

ANDREAS RAUSCH / KRISTINA KÖGLER / CLEMENS FRÖTSCHL /
MICHAEL BERGRAB / STEFFEN BRANDT

Problemlöseprozesse sichtbar machen: Analyse von Logdaten aus einer computerbasierten Bürosimulation

Uncovering problem-solving processes: Analysis of log data from a computer-based office simulation

KURZFASSUNG: Problemlösekompetenz besitzt als Zielgröße sowohl im allgemein- als auch im berufsbildenden Kontext hohe Relevanz. Obwohl Problemlösen selbst ein Prozess ist, beziehen sich Analysen der Problemlösekompetenz meist auf die jeweiligen Handlungsresultate, nicht jedoch auf die Qualität der eigentlichen Lösungsprozesse. Computerbasierte Testumgebungen bieten aufgrund der umfangreichen Daten aus den Interaktionen mit der Testumgebung (Logdaten) neue Möglichkeiten der Diagnostik von Problemlöseprozessen. Im Theorieteil werden zunächst Typen und Merkmale von Problemen sowie verschiedene Strategien – domänenübergreifende Heuristiken, wissensbasierte (domänenspezifische) Heuristiken und domänenspezifische Algorithmen – unterschieden. Logdaten-Analysen zur Identifikation individueller Lösungsstrategien lassen sich idealiter in datengetriebene und modellgetriebene Ansätze unterteilen. Der vorliegende Beitrag erörtert exemplarisch Möglichkeiten der Logdaten-Analyse auf Basis der Daten aus domänenspezifischen Problemszenarien, die in einer computerbasierten Bürosimulation von 780 kaufmännischen Auszubildenden bearbeitet wurden. In einem ersten Schritt der Datenaufbereitung werden die einzelnen Interaktionen zu zusammengehörigen Aktivitäten verdichtet. In einem zweiten Schritt werden die 30-minütigen Szenarien in je sechs fünfminütige Zeitintervalle unterteilt. Schließlich erfolgt die Analyse ausgewählter Aktivitäten getrennt nach fünf Leistungsgruppen (gruppiert nach ihrer Problemlösekompetenz). Exemplarisch werden die Anzahl von Aktivitäten, die Nutzung des Notizblocks sowie der Umgang mit relevanten Dokumenten für je zwei hinsichtlich ihrer Vorgehenslogik verschiedene Problemszenarien betrachtet. In allen Analysen zeigt sich, dass die Gruppe der erfolgreicherer Problemlöser jeweils mehr der betreffenden Aktivitäten aufweist. Im Zeitablauf zeigen sich teilweise Unterschiede zwischen den Problemszenarien und zwischen den Leistungsgruppen, die darauf hindeuten, dass erfolgreichere Problemlöser ihr Problemlöseverhalten an der immanenten Vorgehenslogik eines Problems ausrichten.

Schlagnote: Problemlösen; Problemlösestrategie; Problemlösekompetenz; computerbasiertes Testen; Logdaten-Analyse; kaufmännische Ausbildung

ABSTRACT: Problem-solving competence is of great relevance both in general education as well as vocational education. Although problem solving itself is a process, the analysis of problem-solving competence usually focuses on products but ignores the quality of problem-solving

This material is under copyright. Any use outside of the narrow boundaries of copyright law is illegal and may be prosecuted.

This applies in particular to copies, translations, microfilming as well as storage and processing in electronic systems.

© Franz Steiner Verlag, Stuttgart 2017

ing processes. Computer-based testing environments provide new possibilities for analysing problem-solving processes on the basis of big data from interactions with the test environment (log data). The theoretical section includes a distinction between types and characteristics of problems and various strategies – domain-general heuristics, knowledge-based (domain-specific) heuristics and domain-specific algorithms. Analyses of log data which are used to identify individual problem-solving strategies can ideally be divided into data-driven and model-driven approaches. This paper exemplarily discusses approaches to log file analysis based on data from domain-specific problem scenarios that have been processed in a computer-based office simulation by 780 students in commercial vocational education and training. In a first step of data preparation, the particular interactions are consolidated into related activities. Second, the 30-minute scenarios are divided into six intervals of five minutes each. Finally, the selected activities are analysed for each of five performance groups (grouped according to their problem-solving competence). The number of activities, the use of notepad and the handling of relevant documents are examined for two problem-solving scenarios that differ in terms of their approach. All analyses show that the group of more successful problem solvers has more of the above mentioned activities. In the course of time, there are some interesting differences between both, the problem scenarios and the performance groups. These differences indicate that more successful problem solvers align their problem-solving processes with the problems' inherent approaches.

Keywords: problem solving; problem-solving strategy; problem-solving competence; computer-based assessment; log-file-analysis; business education

1 Problemstellung

Problemlösekompetenz wird – neuerdings oft unter dem Label der „21st century skills“ – als ein wichtiges Bildungsziel sowohl der allgemeinen als auch der beruflichen Bildung betrachtet und dabei zumeist mit den über alle Lebensbereiche hinweg komplexer werdenden Herausforderungen begründet (FUNKE, FISCHER & HOLT, im Druck; OECD, 2009; SEMBILL, 1992; WIRTH & KLIEME, 2003). Auch Ansätze zur Messung von Problemlösekompetenzen erleben daher zunehmend Beachtung. Probleme zeichnen sich im Gegensatz zu Aufgaben dadurch aus, dass die zugehörigen Lösungswege nicht unmittelbar bekannt sind, sondern je nach Problemtyp mehr oder weniger lange geistige Anstrengungen erfordern, die mehrere mentale Schritte und/oder Interaktionen mit der Problemumgebung beinhalten (FRENSCH & FUNKE, 1995; HERL et al., 1999; JONASSEN, 2000). Üblicherweise wird Problemlösekompetenz auf Basis der von den Personen jeweils angebotenen Problemlösung attribuiert. Die Qualität der Prozesse, die zu einer Lösung führen, bleibt dabei jedoch eine „black box“. Im Rahmen von papierbasierten Testverfahren ist dies insbesondere der aufwändigen und oft sehr invasiven Prozessdiagnostik geschuldet (z. B. Laut-Denken-Protokolle oder Verhaltensbeobachtungen). Computerbasierte Testverfahren eröffnen hier neue Analysemöglichkeiten, da jede einzelne Interaktion mit der Testumgebung gespeichert werden kann. Die resultierenden Daten werden als Logdaten (Log data) bezeichnet, die in Logdateien (Log files)

für jede teilnehmende Person gespeichert werden und die komplette Rekonstruktion der Interaktionshistorie einer Person erlauben. Die Aufbereitung, Analyse und Interpretation der Daten bringt aufgrund der großen Datenmengen hohe Anforderungen mit sich, doch werden diese mit detailreichen Einblicken in die Problemlöseprozesse entlohnt (SCHRADER & LAWLESS, 2007). Logdatenanalysen sind aus unserer Sicht insbesondere für die folgenden Anwendungsbereiche wertvoll: (a) Das Erkennen- und Bewertbarmachen höherwertiger Lernziele, wie etwa der Anwendung metakognitiver Strategien; (b) das Ermöglichen einer gezielten Förderung von Problemlösekompetenz auf Basis individueller Stärken und Schwächen, wobei dies sowohl mit zeitlichem Abstand in nachfolgenden Instruktionsphasen als auch ad-hoc durch prozessnahe Feedbacks mittels sogenannter intelligenter tutorieller Systeme (ITS; WEBER, 2012) geschehen kann; und (c) der Identifikation typischer Barrieren beim Problemlösen, um wichtige Rückschlüsse für die Gestaltung von Problemsituationen in komplexen Lehr-Lern-Arrangements zu gewinnen. Alle drei genannten Bereiche unterstützen in besonderer Weise die von verschiedenen Autoren geforderte Einheit aus Curriculum, Instruktion und Assessment (ACHTENHAGEN, 2012; PELLEGRINO 2010). Im Rahmen dieses Beitrags beziehen wir uns ausschließlich auf den Anwendungsbereich (a), nachdem wir zunächst allgemein die Möglichkeiten der Analyse von Problemlöseprozessen mittels Logdaten aufzeigen. Dazu diskutieren wir verschiedene Ansätze der Logdaten-Analyse und präsentieren exemplarisch Befunde aus dem Projekt „Modellierung und Messung domänenspezifischer Problemlösekompetenz bei Industriekaufleuten“ (DomPL-IK).¹

In DomPL-IK wurde eine computerbasierte Bürosimulation entwickelt, innerhalb derer drei komplexe Problemszenarien aus dem Bereich des Beschaffungscontrollings zu bearbeiten waren. Anhand der Logdaten aus dieser Testung werden individuelle Unterschiede im Problemlöseprozess identifiziert und mit den Produktdaten der Kompetenzmessung in Verbindung gebracht. Im vorliegenden Beitrag gehen wir auf folgende Fragestellungen ein:

- (F1) Welche grundsätzlichen Methoden der Logdaten-Analyse lassen sich unterscheiden?
- (F2) Wie verteilen sich ausgewählte Aktivitäten im zeitlichen Verlauf der Problembearbeitung?
- (F3) Wie hängen ausgewählte Aktivitäten mit der Problemlösekompetenz zusammen?

Im folgenden Abschnitt werden zunächst Grundlagen der Logdaten-Analyse computerbasierter Problemlöseprozesse erörtert (F1). Nach einer Beschreibung der zugrunde liegenden Studie folgen exemplarische Ergebnisse aus Logdaten-Analysen (F2 und F3), die im Schlusskapitel diskutiert werden.

1 Das Verbundprojekt DomPL-IK wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen der Forschungsinitiative „Technologie-orientierte Kompetenzmessung in der Berufsbildung“ (ASCOT) gefördert (Förderkennzeichen 01DB119–01DB1123).

2 Logdaten-Analysen computerbasierter Problemlöseprozesse

2.1 Probleme und Problemlöseprozesse

Einschlägigen Definitionen folgend, sieht sich ein Individuum einem Problem gegenüber, wenn ein Ziel existiert, zunächst aber Unklarheit darüber besteht, wie dieses Ziel erreicht werden kann (DUNCKER, 1945, S. 1; NEWELL & SIMON, 1972, S. 72). Probleme werden anhand verschiedener Charakteristika unterschieden. Wohl-definierte Probleme zeichnen sich gegenüber schlecht-definierten Problemen durch einen klaren Startpunkt, ein klares Ziel und ein definiertes Set an Operatoren aus (DÖRNER, 1987; MAYER & WITTRICK, 2006). Komplexität beruht dagegen auf einer hohen Anzahl verbundener Variablen, Intransparenz, Dynamik und Polytelie (DÖRNER, 1989, S. 58 ff.). Das Brettspiel Schach ist in diesem Sinne wohl-definiert, aber durchaus komplex. WIRTH und KLIEME (2003) unterscheiden zwischen analytischem und dynamischem Problemlösen (meinen aber vielmehr analytische und dynamische Problemsituationen). Charakteristisch für analytische Probleme ist, dass alle zur Problemlösung relevanten Informationen von Beginn an gegeben oder durch schlussfolgerndes Denken ableitbar sind und sich die Ausgangslage im Verlauf der Problembearbeitung nicht aus sich selbst heraus (d. h. eigendynamisch) verändert. Dynamische Probleme zeichnen sich dadurch aus, dass relevante Informationen durch Interaktionen mit der Problemsituation – bspw. durch die gezielte Manipulation von Variablen und Beobachtung der Effekte – entdeckt werden müssen. Die wiederholte Einschätzung der Autoren, wonach nur dynamische Probleme typischerweise auch komplex seien (siehe auch LEUTNER, FUNKE, KLIEME & WIRTH, 2005), halten wir jedoch für diskutabel (RAUSCH, SEIFRIED, WUTTKE, KÖGLER & BRANDT, 2016, S. 4). Auch analytische Probleme können unseres Erachtens – abgesehen von Dynamik – alle Merkmale von Komplexität aufweisen, während die Komplexität dynamischer Probleme auch gering ausfallen kann, wie SCHOPPEK und FISCHER (2015, S. 2) mit Blick auf den Micro-DYN-Ansatz zur Messung komplexer Problemlösekompetenz (GREIFF, WÜSTENBERG, HOLT, GOLDHAMMER & FUNKE, 2013) diskutieren. Eine differenziertere Klassifikation von Problemtypen legt JONASSEN (2000) vor. Er unterscheidet auf einem Kontinuum von wohl-definierten zu schlecht-definierten Problemen elf Problemtypen beginnend mit abstrakten logischen Problemen bzw. Puzzles, die durch die Manipulation einer begrenzten Variablenzahl zu lösen sind, über algorithmische Probleme, Entscheidungsprobleme, Diagnoseprobleme, Fallanalysen (um nur einige Problemtypen zu nennen) bis hin zu Dilemmas, die ein komplexes Abwägen und Begründen erfordern. JONASSEN (2000, S. 72) stellt heraus, dass in der Taxonomie höher stehende Problemtypen auch niedrigere enthalten können; so enthalte eine Fallanalyse in der Regel auch ein Entscheidungsproblem. Ferner betont er, dass Probleme in alltäglichen und beruflichen Kontexten häufig Kombinationen der genannten Problemtypen darstellen. Diese so genannten Metaprobleme seien daher zunächst hinsichtlich ihrer Struktur zu analysieren, um die zur Lösung notwendigen metakognitiven Fähigkeiten zu identifizieren (JONASSEN, 2000, S. 81).

Einem funktionalistisch-handlungstheoretischen Ansatz folgend ist Problemlösen eine zielgerichtete, geordnete und erfolgreiche Handlung, die auf der Orchestration

kognitiver und nicht-kognitiver Prozesse beruht und mehrere mentale Schritte und/oder Interaktionen mit der Problemumgebung umfasst (FUNKE, FISCHER & HOLT, im Druck; HERL et al., 1999; JONASSEN, 2000). Hinsichtlich der Organisation dieser Schritte nennen klassische Phasenmodelle des Problemlösens plausible Stationen eines Problemlöseprozesses, die linear oder iterativ zu durchschreiten sind. Weit verbreitet ist bspw. das IDEAL-Modell von BRANSFORD und STEIN (1984): identify, define, evaluate, act, look back. Allerdings konnten LIPSHITZ und BAR-ILAN (1996) diese Phasenmodelle empirisch nur bei sehr einfachen Problemen identifizieren. Zudem wiesen die Phasenmodelle in ihrer Studie keine prognostische Validität auf, das heißt ein modellgerechtes Problemlöseverhalten führte nicht zu höheren Lösungswahrscheinlichkeiten (LIPSHITZ & BAR-ILAN, 1996). Angesichts der Vielzahl der oben genannten Problemtypen muss ohnehin bezweifelt werden, ob es eine in allen Problemsituationen dominante Vorgehensweise tatsächlich geben kann. Der Begriff der Strategie bzw. Problemlösestrategie betont dagegen die Individualität des Vorgehens und der Methodenwahl. ROLLETT (2008) folgend definieren wir eine Strategie als Bezeichnung „...für alle im Rahmen des Problemlöseprozesses unterscheidbaren zielbezogenen Maßnahmen, die Probanden im Rahmen des Problemlöseprozesses einsetzen“ (ebd., S. 55) und benutzen den Begriff synonym mit dem Begriff der Methode bzw. Problemlösemethode. Strategien bzw. Methoden werden im Folgenden weiter ausdifferenziert.

Domänenübergreifende Lösungsheuristiken wie etwa „Trial and error“, „Generate-and-Test“ oder „Hypothesize-and-Match“ machen eine Problemlösung zwar in der Regel wahrscheinlicher oder beschleunigen den Suchprozess, bieten aber keine Lösungsgarantie (FRENSCH & FUNKE, 1995, S. 12). Solche Heuristiken sind als Generalisierung erworbenen Weltwissens zu verstehen wie beispielsweise die Heuristik „post hoc ergo propter hoc“ („danach, also deswegen“), die unabhängig von einer bestimmten Domäne dem Auffinden von Kausalitäten dient (ROLLETT, 2008, S. 49 f.). Allerdings führen Heuristiken oft auch zu irrationalen Ergebnissen wie KAHNEMAN und TVERSKY in ihrem einflussreichen Forschungsprogramm „Heuristics and Biases“ zeigen (siehe Überblick und auch Kritik bei HERTWIG, 2006). Ein domänenspezifischer Algorithmus ist dagegen ein „systematisches Verfahren, das zu bestimmten Problemstellungen nach endlich vielen definierten Schritten immer ein Ergebnis liefert“ (HERTWIG, 2006, S. 461). Algorithmen sind daher die erfolgversprechendere Methode (FRENSCH & FUNKE, 1995; GICK, 1986; VAN MERRIËNBOER, 2013), da ein Problem im Fall verfügbarer Lösungsalgorithmen, der Terminologie Dörners (1983) folgend, zu einer Aufgabe wird (SEMBILL, 1992).² In einer Tagebuchstudie zum Problemlösen an kaufmännischen Arbeitsplätzen konnten RAUSCH, SCHLEY und WARWAS (2015) zeigen, dass bei fehlendem Handlungswissen im Büroalltag meist Kolleginnen und Kollegen gefragt werden. Hier erscheint zwar die domänenübergreifende Suchheuristik „Kollegen fragen“ vordergründig die zielführende Strategie, doch wird das Problem genau genommen nicht durch das Nachfragen selbst, sondern erst durch die betreffende Antwort des Kollegen/

2 Das Problemlösen besteht somit im Auffinden und Anwenden des zielführenden Algorithmus.

der Kollegin gelöst.³ Die domänenfreie Heuristik „Trial and error“ spielt bei fachlichen Problemfällen am Arbeitsplatz dagegen kaum eine Rolle (RAUSCH et al., 2015).⁴ Entsprechend bezeichnen NEWELL (1980) sowie VAN MERRIËNBOER (2013, S. 154) domänenfreie Strategien als schwache Methoden (weak methods) und domänenspezifische Algorithmen als starke Methoden (strong methods). Zwischen diesen beiden Polen ordnet VAN MERRIËNBOER (2013) die wissensbasierten Methoden (knowledge-based methods) ein und bezeichnet diese als Heuristiken, die aber anders als domänenfreie (schwache) Heuristiken auf einer umfangreichen und vernetzten domänenspezifischen Wissensbasis operieren, ohne dass jedoch schon direkt anwendbare (starke) Algorithmen vorliegen. Wissensbasierte Methoden sind daher psychisch anstrengend und langsam sowie unsicher, was das Finden einer Lösung betrifft, aber dafür flexibler als Algorithmen und erfolversprechender als domänenfreie Heuristiken (VAN MERRIËNBOER, 2013, S. 155).

2.2 Computerbasierte Assessments zur Messung von Problemlösekompetenz

Computerbasierte Assessments zur Messung von Problemlösekompetenz ermöglichen durch die Generierung sogenannter Logdateien (s. o.) eine prozessorientierte Analyse individueller Strategien bei der Problembearbeitung. In der Problemlöseforschung haben computerbasierte Testumgebungen eine vergleichsweise lange Tradition. Große Aufmerksamkeit erzeugten in Deutschland insbesondere die Arbeiten der Forschergruppe um DIETRICH DÖRNER. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer agierten und reagierten in so genannten Mikrowelten. Als Bürgermeisterin von „Lohhausen“ (DÖRNER, KREUZIG, REITHER & STÄUDEL, 1983), Entwicklungshelfer in „Tanaland“ (DÖRNER & REITHER, 1978), Inhaberin der „Schneiderwerkstatt“ (PUTZ-OSTERLOH, 1981) oder Forstverwalter in „FSYS“ (WAGENER, 2001) war den komplexen Problemumgebungen jeweils gemein, dass durch die Steuerung verschiedener Eingabevariablen über mehrere Runden bzw. längere Zeiträume und meist unter Zeitdruck jeweils mehrere konfligierende Zielvariablen in Einklang zu bringen waren, ohne dass die zahlreichen Wirkungen und Wechselwirkungen zwischen den bis zu 2.000 Variablen vollständig transparent waren.

In der jüngeren Vergangenheit sind insbesondere die computerbasierten Messverfahren im Rahmen internationaler Vergleichsstudien wie PISA (Programme for International Student Assessment) oder PIAAC (Programme for the International Assessment of Adult Competencies) zu nennen. In PISA 2012 wurde Problemlösekompetenz auf Basis des MicroDYN-Ansatzes operationalisiert (LEUTNER, FLEISCHER, WIRTH,

- 3 Tatsächlich kann auch das Nachfragen selbst eine erfolgreiche Strategie sein, wenn bereits das Verbalisieren des Problems zu eigenen Einsichten – bspw. aufgrund der Aktivierung von Erinnerungen – führt.
- 4 Vermutlich schätzen die Fachkräfte die Erfolgsaussichten eines Trail-and-error-Verhaltens bei fachlichen Problemfällen eher gering, die Risiken dagegen hoch ein. Bei kleineren Herausforderungen mit geringem Risiko und schnellem Feedback wäre ein Trial-and-error-Verhalten durchaus sinnvoll. Allerdings wurden „Problemchen“ dieser Art in der genannten Studie nicht als fachliche Problemfälle betrachtet.

GREIFF & FUNKE, 2012). Der MicroDYN-Ansatz knüpft an die oben genannten Mikrowelten an, behebt aber die dort kritisierten psychometrischen Probleme, indem statt eines einzigen sehr umfangreichen und komplexen Szenarios eine Vielzahl „minimal komplexer Systeme“ bearbeitet werden. Die hierbei fokussierte dynamische Problemlösekompetenz wird als domänenfrei verstanden. Trotz der „Einkleidung“ der Items in verschiedene Kontexte (beispielsweise Steuerung eines Handballtrainings, eines Raumschiffes oder einer Klimaanlage) sind Vorerfahrungen in der betreffenden Domäne nicht von Nutzen für die Testteilnehmenden; im Gegenteil: Realweltliche Erfahrungen könnten sogar in die Irre führen (bspw. der Rückgriff auf Domänenwissen aus den Sportwissenschaften bei der Steuerung des Handballtrainings anhand der abstrakten Trainingsvarianten A, B und C). Anders verhält sich dies bei computerbasierten Problemfällen der niederländischen Forschergruppe um MARCEL VEENMAN. In der „Otter task“ sollen Teilnehmende beispielsweise anhand von Experimenten herausfinden, wie sich verschiedene Einflussfaktoren auf die Entwicklung der Otterpopulation auswirken. Hierzu regulieren sie ähnlich wie im MicroDYN-Ansatz verschiedene Einflussvariablen, doch sind die zugrunde liegenden Zusammenhänge der Realität nachempfunden, so dass domänenspezifisches Wissen durchaus hilfreich und im Rahmen der Problembearbeitung auch erlernbar ist (VEENMAN, WILHELM & BEISHUIZEN, 2004).

In PIAAC wurde technologiebasiertes Problemlösen erfasst. Technologiebasiertes Problemlösen („problem solving in technology-rich environments“; PSTRE) umfasst gemäß der Expertengruppe der OECD die Nutzung digitaler Medien, Kommunikationswerkzeuge und Netzwerke zur Recherche, Bewertung und Kommunikation von Informationen bei der Bewältigung alltäglicher Herausforderungen in persönlichen, beruflichen und gesellschaftlichen Kontexten (OECD, 2009, S. 9; ZABAL, MARTIN, KLAUKIEN, RAMMSTEDT, BAUMERT & KLIEME, 2013). Die Testitems verlangen beispielsweise das Einsortieren eingegangener Emails, das Auffinden von Informationen in einem umfangreichen Tabellenblatt oder die Bearbeitung eingehender Reservierungsanfragen (ZABAL et al., 2013, S. 66). Ähnliche Testitems zur Messung von PSTRE werden auch in den regelmäßigen Erhebungen im Rahmen des US-amerikanischen „National Assessment of Educational Progress“ (NAEP) verwendet (BENNETT, JENKINS, PERSKY & WEISS, 2003).

Im berufsbildenden Bereich wurden computerbasierte Assessments insbesondere im Rahmen der vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Forschungsinitiative „Technologie-orientierte Kompetenzmessung in der Berufsbildung“ (ASCOT) entwickelt (für einen Überblick siehe BECK, LANDENBERGER & OSER, 2016). Logdaten aus den computerbasierten Tests werden abgesehen vom hier präsentierten Projekt DomPL-IK (SEIFRIED, RAUSCH, KÖGLER, BRANDT, EIGENMANN et al., 2016) derzeit auch in dem Projekt zur Messung diagnostischer Kompetenzen von Kfz-Mechatronikern (ABELE, BEHRENDT, WEBER & NICKOLAUS, 2016) analysiert.

2.3 Ansätze und Methoden der Logdaten-Analyse computerbasierten Problemlösens

Bei der Untersuchung metakognitiver Prozesse unterscheiden VEENMAN, BAVELAAR, DE WOLF und VAN HAAREN (2014) zwischen „off-line“ Datenerhebungen wie Fragebogen und Interviews, die dem eigentlichen Problemlöseprozess vor- oder nachgelagert sind, und „on-line“ Datenerhebungen während des Problemlöseprozesses. Neben anderen „on-line“ Erhebungen wie Beobachtungen und Laut-Denken-Protokollen bieten computerbasierte Testverfahren die Möglichkeit, das Verhalten von Testteilnehmenden anhand der Logdaten zu rekonstruieren und zu interpretieren. Grundlage von Logdatenanalysen sind in vielen Forschungsprojekten nicht nur computerbasierte Testumgebungen, sondern oft auch computerbasierte Lernumgebungen. Insbesondere in den Vereinigten Staaten wurden unter dem Label der „open-ended learning environments“ (OELE) zum Teil sehr aufwändige Mikrowelten als domänenspezifische problembasierte Lernumgebungen entwickelt (bspw. „Crystal Island“, „Betty’s Brain“ oder „BioWorld“). Sehr interessant ist auch die Umgebung „gStudy“, eine flexible Plattform, die Werkzeuge zur Informationsrecherche und -verarbeitung bereitstellt (Suchfunktionen, Notizblock, Verlinkungen, Concept maps etc.) und mit nahezu beliebigen domänenspezifischen Aufgabenstellungen und Informationsmaterialien gefüllt werden kann (WINNE, NESBIT, KUMAR, HADWIN, LAJOIE, AZEVEDO & PERRY, 2006). Zudem können Problemlöseprozesse auch in computerbasierten Spielumgebungen untersucht werden (ESERYEL, IFENTHALER & GE, 2011). Test-, Lern und Spielumgebungen ist dabei gemein, dass die Teilnehmenden innerhalb der Umgebung Probleme bearbeiten, wobei diese Probleme im Fall aktueller Testumgebungen – insbesondere aus psychometrischen Gründen – meist recht kleinschrittig sind (s. o.).

Voraussetzung für eine Logdaten-Analyse ist, dass die computerbasierte Test- oder Lernumgebung alle Logdaten, das heißt jede Interaktion eines Testteilnehmenden mit der Umgebung inklusive Zeitstempel, in einer Logdatei speichert. Ziel der Analyse ist es in der Regel, dass anhand der Daten rekonstruierte Verhalten als Handeln zu interpretieren und dessen Handlungsqualität in Bezug auf vorgegebene Ziele zu beurteilen. Zudem bleiben Rückschlüsse auf Basis der aus Logdaten rekonstruierten Verhaltens auf kognitive und emotional-motivationale Prozesse immer interpretativ und teilweise hoch inferent.

Die Aufbereitung, Analyse und Interpretation der Daten stellt aufgrund der enormen Datenmengen oft hohe Anforderungen (SCHRADER & LAWLESS, 2007). Bei der Logdaten-Analyse kann idealtypisch zwischen datengetriebenen und modellgetriebenen Ansätzen unterschieden werden, wobei die Grenzen oft verschwimmen und auch Kombinationen möglich sind (KINNEBREW, SEGEDY & BISWAS, im Druck).

Datengetriebene Analyseverfahren dienen der Identifikation von auffälligen Aktivitätsmustern, die beispielsweise geeignet sind, zwischen mehr oder weniger erfolgreichen Problemlösenden zu differenzieren, ohne dass der Analyse theoretische Modellierungen des Zusammenhangs zwischen dem Aktivitätsmuster und dem Problemlöseerfolg zugrunde liegen. Diese Ansätze werden häufig den Bereichen „Educational data mining“ oder „Learning analytics“ zugeordnet (LAJOIE, POITRAS, DOLECK &

JARRELL, 2015; MARTIN & SHERIN, 2013). Das Vorgehen kann somit als eher hypothesengenerierend bezeichnet werden. Hierbei kommen häufig sehr komplexe statistische Verfahren wie Mustersequenzanalysen, künstliche neuronale Netzwerke, Markov-Ketten oder n-grams zur Anwendung (HE & VON DAVIER, 2016; KINNEBREW, MACK, BISWAS & CHANG, 2014; LAJOIE, POITRAS, DOLECK & JARRELL, 2015). Ein erster, sehr einfacher Zugriff besteht aber häufig zunächst darin, den Einfluss der Häufigkeit aller oder ausgewählter Interaktionen anzuschauen. VEENMAN, BAVELAAR, DE WOLF und VAN HAAREN (2014) fanden in ihrer Studie zur „Otter task“ (s. o.) heraus, dass die Anzahl der durchgeführten Experimente hohe Zusammenhänge mit einigen anderen (aber nicht mit allen) elaborierteren metakognitiven Indikatoren aufwies. Hypothesenprüfend untersuchten NAUMANN, GOLDHAMMER, RÖLKE und STELTER (2014) anhand der PIAAC-Daten zum technologiebasierten Problemlösen (s. o.) den Einfluss der Interaktionshäufigkeit auf die Lösungswahrscheinlichkeit. Die Autoren nahmen einen umgekehrt U-förmigen Zusammenhang an, der sich auch bestätigte, wobei die maximale Lösungswahrscheinlichkeit erreicht wird, wenn die Interaktionshäufigkeiten zirka eineinhalb Standardabweichungen über dem Mittelwert liegen. In ähnlicher Weise untersuchte die gleiche Forschergruppe den Einfluss der Bearbeitungszeit und fand positive Zusammenhänge der Bearbeitungszeit und der Lösungswahrscheinlichkeit der Items des technologiebasierten Problemlösens (GOLDHAMMER, NAUMANN, STELTER, TOTH, RÖLKE & KLIEME, 2014).

Modellgetriebene Analyseverfahren basieren auf der Modellierung der Aufgabe und zugehöriger Lösungsstrategien (KINNEBREW, SEGEDY & BISWAS, im Druck). In „BioWorld“, einer problembasierten Lernumgebung zur Förderung diagnostischer Kompetenz für Medizinstudierende, werden bestimmte Verhaltensmuster kognitiven und metakognitiven Prozessen zugeordnet und während der Problembearbeitung ausgewertet, um ein direktes und am individuellen Problemverlauf angepasstes Feedback zu ermöglichen (LAJOIE, POITRAS, DOLECK & JARRELL, 2015). Ähnliche Modellierungen liegen auch den Analysen des Problemlöseverhaltens in den Lernumgebungen „Betty’s Brain“ (KINNEBREW, SEGEDY & BISWAS, IM DRUCK) oder „Crystal Island“ (SABOURIN, ROWE, MOTT & LESTER, 2012) zugrunde. Für weniger komplexe Probleme wie beispielsweise im Rahmen des MicroDYN-Ansatzes lassen sich Problemlösestrategien dagegen einfacher definieren und überprüfen. So erweist sich die VOTAT-Strategie („vary one thing at a time“) bei dynamischen Problemen (s. o.) als sehr Erfolg versprechend. Sie beschreibt das plausible Verhalten, jeweils nur eine Variable hochzuregulieren und die anderen Variablen in einer neutralen Stellung zu lassen, um so die Effekte einer Eingabevariablen zu isolieren (GREIFF, WÜSTENBERG & AVVISATI, 2015). Die Strategie erweist sich entsprechend auch bei der „Otter task“ (s. o.) als Erfolg versprechend (VEENMAN, BAVELAAR, DE WOLF & VAN HAAREN, 2014) und kann bei Problemtypen dieser Art durchaus als starke Methode (s. o.) eingeschätzt werden, die – im Fall geringer Wechselwirkungen zwischen den Variablen – eine Problemlösung garantiert. In ähnlicher Weise definieren auch BENNETT, JENKINS, PERSKY und WEISS (2003) die Qualität der von den Schülerinnen und Schülern gewählten Voreinstellungen bei simulierten Experimenten im Rahmen der NAEP-Erhebungen, wobei

hier deutlich größere Spielräume zugelassen werden, so dass die erfolgreichen Strategien eher als wissensbasiert zu bezeichnen wären. Die Nutzung kognitiver Werkzeuge wie beispielsweise eines Notizblocks innerhalb von „gStudy“ (s. o.) wäre dagegen eine schwache Methode, die hilfreich sein kann, aber eine Problemlösung nicht garantiert.

Ohne hier weiter ins Detail gehen zu können, zeigen die angeführten Beispiele, dass es eine Vielzahl möglicher Ansätze zur Analyse von Problemlöseprozessen anhand von Logdaten gibt. Im Folgenden möchten wir einen eigenen Ansatz und erste Ergebnisse der Analyse von Logdaten aus einer simulierten Büroumgebung aufzeigen, in der kaufmännische Auszubildende drei Problemstellungen im Umfang von je 30 Minuten bearbeiteten. Dabei möchten wir anhand exemplarischer Befunde den Fragen nachgehen, wie sich ausgewählte Aktivitäten im zeitlichen Verlauf der Problembearbeitung verteilen und wie dies wiederum mit der Problemlösekompetenz der Auszubildenden zusammenhängt.

3 Eckdaten der empirischen Studie und Analysemethode

3.1 Domänenspezifische Problemszenarien aus dem Beschaffungscontrolling

Im DomPL-IK-Projekt wurden auf Basis einer umfassenden Domänenanalyse (EIGENMANN et al., 2015) authentische Problemszenarien im Bereich des Beschaffungscontrollings entwickelt. Controlling umfasst hierbei die bedarfsgerechte Informationsversorgung des Managements zur Vorbereitung betriebswirtschaftlicher Entscheidungen (z. B. REICHMANN, 2001), Maßnahmen der operativen Planung und Kontrolle (z. B. HAHN & HUNGENBERG, 2001) sowie Instrumente der Kosten- und Leistungsrechnung. Es handelt sich dabei um sprach- und zahlenbasierte Steuerungs- und Entscheidungsaufgaben im unteren und mittleren Management, mit deren Vorbereitung üblicherweise kaufmännische Angestellte betraut werden. Die auf Basis der Domänenanalyse entwickelten Problemszenarien beziehen sich auf ein real existierendes mittelständisches Unternehmen (Fahrradhersteller), das aufgrund der Markttransparenz in großem Umfang authentische Materialien zur Verfügung stellen konnte. Die Teilnehmenden schlüpfen in die Rolle einer kaufmännischen Fachkraft und bearbeiten drei jeweils 30-minütige Szenarien (für einen ausführlichen Überblick siehe WUTTKE et al., 2015).

Der vorliegende Beitrag stützt sich aus Gründen des Umfangs auf das erste und dritte Szenario der Testumgebung. Im ersten Szenario ist von den Probanden auf Basis von Ist- und Sollwerten in einer Tabellenkalkulation eine Abweichungsanalyse durchzuführen: Es sind relevante Abweichungen zu markieren und sodann mittels der zur Verfügung stehenden Dokumente Abweichungsgründe zu ermitteln, bevor das Ergebnis mit entsprechenden Erläuterungen und der Ableitung von Konsequenzen für zukünftige Planungen per Email an den Vorgesetzten berichtet werden muss. Das von der Anlage her komplexere Szenario 3 bezieht sich auf eine Make-or-Buy-Entscheidung, bei der nach der Sichtung der Materialien und Informationen zunächst die Ermittlung und Gegenüberstellung der Kosten einer Eigenfertigung und eines Fremdbezugs teilmontierter

Komponenten notwendig ist, bevor unter Berücksichtigung rechtlicher Bestimmungen (z. B. Zoll) sowie distributiver und unternehmensspezifischer Ziele (z. B. Abhängigkeit vom Lieferanten, Qualität, Risiken) eine Entscheidung getroffen und den Vorgesetzten unter Abwägung von Chancen und Risiken kommuniziert werden muss.

Die Szenarien unterscheiden sich hinsichtlich der Anzahl und Reihenfolge der zur Problemlösung notwendigen Schritte und des Umfangs der dafür relevanten Informationen und Materialien: In Szenario 1 steht zu Beginn zunächst die Arbeit in der Tabellenkalkulation im Mittelpunkt, bevor dann im weiteren Verlauf eine Sichtung und Bewertung weiterer Dokumente vorzunehmen ist. Im dritten Szenario ist die problemimmanente Vorgehenslogik entgegengesetzt: Hier sind zunächst Informationen aus verschiedenen Dokumenten notwendig, bevor in der Tabellenkalkulation gerechnet werden kann. Dementsprechend sind bei der Analyse der Problemlöseprozesse jeweils unterschiedliche Aktivitätsmuster und Lösungsstrategien zu erwarten. Bezüglich der Zusammenhänge zwischen der Problemlösekompetenz und den entsprechenden Aktivitäten ist davon auszugehen, dass erfolgreiche Problemlöserinnen diese problemimmanente Vorgehenslogik erkennen und zielführend anwenden, während weniger erfolgreiche unsystematischer agieren.

3.2 Computerbasierte Bürosimulation als offener Problemraum

Neben der inhaltlichen Authentizität der Problemszenarien zeichnet sich das Testverfahren auch durch einen authentischen, offenen Handlungsraum aus, denn innerhalb der jeweils 30-minütigen Bearbeitungszeit gibt es keinerlei künstliche Strukturierung oder Sequenzierung. Die Bearbeitung der Problemszenarien erfolgt in einer computerbasierten Bürosimulation, in der die authentischen Materialien und üblichen Werkzeuge eines Büroarbeitsplatzes bereitgestellt werden. Dazu gehören ein hierarchisches Ordner-System, ein Email-Client, ein Tabellenkalkulationsprogramm und ein Taschenrechner. Die Umgebung stellt ferner verschiedene „cognitive tools“ zur Verfügung, das heißt Werkzeuge, die dem Auffinden, Wiederfinden, Sammeln und Organisieren von Informationen dienen können (JONASSEN, 1992; LUI & BERA, 2005, S. 6). Eine Suchfunktion erleichtert das Auffinden bestimmter Dokumente anhand von Schlagworten. Als relevant erachtete Dokumente können über eine Favoriten- bzw. Lesezeichenfunktion markiert werden, um das Wiederfinden zu erleichtern. Im jederzeit verfügbaren Notizblock können Texteinträge gemacht werden. Zudem können Informationen aus einzelnen Dokumenten, Nachrichten oder Tabellenblättern über gängige Tastenkürzel kopiert und in den Notizblock eingefügt werden. Durch Anklicken des Uhrzeitsymbols wird die verbleibende Bearbeitungszeit drei Sekunden lang eingeblendet. Abbildung 1 zeigt einen Screenshot der Testumgebung mit geöffnetem Notizblock und geöffnetem Taschenrechner während der Bearbeitung eines Tabellenblattes.

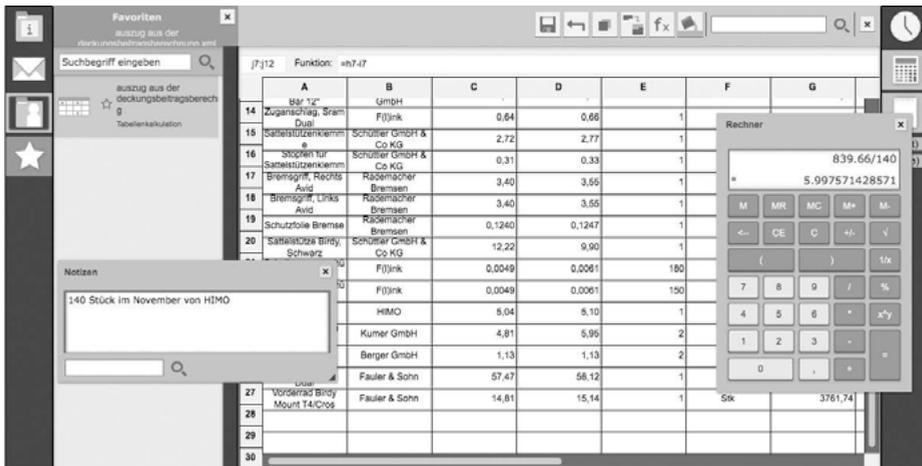


Abb. 1: Screenshot der Testumgebung mit Tabellenkalkulation, Notizblock und Taschenrechner

Jedes Szenario beginnt mit der Email einer Vorgesetzten, die um die Bearbeitung eines mehr oder weniger wohl-definierten Problems und die Zusendung eines Lösungsvorschlags binnen 30 Minuten bittet. Relevante Dokumente finden sich teilweise im Anhang der Email oder mehr oder weniger offensichtlich in der hierarchischen Ordnerstruktur. Dateiordner können szenariospezifisch oder in allen Szenarien identisch sein. Durchgängig verfügbar sind allgemeine Dokumente zum Unternehmen, die aber fast ausschließlich irrelevante Informationen enthalten (Presstexte, Pressefotos, Organigramm etc.). In einem Ordner namens „Internes Nachschlagewerk“ stehen zahlreiche Dokumente zur Verfügung, in denen fachspezifische Begriffe kurz erklärt werden. Dadurch bekommen die Tests den Charakter eines „Open-book-exam“. Zwar reicht die Bearbeitungszeit bei weitem nicht aus, um sich ohne Vorkenntnisse in alle Fachbegriffe einzuarbeiten zu wollen, doch können hierdurch – wie an realen Arbeitsplätzen – einzelne Wissenslücken oder Unsicherheiten schnell behoben werden. Der Nutzen des Nachschlagewerks wird dadurch eingeschränkt, dass es eine Vielzahl irrelevanter Dokumente enthält und zudem keines der relevanten Dokumente eine komplette Lösung für eines der Szenarien bietet. Weitere Recherchen außerhalb der Testumgebungen (z. B. im Internet) sind nicht möglich. Abbildung 2 zeigt ein in der Bürosimulation geöffnetes Dokument zum Begriff der Anschaffungskosten.



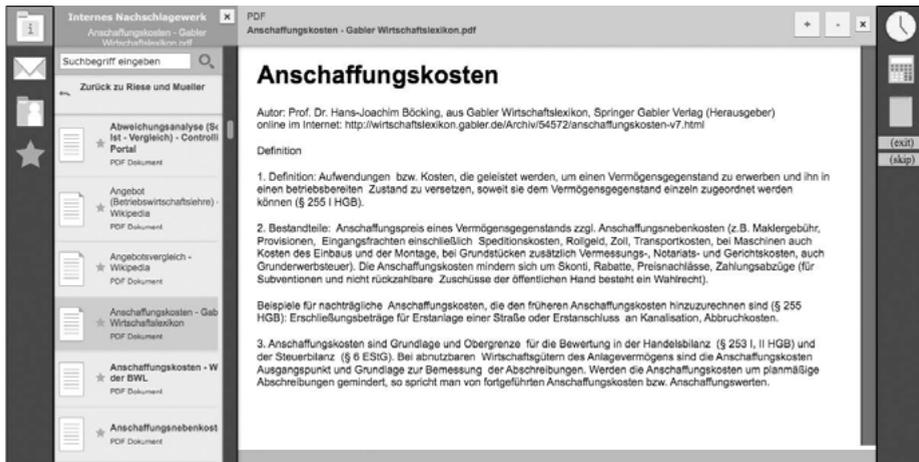


Abb. 2: Screenshot der Testumgebung mit geöffnetem Dokument aus dem Nachschlagewerk

Die computerbasierte Testumgebung speichert alle Aktivitäten der Teilnehmenden (valide Tastaturanschläge, Mausklicks und Scrollen innerhalb eines Dokuments) inklusive Zeitstempel in jeweils einer Logdatei pro Person und pro Szenario.

3.3 Stichprobe und Datenbasis

Die vorliegenden Daten stammen aus einer Studie mit $N=780$ kaufmännischen Auszubildenden (537 Industriekaufleute, 106 IT-System- und 137 Groß- und Außenhandelskaufleute). Die Teilnahme war freiwillig und alle Teilnehmenden erklärten sich schriftlich zur Teilnahme bereit. Vor der Bearbeitung der Problemszenarien wurden die Teilnehmenden im Rahmen eines 15-minütigen Tutorials mit dem Modellunternehmen und den Funktionalitäten der Testumgebung vertraut gemacht. Aus den Problemlösungen der Teilnehmenden resultieren nach einer umfassenden Kodierung und Skalierung mittels Item-Response-Theorie (MASTERS, 1982; WANG & WILSON, 2005; dreistufiges Vorgehen in Anlehnung an BENNETT et al., 2003) reliable und valide Kompetenzwerte (RAUSCH et al., 2016). Für die weiteren Analysen wurden alle Probandinnen und Probanden ausgeschlossen, deren Logdateien beispielsweise aufgrund zwischenzeitlicher Software-Abstürze Lücken oder andere Auffälligkeiten aufwiesen. Für die hier folgenden Auswertungen verbleiben 689 Fälle im ersten Szenario und 589 Fälle im dritten Szenario.



3.4 Aufbereitung der Logdaten und Analysemethoden

Um das immense Datenaufkommen für die Auswertung handhabbar zu machen, werden zunächst die einzelnen Interaktionen (Logdateieinträge) eines Teilnehmenden, die inhaltlich zu derselben Aktivität gehören und die zeitlich direkt aufeinander folgen (z. B. mehrere Tastaturanschläge bei einer Eingabe im Notizblock), mit dem gleichen Aktivitätslabel versehen und gemeinsam mit dem Zeitstempel der ersten Interaktion als eine Aktivität (z. B. Notizblocknutzung) in einen neuen Datensatz exportiert. Die auf diese Weise verdichteten Logdateien beinhalten nun alle Aktivitäten eines Teilnehmenden in einem Szenario in chronologischer Abfolge.

Um die Häufigkeiten bestimmter Aktivitäten (bspw. das Öffnen von Dokumenten) oder auch bestimmter Aktivitätsfolgen (bspw. Dokument öffnen → Notizblock verwenden) im Zeitablauf zu betrachten, werden die 30-minütigen Szenarien in sechs je fünfminütige Intervalle zerlegt und die entsprechenden Häufigkeiten für jedes Zeitintervall errechnet. Dadurch entstehen sechs Prozessitems, die jeweils die Häufigkeit einer bestimmten Aktivität oder Aktivitätsfolge in einem Zeitintervall von 5 Minuten angeben. In einem nächsten Schritt werden diese Prozessitems jeweils getrennt nach Leistungsgruppen betrachtet. Dabei unterscheiden wir anhand der Problemlösekompetenz der Teilnehmenden fünf Leistungsgruppen (Gruppe 1 = geringste Kompetenzwerte bis Gruppe 5 = höchste Kompetenzwerte). Tabelle 1 zeigt Charakteristika der verschiedenen Leistungsgruppen.

Tab. 1: Merkmale der Stichprobe nach Leistungsgruppen

Leistungsgruppe	Kompetenzwerte (Gruppierungsvariable)	Zusammensetzung nach Ausbildungsberuf IK/IT-SK/KGA*	Zusammensetzung nach Geschlecht männlich/ weiblich	Zusammensetzung nach Vorbildung Hochschulreife/ Sonstige**
Gruppe 1 (N = 147)	M = -1.053 SD = 0.192	68/37/51	97/50	70/86
Gruppe 2 (N = 155)	M = -0.489 SD = 0.107	92/24/40	82/73	80/76
Gruppe 3 (N = 147)	M = -0.114 SD = 0.113	123/13/20	63/84	81/75
Gruppe 4 (N = 154)	M = 0.252 SD = 0.106	121/21/14	69/85	68/88
Gruppe 5 (N = 154)	M = 0.677 SD = 0.158	133/11/12	68/86	91/65

* IK: Industriekaufrau/-mann, IT-SK: IT-Systemkauffrau/-mann, KGA: Kauffrau/-mann im Groß- und Außenhandel

** Hochschulreife: Allgemeine oder Fachgebundene Hochschulreife, Sonstiges: Förderschulabschluss, Hauptschulabschluss, Realschulabschluss/Mittlere Reife, Fachhochschulreife und Sonstiger Abschluss

Die Auswertung der Logdaten erfolgt mit Hilfe der Software „R“ (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2008). Die Auswertungsfunktionen wurden so implementiert, dass sie eine flexible Anpassung erlauben hinsichtlich der jeweils betrachteten Aktivität oder Aktivitätsfolge, der Anzahl der Prozessitems (hier: 6 Zeitintervalle), der Gruppierungsvariable (hier: Kompetenzwerte) und der Gruppenanzahl (hier: 5 Leistungsgruppen). Die vorliegende Variante erscheint uns geeignet, um einen ersten Überblick über die Datenlage zu erhalten und für unterschiedlich erfolgreiche Gruppen den Problemlöseprozess anhand verschiedener Aktivitäten zu rekonstruieren. Zur grafischen Veranschaulichung werden neben Balkendiagrammen sogenannte Heatmaps generiert, die pro Leistungsgruppe die relative Intensität der jeweils betrachteten Aktivität im Zeitablauf farblich bzw. durch Grautonabstufungen hervorheben.

4 Ausgewählte Ergebnisse der Logdaten-Analyse

4.1 Datengetriebene Analyse der Aktivitäten in der Testumgebung

In einem ersten datengetriebenen Zugang wird die Gesamtzahl der Aktivitäten in der Testumgebung im Zeitablauf analysiert. Die nachstehende Abbildung 3 zeigt für die Aktivitäten im Verlauf des ersten Szenarios (Abweichungsanalyse) links ein Balkendiagramm, in dem über den Problemlösezeitraum von 30 Minuten hinweg die Häufigkeit der Aktivitäten abgetragen ist, und rechts eine Heatmap, welche die relativen Intensitäten innerhalb der fünf Leistungsgruppen hervorhebt (je dunkler, desto intensiver).

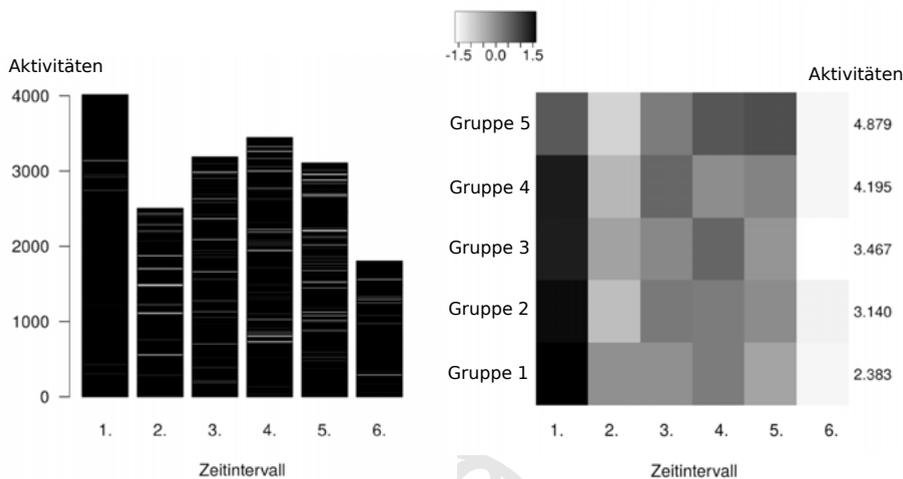


Abb. 3: Aktivitäten in der Testumgebung (Szenario 1)

Das Balkendiagramm zeigt für die Gesamtstichprobe insbesondere im ersten 5-Minuten-Intervall eine sehr hohe Zahl von Aktivitäten von über 4.000, die dann im weiteren Verlauf des Problemlöseprozesses nicht wieder erreicht wird. Im letzten Zeitabschnitt sinkt die Zahl der Aktivitäten erwartungsgemäß ab, da zahlreiche Teilnehmende die Email an die Vorgesetzte vor Ablauf der 30 Minuten absenden, womit das Szenario beendet wird. Die Heatmap zeigt, dass sich die fünf Leistungsgruppen bezüglich dieses Musters kaum unterscheiden. Lediglich die stärkste Leistungsgruppe zeigt in den Intervallen 4 und 5 relativ betrachtet mehr Aktivitäten. Die stärkeren Problemlöserinnen werden also in der zweiten Hälfte der Bearbeitungszeit vergleichsweise aktiver. Zudem fällt bezüglich der absoluten Aktivitäten auf, dass diese linear über die Leistungsgruppen hinweg ansteigen: von 2.383 Aktivitäten in der leistungsschwächsten Gruppe 1 bis 4.879 Aktivitäten in der leistungsstärksten Gruppe 5.

Abbildung 4 zeigt die entsprechenden Daten für das dritte Szenario (Make-or-Buy-Entscheidung). Die insgesamt höhere absolute Zahl an Aktivitäten liegt vermutlich am größeren Informationsumfang und der höheren Anzahl notwendiger Handlungsschritte in diesem Szenario. In der Heatmap deutet sich das im ersten Szenario gefundene Muster erneut an. Ebenso scheint die absolute Anzahl der Aktivitäten in einer Gruppe wieder ein Indikator für die Problemlösekompetenz zu sein.

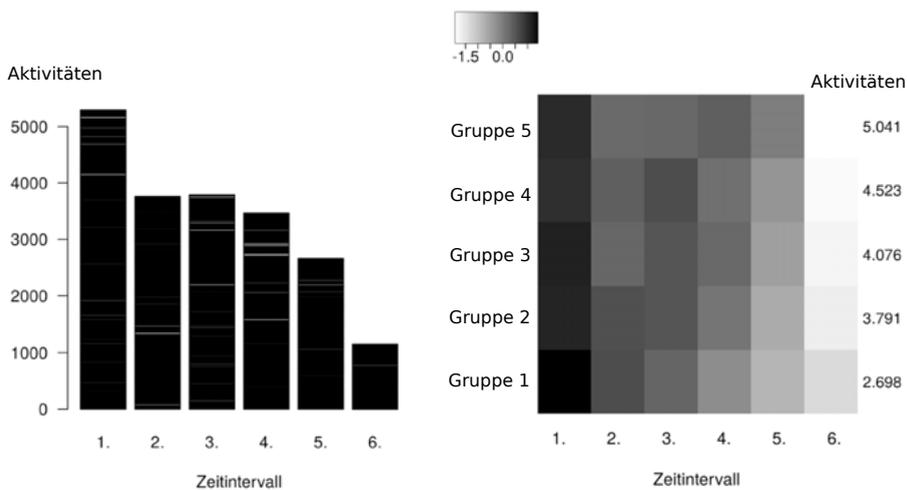


Abb. 4: Aktivitäten in der Testumgebung (Szenario 3)

4.2 Exemplarische Identifikation ‚schwacher‘ Methoden im Problemlöseprozess

Die folgende Analyse bezieht sich auf die Nutzung des Notizblocks, die als eine schwache Methode verstanden werden kann (s. o.). Der Notizblock bietet als sogenanntes „kognitives Werkzeug“ die Möglichkeit, relevante Informationen und Pläne zum wei-

teren Vorgehen zu notieren, um so die eigene kognitive Beanspruchung zeitweise zu entlasten. Die Nutzung des Notizblocks erscheint insbesondere dann sinnvoll, wenn viele Informationen aus unterschiedlichen Dokumenten zu verarbeiten sind. Abbildung 5 zeigt die absoluten Nutzungshäufigkeiten und relativen Nutzungsintensitäten im Zeitablauf für das erste Szenario.

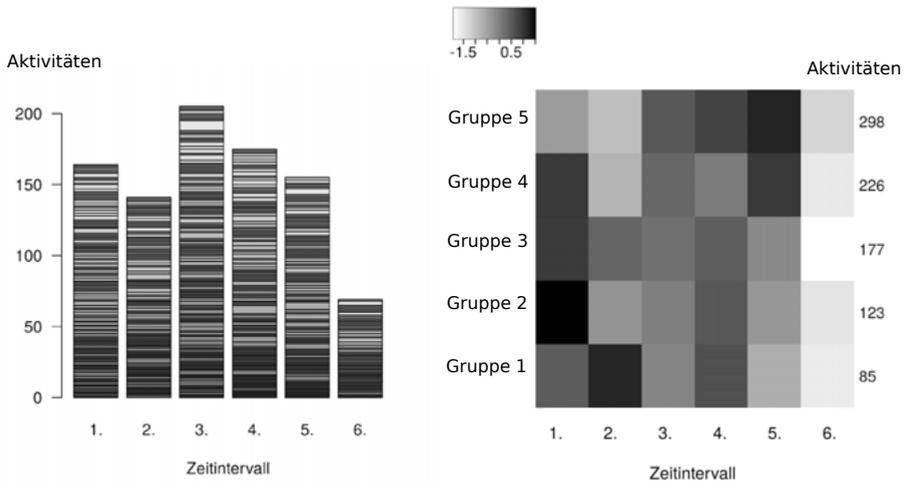


Abb. 5: Nutzung des Notizblocks (Szenario 1)

Das Balkendiagramm (in Abbildung 5 links) zeigt, dass die Häufigkeiten der Notizblocknutzung in der Gesamtstichprobe im Zeitablauf zunächst relativ ähnlich sind, im dritten Intervall einen Höhepunkt erreichen und erwartungsgemäß im letzten Intervall stark abfallen, da hier vermutlich eher direkt in der Antwortmail an die Vorgesetzte als im Notizblock gearbeitet wird. Erneut zeigen die absoluten Häufigkeiten pro Leistungsgruppe, dass die leistungsstärksten Problemlöser den Notizblock intensiver nutzen und die Nutzungshäufigkeit linear zur Leistung zu fallen scheint. Die Heatmap offenbart hier weitere interessante Unterschiede zwischen den fünf Leistungsgruppen. Die leistungsstärkste Gruppe beschäftigt sich erst gegen Ende des Testzeitraums intensiver mit dem Notizblock, während schwächere Problemlöserinnen dieses Werkzeug eher zu Beginn des Problemlöseprozesses verwenden. Dieses Ergebnis lässt sich inhaltlich so erklären, dass die Sichtung der umfangreichen Informationsmaterialien (Eingangsrechnungen) erst nach der Berechnung der Kostenabweichungen sinnvoll ist. Weniger erfolgreiche Teilnehmende erkennen entweder nicht die Notwendigkeit der vorherigen Berechnungen oder scheitern an dieser Hürde. Daher widmen sie sich frühzeitig den zahlreichen Dokumenten und machen sich dazu entsprechend frühzeitig Notizen.

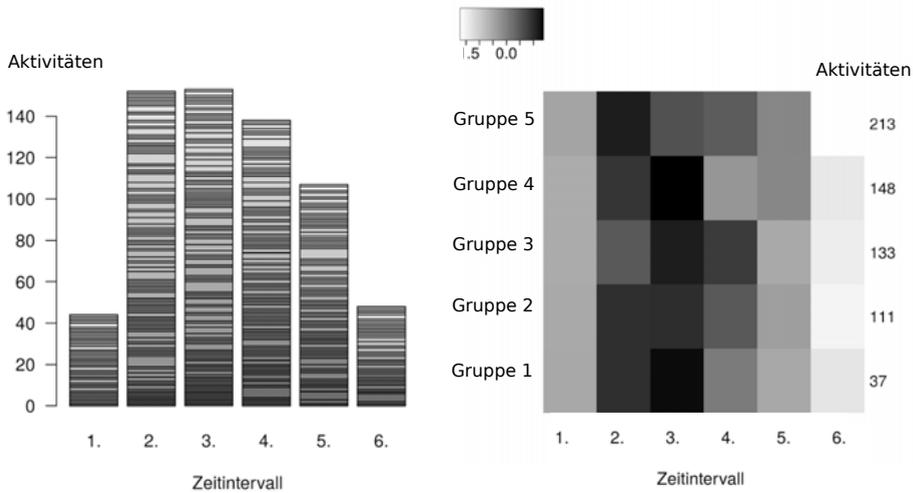


Abb. 6: Nutzung des Notizblocks (Szenario 3)

Abbildung 6 zeigt die Nutzung des Notizblocks in Szenario 3 (Make-or-buy-Entscheidung). Über die Gesamtstichprobe hinweg zeigen sich ähnliche Nutzungsmuster wie in Szenario 1. Wieder nutzen die erfolgreicheren Teilnehmenden das Werkzeug häufiger als die weniger erfolgreichen. Es zeigen sich in diesem Szenario in der Heatmap allerdings kaum auffällige Unterschiede zwischen den Leistungsgruppen.

4.3 Exemplarische Identifikation „wissensbasierter“ Methoden im Problemlöseprozess

In allen Szenarien steht eine Vielzahl relevanter und irrelevanter Dokumente zur Verfügung. Wissensbasierte Methoden, das heißt domänenspezifische Heuristiken auf der Basis von Wissen und Erfahrungen in einer Domäne, sollten sich darin äußern, dass relevante Dokumente als solche erkannt werden und die Beschäftigung mit solchen Dokumenten ausgiebiger ist. Die beiden betrachteten Szenarien unterscheiden sich diesbezüglich durch den Zeitpunkt, zu dem die Relevanz eines Dokuments beurteilt werden kann. In Szenario 1 ist die Relevanz eines Dokuments erst nach erfolgter Abweichungsberechnung möglich. In Szenario 3 müsste bereits frühzeitig deutlich werden, welche Dokumente relevant sind.

Abbildung 7 zeigt den Umgang mit relevanten Dokumenten für das erste Szenario. Dabei offenbart das Balkendiagramm zunächst einen kontinuierlichen Anstieg der betreffenden Aktivitäten in den ersten fünf Zeitintervallen und schließlich erwartungsgemäß im letzten Intervall einen deutlichen Abfall. Die zugehörige Heatmap weist in der Gruppe der Leistungsschwächsten die höchsten Intensitäten aber bereits im zweiten und dritten Intervall auf, während stärkere Problemlöserinnen sich erst deutlich später mit den relevanten Dokumenten beschäftigen. Der oben skizzierten Vorgehenslogik fol-

gend, ist zu vermuten, dass schwächere Teilnehmende sich frühzeitig, aber dafür relativ ziellos den zahlreichen Dokumenten widmen, ohne wissen zu können, welche tatsächlich relevant sind.

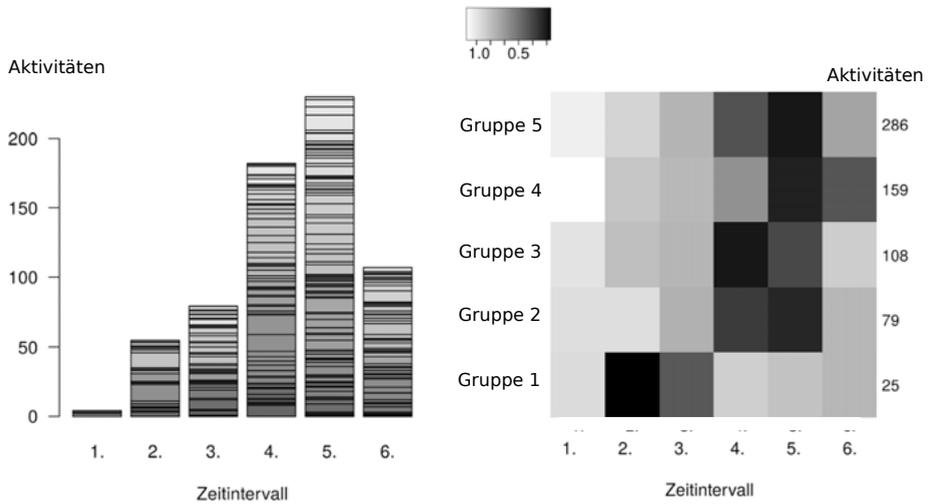


Abb. 7: Umgang mit relevanten Dokumenten (Szenario 1)

In Szenario 3 stellt sich die Häufigkeitsverteilung der betrachteten Aktivitäten über die Zeit entgegengesetzt dar (siehe Abbildung 8). Das Balkendiagramm offenbart einen kontinuierlichen Rückgang des Umgangs mit relevanten Dokumenten, was auch der oben beschriebenen problemimmanenten Vorgehenslogik entspricht, da die Relevanz der Dokumente frühzeitig erkennbar ist. Die insgesamt höheren Häufigkeiten sind vermutlich der höheren Komplexität im Sinne des Umfangs und der Vernetztheit der verfügbaren Informationen sowie der höheren Anzahl notwendiger Handlungsschritte geschuldet. Erneut zeigt sich, dass erfolgreiche Problemlöser sich durch eine höhere Anzahl von Aktivitäten auszeichnen. In der Heatmap zeigen sich in diesem Szenario dagegen kaum Unterschiede zwischen den Leistungsgruppen. In der leistungstärksten Gruppe scheinen die Interaktionen mit den relevanten Dokumenten homogener über die Zeit verteilt (natürlich mit Ausnahme des letzten Intervalls, in dem viele die Bearbeitung bereits vor Zeitablauf abschließen).



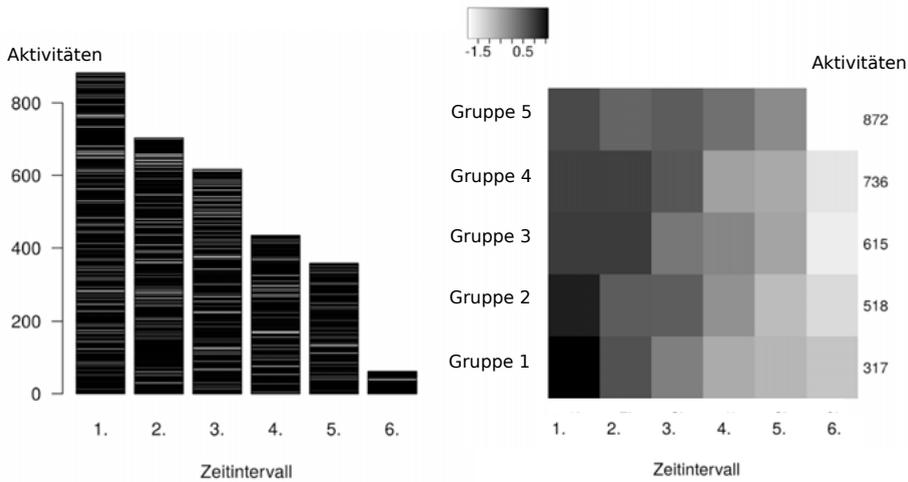


Abb. 8: Umgang mit relevanten Dokumenten (Szenario 3)

5 Diskussion und Ausblick

Computerbasiertes Testen hat im Vergleich zu papierbasierten Verfahren zahlreiche Vorteile wie beispielsweise die höhere Authentizität, wenn es um Problemlösen in Kontexten geht, in denen der Computer als Arbeitswerkzeug eine große Rolle spielt wie bspw. an kaufmännischen Arbeitsplätzen (RAUSCH & KÖGLER, 2016). Daher ist die mediale Abstrahierung in den hier beschriebenen Problemszenarien u. E. relativ gering. Weitere Vorteile computerbasierten Testens liegen in den Möglichkeiten der Logdaten-Analyse. Über die Beurteilung vorgeschlagener Problemlösungen hinaus können hierdurch insbesondere Problemlöseprozesse sichtbar gemacht werden. Die Analyseverfahren sind allerdings sehr vielfältig und reichen von einfachen Häufigkeitsanalysen bis hin zu komplexen statistischen Verfahren und von rein datengetriebenen Verfahren hin zu modellgetriebenen Ansätzen, denen konkrete Annahmen über mehr oder weniger erfolgreiche Problemlösestrategien zugrunde liegen.

Authentische kaufmännische Problemfälle, wie sie im Rahmen des hier betrachteten Projekts verwendet wurden, verlangen zu ihrer Lösung stets auch sogenannte „starke Methoden“, das heißt domänenspezifische Lösungsalgorithmen (z. B. die Berechnung eines Einstandspreises). Die erfolgreiche Anwendung solcher Algorithmen wurde im vorliegenden Projekt bereits bei der Kodierung der Lösungsgüte (Produktperspektive) und der darauf basierenden Schätzung der Kompetenzwerte berücksichtigt (zum Vorgehen siehe RAUSCH et al., 2016). Im Rahmen der Prozessbetrachtung kann zusätzlich untersucht werden, in welcher Reihenfolge bestimmte Algorithmen zur Anwendung kommen, welche weiteren Verhaltensmuster (bspw. Heuristiken) deren erfolgreiche Anwendung begünstigen oder an welchen Barrieren eine erfolgreiche Problemlösung scheitert.

Im vorliegenden Beitrag haben wir exemplarisch einige Aktivitäten im Zeitablauf untersucht, indem wir die Gesamtbearbeitungszeit in fünfminütige Zeitintervalle teilten. Zudem haben wir die ausgewählten Aktivitäten mit den Kompetenzwerten der Teilnehmenden in Verbindung gebracht, indem wir die Teilnehmenden in fünf Leistungsgruppen unterteilten. Die Betrachtung der Häufigkeiten der Aktivitäten zeigt, dass die Gesamtzahl der Aktivitäten in einer positiven Beziehung mit der Problemlösekompetenz steht. Anders als in der Analyse der PIAAC-Items von NAUMANN, GOLDHAMMER, RÖLKE und STELTER (2014), zeigt sich bei unseren im Vergleich deutlich komplexeren Szenarien kein „negativer Grenznutzen“ der Interaktionshäufigkeit. Die Intensität der Werkzeugnutzung (hier: die Nutzung des Notizblocks) geht mit einer höheren Problemlöseleistung einher, was sich mit Befunden von LIU und BERA (2005) deckt. Insgesamt scheinen diese ersten Ergebnisse für ein schlichtes „Viel hilft viel“ zu sprechen und eine geringere Aktivität dementsprechend für eine geringere Lösungswahrscheinlichkeit. Eventuell spielen hier auch metakognitive und motivational-emotionale Facetten wie Durchhaltevermögen, Frustrationstoleranz oder Interesse eine Rolle, die in kürzeren Problemfällen wie bei PISA oder PIAAC weniger zum Tragen kommen als in unseren 30-minütigen Problemszenarien.

Der Vergleich der beiden analysierten Szenarien (Abweichungsanalyse vs. Make-or-buy-Entscheidung) zeigt, dass die problemimmanente Vorgehenslogik sehr wichtig für die Interpretation der Aktivitätsmuster ist. So stand im ersten betrachteten Szenario zunächst die Arbeit in der Tabellenkalkulation im Mittelpunkt, um anhand der errechneten Abweichungen die relevanten Rechnungsdokumente identifizieren zu können. Dass sich insbesondere die schlechten Problemlöser besonders früh den relevanten Dokumenten widmen, spricht dafür, dass sich diese zunächst einfach alle Dokumente anschauen, ohne über ein Kriterium zu verfügen, anhand dessen sie relevante und nicht relevante Dokumente voneinander unterscheiden können. Das Vorgehen erfolgreicher Problemlöserinnen entsprechend der problemimmanenten Vorgehenslogik zeigt hingegen, dass diese über ein solches Kriterium verfügen. In der vorliegenden Studie wurden lediglich zwei Problemszenarien analysiert. Es wäre interessant, weitere Szenarien sowohl mit ähnlichen als auch mit weiteren Vorgehenslogiken zu analysieren.

In der Gesamtschau lässt sich festhalten, dass Logdaten-Analysen computerbasierter Problemlöseprozesse ein großes Potenzial bei der Identifikation wichtiger Elemente erfolgreicher Lösungsstrategien bieten, gleichermaßen jedoch aufgrund ihrer Fülle und Vieldeutigkeit besonders in offenen Handlungs- und Navigationsräumen auch eine entsprechende Herausforderung darstellen. Letztlich bleibt die Interpretation des durch die Logdaten rekonstruierbaren Verhaltens immer zum Teil auch spekulativ. So stellen unsere jetzigen Analysen auch nur einen ersten Anfang dar. Von einer stärker modellgetriebenen Herangehensweise und etwa auch einer Kopplung der Logdaten mit den im Rahmen der Problembearbeitung erfassten emotional-motivationalen Erlebensdaten (hier nicht weiter diskutiert; siehe RAUSCH et al., 2016) sowie zusätzlichen Laut-Denken-Studien versprechen wir uns zusätzliche interessante Erkenntnisse im Rahmen der Problemlöseforschung. Wie einleitend dargestellt, kann die logdatenbasierte Analyse von Problemlöseprozessen ferner dazu dienen, die im Rahmen der „Curriculum-Ins-

truction-Assessment-Triade“ (ACHTENHAGEN, 2012; PELLEGRINO 2010) geforderte Einheit aus Lernzielen, Lehr-Lern-Arrangements und Lernstandsüberprüfung zu stärken. So erlaubt eine entsprechend differenziertere Kompetenzdiagnostik eine gezieltere Kompetenzförderung entsprechend individueller Stärken und Schwächen. Dies kann wie einleitend beschrieben zeitlich nachgeordnet oder bei Nutzung computerbasierter Lernumgebungen durch sogenannte intelligente tutorielle Systeme (ITS) auch ad-hoc geschehen (wie beispielsweise in der Lernumgebung „BioWorld“; LAJOIE, POITRAS, DOLECK & JARRELL, 2015). Zudem können aus der Analyse von Problemlöseprozessen und der Identifikation typischer Barrieren beim fachspezifischen Problemlösen auch wertvolle fachdidaktische Erkenntnisse für das Design von Problemsituationen bei der Gestaltung komplexer Lehr-Lern-Arrangements gewonnen werden.

Unser Beitrag gibt einen Einblick in die Möglichkeiten, die die Analyse von Logdaten für den Bereich des computerbasierten Problemlösens bietet, und verdeutlicht die vielfältigen Potenziale entsprechender Prozessanalysen auch und besonders für die Kompetenzdiagnostik. Dass im Fachdiskurs mit Sätzen wie „Vom Wiegen wird die Sau nicht fetter“ gelegentlich noch gegen elaborierte Formen der Kompetenzmessung argumentiert wird, scheint uns deutlich zu kurz gegriffen. Logdaten-basierte Prozessanalysen in computerbasierten Test- und Lernumgebungen bieten vielfältige zusätzliche fachdidaktische Potenziale der Kompetenzdiagnostik und -förderung, die weitere Forschungen in diesem Bereich als sinnvoll und notwendig erscheinen lassen.

Literatur

- ABELE, S., BEHRENDT, S., WEBER, W. & NICKOLAUS, R. (2016). Berufsfachliche Kompetenzen von Kfz-Mechatronikern – Messverfahren, Kompetenzdimensionen und erzielte Leistungen (KOKO Kfz). In K. BECK, M. LANDENBERGER & F. OSER (Hrsg.), *Technologiebasierte Kompetenzmessung in der beruflichen Bildung – Ergebnisse aus der BMBF-Förderinitiative ASCOT* (S. 171–203). Bielefeld: W. Bertelsmann.
- ACHTENHAGEN, F. (2012). The curriculum-instruction-assessment triad. *Empirical Research in Vocational Education and Training*, 4(1), 5–25
- BECK, K., LANDENBERGER, M. & OSER, F. (2016) (Hrsg.). *Technologiebasierte Kompetenzmessung in der beruflichen Bildung – Ergebnisse aus der BMBF-Förderinitiative ASCOT*. Bielefeld: W. Bertelsmann.
- BENNETT, R. E., JENKINS, F., PERSKY, H. & WEISS, A. (2003). Assessing complex problem solving performances. *Assessment in Education*, 10(3), 347–359.
- BRANSFORD, J. D. & STEIN, B. S. (1993) (Eds.). *The ideal problem solver. A guide for improving thinking, learning and creativity* (2nd ed.). New York: Freeman.
- DÖRNER, D. (1983). Kognitive Prozesse und die Organisation des Handelns. In W. HACKER, W. VOLPERT & M. CRANACH (Hrsg.), *Kognitive und motivationale Aspekte der Handlung* (S. 26–37). Bern: Huber.
- DÖRNER, D. (1987). Denken und Wollen. Ein systemtheoretischer Ansatz. In H. HECKHAUSEN, P. M. GOLLWITZER & F. E. WEINERT (Hrsg.), *Jenseits des Rubikon* (S. 238–250). Berlin: Springer.
- DÖRNER, D. (1989). *Die Logik des Mißlingens: Strategisches Denken in komplexen Situationen*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.

- DÖRNER, D. & REITHER, F. (1978). Über das Problemlösen in sehr komplexen Realitätsbereichen. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, 25(4), 527–551.
- DÖRNER, D., KREUZIG, H. W., REITHER, F. & STÄUDEL, T. (1983) (Hrsg.). *Lohhausen. Vom Umgang mit Unbestimmtheit und Komplexität*. Bern: Huber.
- DUNCKER, K. (1945). On problem solving. Washington: The American Psychological Association.
- EIGENMANN, R., SIEGFRIED, C., KÖGLER, K. & EGLOFFSTEIN, M. (2015). Aufgaben angehender Industriekaufleute im Controlling: Ansätze zur Modellierung des Gegenstandsbereichs. *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik*, 111(3), 417–436.
- ESERYEL, D., IFENTHALER, D. & GE, X. (2011). Alternative assessment strategies for complex problem solving in game-based learning environments. In D. Ifenthaler, P. Isaias, J. M. Spector, Kinshuk, P. Isaias, & D. G. Sampson (Eds.), *Multiple Perspectives on Problem Solving and Learning in the Digital Age* (pp. 159–178). New York: Springer.
- FRENSCH, P. A. & FUNKE, J. (1995). Definitions, traditions, and a general framework for understanding complex problem solving. In P. A. FRENSCH & J. FUNKE (Eds.), *Complex problem solving. The European perspective* (pp 3–25). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- FUNKE, J., FISCHER, A., & HOLT, D. (in print). Competencies for complexity: Problem solving in the 21st century. In E. CARE, P. GRIFFIN, & M. WILSON (Eds.), *Assessment and Teaching of 21st Century Skills* (Volume 3). New York: Springer.
- GICK, M. L. (1986). Problem-solving strategies. *Educational Psychologist*, 21(1&2), 99–120.
- 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 computer-based large-scale assessment. *Journal of Educational Psychology*, 106, 608–626
- GREIFF, S., WÜSTENBERG, S. & AVVISATI, F. (2015). Computer-generated log-file analyses as a window into students minds? A showcase study based on the PISA 2012 assessment of problem solving. *Computers & Education*, 91, 92–105
- GREIFF, S., WÜSTENBERG, S., HOLT, D. V., GOLDHAMMER, F. & FUNKE, J. (2013). Computer-based assessment of complex problem solving: concept, implementation, and application. *Educational Technology Research and Development*, 61(3), 407–421.
- HAHN, D. & HUNGENBERG, H. (2001). *PuK: Planung und Kontrolle, Planungs- und Kontrollsysteme, Planungs- und Kontrollrechnung* (6. Aufl.). Wiesbaden: Gabler.
- HE, Q. & VON DAVIER, M. (2016). Analyzing process data from problem-solving items with n-grams: Insights from a computer-based large-scale assessment. In Y. ROSEN, S. FERRARA, & M. MOSHARRAF (Eds.), *Handbook of Research on Technology Tools for Real-World Skill Development* (pp. 749–776). Hershey, PA: Information Science Reference.
- HERL, H. E., O'NEIL, H. F. JR., CHUNG, G. K., BIANCHI, C., WANG, S., MAYER, R., LEE, C. Y., CHOI, A., SUEN, T., & TU, A. (1999). *Final report for validation of problem-solving measures*. Technical report No. 501 at the Center for the Study of Evaluation (CSE), National Center for Research on Evaluation, Standards, and Student Testing (CRESST), University of California, Los Angeles, CA.
- HERTWIG, R. (2006). Strategien und Heuristiken. In J. FUNKE & P. A. FRENSCH (Hrsg.), *Handbuch der Allgemeinen Psychologie – Kognition* (S. 461–469). Göttingen: Hogrefe.
- JONASSEN, D. H. (1992). What are cognitive tools? In P. A. M. KOMMERS, D. H. JONASSEN & T. J. MAYES (Eds.): *Cognitive Tools For Learning* (pp. 1–6). Heidelberg: Springer.
- JONASSEN, D. H. (2000). Toward a design theory of problem solving. *Educational Technology: Research & Development*, 48(4), 63–85.
- KINNEBREW, J. S., MACK, D. L. C., BISWAS, G. & CHANG, C.-H. (2014). A differential approach for identifying important student learning behavior patterns with evolving usage over time. In W.-C. PENG, H. WANG, J. BAILEY, V. S. TSENG, T. B. HO, Z.-H. ZHOU, & A. L. P. CHEN (Eds.), *Trends and Applications in Knowledge Discovery and Data Mining* (pp. 281–292). Cham: Springer.

- KINNEBREW, J., SEGEDY, J. R. & BISWAS, G. (im Druck). Integrating model-driven and data-driven techniques for analyzing learning behaviors in open-ended learning environments. *IEEE Transactions on Learning Technologies*.
- LAJOIE, S. P., POITRAS, E. G., DOLECK, T. & JARRELL, A. (2015). Modeling metacognitive activities in medical problem solving with BioWorld. In A. PEÑA-AYALA (Ed.), *Metacognition: Fundamentals, Applications, and Trends – A Profile of the Current State-Of-The-Art* (pp. 323–343). Cham: Springer.
- LEUTNER, D., FLEISCHER, W., WIRTH, J., GREIFF, S. & FUNKE, J. (2012). Analytische und dynamische Problemlösekompetenz im Lichte internationaler Schulleistungsvergleichsstudien – Untersuchungen zur Dimensionalität. *Psychologische Rundschau*, 63(1), 34–42
- LEUTNER, D., FUNKE, J., KLIEME, E. & WIRTH, J. (2005). Problemlösekompetenz als fächerübergreifende Kompetenz. In E. KLIEME, D. LEUTNER, & J. WIRTH (Hrsg.), *Problemlösekompetenz von Schülerinnen und Schülern. Diagnostische Ansätze, theoretische Grundlagen und empirische Befunde der deutschen PISA-2000-Studie* (S. 11–19). Wiesbaden: VS Verlag.
- LIPSHITZ, R. & BAR-ILAN, O. (1996). How problems are solved. Reconsidering the phase theorem. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 65(1), 48–60.
- LIU, M. & BERA, S. (2005). An analysis of cognitive tool use patterns in a hypermedia learning environment. *Educational Technology, Research and Development*, 51(1), 5–21
- MARTIN, T. & SHERIN, B. (2013). Learning analytics and computational techniques for detecting and evaluating patterns in learning: An introduction to the special issue. *The journal of the learning sciences*, 22(4), 511–520.
- MASTERS, G. N. (1982). A Rasch model for partial credit scoring. *Psychometrika*, 47, 149–174.
- MAYER, R. E. & WITTRICK, M. C. (2006). Problem solving. In P. A. ALEXANDER & P. H. WINNE (Eds.), *Handbook of educational psychology* (pp. 287–303). New York: Routledge.
- NAUMANN, J., GOLDHAMMER, F., RÖLKE, H. & STELTER, A. (2014). Erfolgreiches Problemlösen in technologiebasierten Umgebungen: Wechselwirkungen zwischen Interaktionsschritten und Aufgabenanforderungen. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 28(4), 193–203
- NEWELL, A. (1980). One final word. In D. T. TUMA & F. REIF (Eds.), *Problem Solving and Education: Issues in Teaching and Research* (pp. 175–189). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- NEWELL, A. & SIMON, H. A. (1972). *Human problem solving*. Englewood Cliffs (NJ): Prentice-Hall.
- ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD) (2009). *PIAAC Problem solving in technology-rich environments: a conceptual framework*. OECD Education Working Paper No. 36.
- PELLEGRINO, J. W. (2010). *The Design of an Assessment System for the Race to the Top: A Learning Sciences Perspective on Issues of Growth and Measurement*. Princeton, NJ: Educational Testing Service (ETS).
- PUTZ-OSTERLOH, W. (1981). Über die Beziehung zwischen Testintelligenz und Problemlöseerfolg. *Zeitschrift für Psychologie*, 189(1), 79–100.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2008). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Heruntergeladen von: <http://www.R-project.org>
- RAUSCH, A. & KÖGLER, K. (2016). Authenticity and efficiency in assessing domain-specific problem-solving competence: Conflicting goals in large-scale-assessments? In M. Mulder, R. Wesselink, H. Biemans & T. Lans (Eds.), *International Conference on Competence Theory, Research and Practice in Wageningen, Oct. 19.–21., 2016* (pp. 339–345). Wageningen University & Research.
- RAUSCH, A. & WUTTKE, E. (2016). Development of a multi-faceted model of domain-specific problem-solving competence and its acceptance by different stakeholders in the business domain. *Unterrichtswissenschaft*, 44(2), 164–189.
- RAUSCH, A., SCHLEY, T., & WARWAS, J. (2015). Problem solving in everyday office work – A diary study on differences between apprentices and skilled employees. *International Journal of Lifelong Education*, 34(4), 448–467

- RAUSCH, A., SEIFRIED, J., WUTTKE, E., KÖGLER, K., & BRANDT, S. (2016). Reliability and validity of a computer-based assessment of cognitive and non-cognitive facets of problem-solving competence in the business domain. *Empirical Research in Vocational Education and Training*, 8(9), 1–23.
- REICHMANN, T. (2001). *Controlling mit Kennzahlen und Managementberichten: Grundlagen einer systemgestützten Controlling-Konzeption* (6. Aufl.). München: Vahlen.
- ROLLETT, W. (2008). *Strategieinsatz, erzeugte Information und Informationsnutzung bei der Exploration und Steuerung komplexer dynamischer Systeme*. Berlin: LIT Verlag.
- SABOURIN, J., ROWE, J., MOTT, B. & LESTER, J. (2012). Exploring Inquiry-based Problem-Solving Strategies in Game-based Learning Environments. In S. A. CERRI, W. J. CLANCEY, G. PAPA-DOURAKIS & K. PANOURGIA (Eds.), *Intelligent Tutoring Systems. Proceedings of the 11th International Conference, ITS 2012, Chania, Crete, Greece, June 14–18, 2012* (pp. 470–475). Heidelberg: Springer.
- SCHOPPEK, W. & FISCHER, A. (2015). Complex problem solving – single ability or complex phenomenon? *Frontiers in Psychology*, 6, 1–4.
- SCHRADER, P. G. & LAWLESS, K. A. (2007). Dribble files: Methodologies to evaluate learning and performance in complex environments. *Performance Improvement*, 46(1), 40–48.
- SEIFRIED, J., RAUSCH, A., KÖGLER, K., BRANDT, S., EIGENMANN, R., SCHLEY, T., SIEGFRIED, C., EGLOFFSTEIN, E., KÜSTER, J., WUTTKE, E., SEMBILL, D., MARTENS, T. & WOLF, K. D. (2016). Problemlösekompetenz angehender Industriekaufleute – Konzeption des Messinstruments und ausgewählte empirische Befunde (DomPL-IK). In K. BECK, M. LANDENBERGER & F. OSER (Hrsg.), *Technologiebasierte Kompetenzmessung in der beruflichen Bildung – Ergebnisse aus der BMBF-Förderinitiative ASCOT* (S. 119–138). Bielefeld: W. Bertelsmann.
- SEMBILL, D. (1992). *Problemlösefähigkeit, Handlungskompetenz und Emotionale Befindlichkeit. Zielgrößen Forschenden Lernens*. Göttingen: Hogrefe.
- VAN MERRIËNBOER, J. (2013). Perspectives on problem solving and instruction. *Computers and Education*, 64, 153–160.
- VAN MERRIËNBOER, J. J. G. (2013). Perspectives on problem solving and instruction. *Computers & Education*, 64, 153–160.
- VEENMAN, M. V. J., BAVELAAR, L., DE WOLF, L. & VAN HAAREN, M. G. P. (2014). The on-line assessment of metacognitive skills in a computerized learning environment. *Learning and Individual Differences*, 29(1), 123–130
- VEENMAN, M. V. J., WILHELM, P. & BEISHUIZEN, J. J. (2004). The relation between intellectual and metacognitive skills from a developmental perspective. *Learning and Instruction*, 14(1), 89–109
- WAGENER, D. (2001). *Psychologische Diagnostik mit komplexen Szenarios: Taxonomie, Entwicklung, Evaluation*. Lengerich: Pabst.
- WANG, W. C., & WILSON, M. (2005). Exploring local item dependence using a random-effects facet model. *Applied Psychological Measurement*, 29, 296–318.
- WEBER, G. (2012). Adaptive learning systems. In N. M. SEEL (Ed.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning* (pp. 103–105). New York: Springer.
- WINNE, P. H., NESBIT, J. C., KUMAR, V., HADWIN, A. F., LAJOIE, S. P., AZEVEDO, R. & PERRY, N. E. (2006). Supporting self-regulated learning with gStudy software: The learning kit project. *Technology, Instruction, Cognition and Learning*, 3(1&2), 105–113
- WIRTH, J. & KLIEME, E. (2003). Computer-based assessment of problem solving competence. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, 10(3), 329–345.
- WUTTKE, E., SEIFRIED, J., BRANDT, S., RAUSCH, A., SEMBILL, D., MARTENS, T. & WOLF, K. D. (2015). Modellierung und Messung domänenspezifischer Problemlösekompetenz bei angehenden Industriekaufleuten – Entwicklung eines Testinstruments und erste Befunde zu kognitiven Kompetenzfacetten. *Zeitschrift für Berufs- und Wirtschaftspädagogik*, 111(2), 189–207.

ZABAL, A., MARTIN, S., KLAUKIEN, A., RAMMSTEDT, B., BAUMERT, J., & KLIEME, E. (2013). Grundlegende Kompetenzen der erwachsenen Bevölkerung in Deutschland im internationalen Vergleich. In B. RAMMSTEDT (Ed.), *Grundlegende Kompetenzen Erwachsener im internationalen Vergleich: Ergebnisse von PIAAC 2012* (pp. 31–76). Münster: Waxmann.

ANDREAS RAUSCH

Universität Mannheim, Fakultät für Betriebswirtschaftslehre, Professur für Berufs- und Wirtschaftspädagogik, Schloss (Ehrenhof Ost), 68131 Mannheim, rausch@uni-mannheim.de

KRISTINA KÖGLER

Goethe-Universität Frankfurt, Fachbereich Wirtschaftswissenschaften, Juniorprofessur für Wirtschaftspädagogik, Campus Westend, Theodor-W.-Adorno-Platz 4, 60329 Frankfurt am Main, koegler@econ.uni-frankfurt.de

CLEMENS FRÖTSCHL

Otto-Friedrich-Universität Bamberg, Fakultät Sozial- und Wirtschaftswissenschaften, Lehrstuhl für Wirtschaftspädagogik, Kärntenstraße 7, 96052 Bamberg, clemens.froetschl@uni-bamberg.de

MICHAEL BERGRAB

Otto-Friedrich-Universität Bamberg, Fakultät Sozial- und Wirtschaftswissenschaften, Lehrstuhl für Wirtschaftspädagogik, Kärntenstraße 7, 96052 Bamberg, michael-david.bergrab@stud.uni-bamberg.de

STEFFEN BRANDT

opencampus.sh, Wissenschaftspark Kiel, Kuhnkestraße 6, 24118 Kiel und Kiron Open Higher Education gGmbH, Palais Am Festungsgraben, Am Festungsgraben 1, 10117 Berlin, steffen@opencampus.sh

