisierung (im hiesigen Kontext: Routinisierung; vgl. z. B. Luce, 1986). Entsprechend können bei einfachen Aufgaben Reaktionszeiten diagnostisch fruchtbar gemacht werden. Je kürzer die Entscheidungszeiten bei einfachen Aufgaben zum Umgang mit dem Computer (Goldhammer, Naumann & Keßel, 2013) oder bei einfachen Leseaufgaben (z. B. Richter, Isberner, Naumann & Kutzner, 2012) sind, desto besser routinisiert ist die jeweilige kognitive Operation (z. B. Identifikation des relevanten Buttons bei einer computerbezogenen Aufgabe, Identifikation eines Wortes bei einer Leseaufgabe). Vorsicht ist bei der Interpretation von Bearbeitungszeiten im Problemlösekontext allerdings insofern geboten, als dass bei komplexen Aufgaben, die eine Vielzahl von verschiedenen Teilhandlungen involvieren, lange Reaktionszeiten für strategische Planung und gründliche Bearbeitung sprechen können (Goldhammer et al., 2014). Sollen Reaktionszeiten als Indikator für die Automatisierung von Teilhandlungen bei PS-TRE herangezogen werden, kommt es also darauf an, solche Teilhandlungen zu finden, bei denen diese Interpretation von Bearbeitungszeiten theoretisch gerechtfertigt werden kann.

2 Jedoch bestehen hinsichtlich der Verwendung von Strategiemmaßen noch große, methodische Probleme (Klieme, Funke, Leutner, Reimann & Wirth, 2001).

Prozesse der Automatisierung

Automatisierung entsteht durch die Einübung von Wissen über Handlungsabläufe. Dieser Prozess geschieht nach Anderson (2000) in drei Phasen. In der ersten, kognitiven Phase bilden Personen eine deklarative Enkodierung, d.h. die neue Information wird in bestehende Gedächtnisstrukturen eingebunden. Im Langzeitgedächtnis werden demnach Fakten gespeichert, die für die zu erwerbende Fertigkeit von Bedeutung sind und die eine kontrollierte Ausübung erlauben (Ericsson & Kintsch, 1995; Sweller, 2003, 2004). Die zweite, assoziative Phase ist charakterisiert durch zwei Merkmale. Zunächst werden Fehler im anfänglichen Verständnis des Handlungsablaufs aufgedeckt und eliminiert. Anschließend werden die einzelnen Elemente, welche für die erfolgreiche Ausführung einer Tätigkeit erforderlich sind, stärker miteinander verbunden. Die dritte Phase ist die autonome Phase, in welcher die Fertigkeit durch zunehmende Übung immer weiter routinisiert wird. An dieser Ausführung von Anderson (2000) wird deutlich, dass die Phasen einen Prozess darstellen, der mit unterschiedlichen Graden der Automatisierung von Wissen assoziiert ist.

Zwei Formen von Wissen können aus Andersons Phasen abgeleitet werden: (1) Deklaratives Wissen ist Faktenwissen, welches Informationen beinhaltet und diese in einen übergeordneten Zusammenhang stellt (z.B. Anderson & Lebiere, 1998). Werden diese Informationen zu Fertigkeiten weiterentwickelt, spricht man von prozeduralem Wissen (vgl. Fitts & Posner, 1967). (2) Prozedurales Wissen ist die Fähigkeit zur Umsetzung und Anwendung von Wissen bei der Lösung von Routineaufgaben und entsteht aus konzeptuellem oder deklarativem Wissen (z.B. Baroody, 2003; Canobi, Reeve & Pattison, 2003; Rittle-Johnson, Siegler & Alibali, 2001; Schneider, Star & Rittle-Johnson, 2011).³ Verschiedene Grade an Automatisierung können durch Übungsunterschiede entstehen (Schneider & Stern 2010). Je höher der Grad an Automatisierung, desto schneller und fehlerärmer werden Handlungen vollzogen und desto weniger kognitive Anstrengung wird für die Anwendung von prozeduralem und routinisiertem Wissen benötigt (Ackerman, 1988, 2007; Fitts & Posner, 1967; Johnson, 2003; Schneider & Shiffrin, 1977).

Der Bearbeitungsprozess von Problemlösenden rückte dank der computerbasierten Erhebungen mehr in den Fokus sozialwissenschaftlicher Forschung (OECD, 2009). Diese Testerhebungsmethode ermöglicht das Protokollieren

3 Prozedurales Wissen kann als Menge von Produktionsregeln (Wenn – Dann) gedacht werden, die automatisch ausgeführt werden, sobald die Wenn-Komponente einer Produktionsregel erfüllt ist (Anderson & Lebiere, 1998).

von Bearbeitungsprozessen in Form einzelner Interaktionen der Testteilnehmerin bzw. des Testteilnehmers mit dem Stimulus einschließlich ihrer zeitlichen Abfolge (Tóth, Rölke, Goldhammer & Kröhne, 2013). Prozessdaten liefern Verhaltensdaten zur Beschreibung des Lösungsprozesses. Diese Informationen sind umfangreich und unstrukturiert, da sie die individuelle Problembearbeitung darstellen. Dabei sind kleinschrittige Sequenzen, die basale Teilschritte abbilden, für die Beschreibung der hier fokussierten Routinen besonders relevant. Solche Teilschritte und insbesondere die Effizienz der Ausführung bei der Testbearbeitung werden durch das individuell verfügbare prozedurale Wissen bestimmt. Gerade weil prozedurales Wissen routinisiert ist, ist es schwer zu verbalisieren und bewusst zu kontrollieren (Rittle-Johnson et al., 2001). Dies stellt eine Herausforderung für die Kompetenzmessung dar, denn diese spezielle Form des Wissens ist nicht abfragbar, sondern muss an der Geschwindigkeit und ggf. der Akkuratheit festgemacht werden, mit der bestimmte, a priori definierte Teilhandlungen ausgeführt werden, die Automatisierungsprozessen zugänglich sind.

Zielsetzung und Hypothesen

Insgesamt ist die Analyse von Bearbeitungsprozessen in Testaufgaben in Large Scale Assessments noch ein relativ neuer Forschungsbereich. Während allerdings zu Prozessen auf der Makroebene, wie der bewussten Auswahl von Informationsbestandteilen in komplexen Hypertextumgebungen schon erste Ergebnisse und Erfahrungen vorliegen (z.B. OECD, 2011), ist die Automatisierung von Handlungsschritten auf der Mikroebene in Bezug auf die Bearbeitung von Testaufgaben, wie sie bei Large Scale Assessments verwendet werden, noch vollständig unerforscht. Aus diesem Forschungsstand leitet sich die übergeordnete Fragestellung dieser Arbeit ab: Welche Rolle spielen Routinen bei der Allokation kognitiver Ressourcen über den Bearbeitungsprozess von Problemen in technologiebasierten Umgebungen und wie können solche Routinen gemessen werden? Um zunächst den gesamten Arbeitsprozess zu betrachten wird in einem ersten Schritt der Zusammenhang der Gesamtbearbeitungszeit mit der Lösungswahrscheinlichkeit ermittelt. Für eine Beschreibung prozeduralen Wissens müssen im zweiten Schritt Indikatoren identifiziert und ihr Zusammenhang mit der Lösungswahrscheinlichkeit bestimmt werden. Schließlich können Unterschiede der beiden Effekte beschrieben werden. Im Folgenden werden die Annahmen beschrieben und begründet, die in Bezug auf die differenziellen Zusammenhänge von einerseits der Gesamtbearbeitungszeit und andererseits

der Bearbeitungszeit von Teilschritten mit der Lösungswahrscheinlichkeit von PS-TRE-Aufgaben getroffen werden.

Hypothese 1: Der Zusammenhang der Gesamtbearbeitungszeit mit dem Aufgabenerfolg ist positiv, da zusätzliche Ressourcen den Bearbeitungsprozess positiv beeinflussen.

Der Effekt der Gesamtbearbeitungszeit ist u.a. abhängig von der in einer Aufgabe bestehenden Anforderung an kontrollierter versus automatisierter Verarbeitung (Goldhammer, et al., 2014). In Problemlöseaufgaben handelt es sich per Definition um Anforderungen, die vor allem kontrollierte kognitive Verarbeitung verlangen (vgl. Klieme et al., 2001; Mayer & Wittrock 1996). Im Verlauf der Bearbeitung soll die Testteilnehmerin bzw. der Testteilnehmer zunächst ein grundlegendes Verständnis für das Problem entwickeln, die in der Aufgabe präsentierten Inhalte erfassen, über die Lösung nachdenken, entsprechende Strategien zur Zielerreichung entwickeln und schließlich mehrere Aktionen durchführen und den Grad der Zielerreichung überwachen (vgl. OECD, 2009). Die Anforderung an kontrollierte Verarbeitung lässt erwarten, dass ein höherer Zeitaufwand, der als Zuwendung kognitiver Ressourcen interpretiert wird (Goldhammer et al., 2014), die Lösungswahrscheinlichkeit steigen lässt, also ein positiver Effekt der Gesamtbearbeitungszeit besteht.

Hypothese 2: Die für potentiell routinisierbare Teilschritte aufgewendete Zeit eignet sich zur Erklärung des Problemlöseverhaltens. Die Lösung der Aufgabe wird dann unwahrscheinlicher, wenn kognitive Ressourcen für die Bearbeitung dieser potentiell routinisierbaren Teilschritte mobilisiert werden müssen. Somit ist der Zusammenhang zwischen der Bearbeitungszeit dieser Teilschritte und der Lösungswahrscheinlichkeit negativ und deshalb umgekehrt zum Effekt der Gesamtbearbeitungszeit.

Eine Operationalisierung von Automatisierung kann nicht durch die Abfrage von prozeduralen Wissen geschehen, da dieses nicht verbalisierbar ist (Rittle-Johnson, Siegler & Alibali, 2001). Somit werden hier potentiell routinisierbare Teilschritte einer Problemlösung identifiziert und dessen Bearbeitungszeiten als Operationalisierung für Automatisierung genutzt. In diesen Bearbeitungsschritten können Informationen aus dem Langzeitgedächtnis genutzt werden. Durch diese Nutzung von bereits bekanntem Wissen in Form von geübten Routinen werden im Lösungsprozess kognitive Ressourcen geschont und Verarbeitungsressourcen werden entlastet (auch Arbeitsgedächtnis; siehe Ericsson & Kintsch, 1995; Sweller, 2003, 2004). Kognitive Schemata ermöglichen diese Informationsgenerierung aus dem Langzeitgedächtnis; sie sind unterschiedlich komplex und

unterschiedlich gut routinisiert (van Merriënboer & Sweller, 2005). Diese Schemata strukturieren und speichern Wissen und reduzieren dadurch die Belastung des Arbeitsgedächtnisses. Potentiell routinisierbare Teilschritte eines Problems ermöglichen – auch in neuen Situationen – das Abrufen solcher Schemata (van Merriënboer, Clark & De Croock 2002; van Merriënboer, Kirschner & Kester, 2003). Für den Problemlöseprozess bedeutet das, dass weniger Zeit für bereits geübte Prozesse benötigt wird und die Testteilnehmerin bzw. der Testteilnehmer diese nicht mehr als Anstrengung wahrnimmt (Rittle-Johnson et al., 2001). Diese kognitiven Kapazitäten stehen in der übrigen Testbearbeitung, und besonders in Teilschritten mit komplexen Probleminhalten, zur Verfügung (van Merriënboer, Clark & De Croock 2002). Somit sollten schnell ablaufende Teilschritte mit einer höheren Lösungswahrscheinlichkeit assoziiert sein.

Stichprobe und Testverfahren

PS-TRE wurde erstmals in der PIAAC-Studie erhoben und die Daten des deutschen Feldtests werden für diese Arbeit verwendet. Diese Daten eignen sich für dieses Forschungsvorhaben besonders, da sie Prozessdaten beinhalten und somit umfangreiche Informationen über den Lösungsprozess vorliegen. Zur Beantwortung der hier fokussierten Fragestellung wurden nur Daten zur Messung des Konstrukts PS-TRE herangezogen (N = 412). Für den Feldtest wurde durch das Erhebungsdesign sichergestellt, dass die Stichproben hinsichtlich der Personenvariablen Alter, Geschlecht und Bildungsgrad heterogen sind. Für die Erhebung wurde ein Matrixdesign eingesetzt, sodass Aufgabenblöcke einer Domäne auf mehrere Booklets verteilt sind. Jeder Aufgabenblock erscheint in drei oder bei PS-TRE auch in vier Booklets. Je nach Domäne wurde jeder Aufgabenblock von ca. n = 140 bis n = 191 Personen bearbeitet. Die hier analysierte Stichprobe umfasste 225 männliche (54.61%) und 173 weibliche (41.99%) Testteilnehmerinnen und teilnehmer. Für 14 Testteilnehmerinnen und -teilnehmer wurde keine Angabe zum Geschlecht gemacht (3.30%). Das durchschnittliche Alter betrug 38.59 Jahre (SD = 13.09, Spannweite: 16-65 Jahre).

Design und Durchführung

Die Daten wurden computerbasiert mit Interviewerinnen und Interviewern erhoben. Die Interviews fanden bei den Testteilnehmerinnen und -teilnehmern zu Hause statt. Zunächst wurden durch eine Interviewerin bzw. einen Interviewer soziodemographische Daten erhoben und dann folgte ein computerbasierter oder papierbasierter Kompetenztest. Den Testteilnehmerinnen und -teilnehmern, die mit der computerbasierten Erhebung einverstanden waren, wurden Fragen zur

Computervertrautheit sowie ein Kurztest zur Erfassung basaler, für die Bearbeitung des Tests benötigter Computerfertigkeiten vorgegeben, z. B. Bedienung der Computermaus und -tastatur.⁴ 11.4% Testteilnehmerinnen und -teilnehmer wiesen für die computerbasierte Testdurchführung unzureichende Computerfertigkeiten auf. Diesen wurde eine papierbasierte Testvariante vorgelegt, die nur Aufgaben zu den ebenfalls in PIAAC erhobenen Kompetenzkonstrukten „Numeracy“ (alltagsmathematische Kompetenz) und „Literacy“ (Lesefähigkeit) enthielt. Die Problemlöseaufgaben waren auf fünf Booklets verteilt und jede Teilnehmerin bzw. jeder Testteilnehmer bearbeitete zwei Booklets. In dieser Arbeit werden nur Daten aus dem computerbasierten PS-TRE-Test verwendet. Jedes PS-TRE-Booklet umfasste vier bis sechs Aufgaben, so dass eine Person zwischen neun bis zehn Aufgaben bearbeiten musste, wenn sie ausschließlich PS-TRE-Aufgaben bearbeitete. Insgesamt waren maximal zwei Stunden für eine Testung vorgesehen.

Datenformat und Datenaufbereitung

Die vom Testsystem automatisch aufgezeichneten Prozessdaten beinhalten je Aufgabe detaillierte Informationen über den Bearbeitungsprozess einer Testteilnehmerin bzw. eines Testteilnehmers, d.h., dass z. B. bei jedem Mausklick abgespeichert wird, was angeklickt wurde (Link, Menü o.ä.) und zu welchem Zeitpunkt. Diese Daten geben Aufschluss über die Reihenfolge und Menge an verarbeiteter Information sowie die Herangehensweise bei der Aufgabenbearbeitung. Zudem eignen sie sich für das hier beschriebene Vorhaben im besonderen Maß, da sich aus den Prozessdaten auch kleinschrittige Sequenzen potentiell routinisierbarer Teilschritte ableiten lassen sowie die Zeit, die für diese Teilschritte aufgewendet wurde.

Die Extraktion der relevanten Bearbeitungszeiten aus den Prozessdaten erfolgte über den „DataAnalyzer“.⁵ Dieses Tool liest Informationen aus unstrukturierten Prozessdaten aus und stellt diese tabellarisch dar. Hierbei können einzelne Kategorien von Handlungen oder auch ganze Handlungssequenzen betrachtet werden. Diese Tabellen können mit regulärer Statistiksoftware weiterverarbeitet werden. Zur Extraktion der hier betrachteten Sequenzen wurden so genannte Trigger-Events vom DataAnalyzer gesucht, welche die Sequenz einleiten und beenden. Dadurch wurde es möglich, sowohl die Zeit zwischen den zwei Events zu bestimmen, als auch die Anzahl an Aktionen, die zwischen diesen stattfand. Die

4 Dies wurde mittels basaler Aufgaben zur Nutzung von Monitor, Maus und Tastatur sowie deren Funktionen und Schnellzugriffen getestet.

5 <http://tba.dipf.de/de/projekte/dataanalyzer>

extrahierten Daten wurden stichprobenartig auf Vollständigkeit und Korrektheit hin überprüft. Es wurden keine Abweichungen oder Fehler gefunden.

Indikatoren

Aufgaben der Domäne PS-TRE beinhalten komplexe Interaktionsanforderungen innerhalb sowie zwischen simulierten Softwareanwendungen. Einzelne Teilschritte des Bearbeitungsprozesses können kontrollierte kognitive Verarbeitung verlangen, andere dagegen können sehr routiniert ausgeführt werden. Bei ihrer Ausführung wird wahrscheinlich auf prozedurale Wissensbestände zurückgegriffen. Voraussetzungen für die Bearbeitung der PS-TRE-Aufgaben sind, neben grundlegenden Kompetenzen (logisches Denken, Lesen, Zahlenverständnis), auch basale Computerfertigkeiten. Zentrale kognitive Dimensionen in der Bearbeitung von PS-TRE Aufgaben sind Zielsetzen und Überprüfung der Fortschritte, Planen und Selbstorganisation, akquirieren und evaluieren von Information und Informationen nutzen (OECD, 2009, S. 10). Hinzu kommt hier die technologische Dimension, die Hardware (z.B. Maus, Tastatur und digitale Displays), Software (z.B. Datenmanagement, Internetbrowser, Email, Tabellenkalkulation), verschiedene Anweisungen oder Funktionen (z.B. Buttons, Links, Sortieren, Suchen), Darstellungsarten (z.B. Text, Zahlen, Graphiken) und verschiedene Managementoperationen (z.B. speichern, öffnen, schließen, löschen, bewegen, umbenennen) umfasst.

Abbildung 1: Beispielaufgabe



Um prozedurales Wissen im Problemlöseprozess stärker von anderen Prozessen zu trennen, werden Bearbeitungszeiten in einzelnen Lösungsschritten und Teilhandlungen auf der Ebene einzelner Testaufgaben betrachtet. Dem liegt die Annahme zugrunde, dass zur Bearbeitung von komplexen, d. h. in mehreren Teilschritten zu lösenden, Aufgaben abhängig von Eigenschaften der Problemlöserin bzw. des Problemlösers diese Teilschritte sowohl automatisiert als auch kontrolliert ablaufen können. Ziel ist es, in der Sequenz von Arbeitsschritten solche zu identifizieren, in denen prozedurales Wissen in höherem Maße als deklaratives Wissen benötigt wird. Im Handlungsplan enthaltene automatisierbare Teilschritte eignen sich dazu, solche individuellen Unterschiede im Automatisierungsgrad aufzuzeigen (Hacker, 1986). Teilschritte, für die potentiell ein hohes Maß an Automatisierung erwartet werden kann, sind z.B. solche, die basale computerbezogene Fertigkeiten widerspiegeln (vgl. Goldhammer et al., 2013).

Zur Messung des Automatisierungsgrades wurden drei Teilaufgaben ausgewählt. Die Ergebnisse zu diesen potentiell routinisierbaren Teilaufgaben werden hier berichtet. Für eine veröffentlichte Beispielaufgabe kann exemplarisch ein solcher Indikator beschrieben werden. In dieser ersten Beispielaufgabe besteht die basale Anforderung aus dem Setzen eines Bookmarks (s. Abbildung 1). Die Testteilnehmerin bzw. der Testteilnehmer wird in der Aufgabenstellung aufgefordert, eine Internetseite aus einer Liste von Suchergebnissen auszuwählen. Dies soll nach zwei Kriterien geschehen: Zunächst soll die Internetseite keine Registrierung erfordern und des Weiteren keine Gebühren erheben. Zur Lösung des Problems sollte die Testteilnehmerin bzw. der Testteilnehmer alle Internetseiten mit ihren jeweiligen Verknüpfungen und Folgeseiten betrachten, um die relevanten Informationen zu erhalten. Nach dieser kognitiv anspruchsvollen Selektion einer Internetseite folgt die basale Aufgabe einen Bookmark zu setzen. Hierfür wird ein Toolbarbutton oder ein Menüfeld geöffnet und anschließend ein Popup mit der Einstellungsbestätigung geschlossen. In diesem Beispiel wird vermutet, dass die Sequenz vom Bedienen des Toolbarbuttons bis zum Schließen des Bookmark-Popups hauptsächlich prozedurales Wissen erfordert. In den zwei weiteren nicht veröffentlichten Aufgaben muss eine E-Mail verschoben bzw. ein Popup geschlossen werden.

Statistische Analyse

Mit Hilfe logistischer Regressionen wurden Zusammenhänge der einzelnen Indikatoren mit dem Lösungserfolg in der dazugehörigen Aufgabe geprüft. In den Modellen wird also die Lösungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit der Gesamtbearbeitungszeit bzw. der Bearbeitungszeiten in den routinisierbaren Teilschritten modelliert (vgl. Nelder & Wedderburn, 1972).

$$(1) \quad \text{logit}(P(Y = 1)) = \beta_1 * X + \beta_0$$

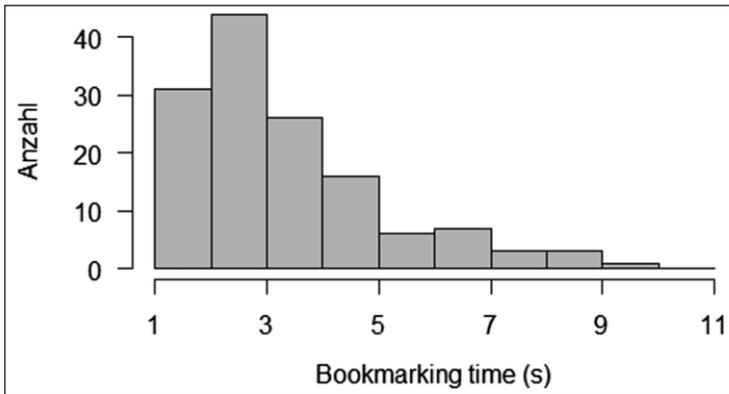
Ein logistische Regression beinhaltet folgende Komponenten: Die abhängige, zu erklärende Variable Y ist zweistufig geordnet kategorial mit den Ausprägungen richtig und falsch (dichotom). Hinzu kommt zumindest eine explanatorische oder unabhängige Variable X , wobei X die Variable ist, welche einen Teil der Varianz von Y erklären kann und β_1 Richtung und Stärke ihres Effektes beschreibt. Eine Linkfunktion (hier logit-Funktion) spezifiziert den Zusammenhang zwischen der erklärten und der erklärenden Komponente (Nelder & Wedderburn, 1972). In den nachfolgend berichteten Ergebnissen ist die abhängige Variable immer die Logit-transformierte Lösungswahrscheinlichkeit einer Person in einer Aufgabe. In einer logistischen Regression wird ebenfalls ein Interzept (β_0) geschätzt, welches den Achsenabschnitt der Ordinate bezeichnet, an dem die Regressionsfunktion diese schneidet, und somit die Lösungswahrscheinlichkeit angibt, die erzielt wird, wenn die unabhängige Variable einen Wert von Null aufweist.

Ergebnisse

Im Mittel benötigten die Testteilnehmerinnen und -teilnehmer 2 Minuten und 56 Sekunden ($SD = 88.9$ Sekunden) für die Bearbeitung einer Aufgabe, wobei die Verteilung rechtsschief ist ($v = 1.31$). Nach der Extraktion der prozessbezogenen Rohdaten wurden die individuellen Bearbeitungszeiten je Person über die typidentischen Teilschritte gemittelt. Für das oben beschriebene Beispiel sind alle Bookmarking-Tätigkeiten innerhalb einer Aufgabe solche typidentischen Teilschritte. Für die Bearbeitungszeiten dieses Teilschritts resultierte eine rechtsschiefe Verteilung der (Schiefe $v = 1.74$; s. Abbildung 2). Die weiteren Indikatoren sind ebenfalls rechtsschief $1.58 \leq v \leq 2.30$ und ähnlich verteilt. Im Schnitt benötigten die Testteilnehmerinnen und -teilnehmer 5.45 Sekunden ($SD = 1.99$) für eine potentiell routinisierbare Teilaufgabe. Zur Analyse wurden die Bearbeitungszeiten logarithmiert (vgl. Fox, Klein Entink, & van der Linden, 2007). Die drei Indikatoren, d.h. Bookmarking, Drag&Drop und PopUp, konnten aus sechs verschiedenen Aufgaben extrahiert werden. Die Lösungsraten der unterschiedlichen Aufgaben schwankten sehr deutlich (23%-64% richtige Lösungen). Mit Hilfe einer Rasch-Modellierung der PS-TRE- Aufgaben wurden Item- und Personenparameter bestimmt ($0.91 \leq \text{Infit} \leq 1.09$; $0.88 \leq \text{Outfit} \leq 1.12$). Bei vergleichbaren Standardabweichungen waren die hier analysierten Aufgaben (Schwierigkeit: $M_\sigma = 0.09$; $SD_\sigma = 0.80$) gegenüber der Personenfähigkeit (Fähigkeit: $M_\theta = 0$; $SD_\theta = 1.38$) relativ schwer. Eine Person mit durchschnittlicher

PS-TRE-Kompetenz hatte bei mehr als der Hälfte der Aufgaben eine weniger als 50%ige Wahrscheinlichkeit diese Aufgaben zu lösen.

Abbildung 2: Verteilung der Bookmark Zeiten



Zusammenhang zwischen Gesamtbearbeitungszeit und Lösungswahrscheinlichkeit

Die Bearbeitungszeit der Gesamtaufgabe spiegelt den Bearbeitungsprozess wider, der einer Lösung zugrunde liegt, und kann somit prädiktiv für die Lösungswahrscheinlichkeit sein. Mittels logistischer Regressionen wird der Zusammenhang der gesamten Bearbeitungszeit mit der Lösungswahrscheinlichkeit ermittelt. Auch die Gesamtzeiten wurden hierfür logarithmiert.

Tabelle 1: Effekte der Gesamtzeit

Indikator	Effekt β	p
U1a-Gesamtzeit	-0.44	.178
U1b-Gesamtzeit	0.43	.167
U6a-Gesamtzeit	0.40	.236
U10a-Gesamtzeit	0.06	.846
U10b-Gesamtzeit	2.49	<.01
U11b-Gesamtzeit	-1.13	<.01

In Hypothese 1 wurde vermutet, dass der Zusammenhang der Gesamtbearbeitungszeit mit dem Aufgabenerfolg positiv ausfällt. Das zeigt sich deskriptiv bei einem Teil der Aufgaben. Die Gesamtzeit der Aufgabenbearbeitung zeigt in einer logistischen Regression der einzelnen Aufgaben entgegen Hypothese 1 zumeist keinen signifikanten Zusammenhang mit der Lösungswahrscheinlichkeit. Im Falle signifikanter Ergebnisse sind die Zusammenhänge uneinheitlich, d.h. teils positiv und teils negativ (s. Tabelle 1). Hier zeigt sich die Diversität des Indikators Gesamtbearbeitungszeit in Abhängigkeit der jeweiligen Aufgabe, wie sie bereits von Goldhammer et al. (2014) diskutiert wurde.

Zusammenhang der Bearbeitungszeit routinisierbarer Teilschritte mit der Lösungswahrscheinlichkeit

Wenn automatisierbare Teilschritte einer Aufgabe mit dem verfügbaren prozeduralen Wissen effizient gelöst werden können, wird erwartet, dass dies die Wahrscheinlichkeit zur Lösung der ganzen Aufgabe beeinflusst. Der Zusammenhang der für einen solchen Teilschritt benötigten Zeit mit der Lösungswahrscheinlichkeit sollte also negativ sein. Um diese Annahme zu überprüfen, wird der individuelle Automatisierungsgrad als Indikator für die Wahrscheinlichkeit der Aufgabenlösung in einem logistischen Regressionsmodell eingesetzt. Kann hier ein einheitlicher negativer Effekt durch die routinisierbaren Teilschritte gefunden werden, unterstützt dies auch die Annahme, dass diese indikativ für den Automatisierungsgrad stehen.

Tabelle 2: Effekte der Bearbeitungszeit von Teilschritten

Indikator	Effekt β	p (einseitig)	Lösungshäufigkeit
U1a–Drag&Drop	-1.25	.045	.64
U1b–Drag&Drop	-2.03	<.01	.56
U6a–PopUp	-0.27	.331	.23
U10a–Bookmark	-0.43	.035	.37
U10b–PopUp	-1.67	<.01	.61
U11b–Drag&Drop	-0.78	.091	.28

Die Ergebnisse belegen fast durchweg, wie in Hypothese 2 angenommen, dass die Zeit, die benötigt wird, um diese basalen Teilaufgaben zu bearbeiten, in einem negativen Zusammenhang mit der Lösungswahrscheinlichkeit steht (s. Tabelle 2). Je mehr Zeit eine Person mit einer Teilaufgabe verbraucht hat, desto seltener konnte er oder sie die Gesamtaufgabe lösen. Jeder Indikator (Drag&Drop, PopUp

und Bookmark) ist in mindestens einer Aufgabe ein signifikanter Prädiktor der Lösungswahrscheinlichkeit. So ist die Zeit bis zum Schließen eines Popups in Aufgabe U6a nicht signifikant, aber derselbe Indikator (Schließen eines Popups) wird in U10b signifikant. Der Effekt wird lediglich für zwei Indikatoren auf Aufgabenebene nicht signifikant (U6a und U11b). Diese zwei Aufgaben zeichnen sich durch ihre Schwierigkeit aus, da beide in weniger als 30% der Fälle gelöst werden. Die übrigen hier betrachteten Aufgaben werden mindestens von 37% der Befragten korrekt gelöst. Ob der Automatisierungsgrad einen Einfluss auf die Lösungswahrscheinlichkeit hat, hängt möglicherweise also auch von der jeweiligen Aufgabenschwierigkeit ab.

Vergleicht man die Ergebnisse zu den Hypothesen 1 und 2 lässt sich Folgendes feststellen: Der Effekt der Gesamtbearbeitungszeit variiert sowohl im positiven als auch im negativen Bereich oder ist nicht signifikant, während der Effekt der Indikatoren für Automatisierung durchgehend negativ ist. Die Bearbeitungszeit des jeweiligen Teilschritts repräsentiert wahrscheinlich einen sehr spezifischen und somit homogenen Ausschnitt des Bearbeitungsprozesses, wohingegen die Gesamtzeit einen aggregierten Indikator darstellt, der eine Reihe von mutmaßlich heterogenen Teilprozessen abbildet. Die Messung von Automatisierung kann somit, wie hier geschehen, anhand von potentiell routinierbaren Teilschritten vorgenommen werden. Unter einer methodologischen Perspektive bestätigt sich damit die Annahme, dass beide Effekte zu differenzieren und unabhängig voneinander zu prüfen sind.

Zusammenfassung und Diskussion

Die vorliegenden Analysen stützen unsere Annahme, dass die Automatisierung von Teilhandlungen in komplexen Aufgaben zu einer effizienteren Bearbeitung führt. Die drei untersuchten Indikatoren, Drag&Drop, Popup und Bookmark, weisen jeweils einen negativen Zusammenhang mit der Lösungswahrscheinlichkeit in der Gesamtaufgabe auf und sind somit indikativ für die Automatisierung von prozeduralem Wissen (vgl. Rittle-Johnson et al., 2001). Personen, die diese relativ leichten Teilaufgaben schnell bearbeiteten, konnten also eher eine richtige Lösung erreichen. Mutmaßlich wurden hier bereits eingeübte kognitive Schemata genutzt, welche den Bearbeitungsprozess unterstützen (van Merriënboer, Clark & De Croock, 2002). Dies stützt die hier aufgestellte These, wonach der geringere Aufwand in den Teilaufgaben kognitive Ressourcen frei gibt, welche sich dann positiv auf die übrige Testbearbeitung auswirken.

Der Zusammenhang zwischen der Bearbeitungszeit der Gesamtaufgabe und der Lösungswahrscheinlichkeit hängt offenbar auch von der Aufgabenschwierigkeit

ab (vgl. Goldhammer et al., 2014). Analog hierzu ist auch die Aufgabenschwierigkeit möglicherweise ein relevanter Faktor für den Zusammenhang zwischen Bearbeitungszeiten in potentiell routinisierbaren Teilschritten. In schwereren Aufgaben ist der Effekt zwischen der Bearbeitungszeit von routinisierbaren Teilaufgaben zwar ebenfalls negativ, aber nicht signifikant. Diese Annahme ist allerdings noch systematisch anhand einer größeren Menge von Aufgaben zu prüfen. Insgesamt belegt die Befundlage, dass die beiden beschriebenen Effekte (Gesamtzeit und Bearbeitungszeit in routinisierbaren Teilschritten) vermutlich nicht auf denselben kognitiven Verarbeitungsprozessen basieren: Während der Effekt für die Gesamtzeit über Aufgaben variiert, ist der Effekt der Bearbeitungszeit in potentiell routinisierbaren Teilschritten eindeutig negativ.

Einschränkungen

Methodologisch machen die vorliegende Studie und die darin erzielten Ergebnisse einmal mehr deutlich, dass Prozessdaten innovative Möglichkeiten zur Untersuchung des Aufgabebearbeitungsprozess eröffnen. Teile der Aufgabebearbeitung können betrachtet und analysiert werden, die zuvor empirisch unzugänglich waren (siehe Kreuter, 2013). In der Bildungsforschung ist die Nutzung von Prozessdaten (noch) wenig etabliert. Dies könnte sich in dem Moment ändern, in dem man zeigen kann, dass Prozessdaten sich nicht nur zur Erklärung von Leistungen in Kompetenztests heranziehen lassen, sondern auch für die Kompetenzdiagnostik selbst (vgl. Funke, 2010).

Der Einblick in den Bearbeitungsprozess auf Basis von Prozessdaten hat allerdings enge Grenzen. Indizes, die auf der Basis von Prozessdaten gebildet werden, sind prinzipiell hinsichtlich ihrer psychologischen Interpretation ambig und bedürfen mittelfristig der Triangulation durch andere Datenquellen. Die hier vorgelegten Ergebnisse sprechen zwar für eine Interpretation der Geschwindigkeit, mit der bestimmte Teilhandlungen ausgeführt werden, als Indikator für Automatisierung. Streng genommen und bezogen auf eine einzelne Prozessinformation weiß man jedoch nicht, ob die kurze Bearbeitungszeit durch Automatisierung oder schlicht durch ungründliche Bearbeitung zustande kam. Mittelfristig sollte daher die Analyse von Prozessdaten aus Large Scale-Datensätzen durch flankierende Untersuchungen ergänzt werden, in denen parallel weitere zur Erfassung kognitiver Prozesse geeignete Datenerhebungsmethoden wie Blickbewegungen oder lautes Denken zum Einsatz kommen.

Des Weiteren wurden hier keine Moderationen überprüft, die z.B. durch logisches Denken oder Lesekompetenz Einflüsse der Bearbeitungszeit auf den Lösungserfolg erklären könnten. Wie bereits im Ergebnisteil angedeutet wurde,

sind die Ergebnisse zur Hypothese 1 nicht eindeutig und deuten auf einen sehr heterogenen Einfluss durch die Gesamtzeit hin. Dieser könnte durch weitere kognitive Dispositionen oder auch Aufgabeneigenschaften moderiert werden (siehe Goldhammer et al., 2014). Denkbar ist auch, dass Personen mit guten Lesekompetenzen zielgerichteter und damit auch schneller technologiebasierte Probleme lösen. Mit Hilfe von Strukturmodellen könnten diese Annahmen überprüft werden.

Ausblick

Weiterführende Analysen sollten Auswirkungen von Automatisierung auf die Güte des Lösungsweges und die Ressourcenverteilung zeigen. In dieser Arbeit konnte belegt werden, dass der Lösungserfolg in einem Zusammenhang mit der Bearbeitungszeit steht. Dabei ist allerdings – wenn man unterschiedliche Teilschritte des Problemlöseprozesses betrachtet – nicht von einer uniformen Beziehung zwischen Zeitverbrauch und Lösungswahrscheinlichkeit auszugehen (Goldhammer et al., 2014). Ein positiver Zusammenhang, der aus der gezielten Allokation kognitiver Ressourcen resultiert, ist vor allem bei solchen Teilschritten zu erwarten, die bewusste und kontrollierte Verarbeitung erfordern und für die Aufgabenlösung unmittelbar relevant sind (Tóth et al., 2013). Damit überhaupt ausreichend kognitive Ressourcen für diese Art Verarbeitung vorhanden sind, ist es – wie in dieser Arbeit gezeigt wurde – andererseits hilfreich, wenn basale Teilschritte der Aufgabenbearbeitung weitgehend routinisiert sind. Für solche Teilschritte ist folglich eine negative Beziehung zwischen Zeitverbrauch und Lösungswahrscheinlichkeit zu erwarten. Der Bearbeitungsprozess könnte sich insbesondere durch diese zwei Typen von Teilschritten (bewusste bzw. kontrollierte Verarbeitung und routinisierte Verarbeitung) kennzeichnen lassen. Es ist also anzunehmen, dass bestimmte Teilschritte bei der Bewältigung von Problemlöseaufgaben kontrolliert erfolgen (müssen), und die Problemlösung von zusätzlich eingesetzten kognitiven Ressourcen profitiert. Andere Teilschritte dagegen sind Automatisierungsprozessen zugänglich. Wenn für solche Teilschritte kognitive Ressourcen mobilisiert werden (müssen), scheint dies dem Bearbeitungsergebnis eher abträglich. Als Erweiterung der vorliegenden Studien ist somit nicht nur die Zeit für potentiell routinisierbare Teilschritte, sondern zusätzlich auch die Zeit für komplexe, eine kontrollierte Verarbeitung erfordernde Teilschritte als Indikatoren des Lösungserfolges heranzuziehen. Der Vergleich der erzielten Effekte würde zu einem erweiterten Verständnis der Ressourcenverteilung beitragen.

Diese Ergebnisse können im Rahmen einer Konstruktvalidierung genutzt werden, um theoretisch hergeleitete Annahmen über den Lösungsprozess an den

empirischen Befunden zu überprüfen und zu einer Einschätzung der Gültigkeit der konstruktbezogenen Testwertinterpretation zu gelangen. Im Rahmen einer Konstruktvalidierung könnten auch die weiteren im Ausblick genannten Analysestrategien dienen, die einen weiteren Einblick in den Lösungsprozess und dessen Komplexität bieten.

Literatur

- Ackerman, P. L. (1988). Determinants of individual differences during skill acquisition: Cognitive abilities and information processing. *Journal of Experimental Psychology: General*, 117, 288–318.
- Ackerman, P. L. (2007). New developments in understanding skilled performance. *Current Directions in Psychological Science*, 16, 235–239.
- Baroody, A. J. (2003). The development of adaptive expertise and flexibility. The integration of conceptual and procedural knowledge. In A. J. Baroody & A. Dowker (Eds.). *The development of arithmetic concepts and skills: constructing adaptive expertise. Constructing Adaptive Expertise* (pp. 1–33). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Bromme, R., Jucks, R. & Runde, A. (2005). Barriers and biases in computer-mediated expert-layperson-communication: An overview and insights into the field of medical advice. In R. Bromme, F.W. Hesse & H. Spada (Eds.). *Barriers and biases in computer-mediated knowledge communication – and how they may be overcome* (pp. 89-118). New York: Springer.
- Canobi, K. H., Reeve, R. A. & Pattison, P. E. (2003). Patterns of knowledge in children's addition. *Developmental Psychology*, 39, 521–534.
- Ericsson, K. A. & Kintsch, W. (1995). Long-term working memory. *Psychological Review*, 102, 211-245.
- Fieldhouse, M. & Nicholas, D. (2008). Digital Literacy as Information Savvy: The Road to Information Literacy. In: C. Lankshear & M. Knobel Eds.), *Digital Literacies: Concepts, Policies and Practices* (S. 47-72). New York: Peter Lang.
- Fitts, P. M. & Posner, M. I. (1967). *Learning and skilled performance in human performance*. Belmont: Brock-Cole.
- Fox, S. & Fallows (2003). *Internet Health Resources*. Washington, Pew Internet & American Life Project. <http://www.pewinternet.org/>
- Fox, J.-P., Klein Entink, R.H. & van der Linden, W.J. (2007). Modeling of responses and response times with the package *cirt*. *Journal of Statistical Software*, 20, issue 7.

- Goldhammer, F., Naumann, J. & Keßel, Y. (2013). Assessing Individual differences in Basic Computer Skills: Psychometric characteristics of an interactive performance measure. *European Journal of Psychological Assessment*.
- Goldhammer, F., Naumann, J., Stelter, A., Tóth, K., Rölke, H. & Klieme, E. (2014). The time on task effect in reading and problem solving is moderated by item difficulty and ability: Insights from a computer-based large-scale assessment. *Journal of Educational Psychology*.
- Green, F., Felstead, A. & Gallie, D. (2000). Computers are even more important than you thought: an analysis of the changing skill-intensity of jobs, *LSE Centre for Economic Performance Discussion Paper*, No 439.
- Hacker, W. (1986). *Arbeitspsychologie*. Bern: Huber.
- Johnson, A. (2003). Procedural memory and skill acquisition. In I. B. Weiner (Ed.). *Handbook of Psychology* (pp. 499–523). Hoboken: Wiley.
- Kiefer, T., Robitzsch, A. & Wu, M. (2014). *Test Analysis Modules (TAM)*. <http://cran.r-project.org/web/packages/TAM/TAM.pdf>
- Klieme, E. (2004). Assessment of cross-curricular problem-solving competencies. In J.H. Moskowitz & M. Stephens (eds.). *Comparing Learning Outcomes. International assessments and education policy* (pp. 81-107). London: Routledge Falmer.
- Klieme, E., Leutner, D. & Wirth, J. (2005). Einleitung. In E. Klieme, E. Leutner & J. Wirth (Hrsg.): *Problemlösekompetenz von Schülerinnen und Schülern. Diagnostische Ansätze, theoretische Grundlagen und empirische Befunde der deutschen PISA-2000-Studie* (S. 7–10). Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Kreuter, F. (2013). *Improving Surveys with Paradata: Analytic Uses of Process Information*. New Jersey: Wiley.
- Luce, R. D. (1986). *Response times. Their role in inferring elementary mental organization*. Oxford: Oxford University Press.
- Mayer, R. E. (1994). Problem solving, teaching and testing for. In T. Husén & T. N. Postlethwaite (Eds.), *The international encyclopedia of education* (Vol. 8, 2n. ed., pp. 4728–4731). Oxford: Pergamon.
- Mayer, R. E. & Wittrock, M. C. (1996). Problem-solving transfer. In D. C. Berliner & R. C. Calfee, *Handbook of educational psychology* (pp. 47-62). New York: Macmillan.
- Nelder, J., A. & Wedderburn, R., W. (1972). Generalized linear models. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A* (Royal Statistical Society) 135 (3): 370–384.

- Newell, A. & Simon, H.A. (1972). *Human Problem Solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Norris, P. (2001). *Digital Divide: Civic Engagement, Information Poverty, and the Internet Worldwide*. Cambridge University Press, Cambridge.
- OECD (2000). *Learning to Bridge the Digital Divide*, Paris.
- OECD (2009). PIAAC Problem Solving in Technology-Rich Environments: A Conceptual Framework. *OECD Education Working Paper*, 36. Paris: OECD.
- OECD (2011). *PISA 2009 results vol. VI. Students on line: Digital technologies and performance*. Paris: OECD.
- OECD (2013). *OECD Skills Outlook 2013: First Results from the Survey of Adult Skills*, OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264204256-en>.
- R Core Team (2012). *A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Retrieved January 14, 2014 from <http://www.R-project.org/>.
- Richter, T., Isberner, M.-B., Naumann, J. & Kutzner, Y. (2012). Prozessbezogene Diagnostik von Lesefähigkeiten bei Grundschulkindern, *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 26, 313–331.
- Rittle-Johnson, B., Siegler, R. S. & Alibali, M. W. (2001). Developing conceptual understanding and procedural skill in mathematics. An iterative process. *Journal of Educational Psychology*, 93, 346–362.
- Schneider, M. & Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing: 1. Detection, search, and attention. *Psychological Review*, 84, 1–66.
- Schneider, M., Star, J. R. & Rittle-Johnson, B. (2011). Relations between conceptual knowledge, procedural knowledge, and procedural flexibility in two samples differing in prior knowledge. *Developmental Psychology*, 46, 1525–1538.
- Schneider, M. & Stern, E. (2010). The developmental relations between conceptual and procedural knowledge. A multimethod approach. *Developmental Psychology*, 46, 178–192.
- Sweller, J. (2003). Evolution of human cognitive architecture. In B. Ross (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation* (pp. 215–266), Vol. 43, Academic Press, San Diego.
- Sweller, J. (2004). Instructional design consequences of an analogy between evolution by natural selection and human cognitive architecture. *Instruct. Sci.* 32(1/2), 9–31.

- Tóth, K., Rölke, H., Goldhammer, F. & Kröhne, U. (2013). Investigating Students' ICT-skills with Process Data. *Paper presented at Workshop on Data Analysis and Interpretation for Learning Environments (DAILE13)*, Villard de Lans, Vercors, France, January 28 – February 1, 2013.
- van Merriënboer, J. J. G. & Sweller, J. (2005). Cognitive load theory and complex learning: Recent developments and future directions. *Educational Psychology Review*, 17, 147-177.
- van Merriënboer, J. J. G., Clark, R. E. & de Croock, M. B. M. (2002a). Blueprints for complex learning: The 4C/ID-model. *Educ. Technol., Res. Dev.* 50(2). 39–64.
- van Merriënboer, J. J. G., Kirschner, P. A. & Kester, L. (2003). Taking the load off a learner's mind: Instructional design for complex learning. *Educ. Psychol.* 38, 5–13.
- Wilhelm, A.G. (2003). Everyone should know the basics: Equalizing opportunities and outcomes for disadvantaged youths through ICT in education, Paper prepared for a joint OECD/Hungary workshop on: Promoting Equity Through ICT in Education: Projects, Problems, Prospects. Budapest, 12-13 June.

Anhang

Tabelle 3: Deskriptive Statistik und Korrelationen der Indikatoren

		Effektives N = 83–157				Korrelationen				
		M	SD	Min.	Max.	1	2	3	4	5
1	U1a–Drag&Drop	2.46	1.70	0.98	6.86					
2	U1b–Drag&Drop	2.11	0.80	1.16	4.99	0.57				
3	U6a–PopUp	3.95	1.71	1.43	11.92	0.12	0.34			
4	U10a–Bookmark	3.76	2.68	1.43	15.19	-0.12	-0.07	NA ⁶		
5	U10b–PopUp	2.50	1.00	1.13	6.66	-0.04	0.19	NA	0.24	
6	U11b–Drag&Drop	2.56	1.03	1.37	6.61	0.43	0.60	NA	0.16	0.22

6 NA entstehen durch Bookletdesign und deshalb nicht gemeinsam getestete Aufgaben.