

## Simulationsunterstützte soziotechnische Optimierung von Luftsicherheitskontrollstellen

Thomas WYSSENBACH, Yanik STERCHI, Adrian SCHWANINGER

*Institut Mensch in komplexen Systemen (MikS), Hochschule für  
Angewandte Psychologie, Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW),  
Riggenbachstrasse 16, 4600 Olten, Schweiz*

**Kurzfassung:** Mit Luftsicherheitskontrollstellen (LSK) soll verhindert werden, dass Fluggäste verbotene Gegenstände an Bord von Flugzeugen bringen. Diese Studie evaluiert mit ereignisorientierten Simulationsmodellen die Effizienz von vier LSK-Szenarien, in welchen Fluggäste zu Beginn der Kontrolle - bspw. basierend auf Verhaltensanalysen - in eine von drei Risikokategorien eingeteilt werden. Die Einteilung bestimmt die Vielfalt und Intensität der darauf folgenden Personen- und Gepäckkontrollen. Dieses risikobasierte Screening ermöglicht eine Verbesserung von motivationstheoretischen Aspekten der Arbeitsgestaltung und bietet Chancen zur Erhöhung der Effektivität. Zur Modellierung wurden mittels Multi-Methoden-Ansatz (Beobachtungsinterviews, Dokumenten- und Videoanalysen) an einer realen LSK Daten erhoben. Zwei der Szenarien bergen gute Chancen auf eine praktische Umsetzung, weil sie gemäss den Simulationsergebnissen ohne Effizienzeinbussen implementiert werden können.

**Schlüsselwörter:** Luftsicherheit, soziotechnische Optimierung, Mensch-Maschine-Interaktion, ereignisorientierte 3D-Simulation, risikobasiertes Screening, Effizienz

### 1. Einleitung

Luftsicherheitskontrollstellen (LSK) sind komplexe soziotechnische Systeme (vgl. Ulich 2011), bei welchen Menschen und technische Geräte (bspw. Röntgengeräte, Metalldetektoren, chemische Sprengstoffspurendetektoren) in ständiger Interaktion verhindern sollen, dass verbotene Gegenstände mit Fluggästen oder im Handgepäck an Bord von Flugzeugen gelangen. Trotz erheblichen technologischen Fortschritten in den letzten Jahren sind die Kontrollen nach wie vor auf menschliche Entscheidungen und die Erkennungsleistung von Sicherheitsbeauftragten an Flughäfen (Screener) angewiesen (vgl. Bolfig et al. 2008; Wetter 2013).

Menschliche Leistung ist auch abhängig von motivationalen Faktoren, was sich auf die Gesamtsystemleistung auswirkt. Die *Job Characteristic Theory* von Hackman und Oldham (1980) geht davon aus, dass primär fünf Aufgabenmerkmale für die Arbeitsmotivation relevant sind. Eine von einem Forschungspartner durchgeführte interne Studie (Kantonspolizei Zürich 2015) hat aufgezeigt, dass von Screenern die Aufgabenmerkmale *Anforderungsvielfalt* und *Autonomie* ihrer Tätigkeiten als relativ niedrig eingeschätzt werden. Es wäre somit wünschenswert, diese Aufgabenmerkmale im Rahmen künftiger Weiterentwicklungen von LSK zu verbessern.

Bei Weiterentwicklungen von LSK müssen auch ökonomische Aspekte berücksichtigt werden. Ein Flughafen befindet sich in einem stetigen Wettbewerb zu anderen Verkehrsmitteln und Flughäfen. Die *Effizienz* der LSK (bspw. Fluggast

Durchsatz pro Stunde, Prozesszeit oder Fluggastdichte im System) wirkt nicht nur auf die direkten Kosten (bspw. technische Geräte, Personal, räumliche Infrastruktur), sondern insbesondere durch die verbundenen Wartezeiten auch auf die Fluggastzufriedenheit und dadurch auf die Attraktivität eines Flughafens.

Die Grosszahl der heutigen LSK-Systeme basiert auf einem "one-size fits all approach" (Wong & Brooks 2015, S. 60), bei welchem alle Fluggäste gleich kontrolliert werden. Aktuelle Bestrebungen deuten auf die Entwicklung künftiger LSKs hin, bei welchen das von Fluggästen ausgehende Sicherheitsrisiko anhand von Indikatoren individuell eingeschätzt wird (bspw. IATA & ACI 2013). Die Intensität und Vielfalt der Prüfung auf verbotene Gegenstände wird gestützt auf die Risikoeinschätzung adaptiert. Als potenzielle Indikatoren zur Risikoeinschätzung können verschiedene Informationen dienen (vgl. Elias 2010; Wong & Brooks 2015), bspw. vorgelagerte nachrichtendienstliche Prüfungen von Fluggästen, technikbasierte Sensornetzwerke in und um den Flughafen sowie Verhaltensanalysen durch geschultes Sicherheitspersonal (zu Verhaltensanalysen siehe auch Koller et al. 2015). Wenn die Risikoeinschätzung gelingt, kann die *Effektivität* einer LSK erhöht werden, indem Fluggäste mit erhöhtem Risiko mit angepassten Testverfahren überprüft werden (bspw. Nikolaev et al. 2012). Risikobasiertes Screening (RBS) kann aber auch erlauben, Fluggästen mit geringem Risiko ein schnelleres Kontrollverfahren zu bieten (bspw. van Boekhold et al. 2014). Gleichzeitig dürften die zusätzlichen Interaktionen der Risikokategorisierungen und die adaptiven Kontrollen bei Screenern insbesondere zu einer Erhöhung der Aufgabenmerkmale *Anforderungsvielfalt* und *Autonomie* führen. Idealerweise wird RBS so eingesetzt, dass die *Effektivität*, die *Effizienz*, das *Fluggasterlebnis* und *arbeitspsychologische Aspekte der Arbeitsgestaltung* für Screener möglichst gleichzeitig verbessert werden.

Bisherige Studien zu RBS beschränken sich primär auf Simulationsstudien, da solche die Untersuchung verschiedener Szenarien ohne ressourcenintensive und - je nach Kontext - riskante Versuchsinstitutionen im Realbetrieb erlauben (vgl. Oberkampf & Roy 2010). Die bestehenden Simulationsstudien untersuchen Szenarien von RBS, in denen Fluggäste ihrer Risikoeinteilung entsprechend unterschiedlichen LSK zugeteilt werden, und fanden dabei positive Auswirkungen auf *Effektivität* und *Effizienz* (bspw. Nie et al. 2012; Olapiriyakul & Das 2007). Eine solche Umsetzung von RBS hat den Nachteil, dass der Betrieb von mindestens einer LSK je Risikokategorie konstant aufrechterhalten werden muss, was eine effiziente Einsatz- und Raumplanung erschwert. Im Weiteren basierten die Simulationsmodelle der untersuchten Studien meistens auf Annahmen und berücksichtigten nur zu einem geringen Anteil empirische Daten realer LSK (bspw. detaillierte Prozessabläufe, reale Prozessdaten). Zudem befasste sich keine dieser Simulationsstudien mit arbeitspsychologischen Aspekten der Arbeitsgestaltung.

Ziel dieser Studie war es, mittels Simulationen Implementationsszenarien von RBS, welche die Kontrolle aller Fluggäste an einer einzelnen LSK ermöglichen, auf ihre Effizienz zu untersuchen, um besser abschätzen zu können, welche Szenarien für eine ressourcenintensive Erprobung im Realbetrieb infrage kommen könnten.

## 2. Modellerstellung

Für die Modellierung der Simulation wurde im Rahmen von drei Vorstudien untersucht, welche Faktoren und Prozesse heutiger LSKs zu berücksichtigen sind, um die Effizienz in einer 3D-Simulation unter dem Aspekt variierender Fluggast- und

Gepäckcharakteristiken valide abzubilden. In einer vierten Vorstudie wurden die identifizierten Faktoren und Prozesse in einem ereignisorientierten 3D-Simulationsmodell implementiert.

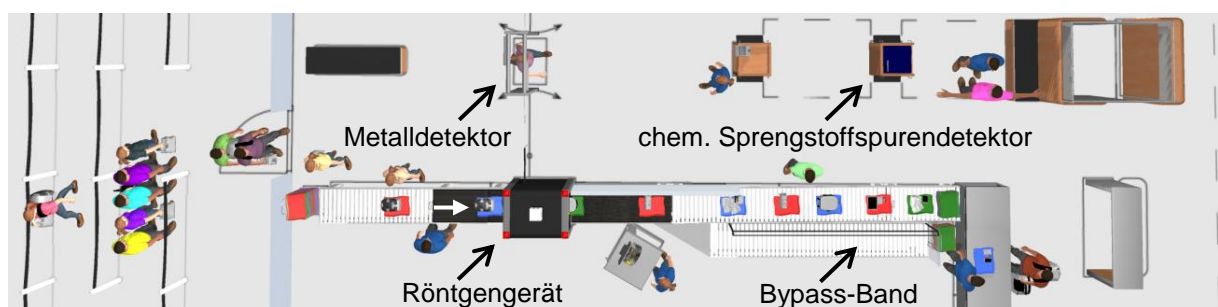
Die erste Vorstudie konsolidierte qualitativ analysierte Daten einer Dokumentenanalyse (Coffey 2014; insb. europäische und internationale Verordnungen) mit 25 an zwei realen LSK durchgeführten Beobachtungsinterviews (vgl. Kuhlmann 2009). Dabei erlaubte die Kombination von Beobachtungs- mit situativen Befragungselementen die systematische Erhebung der relevanten empirischen Prozessinformationen: *wo* passiert *was*, *weshalb*. Die aufgezeichneten auditiven Daten wurden transkribiert und angelehnt an die inhaltliche Strukturierung (vgl. Mayring 2010) ausgewertet. Der Output der prozessrelevanten Textanalysen diente als Basis einer detaillierten grafischen Notation in Form von Prozessdarstellungen nach DIN 66001 sowie einem räumlichen Abbild der vorhandenen Infrastruktur und Abläufe.

In der zweiten Vorstudie wurde mittels Videoerhebungen zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten (Sample 1: 3:00h; Sample 2: 3:39h) quantitativ auswertbare Daten erhoben. Das erstellte Kategoriensystem kombinierte Event-Sampling (vgl. Fassnacht 1995) mit beobachtbaren Häufigkeiten während der Handlung und erfasste primär Zeitsequenzen und Vorkommnisse aus Sicht des Fluggastes: bspw. Dauer pro Tätigkeit, Anzahl und Art ausgepackter Gegenstände. Ein Ausschnitt der Daten wurde durch einen zweiten Rater codiert, um die Interrater-Reliabilität zu ermitteln. Die hohe Kongruenz (mit einer Ausnahme waren alle Intraklassenkorrelation und Cohens Kappa Werte  $>.60$  und somit gut; Cicchetti 1994) deutete auf ein klares Beobachtungssystem und eine gute Raterschulung hin. Insgesamt wurden aus den beiden Videos 27'518 Beobachtungen codiert, aus welchen samplespezifische Fluggast- und Gepäckcharakteristiken abstrahiert wurden.

In der dritten Vorstudie wurde statistisch untersucht, welche der erhobenen Fluggast- und Gepäcksattribute einen Einfluss auf Häufigkeit und Dauer der Prozessschritte ausüben und welche Abhängigkeiten zwischen den Prozessen bestehen.

Die Prozessabbilder, Charakteristiken und die validierten Modelle der drei ersten Vorstudien dienten in der vierten Vorstudie als Grundlage der Modellimplementation in der ereignisorientierten 3D-Simulationssoftware FlexSim (2016; s. Abbildung 1).

Sämtliche Modellparameter wurden mit Daten aus dem ersten Sample geschätzt. Als letzter Validierungsschritt wurde das Simulationsmodell auf die Fluggast- und Gepäckcharakteristika des zweiten Samples angepasst. Die Validierung erfolgte durch einen visuellen Vergleich der Verteilungen und Kolmogorov-Smirnov-Tests. Von den acht Prozessen waren sechs  $p$ -Werte  $>.65$ , einer  $=.17$  und einer signifikant. Die genauen Prozesse und die Simulationsparameter können aus Platzgründen nicht berichtet werden und sind für eine spätere Publikation vorgesehen.



**Abbildung 1:** Vogelperspektive der 3D-Simulation; Screener sind blau bekleidet: v. l. n. r. Lader, Screener am Röntgengerät, 2x Bogenpersonal (oben; einer ist mit Sprengstoffspurendetektor-Test beschäftigt), Auspacker

Aufbauend auf das empirische Simulationsmodell wurden in der Hauptstudie vier Szenarien mit unterschiedlichen RBS-Implementationen ergänzt und bezüglich deren Auswirkungen auf Effizienz evaluiert. Nach dem Eintreffen eines Fluggastes an der LSK, während dem Bereitstellen der Gepäckstücke, wird dieser in den Szenarien 1 und 2 vom Screener in der Ladeposition bspw. anhand von vorgelagerten Informationen und Verhaltensanalysen in eine von drei Risikostufen eingeteilt: *tief* (entspricht dem heutigen Status quo), *mittel*, *hoch*. Die Einteilung bestimmt, wie genau das Röntgenbild des Gepäckstückes vom Screener am Röntgengerät analysiert und ggf. für eine manuelle Nachkontrolle auf das Bypass-Band aussortiert wird. Zudem bestimmt die Einteilung, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein zusätzlicher Sprengstoffspuren-Test am Fluggast, bzw. am Gepäck und Fluggast, durchgeführt wird (Szenario 2 und 4). Bei den Szenarien 1 und 2 wurden die Prävalenzen der Risikoeinstufung *mittel* zwischen 1 und 25 % variiert. Die Prävalenz der Stufe *hoch* wurde mit 10 % der Stufe *mittel* in Abhängigkeit gesetzt (s. Tabelle 1).

**Tabelle 1:** Multiplikatoren des Zeitbedarfs, bzw. der Prävalenzen für Szenario 1 und 2, abhängig von der Risikokategorie; die Risikostufe *tief* entspricht dem Status quo; der Faktor "∞" resultiert in einer unbedingten Kontrolle

Risikostufe; Prävalenz pro Fluggast	Szenario 1; Multiplikatoren		Szenario 2; Multiplikatoren		
	Zeitbedarf Röntgen- bildanalyse	Prävalenz für Nach- kontrolle	Zeitbedarf Röntgen- bildanalyse	Prävalenz für Nach- kontrolle	Prävalenz Sprengstoff- spuren-Test
<i>tief</i> ; 98.9 - 72.5 %	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<i>mittel</i> ; 1.0 - 25.0 %	1.50	2.00	1.50	2.00	1.50
<i>hoch</i> ; .1 - 2.5 %	1.50	∞	1.50	∞	∞

Das Konzept der Szenarien 3 und 4 unterscheidet sich gegenüber den ersten beiden Varianten dahin gehend, dass der Screener in der Ladeposition die Fluggäste vom Status quo ausgehend in tiefere oder höhere Risikoklassen einstufen kann (s. Tabelle 2); die Risikostufe *mittel* entspricht dem Status quo.

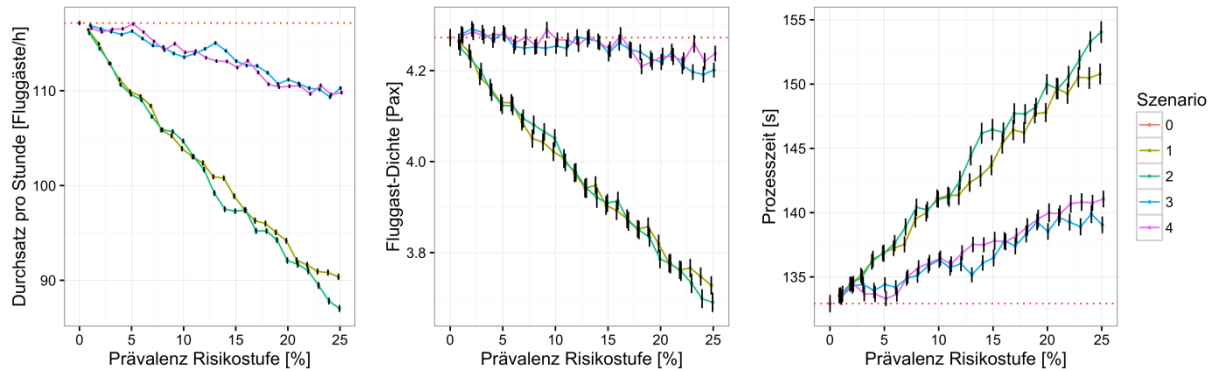
**Tabelle 2:** Multiplikatoren des Zeitbedarfs, bzw. der Prävalenzen für Szenario 3 und 4, abhängig von der Risikokategorie; die Risikostufe *mittel* entspricht dem Status quo

Risikostufe; Prävalenz pro Fluggast	Szenario 3; Multiplikatoren		Szenario 4; Multiplikatoren		
	Zeitbedarf Röntgen- bildanalyse	Prävalenz für Nach- kontrolle	Zeitbedarf Röntgen- bildanalyse	Prävalenz für Nach- kontrolle	Prävalenz Sprengstoff- spuren-Test
<i>tief</i> ; 1.0 - 25.0 %	1.00	.80	1.00	.80	.80
<i>mittel</i> ; 98.0 - 50.0 %	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
<i>hoch</i> ; 1.0 - 25 %	1.50	2.00	1.50	2.00	1.50

Die vier Szenarien wurden pro Prävalenz in jeweils 250 Replikationen à 120 min Betriebszeit simuliert. Zudem wurde die Baseline (Status quo) als Szenario 0, ohne Adaption der heutigen Prozesse, berechnet. Total wurden damit in 50'500 simulierten LSK-Betriebsstunden 5'281'765 Fluggast-Abfertigungen berücksichtigt.

### 3. Resultate und Diskussion

Abbildung 2 stellt die pro Prävalenzstufe aggregierten Ergebnisse der simulierten Effizienzkenndaten dar. Insbesondere für Szenarien 1 und 2 verschlechtern sich Durchsatz und die Prozesszeit mit steigender Prävalenz. Dabei scheint die Prävalenzerhöhung der Sprengstoffspurentests (Szenario 2) im Vergleich zu Szenario 1 keinen erheblichen Einfluss auf die evaluierten Kennzahlen zu haben.



**Abbildung 2:** Resultate der vier optimierten Szenarien im Vergleich mit dem Status quo; die Werte auf den y-Achsen stehen für die evaluierten Effizienz-Kennzahlen; die schwarzen vertikalen Linien stellen den Standardfehler (SE) der Replikationen dar; die horizontale rot gepunktete Linie entspricht der Baseline des Status quo (Szenario 0)

Im Gegensatz dazu zeigen die Szenarien 3 und 4 (zweiseitige Risikoeinteilung) bis zu einer Prävalenz von 5 % kaum negative Auswirkungen auf die Effizienzkenndaten. Im genannten Bereich sind sie vergleichbar mit dem Status quo. Am Beispiel einer 5 %-Prävalenz wird im Durchschnitt jeder 20. Fluggast mit einem erhöhten Gefahrenpotenzial eingestuft, während im Schnitt die identische Anzahl mit einer tiefen Risikostufe kategorisiert wird. Auf den ersten Blick mag damit das Resultat nicht überraschen: Die Anzahl der Risikozuweisungen nach oben und unten sind gleich. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass die implementierten Konsequenzen asymmetrisch sind. Bei einem Gefahrenpotenzial *hoch* wurde die Prävalenz einer manuellen Nachkontrolle verdoppelt, während diese bei einer tiefen Einschätzung um nur 20 % abnimmt. Die im Szenario 4 erhöhte Prävalenz des Sprengstoffspurentests wirkt sich im Vergleich zum Szenario 3 wiederum kaum auf die *Effizienz* aus, bringt jedoch eine weitere Erhöhung der *Effektivität*.

### 4. Schlussfolgerung

Die Studie konnte aufzeigen, dass ereignisorientierte 3D-Simulationsmodelle Effizienzkenndaten von LSK mit variierender Fluggast und Gepäckcharakteristiken valide abbilden können. Dabei erwiesen sich psychologische Erhebungsmethoden als geeignet, um die Prozesslogik und Parameter des Simulationsmodells zu erheben. Die vier virtuell untersuchten Szenarien integrieren RBS in einer LSK, welche für die Screener aus motivationstheoretischer Perspektive insbesondere Optimierungen der Aufgabenmerkmale *Aufgabenvielfalt* und *Autonomie* bewirken könnten. Die Resultate der Szenarien 3 und 4 (zweiseitige Risikoeinteilung) liefern Hinweise, dass sich diese im Prävalenzbereich 0 - 5 % aus Sicht der *Effizienz* als praxistauglich

erweisen könnten, nebst der aus der Literatur angenommenen und in der Praxis erwünschten Erhöhung der *Effektivität*.

Diese für die Praxis relevanten Ergebnisse zeigen zudem auf, dass 3D-Simulationen kombiniert mit arbeitspsychologischen Methoden wichtige Instrumente darstellen, um aktuelle und kommende Herausforderungen soziotechnischer Arbeitsplatzgestaltung zu untersuchen und optimieren.

## 5. Literatur

- Bolfing A, Halbherr T, Schwaninger A (2008) How image based factors and human factors contribute to threat detection performance in X-ray aviation security screening. In: Holzinger A (Ed) Proceedings of the 4th Symposium of the Workgroup Human-Computer Interaction and Usability Engineering of the Austrian Computer Society 2008. Berlin: Springer, 419-438.
- Cicchetti DV (1994) Guidelines, criteria, and rules of thumb for evaluating normed and standardized assessment instruments in psychology. *Psychological Assessment* 6:284-290.
- Coffey A (2014) Analysing Documents. In: Flick U (Ed) *The SAGE handbook of Qualitative Data Analysis*. London: SAGE, 367-380.
- Elias B (2010) *Airport and aviation security*. Boca Raton: CRC Press.
- Fassnacht G (1995) *Systematische Verhaltensbeobachtung*. München: UTB.
- FlexSim (2016) Flexsim Simulationssoftware. Accessed December 9, 2016. <https://www.flexsim.com/de/flexsim>.
- Hackman JR, Oldham GR (1980) *Work Redesign*. Reading: Addison-Wesley.
- IATA, International Air Transport Association, ACI, Airports Council International (2013) *Smart Security*. Accessed December 9, 2016. [http://www.aci.aero/media/cd4f98d8-79db-4d9d-932e-2b85b07be7a2/dvZ8iQ/About ACI/Priorities/Security/Smart-Security-Flyer.pdf](http://www.aci.aero/media/cd4f98d8-79db-4d9d-932e-2b85b07be7a2/dvZ8iQ/About%20ACI/Priorities/Security/Smart-Security-Flyer.pdf).
- Kantonspolizei Zürich (2015) [Umfrage zur Arbeitscharakteristik und zur Motivation der Mitarbeitenden]. Unpublizierte interne Untersuchung.
- Koller CI, Wetter OE, Hofer F (2015) What is suspicious when trying to be inconspicuous? *Criminal intentions inferred from nonverbal behavioral cues*. *Perception*, 44:679-708.
- Kuhlmann M (2009) Beobachtungsinterview. In: Kühl S, Strodtholz P, Taffertshofer A (Hrsg), *Handbuch Methoden der Organisationsforschung*. Heidelberg: VS Verlag, 78-101.
- Mayring P (2010) *Qualitative Inhaltsanalyse*. Weinheim: Beltz.
- Nie X, Parab G, Batta R, Lin L (2012) Simulation-based selectee lane queueing design for passenger checkpoint screening. *European Journal of Operational Research*, 219:146-155.
- Nikolaev AG, Lee AJ, Jacobson SH (2012) Optimal aviation security screening strategies with dynamic passenger risk updates. *IEEE Transactions on intelligent transportation systems* 13:203-212.
- Oberkampff WL, Roy CJ (2010) *Verification and validation in scientific computing*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Olapiriyakul S, Das S (2007) Design and analysis of a two-stage security screening and inspection system. *Journal of Air Transport Management* 13:67-74.
- Ulich E (2011) *Arbeitspsychologie*. Zürich: vdf.
- van Boekhold J, Faghri A, Li M (2014) Evaluating security screening checkpoints for domestic flights using a general microscopic simulation model. *Journal of Transportation Security* 7:45-67.
- Wetter OE (2013) Imaging in airport security: Past, present, future, and the link to forensic and clinical radiology. *Journal of Forensic Radiology and Imaging*, 1:152-160.
- Wong S, Brooks N (2015) Evolving risk-based security: A review of current issues and emerging trends impacting security screening in the aviation industry. *Journal of Air Transport Management* 48:60-64.

**Danksagung:** Ein ganz besonderer Dank gilt den beiden Forschungspartnern dieser Untersuchung für die konstruktive Zusammenarbeit und Unterstützung: Flughafen Zürich AG und der Kantonspolizei Zürich, Flughafenpolizei.



Gesellschaft für  
Arbeitswissenschaft e.V.

## **Soziotechnische Gestaltung des digitalen Wandels – kreativ, innovativ, sinnhaft**

63. Kongress der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

FHNW Brugg-Windisch, Schweiz

15. – 17. Februar 2017

---

**GfA Press**

---

**Bericht zum 63. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 15. – 17. Februar 2017**

**FHNW Brugg-Windisch, Schweiz**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Dortmund: GfA-Press, 2017

ISBN 978-3-936804-22-5

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.

USB-Print: Dr. Philipp Baumann, Olten

**Screen design und Umsetzung**

© 2017 fröse multimedia, Frank Fröse

[office@internetkundenservice.de](mailto:office@internetkundenservice.de) · [www.internetkundenservice.de](http://www.internetkundenservice.de)