

Gegenüberstellung von Parametern zur Erfassung adaptiver Transferleistung im Kontext computerbasierter Trainingssimulationen

Katrin LINSTEDT, Robin SUTHERLAND, Jonas IMBSWEILER, Barbara DEML

*Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation,
Karlsruher Institut für Technologie
Engler-Bunte-Ring 4, D-76131 Karlsruhe*

Kurzfassung: Der Einsatz von Simulationen im Rahmen von Trainingsmaßnahmen ist mit mehreren Vorteilen verbunden, u.a. der Verfügbarkeit einer Vielzahl von Messparametern. Der Beitrag verfolgt das Ziel, den Mehrwert der Parameterdiversität für die Beurteilung der Leistung in einem Transferszenario einzuschätzen. Zwei Trainingsmaßnahmen für die Bedienung einer Abwasseraufbereitungsanlage werden gegenübergestellt und hinsichtlich inhärenter Ergebnis- und Verlaufsparemeter ausgewertet. Der Erkenntnisgewinn durch die Hinzunahme der Verlaufsparemeter wird mithilfe von Regressionsanalysen überprüft und erweist sich als bedeutsam ($F(2,8) = 17.06$, $p < 0.001$). Der Mehrwert von Verlaufsparemetern für das Verständnis von Erfolgsfaktoren simulationsbasierter Trainings wird durch die vorliegenden Ergebnisse bestätigt.

Schlüsselwörter: Simulationsbasiertes Training, Verhaltenserfassung, Trainingsevaluation, adaptiver Transfer

1. Theoretischer Hintergrund

Die Durchführung von Trainingsmaßnahmen nimmt in vielen Organisationen eine zentrale Rolle für die Förderung von Mitarbeitern ein. Gleichzeitig ist die Bandbreite von Gestaltungsmöglichkeiten für Trainings enorm. Ihr Einfluss auf die Trainingseffektivität wurde in der Vergangenheit vielfach untersucht. Es zeigte sich, dass die Wirksamkeit von Trainingsmaßnahmen von Designentscheidungen sowohl vor, während, als auch nach dem Training abhängt (Salas et al. 2012). Mit Blick auf die hohe Komplexität und den intensiven Wettkampf in einer Vielzahl von Domänen nimmt der Einsatz von Simulationen eine besondere Stellung ein. Sie bieten die Möglichkeit, Situationen ohne eine Unterbrechung des Arbeitsablaufs nachzustellen, einschließlich seltener und gefährlicher Situationen (Salas et al. 2009).

Typische Einsatzgebiete von Simulationstrainings sind Industriezweige, die mit hohen Risiken und folglich einem hohen Anspruch an die Systemzuverlässigkeit einhergehen (z.B. nukleare Kraftwerke und Luftfahrt) (Kluge et al. 2009). Durch die wiederholte Nachstellung kritischer Situationen und die Übung angemessener Reaktionsprozeduren können Mitarbeiter effizient geschult werden. Doch auch an Produktionsanlagen, die mit geringeren Risiken behaftet sind, birgt die Schulung von Mitarbeitern für Nicht-Routine-Situationen Potenziale, unter anderem für die Störungsdiagnose.

Die Diagnose und Behebung von Störungen an komplexen, automatisierten Produktionsanlagen stellt eine herausfordernde Tätigkeit für den Menschen dar. Durch

die Komplexität, Intransparenz und Vernetzung automatisierter Anlagen sowie die Seltenheit spezifischer Störungen ist der Bediener gezwungen, neue Lösungswege zu finden anstatt bekannte Herangehensweisen einzusetzen. Diese Tätigkeit kann aus kognitiver Perspektive als komplexes Problemlösen klassifiziert werden (Bergmann & Wiedemann 1997). Fehlende Genauigkeit und Effektivität bei der Störungsdiagnose geht für Produktionsbetriebe mit Verlusten durch Anlagenstillstände und Gefahren für die Produktqualität einher (Morrison & Upton 1994). Um Fehlern mit zum Teil kaskadierenden Effekten vorzubeugen und effiziente Lösungswege zu fördern, kann die Störungsdiagnose mithilfe von Simulationen trainiert werden (Croock et al. 1998; Sangaran & Haron 2017).

Im Gegensatz zu herkömmlichen Trainingsansätzen liegt für die Gestaltung von simulations-basierten Trainings kein empirisch gesichertes Modell vor (Coultas et al. 2012). Bisherige Untersuchungen zeigen die Bedeutsamkeit von psychologischer bzw. kognitiver Genauigkeit von Simulationen zusätzlich zu physischer Genauigkeit auf (Hochmitz & Yuviler-Gavish 2011). So können neben vollumfänglichen Simulatoren auch computergestützte Simulationen positive Lerneffekte fördern. Für die Evaluation von simulations-basierten Trainingsmaßnahmen ist die Wahl der Messparameter entscheidend. Nur wenn diese das Erreichen der Trainingsziele genau abbilden, kann auf den Erfolg des Trainings geschlossen werden (Salas et al. 2009). Zu den zentralen Trainingszielen zählt die Förderung von Wissen, Fähigkeiten und Fertigkeiten, dass auch für neue, nicht trainierte Problemstellungen eingesetzt werden kann. Die Übertragung des Gelernten vom Lernkontext auf neue Situation kann als adaptiver Transfer beschrieben werden (Bell & Kozlowski 2008; Grossman & Salas 2011). Eingeschätzt werden kann der adaptive Transfer durch die Implementierung neuartiger Szenarien innerhalb der Simulationsumgebung. Dies hat den Vorteil, dass sowohl ergebnisbezogene Leistungsparameter als auch verhaltensbezogene Verlaufparameter zur Verfügung stehen.

In der Praxis geht der Einsatz von Simulationen für die Schulung von Mitarbeitern mit einer Kosten-Nutzen-Kalkulation einher (Kluge et al. 2009). Simulationen bieten gegenüber herkömmlichen Trainingsmethoden mehrere Vorteile. So können seltene und kritische Situationen nachgestellt und Bediener in ihrer Bewältigung trainiert werden. Auch steht für die Messung des Trainingserfolgs eine Vielzahl von Parametern zur Verfügung. Die Investition in eine angemessene Simulationsumgebung ist jedoch nicht unerheblich. Oft fehlt es an einer fundierten Datenbasis, um den Mehrwert des Trainings für die Mitarbeiter und das Unternehmen einschätzen zu können. Am Beispiel der Prozesssimulation AWAsim (Urbas & Heinath 2008) verfolgt der Beitrag das Ziel, den Mehrwert der Parameterdiversität für die Bewertung der adaptiven Transferleistung und damit einhergehend der Trainingswirksamkeit einzuschätzen.

2. Methode

2.1 Stichprobe

An der Untersuchung nahmen N=12 Probanden mit einem durchschnittlichen Alter von $M = 22.17$ Jahren ($SD = 1.47$ Jahre) teil, hiervon waren zwei Probanden weiblich. Die Stichprobe setzte sich zu 92 % aus Studenten zusammen. Keiner der Teilnehmer wies Vorwissen in der Bedienung einer Prozesssimulation auf.

2.2 Durchführung

Die Teilnehmer wurden randomisiert auf eine Versuchs- (VG) und eine Kontrollgruppe (KG) aufgeteilt und in der Bedienung der Mikrowelt AWAsim, einer simulierten Abwasseraufbereitungsanlage, trainiert. Ziel der Teilnehmer ist es, durch eine angemessene Ventilsteuerung eine möglichst große Menge Abwasser zu reinigen. Jeden 50. Simulationsschritt sollte zusätzlich der Pegelstand in einem der Tanks notiert werden (Nebenaufgabe). Nach einer kurzen Einführung in die Bedienung der Anlage, einschließlich einer empfohlenen Anfahrprozedur, mussten alle Probanden die Anlage über eine Produktionswoche (PW) hinweg steuern (Vortest). Im Anschluss wurden jeweils sechs Probanden nach den Prinzipien der Cognitive Apprenticeship (VG; Collins et al. 1991) bzw. nach dem „Drill and Practice“-Prinzip (KG; Carlson et al. 1989; Burkholter et al. 2010) über vier PW hinweg trainiert. Der Kontrollgruppe stand zur Unterstützung ein Handbuch zur Verfügung, außerdem konnten dem Versuchsleiter Fragen zur Bedienung gestellt werden. Der Versuchsgruppe wurden zwei Lernvideos gezeigt, in dem ein Experte die Bedienung der Anlage vorführte und erklärte, außerdem waren ebenfalls Fragen an den Versuchsleiter möglich. Nach Abschluss der vierten PW nahmen alle Probanden an einem Nachtest über eine PW teil, in dem keine Unterstützung zur Verfügung stand. Abschließend wurde ein neues Simulationsszenario mit erhöhten Anforderungen eingestellt, in dem Probanden für eine PW die Simulation bedienen mussten (Transfertest). Das simulierte Szenario zeichnete sich durch eine erhöhte Menge angelieferten Abwassers aus.

2.3 Auswertung

In einem ersten Schritt werden die folgenden Hypothesen geprüft:

H1: Die Experimentalgruppen unterscheiden sich in der Menge gereinigter Abwasserprodukte (AP_{pre}) vor dem Training (Vortest) nicht.

H2: Die Versuchsgruppe produziert im Nachtest eine größere Menge gereinigter Abwasserprodukte (AP_{post}) als die Kontrollgruppe.

H3: Die Versuchsgruppe produziert im Transfertest eine größere Menge gereinigter Abwasserprodukte ($AP_{transfer}$) als die Kontrollgruppe.

Aufgrund des geringen Stichprobenumfangs werden zur Überprüfung der Hypothesen nicht-parametrische Mann-Whitney-U-Tests durchgeführt. Das Signifikanzniveau beträgt $p < .05$. In einem zweiten Schritt findet mithilfe von Korrelationsanalysen (nach Spearman bzw. punktbiserial) und, nach Testung der Voraussetzungen, einer multiplen linearen Regression eine explorative Analyse verhaltensbezogener Verlaufparameter statt. Folgende Parameter wurden für den Transfertest untersucht: Befolgen der vorgegebenen Anfahrprozedur, Häufigkeit n und mittlerer Wert M der Einstellung der Ventile $V1$ bis $V9$, Häufigkeit der Bearbeitung der Nebenaufgabe, Anfahrzeit. Um den Erkenntnisgewinn des Regressionsmodells einschätzen zu können, wird das einfache lineare Modell mit der Gruppenzugehörigkeit als alleiniger Prädiktor als Vergleichsmodell berechnet. Als Kriterien für die Bewertungen dienen der Zugewinn an Varianzaufklärung sowie Akaikes Informationskriterium (AIC). Letzteres stellt die Varianzaufklärung mit den Freiheitsgraden ins Verhältnis und bewertet die Ökonomie des Regressionsmodells.

3. Ergebnisse

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Produktionsleistung in den Experimentalgruppen sowie die Ergebnisse der Hypothesentests.

Tabelle 1: Deskriptive Statistik und Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests für die Menge gereinigter Abwasserprodukte (AP) im Vor-, Nach- und Transfertest

	VG		KG		Mann-Whitney-U-Test	
	M	SD	M	SD	U	p
AP _{vor}	4.010	0.614	3.657	1.471	17	0.937
AP _{nach}	6.622	1.220	4.876	1.045	5	0.021 ¹
AP _{transfer}	7.227	1.560	5.156	1.779	7	0.046 ¹

Anmerkung: ¹einseitig getestet

Die Experimentalgruppen unterscheiden sich im Vortest mit $U = 17$ ($p > .05$) nicht signifikant. Im Nachtest ($U = 5$, $p < .05$) und im Transfertest ($U = 7$, $p < .05$) unterscheiden sich die Gruppen signifikant, wobei die Versuchsgruppe eine größere Menge gereinigter Abwasserprodukte erzeugt. Die Hypothesen H1, H2 und H3 werden durch die Daten bestätigt.

Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse der Korrelationsanalysen. Es werden nur die Variablen aufgeführt, die mindestens mit einer Wahrscheinlichkeit von $p < .01$ mit der Leistung im Transfertest AP_{transfer} korrelieren.

Tabelle 2: Korrelationsmatrix der verhaltensbezogenen Verlaufparameter

	AP _{transfer}	Gruppe	Hfkt. n V9	Hfkt. n V1	Hfkt. n V3	Hfkt. n V6	Anfahrzeit	Mittelwert M V2
Gruppe	.56*¹							
Hfkt. n V9	-.50 [†]	-.39						
Hfkt. n V1	.75**	.25	-.50					
Hfkt. n V3	.54 [†]	.63*	-.38	.42				
Hfkt. n V6	-.54 [†]	-.34	.19	-.34	.19			
Anfahrzeit	-.59*	.06	.45	-.59*	-.36	.12		
Mittelwert M V2	.55 [†]	.54 [†]	-.48	.62*	.54 [†]	-.22	-.56 [†]	
Mittelwert M V6	.64*	.53 [†]	-.23	.63*	.31	-.51 [†]	.03	.22

Anmerkungen: [†] $p < 0.1$, * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, ¹einseitig getestet.

Keiner der Probanden befolgte im Transfertest die ursprünglich gelernte Anfahrprozedur. Darüber hinaus konnte kein Zusammenhang zwischen der Leistung in der Nebenaufgabe und der Menge gereinigter Abwasserprodukte gefunden werden. Neben dem Training (Faktor Gruppe) findet sich ein signifikanter Zusammenhang ($p < .05$) mit der Häufigkeit der Einstellung von V1 ($r = .75$, $p < .05$), der Anfahrzeit ($r = -.59$, $p < .05$) und dem mittleren Wert von V6 ($r = .64$, $p < .05$).

Um Multikollinearitätseffekte zu vermeiden, gehen in das Regressionsmodell nur die Parameter Gruppe, Anfahrzeit und der mittlere Wert von V6 ein. Es konnte kein

Verstoß gegen die Voraussetzungen festgestellt werden. Das Modell ist in Tabelle 3 abgebildet. Das Modell klärt mit einem korrigierten $R^2 = 0.814$ einen hohen Anteil der Varianz auf und unterscheidet sich hier mit $F(2,8) = 16.279$, $p < .01$ von dem Vergleichsmodell mit dem Prädiktor Gruppe. Auch ist es ökonomischer in der Varianzaufklärung als das Vergleichsmodell ($AIC_{\text{Test}} = 34.74$; $AIC_{\text{Vgl}} = 50.22$).

Tabelle 3: Regressionsmodell zur Vorhersage der Leistung im Transfertest mit den Variablen Gruppe, Anfahrzeit und mittlerer Wert V6

Variable	B	SE	β	T	p
Konstante	4.626	0.920		5.031	0.001
Gruppe	1.295	0.564	0.351	2.296	0.051
Anfahrzeit	-0.043	0.009	-0.622	-4.780	0.001
Mittlerer Wert V6	0.003	0.001	0.474	3.104	0.015

Anmerkungen: $R^2 = 0.865$, korrigiertes $R^2 = 0.814$, $F(2,8) = 17.06$, $p < 0.001$

4. Diskussion

Die Analyse der ergebnisbezogenen Leistungsparameter zeigt eine Überlegenheit des Trainings nach den Prinzipien der Cognitive Apprenticeship sowohl im Nachtest als auch im Transfertest auf. Für die Evaluation des Trainings lässt sich der Schluss ziehen, dass die Anleitung durch einen Experten den Probanden den Transfer des Gelernten erleichtert. Es versetzt sie in die Lage versetzt, neue Lösungswege effizienter zu wählen.

Ergänzt werden kann diese Erkenntnis durch die nähere Betrachtung der verhaltensbezogenen Verlaufparameter. Zusätzlich zur Trainingsart hängt die Leistung im Transfertest mit der Häufigkeit der Einstellung von Ventil V1 zusammen. Dieses Ventil reguliert in der Aufbereitungsanlage den Einstrom von Abwasser in den ersten Puffertank und folglich die Menge des bearbeitbaren Abwassers. Die Tatsache, dass nur die Häufigkeit der Einstellung, nicht jedoch der Mittelwert signifikant mit der Leistung korreliert, weist darauf hin, dass für den Erfolg im Transfertest eine sensible Anpassung der Einstrommenge an die nachfolgenden Prozesse wichtig ist. Ein zweiter Erfolgsfaktor für den Transfertest ist ein möglichst früher Beginn der Produktion des gereinigten Abwasserproduktes. Die Anfahrzeit hängt auch signifikant mit der Häufigkeit der Einstellung von V1 zusammen und unterstreicht die Bedeutung des Parameters. Zusätzlich lässt sich ein bedeutsamer Zusammenhang zwischen dem Mittelwert des Ventils V6 und der Leistung finden. Das Ventil V6 reguliert den Zufluss eines Zwischenproduktes in den finalen Reinigungsprozess und sollte erst dann geöffnet werden, wenn sich zwei nachgelagerte Kolonnen im richtigen Temperaturbereich befinden. Die Korrelation weist darauf hin, dass ein positiver linearer Zusammenhang zwischen dem eingestellten Wert und der Menge gereinigten Abwassers existiert.

Zusammenfassend kann durch die Analyse verhaltensbezogener Verlaufparameter der Erkenntnisgewinn aus der Untersuchung wesentlich erhöht werden. Das Regressionsmodell klärt signifikant mehr Varianz auf als die Vorhersage mithilfe der Trainingsmethode allein. Die Entstehung einer hohen Produktionsleistung, ergo einer hohen adaptiven Transferleistung, kann auf diese Weise besser verstanden und in Zukunft besser gefördert werden.

In der vorliegenden Untersuchung lag der Fokus auf inhärenten Parametern der

gewählten Simulation. Dies ermöglichte die Analyse des Interaktionsverhaltens mit der Simulation, beschränkte sich aber gleichzeitig auf tatsächlich vorgenommene Einstellungen. Dies schließt eine Bewertung des Kontrollverhaltens aus und lässt keine Rückschlüsse auf die Denkstrategien der Bediener zu. Eine Möglichkeit, diese Limitation aufzuheben, stellt die Beobachtung von Blickbewegungen der Teilnehmer dar.

Studien haben gezeigt, dass Blickbewegungen neben dem Aufmerksamkeitsfokus (Nuku & Bekkering 2008) eine Quelle für Hinweise zu kognitiven Prozessen wie der Verarbeitungstiefe (Velichkovsky 2002) und Problemlösestrategien (Grant & Spivey 2003) bieten. Umgekehrt kann die Führung von Blickbewegungen die Leistung im Problemlösen fördern (Groen & Noyes 2010). Vor diesem Hintergrund verspricht eine Erfassung von Blickbewegungen einen tieferen Einblick in die zentralen Faktoren für die erfolgreiche Bearbeitung von Transferaufgaben.

5. Literatur

- Bell BS, Kozlowski SWJ. (2008). Active learning: Effects of core training design elements on self-regulatory processes, learning, and adaptability. *Journal of Applied Psychology*, 93 (2), 296-316.
- Bergmann B, Wiedemann J. (1997). Beschreibung der Störungsdiagnosekompetenz bei Instandhaltungstätigkeiten in der flexibel automatisierten Fertigung. In: K Sonntag, N Schaper (Hrsg.) *Störungsmanagement und Diagnosekompetenz*. Zürich: vdf Hochschulverlag, 119 – 136.
- Burkolter D, Kluge A, Sauer J, Ritzmann S (2010). Comparative study of three training methods for enhancing process control performance. *Computers in Human Behavior*, 26 (5), 976-986.
- Carlson RA, Sullivan MA, Schneider W (1989). Practice and working memory effects in building procedural skill. *JEP: Learning, Memory, and Cognition*, 15 (3), 517-526.
- Collins A, Brown JS, Holm A (1991). Cognitive apprenticeship: Making thinking visible. *American Educator*, 15 (3), 6-11.
- Coultas CW, Grossman R, Salas E (2012) Design, delivery, evaluation, and transfer of training systems. In: G Salvendy (Hrsg.) *Handbook of Human Factors and Ergonomics*. John Wiley & Sons: Hoboken, 490-533.
- de Croock MBM, van Merriënboer JJG, Paas FGWC (1998). High versus low contextual interference in simulation-based training of troubleshooting skills. Effects on transfer performance and invested mental effort. *Computers in Human Behavior*, 14 (2), 249-267.
- Grant ER, Spivey MJ (2003). Eye movements and problem solving guiding attention guides thought. *Psychological Science*, 14(5), 462–466.
- Grossman R, Salas E (2011). The transfer of training: what really matters. *International Journal of Training and Development*, 15 (2), 1360-3736.
- Hochmitz I, Yuviler-Gavish N (2011). Physical fidelity versus cognitive fidelity training in procedural skills acquisition. *Human Factors*, 53 (5), 489-501.
- Kluge A, Sauer J, Schüler K, Burkolter D (2009). Designing training for process control simulators: a review of empirical findings and current practices. *Theor. issues in ergon. sci.*, 10 (6), 489-509.
- Morrison DL, Upton DM (1994). Fault diagnosis and computer integrated manufacturing systems. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 41 (1), 69-83.
- Nuku P, Bekkering H (2008). Joint attention: Inferring what others perceive (and don't perceive). *Consciousness and Cognition*, 17(1), 339–349.
- Salas E, Rosen MA, Held JD, Weissmuller JJ (2009). Performance measurement in simulation-based training. *Simulation & Gaming*, 40 (3), 328-376.
- Salas E, Tannenbaum SI, Kraiger K, Smith-Jentsch KA (2012). *The Science of Training and Development in Organizations. What Matters in Practice*. *PSPI*, 13 (2), 74-101.
- Sangaran S., Haron S (2017). *Operator Training Simulator for Ethylene Plant*. *CET*, 56, 1621-1626.
- Urbas L, Heinath M (2008). *Technical Handbook of the Microworld AWASim*. Technical Report, Institute of Automation, Technische Universität Dresden.
- Velichkovsky BM (2002). Heterarchy of cognition: The depths and the highs of a framework for memory research. *Memory*, 10(5-6), 405–419.



Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

ARBEIT(s).WISSEN.SCHAF(F)T
Grundlage für Management & Kompetenzentwicklung

64. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

FOM Hochschule für
Oekonomie & Management gGmbH

21. – 23. Februar 2018

GfA Press

Bericht zum 64. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 21. – 23. Februar 2018

FOM Hochschule für Oekonomie & Management

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Dortmund: GfA-Press, 2018

ISBN 978-3-936804-24-9

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Dortmund**

Schriftleitung: Matthias Jäger

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet, den Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

USB-Print:

Prof. Dr. Thomas Heupel, FOM Prorektor Forschung, thomas.heupel@fom.de

Screen design und Umsetzung

© 2018 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de