

Soziotechnische Optimierung von Luftsicherheitskontrollen

Eine simulationsunterstützte System-Konzeptionierung und Evaluation
mit Fokus auf motivationstheoretische Aspekte der Arbeitsgestaltung
und Effizienz



Masterarbeit | 2016

Autor

Thomas Wyssenbach

betreuende Person

Prof. Dr. Adrian Schwaninger

Praxispartner

Center for Adaptive Security Research and Applications (CASRA), Zürich

Abstract

Airport security checkpoints (ASCs) are complex sociotechnical systems in which humans and technology interact throughout the screening process to ensure that no dangerous goods pass through. A recent study found that screeners rated the characteristics of 'skill variety' and 'autonomy' (Hackman & Oldham, 1976) as being of particularly low importance in their job. In this paper, I used a discrete event simulation (DES) based on empirical data from an ASC to evaluate optimized concepts focusing on aspects of motivation in the workplace and efficiency. I applied qualitative (e.g. observation interviews) and quantitative (e.g. video analysis) methods to identify relevant processes and factors, then fitted multiple regressions and statistical distributions to model them. I implemented the consolidated models into a DES, which predicted valid efficiency data. I then adapted the simulation to integrate risk-based screening, incl. behaviour analysis, and tested for effects on efficiency. The analysis identifies two scenarios - both optimized on motivational aspects - that show similar efficiency results as the status quo, possibly with increased effectiveness. I discuss the implications.

(1'199 characters, incl. spaces)

Keywords: *Aviation security, sociotechnical optimization, efficiency of airport security checkpoints, discrete event simulation, multiple regression, evaluation, risk-based screening, behaviour analysis*

Zusammenfassung

Luftsicherheitskontrollstellen (ASCs) sind komplexe soziotechnische Systeme, bei welchen Mensch und Technik in ständiger Interaktion sicherstellen, dass keine gefährlichen Objekte an Board gelangen. Eine von einem Forschungspartner durchgeführte Studie deutete bei Sicherheitsmitarbeitenden auf Handlungsbedarf bei den Aufgabenmerkmalen "Aufgabenvielfalt" und "Autonomie" (Hackman & Oldham, 1976). Diese Arbeit evaluiert vier motivationstheoretisch optimierte ASC-Szenarien anhand eines auf Empirie basierten ereignisorientierten Simulationsmodells (DES). Erst wurde analysiert, welche Prozesse und Faktoren zu berücksichtigen sind, um Effizienz-Kenndaten valide abzubilden. An einer realen ASC wurden qualitative und quantitative Erhebungen durchgeführt. Mit statistisch explorierten Daten konnten Modelle erstellt werden, welche die Effizienz-Kenndaten in der DES valide abbildeten. Das mit risikobasierter Kontrolle (z.B. durch Verhaltensanalysen) ergänzte Simulationsmodell zeigte die Auswirkungen auf die Effizienz auf. Zwei evaluierte Szenarien sind in Bezug auf die Effizienz dem Status-Quo ähnlich und lassen auf ein höheres Motivationspotenzial schliessen. Implikationen werden diskutiert.

(1'199 Zeichen, inkl. Leerzeichen)

Schlüsselwörter: *Luftsicherheit, soziotechnische Optimierung, Effizienz von Luftsicherheitskontrollstellen, ereignisorientierte Simulation, multiple Regression, Evaluation, risikobasierte Kontrolle, Verhaltensanalyse*

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Ausgangslage und Zielsetzung.....	1
1.2 Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes.....	2
1.3 Praxispartner und weitere Forschungspartner	3
1.3.1 Praxispartner	3
1.3.2 Forschungspartner	4
1.4 Theoretischer Hintergrund	4
1.4.1 Luftsicherheitskontrollen als soziotechnisches System	4
1.4.2 Drei wichtige Treiber	5
1.4.2.1 Psychologische Aspekte der Arbeitsgestaltung	5
1.4.2.2 Ökonomische Betrachtung (Effizienz und Kundenzufriedenheit)	8
1.4.2.3 Sicherheitsleistung (Effektivität).....	9
1.4.3 Optimierungsansätze	10
1.4.4 Stand der Forschung; Fokus auf Simulationsstudien.....	12
1.5 Fragestellungen und Vorgehen.....	14
1.6 Aufbau der Arbeit und Vertraulichkeit.....	15
2 Vorstudien: Modellierung des Status-Quo	17
2.1 Qualitativer Zugang	18
2.1.1 Methodik.....	18
2.1.1.1 Literaturrecherche und -analyse	18
2.1.1.2 Dokumentensichtung und -analyse.....	19
2.1.1.3 Erhebung von räumlichen Gegebenheiten.....	19
2.1.1.4 Beobachtungsinterviews	20
2.1.2 Ergebnisse und Diskussion.....	22
2.1.2.1 Flughafenspezifische Begrifflichkeiten und Infrastruktur	22
2.1.2.2 Prozessabbild.....	25
2.1.2.3 Ergänzende Ergebnisse	27
2.1.2.4 Schlussfolgerung.....	27
2.2 Quantitativer Zugang.....	28
2.2.1 Methodik.....	28
2.2.1.1 Videoanalyse.....	28
2.2.1.2 Validierung durch automatisch erhobene Daten	32
2.2.1.3 Datenanalyse auf Gruppenebene	33
2.2.2 Ergebnisse und Diskussion.....	34
2.2.2.1 Reliabilität und Validität der Videoanalysen	34
2.2.2.2 Relevante Effizienz-Kenndaten.....	36
2.2.2.3 Prozesse mit tiefer Prävalenz.....	36
2.2.2.4 Fluggast- und Gepäck-Charakteristik.....	38
2.3 Statistische Exploration und Validierung von Prozessmodellen.....	41
2.3.1 Methodik.....	41
2.3.1.1 Zusammenhänge von Zeitperioden und Häufigkeiten; auf Basis der VA I.....	41
2.3.1.2 Zusammenhänge von Entscheidungen und Häufigkeiten; auf Basis der VA I.....	43
2.3.1.3 Replikation und Validierung der Modelle; auf Basis der VA II.....	44
2.3.2 Ergebnisse und Diskussion.....	44
2.4 Implementierung, Verifikation und Validierung der Simulation.....	49
2.4.1 Methodik.....	49
2.4.1.1 Implementation in Simulation.....	49

2.4.1.2 Verifikation während der Implementierung	50
2.4.1.3 Validierung der Simulationsergebnisse.....	51
2.4.2 Ergebnisse und Diskussion.....	52
2.4.2.1 Realitätsnahe Darstellung.....	52
2.4.2.2 Verifikation und Validierung auf Basis der VA I	53
2.4.2.3 Validierung auf Basis der VA I und VA II	54
2.5 Zusammenfassung der Vorstudien und Schlussfolgerungen	55
3 Hauptstudie: Modellierung und Evaluation von optimierten ASCs	57
3.1 Methodik	58
3.1.1 Beschreibung der Szenarien	58
3.1.2 Implementation in der Simulation und Analyse	60
3.1.3 Evaluationskriterien.....	61
3.2 Ergebnisse und Diskussion.....	62
3.3 Zusammenfassung der Hauptstudie und Schlussfolgerungen.....	64
4 Kritische Würdigung und weiterführende Überlegungen	67
4.1 Methodische Kritik und abgeleitete Potenziale	67
4.2 Potenziale und Einschränkungen von Simulationen.....	69
4.3 Erweiterter Aus- und Rückblick.....	70
Literaturverzeichnis	73
Abbildungs-, Tabellen- und Formelverzeichnis	82
Anhang.....	85
A Abkürzungen und ihre Bedeutung.....	85
B Kurze Einführung in Simulationsbegrifflichkeiten	87
C Beobachtungsinterview	89
C-I Leitfaden.....	89
C-II Kategoriensystem.....	95
C-III Prozessdarstellungen nach DIN 66001	96
C-IV Details der Prozessanalysen.....	96
D Videoanalyse.....	103
D-I Info für Briefing vor Einsatzbeginn.....	103
D-II Einverständniserklärung	104
D-III Aufnahmeperspektiven	105
D-IV Beobachtungs- und Kategoriensystem	106
D-V Errechnete Werte aus den erhobenen Daten.....	111
D-VI Methodische Hinweise zur Interrater Reliabilität.....	114
D-VII Detailergebnisse zu Fluggast- und Gepäck-Charakteristiken	115
D-VIII Detailergebnisse zur Exploration von Prozessmodellen	119
E Details zur Implementierung und Validierung	128
E-I Details zur Implementierung in der Simulation.....	128
E-II Analyse der Durchsatz-Differenz	129
F Verwendete Technik und Software.....	132
F-I Beobachtungsinterviews; Erhebung und Transkription	132
F-II Video; Erhebung und Aufbereitung	132
F-III Simulationen und Analysen.....	133

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Zielsetzung

Seit den Anschlägen am 11. September 2001 hat sich Vieles verändert. Das Bewusstsein der heiklen Bedrohungslage durch Terrorismus ist in der westlichen Gesellschaft allgegenwärtig. Die wahrgenommene öffentliche Sicherheit sieht sich in Gefahr. Der Absturz des Metrojet-Flugs 9268 vom 31. Oktober 2015 und die Explosion an Board des Daallo-Flugs 195 vom 2. Februar 2016 sind nur die zwei jüngsten Beispiele, bei welchen zivile Passagierflugzeuge als Ziel terroristischer Anschläge galten. Nach Houghham (2009) werden Airlines und deren Flugzeuge als Symbole nationaler Bedeutung gesehen: "If mass casualties are the goal, an airplane provides hundreds of people at 30.000 feet with no chance of survival" (S. 143). Die von den Terroristen gewünschte mediale Aufmerksamkeit scheint dadurch gesichert. Entsprechend kann davon ausgegangen werden, dass "as long as people are flying, there will be a need for aviation security" (Hougham, 2009, S. 143).

Die Sicherstellung von Luftsicherheit basiert auf diversen Ansätzen und findet auf verschiedenen Ebenen statt (vgl. bspw. Jackson & LaTourrette, 2015). Eine der Massnahmen ist die systematische Personen- und Handgepäckkontrolle am Flughafen, welche insb. verhindern soll, dass verbotene und gefährliche Gegenstände mit einem Fluggast an Board gelangen können. Die rasant fortschreitende technologische Entwicklung weist kontinuierlich neue Erfolge in automatisierter Erkennung von Gefahren bei Personen und Gegenständen aus. Trotz enormen Anstrengungen kann jedoch noch kein technisches System ohne Einflussnahme durch Menschen eine ausreichend hohe Sicherheit garantieren. Zudem liefert die stetige Entwicklung auf Seite der Terroristen neue Gefahrenpotenziale, welche fortlaufend abgedeckt werden müssen. Bis heute stützen sich die Kontrollen auf menschliche Entscheidungen von Sicherheitspersonal, welches mit technischen Gerätschaften interagiert. Daher liegt es auf der Hand, für Analysen der Effektivität (s. Kap. 1.4.2.3) und/oder der Effizienz (s. Kap. 1.4.2.2) von Luftsicherheitskontrollen die Perspektive der *soziotechnischen Analyse, Bewertung und Gestaltung* (vgl. Ulich, 2011) einzunehmen (s. Kap. 1.4.1).

Eine kürzlich durchgeführte Umfrage (Kantonspolizei Zürich, 2015) konzentrierte sich auf die Motivationspotenziale beim Sicherheitspersonal am Flughafen ($n=248$). Um den motivationalen Anregungsgehalt von Arbeitstätigkeiten zu erheben, basierte der erste Umfrageteil auf Items des verbreiteten *Job Diagnostic Surveys* (JDS; vgl. Hackman & Oldham, 1974, 1975; bzw. der deutschen Fassung von Schmidt, Kleinbeck, Ottmann & Seidel, 1985). Die dem Autor zur Verfügung gestellten Resultate bieten Hinweise auf motivationstheoretisch begründbare Optimierungspotenziale in zwei der fünf von Hackman und Oldham (1976, 1980) dargelegten Aufgabenmerkmale: *Anforderungsvielfalt* und *Autonomie* (s. Kap. 1.4.2.1).

Aktuelle Entwicklungen deuten auf künftige Luftsicherheitskontrollen hin, bei welchen Prozesse von Mensch und Technik verstärkt interagieren und wechselseitig aufeinander aufbauen (bspw. Smart Security; s. Kap. 1.4.3, Einleitung Kap. 3). Dabei sollen verfügbare Ressourcen so eingesetzt werden, dass die Sicherheit und das Fluggasterlebnis zeitgleich verbessert werden. Ein wichtiger Ansatz ist dabei die *risikobasierte Kontrolle*: Fluggäste werden anhand einer individuellen Risikoeinschätzung überprüft. Dabei können bspw. systematische Verhaltensanalysen Anhaltspunkte geben, ob ein Fluggast ein erhöhtes Risikopotenzial birgt (s. Kap. 1.4.3). Im Rahmen des von CASRA (Praxispartner; s. Kap. 1.3) lancierten Projektes Intelligence, Competence, Unpredictability (*ICU*; FHNW, 2016) sollen

künftige Szenarien von Luftsicherheitskontrollen realitätsnah dargestellt und evaluiert werden. Der Auftraggeber des Projektes ICU ist das *Schweizerische Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL)*.

Der *digitale Wandel* und die damit einhergehende technologische Entwicklung ermöglichen die breite Anwendung innovativer Methoden zur Evaluierung soziotechnischer Prozessoptimierung. Simulationen bieten besonders bei Problemen mit komplexen Zusammenhängen eine grosse Hilfestellung (vgl. Günther & Velten, 2014; vgl. a. Kap. 1.4.4). Situationen und Prozesse werden für den Betrachter realitätsnah und visuell nachvollziehbar anhand von 3D-Computersimulationen dargestellt, während zeitgleich Prozessdaten valide Anhaltspunkte zu möglichen Szenarien bieten. Heute werden für die Modellierung von Simulationen nur vereinzelt elaborierte Methoden der angewandten Psychologie angewendet. Obwohl Simulationen in der sozialwissenschaftlichen Forschung noch wenig Einzug finden (vgl. Saam, 2015), bergen diese ein sehr grosses Potenzial für die Evaluation soziotechnischer Prozessoptimierungen.

In Summe integriert diese Arbeit die genannten Aspekte in einem aktuell äusserst relevanten Themenbereich. In einem ersten Schritt werden durch gängige Methoden der angewandten Psychologie insb. beobachtbare Artefakten (Froschauer, 2009) des Status-Quo an Luftsicherheitskontrollen erhoben, in einem Simulationsmodell implementiert und validiert (s. Kap. 2). Im zweiten Schritt werden auf Basis von motivationstheoretisch optimierten Simulationsmodellen Szenarien mit einer soziotechnischen Perspektive evaluiert und daraus Schlussfolgerungen für die Praxis und Wissenschaft gezogen (s. Kap. 3). Abschliessend werden aus den Erkenntnissen der gesamten Studie weiterführende Überlegungen diskutiert und die Arbeit kritisch reflektiert (s. Kap. 4).

Zielsetzung

Für die vorliegende Arbeit wurde aus der geschilderten Ausgangslage folgende Zielsetzung definiert:

Mehrere potenziell umsetzbare System-Konzepte von motivationstheoretisch optimierten Luftsicherheitskontrollen sind mittels validiertem 3D-Simulationsmodell realitätsnah modelliert und anhand von kritischen Leistungsindikatoren evaluiert.

Zudem hat sich der Autor mit dieser Masterarbeit vorgenommen, einen Beitrag zur Darlegung der fruchtbaren Symbiose von Methoden und Theorien der angewandten Psychologie mit den Potenzialen von innovativen 3D-Simulationen im Bereich der anwendungsorientierten Forschung zu leisten.

1.2 Abgrenzung des Untersuchungsgegenstandes

Im Folgenden wird der Untersuchungsgegenstand der Luftsicherheitskontrollen gegenüber der verwandten Safety-Thematik abgegrenzt und im Kontext von Security vorgestellt. Zudem wird der divers verwendete Begriff einer 'Simulation' für diese Arbeit definiert.

Safety- und *Security*-Vorkehrungen verfolgen das Ziel, potenzielle Schäden an Mensch und Maschine zu verhindern (vgl. bspw. Rodrigues & Cusick, 2012, S. 270ff): Es ist wichtig, die beiden Aspekte zu differenzieren. Safety-Themen beziehen sich insb. auf die Verminderung von unbeabsichtigten Vorfällen (bspw. Unfälle, beinahe Unfälle), während mit Security versucht wird, gezielt böswillige Absichten und Taten zu verhindern. Diese Arbeit bezieht sich auf Security (wird folgend synonym mit Sicherheit verwendet) und damit auf den Schutz vor illegalen Handlungen (bspw. terroristische Angriffe, Flugzeugentführungen) in

der Luftfahrt sowie deren Prävention. Direkte Bezugnahmen zu Safety-Theorien sind entsprechend ausgewiesen.

Um die Sicherheit zu gewährleisten, werden heute Vorkehrungen auf verschiedenen Ebenen umgesetzt (vgl. bspw. Jackson & LaTourrette, 2015): am Boden und in der Luft; vor der Flugbuchung bis zur Ankunft an der Destination; mit Fokus auf den Fluggast oder auf Mitarbeitende des Flughafens und der Subunternehmen (bspw. Flugzeugabfertigungsfirmen). Dazu interagieren verschiedene Systeme und Instanzen an Flughäfen (vgl. bspw. Ashford, Stanton, Moore, Coutu & Beasley, 2013; Kazda & Caves, 2015; Rodrigues & Cusick, 2012; Schmitt & Gollnick, 2016; Young & Wells, 2011). Die Fluggast- und Handgepäckkontrolle (in der Praxis a. *Luftsicherheitskontrollstelle*, *checkpoint* oder *airport security checkpoint*, *ASC*; genannt) ist dabei ein tragendes Element an der Grenze zwischen *landside* und der sicherheitsgeprüften, sterilen *airside*. Die Kontrollen sollen sicherstellen, dass die Fluggäste keine verbotenen Gegenstände (bspw. Waffen, Sprengstoff, gefährliche Stoffe) mit sich führen.

Der konkrete Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit ist ein realer ASC mit zwei parallel verlaufenden Kontrolllinien (Linie I/Linie II; in der Praxis auch *twin line* genannt; ist nur eine der beiden angesprochen, wird in dieser Arbeit von *Linie* gesprochen) an einem europäischen Flughafen. Es handelt sich dabei um ein komplexes soziotechnisches System (s. Kap 1.4.1) mit unterschiedlichen Crew-Konstellationen und diversen technischen Gerätschaften (s. a. Kap. 2.1.2).

In Bezug auf den Begriff 'Simulation' gibt es verschiedene Bedeutungen. Günter und Velten (2014) liefern im Kontext dieser Arbeit eine zutreffende Definition: "Simulation ist die Anwendung eines Modells auf ein reales System mit dem Ziel, Probleme zu lösen oder Einsichten zu gewinnen, die sich auf das System beziehen" (S. 8). Dabei werden Handlungen von Mensch und Technik teils aus deterministischen und teils aus stochastischen Modellierungen implementiert (s. a. Kap. 2.3, Anhang B). Je nach Reifegrad der hinterlegten Modelle, können dadurch exakte Prognosen für die Realität ausgegeben werden. Einer von mehreren entscheidenden Vorteilen von solchen Simulationen liegt darin, dass dadurch insb. in frühen Phasen reale, ressourcenintensive und - je nach Kontext - riskante Versuchsanstaltungen eingespart werden können (vgl. Oberkampff & Roy, 2010, S. 89ff). In dieser Arbeit wird eine validierte 3D-Simulation entwickelt und für die Evaluierung von soziotechnischen Prozessoptimierungen angewendet. Durch die animierte 3D-Visualisierung können dem Betrachter die Modelle nachvollziehbar dargestellt werden¹.

1.3 Praxispartner und weitere Forschungspartner

Der Praxis- und die Forschungspartner werden im Kontext dieser Studie kurz vorgestellt.

1.3.1 Praxispartner

Das *Center for Adaptive Security Research and Applications* (CASRA, gegründet 2008) versteht sich als interdisziplinärer Leistungserbringer für verschiedene Felder/Anwendungen im Bereich Security, insb. für Luftsicherheitskontrollen (CASRA, 2016). Dabei stützt sich der Forschungs- und Entwicklungsbereich primär auf wissenschaftliche Herangehensweisen der Kompetenzbereiche angewandte Psychologie, Informatik und Betriebswirtschaft sowie auf eine enge Kooperation mit Partnern aus der Praxis.

¹ Die verwendete Simulationsumgebung ermöglicht auch eine Darstellung des animierten Modells als virtuelle Realität (VR; bspw. durch den Einsatz einer Oculus Rift VR-Brille).

1.3.2 Forschungspartner

Der internationale Flughafen Zürich wird von der *Flughafen Zürich AG* betrieben. Das Kerngeschäft umfasst die Bereiche Aviatik, Commercial, Real Estate, Finance und wird von bereichsübergreifenden Stabsstellen unterstützt. Der Bereich Aviatik erbringt und koordiniert dabei alle Aktivitäten und Abläufe für einen qualitativ hochstehenden, effizienten und sicheren Flugbetrieb (Flughafen Zürich AG, 2016a). Dies schliesst sämtliche passagierbezogenen Flugprozesse bei Abflug, Ankunft und Transfer sowie die Schwerpunkte Safety und Security ein.

Die Hauptabteilung *Flughafenpolizei* der *Kantonspolizei Zürich* übernimmt sämtliche Polizeiaufgaben am Flughafen Zürich (Kantonspolizei Zürich, 2016a). Zudem vollzieht die *Kontrollabteilung (FPKOA)* der Flughafenpolizei die Passagier- und Gepäckkontrollen aller Fluggäste und Airline-Crews. Der Fachbereich *Forschung & Entwicklung (FPSTA-FE)* ist der Stabsabteilung der Flughafenpolizei angegliedert und befasst sich mit aktuellen und zukünftigen Herausforderungen im Sicherheitsbereich des Flughafens (Kantonspolizei Zürich, 2016b).

1.4 Theoretischer Hintergrund

In diesem Kapitel werden die in dieser Arbeit zugrundeliegenden Theorien, Konzepte und Hintergründe erläutert.

1.4.1 Luftsicherheitskontrollen als soziotechnisches System

Wie bereits erwähnt, sollen ASCs sicherstellen, dass ein Fluggast keine verbotenen Gegenstände mit sich führt. Dabei interagieren Sicherheitsmitarbeitende in gemischten Crews intensiv mit technischen Gerätschaften (vgl. bspw. Hofer & Wetter, 2012; s. a. Kap. 2.1.2). Das Konzept des *soziotechnischen Systems* (vgl. Ulich, 2011) berücksichtigt die Wechselwirkung von menschlichen und technischen Komponenten. Diese heute verbreitete Perspektive geht zurück auf Untersuchungen von Trist und Bamforth (1951) zu sozialen und psychologischen Konsequenzen durch die Einführung von neuen technischen Abläufen bei der Kohlegewinnung. Die Einführung technischer Neuerungen bewirkte gesamthaft eine Verringerung der Systemleistung. Nach Ulich (2011, S. 198ff) können soziotechnische Systeme in ein soziales und in ein technisches Teilsystem unterteilt werden, welche unter wechselwirkenden Einflüssen durch eine Primäraufgabe verbunden sind (s. Abb. 1). Gemäss Ulich (2011) ist die Primäraufgabe definiert als „die Aufgabe, zu deren Bewältigung das entsprechende System bzw. Subsystem geschaffen wurde“ (Rice, 1958, nach Ulich, 2011, S. 200). Als Primäraufgabe von Luftsicherheitskontrollen versteht der Autor insb. die Erfüllung der Effektivitätsansprüche (s. Kap. 1.4.2.3). Die Systemerhaltung sowie die Systemregulation (bspw. Koordination, Sicherstellung des Betriebs) werden von Ulich (2011) als Sekundäraufgaben bezeichnet. Entsprechend ordnet der Autor die Erfüllung der Effizienzansprüche (s. Kap. 1.4.2.2) eher diesem Bereich zu, obgleich einzelne Aspekte der Effizienz (bspw. die Erfüllung der Fluggastzufriedenheit), je nach Betrachtung, auch der Primäraufgabe zugeordnet werden können. Während das technische Teilsystem bspw. aus technischen und räumlichen Bedingungen besteht, schliesst das soziale Teilsystem Mitarbeitende, deren individuellen Bedürfnisse und Qualifikationen sowie gruppenspezifische Bedürfnisse mit ein (Ulich, 2011). Dabei werden soziotechnische Systeme als offene und komplexe Systeme verstanden (Schübach, 2013).

Trotz des technologischen Fortschritts in den letzten Jahrzehnten, wird der Mensch im System des ASCs als wichtigste Komponente angesehen (Bolfing, Halbherr & Schwaninger, 2008; vgl. bspw. Mendes, Schwaninger & Michel, 2011; Schwaninger, 2006a; Skorupski &

Uchroński, 2016). Eine komplette Ablösung des Menschen durch die Technik ist bis heute nicht absehbar. Es ist davon auszugehen, dass sich die Aufgabenaufteilung zwischen Mensch und Technik verändert, was folglich einen Wandel der Anforderungen an das Sicherheitspersonal mit sich bringen wird (vgl. bspw. Kaufmann, 2016; Wetter, 2013). Dies zeigt letztendlich auf, dass eine Analyse mit Fokus auf ein einzelnes Teilsystem nicht ausreicht. "Vielmehr gilt es, eine technik- und eine sozialwissenschaftliche (d.h. psychologische, soziologische und pädagogische) Perspektive optimal miteinander zu verknüpfen" (Schüpbach, 2013, S. 38). Diese gemeinsame Optimierung wird nach Ulich (2011, S. 200) und Schüpbach (2013, S. 38) als '*joint optimization*' bezeichnet.

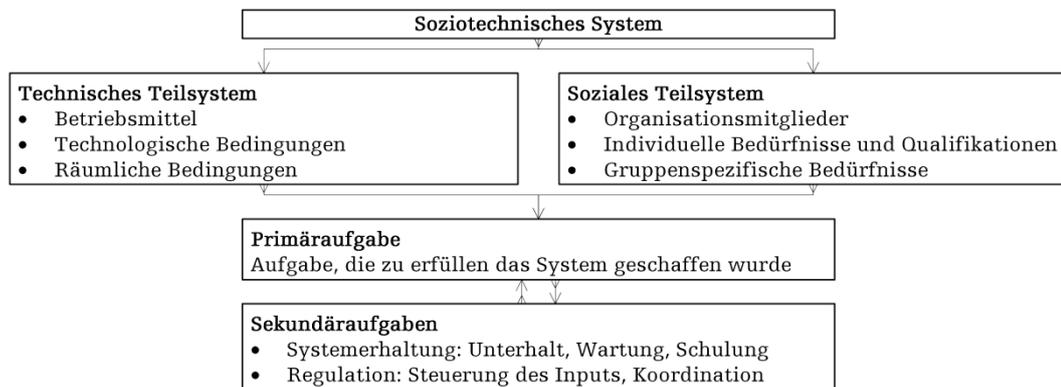


Abb. 1: Teilsysteme und Aufgaben in soziotechnischen Systemen (nach Ulich, 2011, S. 199)

In der Praxis der Luftsicherheit wirken dabei verschiedene Treiber auf das System, welche im folgenden Kapitel beschrieben werden.

1.4.2 Drei wichtige Treiber

1.4.2.1 Psychologische Aspekte der Arbeitsgestaltung

Der Einbezug psychologischer Aspekte bei der Arbeitsgestaltung stellt im Setting von ASCs eine spannende Herausforderung dar. Folgend wird ein Auszug der als relevant erachteten Forschungserkenntnisse vorgestellt, bevor auf die im Zentrum stehende Theorie dieser Arbeit eingegangen wird.

Die Mitarbeitenden befinden sich in einem komplexen Spannungsfeld zwischen allseits geforderter Sicherheit (vgl. Effektivität; s. Kap. 1.4.2.3) und einem ökonomischen Druck für mehr Durchsatz mit hoher Kundenzufriedenheit (vgl. Effizienz; s. Kap. 1.4.2.2). Aktuelle Untersuchungen von Baeriswyl, Krause und Schwaninger (2016) konnten aufzeigen, dass die Unterstützung durch den Vorgesetzten einen direkten Einfluss auf die Arbeitszufriedenheit des Sicherheitspersonals am Flughafen darstellt und die Arbeitslast einen Zusammenhang mit der individuellen emotionalen Erschöpfung hat. Weiter werden die Masse an Fluggästen (bspw. Meuter & Lacherez, 2016) und die daraus resultierenden Umgebungsfaktoren (bspw. Lärm; vgl. Hättenschwiler, Michel, Kuhn, Strebel & Schwaninger, 2015) als Stressfaktoren wahrgenommen. Ausserdem sind mitunter die strikten Prozessreglementationen (s. Kap. 2.1.1.2), langen Betriebszeiten und Schichtlängen (bspw. Meuter & Lacherez, 2016), laufend ändernde Crew-Konstellationen (bspw. Kirschenbaum, 2015), Entscheidungsfindungen (bspw. Crevits, Vanderhaegen, Labour & Maréchal, 2013) und die möglicherweise ausgeprägte hierarchische Organisationsform (vgl. bspw. Wetter, Fuhrmann, Lipphardt & Hofer, 2011) zu berücksichtigen².

² Als Folge der genannten Bedingungen sind klar definierte Aufgaben- und Verantwortungsteilungen erkennbar, welche

In Anbetracht der geschilderten Komplexität erscheint es erstaunlich, dass der Einbezug von Arbeitsbedingungen unter motivations- und leistungsanregenden Gesichtspunkten in aktuellen Publikationen kaum im Fokus stand. Der Autor dieser Arbeit nimmt diese Gelegenheit wahr und bezieht sich auf die renommierte *Job Characteristic Theory* (Hackman & Oldham, 1976, 1980) und Daten einer kürzlich von einem Forschungspartner durchgeführten internen Studie (Kantonspolizei Zürich, 2015). Diese werden folgend vorgestellt.

Job Characteristic Theory (JCT)

Hackman und Oldham (1976, 1980) entwickelten die international verbreitete und vielfach empirisch validierte JCT (vgl. Fried & Ferris, 1987; Parker, Wall & Cordery, 2001), welche auf Resultaten ihres JDS-Fragebogens³ (Hackman & Oldham, 1974, 1975) basiert. Dabei gehen sie davon aus, dass insb. *fünf Aufgabenmerkmale* (siehe Auflistung unten) auf das *Motivationspotenzial der Arbeitssituation (MPA)* und damit auf das *Erleben und Verhalten der Beschäftigten* wirken (Ulich, 2011). Der aus den Aufgabenmerkmalen errechnete MPA-Wert (s. Formel 1) kann nach Ulich (2011) "das Ausmass kennzeichnen, in dem die Beschäftigten ihre Arbeitstätigkeit als motivierend wahrnehmen" (S. 108).

Die Aufgabenmerkmale lassen sich nach Hackman und Oldham (1980) wie folgt beschreiben:

- *Anforderungsvielfalt*: Das Mass an Vielfalt der Aktivitäten und der benötigten Fähigkeiten (bspw. motorische, intellektuelle, soziale) und Kenntnisse zum Ausüben der Tätigkeit.
- *Ganzheitlichkeit der Aufgabe*: Der Grad in dem eine Tätigkeit als vollständige Dienstleistung oder als ein zusammenhängendes Produkt fertiggestellt werden kann.
- *Bedeutung der Aufgabe*: Die eigene Tätigkeit sollte eine bedeutsame Auswirkung auf das Leben und/oder die Arbeit anderer (innerhalb und ausserhalb der Organisation) haben.
- *Autonomie*: Damit wird der Grad an Freiheit bei der Vorgehenswahl und bei der Einteilung der Arbeit verstanden. Wenn Mitarbeitende die Autonomie als hoch einschätzen, "work outcomes will be viewed by those individuals as depending substantially on their own efforts, initiatives, and decisions, rather than on, say, the adequacy of instructions from the boss or on a manual of job procedures" (Hackman & Oldham, 1980, S. 79).
- *Rückmeldung* durch die Tätigkeit beschreibt das Mass an direktem und klarem Feedback über die eigene Leistung aus der Aufgabe heraus.

Züge von tayloristischen Ansätzen aufzeigen. Ein konkreter Vergleich des Taylorismus mit Arbeitsbedingungen an heutigen ASCs kann und soll hiermit nicht hergestellt werden. Vielmehr werden potenzielle Tendenzen angesprochen. Frederik Winslow Taylor (1911) beschreibt in seinem bedeutenden Werk ein wissenschaftliches Vorgehen zur Rationalisierung von Fertigungsarbeiten. Eine der Folgen war bspw. die Teilung der Arbeit in kleine und kognitiv kaum fordernde Einheiten (Fließbandarbeit), die Reduzierung der Kommunikation oder eine strikte Trennung von geistiger und körperlicher Arbeit, insgesamt heute als negativ konnotierter Taylorismus bekannt.

³ Ergänzend zu den fünf Aufgabenmerkmalen (s. Formel 1) inkludiert der JDS-Fragebogen (Hackman & Oldham, 1974, 1975) auch Skalen zu folgenden Bereichen: sozialen Beziehungen, Feedback von Mitarbeitern und Vorgesetzten, Bedürfnis nach persönlicher Entfaltung, allgemeine Arbeitszufriedenheit, intrinsische Arbeitsmotivation, erlebte Bedeutsamkeit der Arbeit, erlebte Verantwortlichkeit für die Arbeit, Wissen um die Ergebnisse der Arbeit, Zufriedenheit mit den Entfaltungsmöglichkeiten, Zufriedenheit mit dem sozialen Klima, Zufriedenheit mit der Bezahlung, Zufriedenheit mit der Arbeitsplatzsicherheit und dem Wachstumsbedürfnis.

Im Rahmen dieser Arbeit wird aus folgenden Gründen nicht weiter auf Implikationen dieser ergänzenden Skalen eingegangen: 1. Die JCT fokussiert primär auf die fünf berücksichtigten Skalen. 2. Die vom Forschungspartner durchgeführte Umfrage inkludierte in diesem Zusammenhang ausschliesslich Skalen der fünf Aufgabenmerkmale.

Aus der Arithmetik der Formel 1 werden nach Hackman und Oldham (1980) die Zusammenhänge der Wirksamkeit erkennbar: Die Anforderungsvielfalt, die Identifikation mit der Aufgabe und die Wichtigkeit der Aufgabe können sich durch die *additive* Verknüpfung gegenseitig kompensieren, während Autonomie und Rückmeldung *multiplikativ* mit den anderen Faktoren zusammenhängen: Wird einer der beiden letztgenannten Aufgabenmerkmale tief eingeschätzt, leidet das Erleben der intrinsischen Motivation in Bezug auf die Arbeitstätigkeit massiv mehr als bei einem der drei Erstgenannten.

$$MPA = \frac{\text{Anforderungsvielfalt} + \text{Identifikation mit der Aufgabe} + \text{Wichtigkeit der Aufgabe}}{3} \times \text{Autonomie} \times \text{Rückmeldung}$$

Formel 1: Motivationspotenzial der Arbeitssituation (nach Hackman & Oldham, 1980)

In der Literatur wird die JCT teils auch kritisch diskutiert (für eine Auflistung von verschiedenen Kritikpunkten, s. insb. Ulich, 2011, S. 110ff). In einer aktuelleren Publikation von Oldham und Hackman (2010) wird zudem eine potenzielle Vernachlässigung von sozialen Kooperationsaspekten (vgl. bspw. Hacker, 2005) angesprochen. Gleichzeitig bestärken Oldham und Kollegen aus ihrer Sicht die fünf ursprünglichen Aufgabenmerkmale: "If future research focuses mainly on motivational outcomes, we believe that 'core' dimensions such as those included in JCT will continue to dominate research and practice" (Oldham & Hackman, 2010, S. 12). Auch Parker et al. (2001) stellen insgesamt fest, dass die JCT "und das soziotechnische Systemverständnis 'remain the most common approaches to work design research today'" (zitiert nach Ulich, 2011, S. 111).

Ergebnisse einer Umfrage am Flughafen

Wie in Kapitel 1.1 angedeutet, führte die Kantonspolizei im letzten Jahr eine Umfrage beim Sicherheitspersonal am Flughafen durch (Kantonspolizei Zürich, 2015). Im ersten Teil stützten sich die Frageitems auf den von Schmidt et al. (1985) ins Deutsche übersetzte JDS von Hackman und Oldham (1974, 1975). Dabei wurden jeweils die kompletten drei Items der fünf Skalen (eine pro Aufgabenmerkmal) übernommen. Die aggregierten Resultate wurden dem Autor von der FPSTA-FE für diese Arbeit zur Verfügung gestellt. Es wurden ausschliesslich die Daten des Sicherheitspersonals von ASCs berücksichtigt ($n=248$; exkl. Führungspersonen und Personal aus anderen Arbeitsbereichen). Tab. 1 listet die Ergebnisse im direkten Vergleich zur originalen Normstichprobe (vgl. Oldham, Hackman & Stepina, 1978) auf.

Tab. 1: Umfrageergebnisse beim Sicherheitspersonal im Vergleich zur Normstichprobe

Aufgabenmerkmal	Umfrageergebnis ($n=248$)		Normstichprobe ($n=6930$)		Differenz des M (Normst.-Umfrageergebnis)
	M	(SD)	M	(SD)	
Anforderungsvielfalt	3.80	(1.37)	4.53	(1.57)	-.73
Identifikation mit der Aufgabe	4.94	(1.34)	4.65	(1.44)	.29
Wichtigkeit der Aufgabe	5.94	(1.22)	4.49	(1.25)	1.45
Autonomie	3.28	(1.45)	4.78	(1.39)	-1.50
Rückmeldung	4.63	(1.50)	4.81	(1.34)	-.18
Motivationspotenzial der Arbeitssituation (MPA*)	74.47		104.77		-30.29

Anmerkungen. Die Werte der fünf Aufgabenmerkmale beziehen sich auf eine Likert-Skala 1...7. Die angegebenen Werte der Normstichprobe beziehen sich auf die Publikation von Oldham et al. (1978, S. 16).

*: Der berechnete und angegebene MPA bezieht sich auf die aggregierten Werte.

➔ Durch den dargestellten Vergleich zur Normstichprobe wird ein allgemeines motivationstheoretisches Optimierungspotenzial erkennbar, insb. in Bezug auf die Aufgabenmerkmale *Anforderungsvielfalt* und *Autonomie*.

1.4.2.2 **Ökonomische Betrachtung (Effizienz und Kundenzufriedenheit)**

Ein Flughafen befindet sich in einem komplexen Spannungsfeld mit diversen Interessensgruppen (bspw. Gesetzgeber, Airlines, Subunternehmen, Duty-Free Läden, Fluggäste) und in einem stetigen Wettbewerb zu anderen Flughäfen und Verkehrsmitteln. Ökonomische Aspekte sind deshalb für eine Mehrheit der betroffenen Stakeholder von hoher Relevanz. Gillen und Morrison (2015) gehen davon aus, dass sich die jährlichen Kosten für Security an europäischen Flughäfen zwischen 2002 und 2011 mehr als verdoppelt haben⁴. Aus Sicht eines Flughafens ist die *Effizienz* von ASCs folglich eine wichtige Kennzahl (vgl. Holguín-Veras, Xu & Bhat, 2012). Als Kostentreiber sind dabei nicht nur Investitionen für neue technische Gerätschaften und die Personalkosten zu berücksichtigen, sondern bspw. auch die dafür benötigte räumliche Infrastruktur (vgl. Elias, 2010; Wetter, Lipphardt & Hofer, 2010). Die Effizienz färbt jedoch nicht nur auf anfallende Kosten ab, sondern die damit verbundene Wartezeit wirkt sich auch auf die Fluggast-Zufriedenheit aus (vgl. Gkritza, Niemeier & Mannering, 2006). Erste Flughäfen gehen soweit, dass sie die aktuellen Wartezeiten an den Luftsicherheitskontrollen in Echtzeit via Mobileapplikation veröffentlichen (bspw. Flughafen Zürich AG, 2016b). Zudem werden auf Basis von weltweit durchgeführten Kundenbefragungen angesehene Ratings publiziert, welche jährlich die besten *airport security screenings* prämiieren (bspw. Skytrax, 2016). Dies sind allesamt Belege für eine hohe Relevanz der Effizienz von ASCs.

Folgend werden die für diese Arbeit als relevant erachteten und untersuchten Kennzahlen eines ASCs kurz vorgestellt, wobei darauf hingewiesen wird, dass die Auflistung der Kennzahlen nicht abschliessend ist (vgl. bspw. Elias, 2010, S. 204ff).

Durchsatz

Der *Durchsatz* gilt als verbreitetes Mass für die Effizienz von ASCs. In der Praxis deklariert diese Kennzahl die Anzahl abgefertigter Fluggäste pro Stunde. Er stellt damit auch den aggregierten Mittelwert des Fluggast-Intervalls (Zeitperiode zwischen einem Fluggast und dem Nächsten) über eine Zeitperiode dar⁵. Um bei verschiedenen Szenarien als Vergleichswert zu dienen, wird der Durchsatz jeweils unter Volllast angegeben; insb. ohne Inaktivität durch tiefes Fluggastaufkommen (vgl. Wetter et al., 2010).

Fluggast-Dichte

Die *Fluggast-Dichte* beschreibt, wie viele Fluggäste gleichzeitig in einem (Teil-)System abgefertigt werden (bspw. pro Tätigkeit, ASC). Wetter, Hofer und Jonas (2012) argumentieren die Berücksichtigung dieser Kennzahl insb. durch daraus resultierende Kosten durch die verwendete Raumfläche: "As every m² in an airport is costly, security control would ideally be limited to as many m² as necessary, with as little 'empty' or unused area inside as possible" (S. 46). Auf der anderen Seite kann sich eine zu hohe Dichte auch auf die Effektivität (bspw. durch Verlust des Überblicks durch Mitarbeitende; vgl. Wetter, Hofer, et al., 2012), das Stressempfinden der Mitarbeitenden (s. Kap. 1.4.2.1) sowie auf das Kundenerlebnis - und dadurch auf die Zufriedenheit des Fluggastes auswirken.

⁴ Im Jahre 2011 wurden die verursachten Security-Kosten pro Fluggast an 69 untersuchten europäischen Flughäfen im Mittel mit knapp über USD 3.-- angegeben (Gillen & Morrison, 2015, S. 6). In diesem Zusammenhang postuliert Kirschenbaum (2013) in seiner ethnographischen Untersuchung (kombiniert mit Zeitmessungen) an europäischen Flughäfen, dass Fluggäste, "who pass through the security process in the minimum time, are the bulk of passenger throughput, 'problematic' passengers who negotiate make up the bulk of the costs" (S. 39).

⁵ Der Autor geht davon aus, dass ein hohes Intervall (ohne einen ersichtlichen Fluggast-Fluss), zudem einen Einfluss auf die Fluggast-Zufriedenheit hat. In der Literatur konnten hierzu keine konkreten Anhaltspunkte gefunden werden.

Prozesszeit

Die *Prozesszeit* wurde als weitere relevante Kennzahl eruiert. Sie beschreibt den Zeitbedarf pro Fluggast von Systemeintritt bis Systemaustritt (vgl. Wetter et al., 2010). Nebst dem offensichtlichen Zusammenhang der Prozesszeit mit Fluggast-Dichte und Durchsatz beschreiben Sakano, Obeng und Fuller (2016) den Einfluss auf die Fluggast-Zufriedenheit: längere Kontrollzeiten wirken sich negativ auf das Kundenerlebnis aus.

Die mehrfach erwähnte *Kundenzufriedenheit* steht nicht im primären Fokus dieser Arbeit; implizit wird sie dennoch im Rahmen der drei vorgestellten Indikatoren berücksichtigt.

1.4.2.3 Sicherheitsleistung (Effektivität)

Das primäre Ziel von ASCs ist die Sicherstellung, dass Fluggäste keine verbotenen Gegenstände mit sich führen. Dadurch ist die hohe Relevanz der *Effektivität* ersichtlich. Die Erreichung dieses anspruchsvollen Zieles ist aus diversen Gründen nicht trivial. Security-Massnahmen befinden sich in einem unaufhaltsamen Wettrennen gegen den Terrorismus. Die implementierten Prozesse und technischen Gerätschaften müssen die sich stetig weiterentwickelnden Bedrohungen abfangen. Die verfügbaren Ressourcen sind limitiert, zudem kommt die begrenzte Akzeptanz der Fluggäste (bspw. Dillon & Thomas, 2015) erschwerend dazu. Ironischerweise wirkt noch eine weitere Herausforderung auf die Effektivität: Die Auftretenswahrscheinlichkeit (auch *Prävalenz* genannt) von *realen* Gefahren ist in der Praxis bei ASCs gering. Insb. bei visuellen Suchaufgaben (wie bspw. die Erkennung von gefährlichen Gegenständen in Röntgenbildern) führt dies dazu, dass die Wahrscheinlichkeit steigt, eine reale Gefahr zu verpassen (vgl. Wolfe et al., 2009). Diesem Effekt kann unter anderem mit zwei Massnahmen entgegengewirkt werden: (i) In einem bestimmten Intervall werden virtuelle Bildprojektionen von gefährlichen Gegenständen (threat image projection; *TIP*) auf das Röntgenbild eingeblendet (vgl. Schwaninger, 2006b). (ii) Mittels versteckten Tests (*covert tests*; vgl. Schwaninger, 2009; Wetter, Hardmeier & Hofer, 2008) werden Luftsicherheitskontrollen im Realbetrieb auf ihre Erkennungsleistung zum Auffinden von gefährlichen Gegenständen getestet. Gleichzeitig können ausgewertete Resultate dieser beiden Massnahmen Erkenntnisse über die Sicherheitsleistung von einzelnen Mitarbeitenden (bspw. bei TIP-Daten), bzw. von Systemen (bspw. bei covert tests), geben. Im Rahmen dieser Arbeit waren jedoch die entsprechenden empirischen Daten nicht verfügbar.

Folglich steht in der vorliegenden Untersuchung die Effektivität nicht im Hauptfokus. Dennoch wird hiermit explizit auf die *Signaldetektionstheorie* (*SDT*; vgl. bspw. Macmillian & Creelman, 2005; Schwaninger, 2005, S. 113ff) verwiesen: Die *Erkennungsleistung* einer Person oder eines Systems wird nicht nur durch die *Trefferrate* determiniert, sondern berücksichtigt auch die Anzahl der *Fehlalarme*. Wenn ein Objekt (Fluggast/Gepäckstück) durch das Sicherheitspersonal oder installierte technische Gerätschaften als gefährlich eingestuft wird, zieht dies einen teils intensiven Auflösungsprozess (alarm resolution) mit sich (bspw. Sterchi & Schwaninger, 2015). Bedingt durch die limitiert verfügbaren Ressourcen hat dies einen starken Effekt auf die Effizienz (bspw. Dorton & Liu, 2016; Elias, 2010, S. 146ff; Wetter et al., 2010).

Verantwortliche von Luftsicherheitskontrollen sehen sich mit der stetigen Abwägung der beschriebenen Effektivitäts- und Effizienzansprüchen konfrontiert⁶. Die erfolgreiche

⁶ Aus Sicht des Autors könnte für die beschriebene Abwägung auch eine aktuelle Sichtweise der Safety-Forschung herangezogen werden; der *Efficiency-Thoroughness Trade-Off* (vgl. ETTO principle; Hollnagel, 2009).

Umsetzung der Priorisierung beider Arbeitsziele wird in der Literatur als *dual goal Problematik* beschrieben (vgl. bspw. Wetter, Wegge, Jonas & Schmidt, 2012). Eine darauf aufgebaute Untersuchung zu *crew goal settings* bei Luftfahrtsicherheitskontrollen liess erkennen, dass mündlich kommunizierte Hinweise einer vorgesetzten Stelle vor einem Einsatz bspw. einen Effekt auf die Fluggast-Dichte haben kann (vgl. Wetter, Hofer, et al., 2012).

In Anbetracht des Motivationspotenzials aus der aktuellen Tätigkeit (s. Kap. 1.4.2.1), den genannten ökonomischen Aspekten (s. Kap. 1.4.2.2), den stetig steigenden Fluggastzahlen und einer möglichen Zuspitzung der Bedrohungslage sehen sich insb. Gesetzgeber, Flughäfen und Sicherheitsdienstleister mit der Herausforderung konfrontiert, innovative Konzepte für aktuelle und künftige ASCs zu erarbeiten und umzusetzen. In folgendem Kapitel 1.4.3 wird eine im Rahmen dieser Arbeit als relevant befundene Auswahl an aktuell diskutierten Optimierungsansätzen vorgestellt.

1.4.3 Optimierungsansätze

Nach Young und Wells (2011) wurden in der Luftfahrt bisherige Security-Massnahmen primär reaktiv, d. h. anhand vorangegangenen und identifizierten Gefahren, umgesetzt: "This reactive paradigm has resulted in two consequences: (1) the reduction in the number of attacks from a current type of threat and (2) the creation of new threats . . . that the system has not been prepared to mitigate" (S. 312). Zudem wurde bisher auf einen "one-size fits all approach" (Wong & Brooks, 2015, S. 60) gesetzt, bei dem alle Fluggäste mit den gleichen Prozessen und Voraussetzungen geprüft wurden. Aktuelle Bestrebungen deuten auf eine Schwerpunktverlagerung in Richtung proaktive Sicherheitsgewährleistung hin, "to protecting against violent or other criminal acts by persons in and around the entire airport environment. This . . . approach requires technological and human expertise to screen persons for suspicious activity, rather than simply screening them for unauthorized possessions" (Young & Wells, 2011, S. 313). Die International Air Transport Association (IATA) lancierte bspw. ein Programm namens '*Smart Security*' (vgl. IATA & ACI, 2013; IATAv, 2014a, 2014b), welches dieser Entwicklung Rechnung trägt und gleichzeitig den Kundenfokus (bspw. kurze Wartezeiten, minimalinvasive Kontrollen, Sicherheitsempfinden; vgl. a. Sakano et al., 2016) berücksichtigt.

Die Umsetzungsansätze sind breit gefächert und vielseitig. Die *nachrichtendienstliche Prüfung der Fluggäste* stellt in den USA seit Jahrzehnten eine dieser Massnahmen dar. Das in den 90er Jahren implementierte und in der Öffentlichkeit kontrovers diskutierte *computer-assisted passenger pre-screening system (CAPPS; überarbeitete Version CAPPS II)* wurde im Jahre 2009 durch das *secure flight* System abgelöst (bspw. Elias, 2010, S. 167ff). Dabei werden detaillierte persönliche Informationen mit Datenbanken der Geheimdienste abgeglichen, um verdächtige Fluggäste vor dem Flug zu identifizieren. Auch in Europa wird seit wenigen Monaten ein ähnliches System namens *passenger name record (PNR)* (vgl. European Parliament, 2016) implementiert. Kraus und Verner (2016) schlagen zusätzlich ein an Flughäfen installiertes *technikbasiertes Sensornetzwerk* vor. Dieses soll bei Fluggästen bspw. mittels spezifischen Kameras anhand der Oberflächentemperatur potentiell bedrohende und leicht übertragbare Krankheiten⁷ feststellen oder aufgrund von "micro movements and spatial fluctuations . . . using the parameters of vibration" (S. 5) stressbezogene Emotionen auf dem Gesicht eines Fluggastes erkennen können. Zudem

⁷ Kraus und Verner (2016) verweisen insb. auf Symptome, welche durch biologische Angriffsmittel (engl. biohazards) ausgelöst werden können.

schlagen sie die Anwendung von *Terahertz-Scanner* (analog Body Scanner; vgl. a. Bielecki et al., 2012; Wetter, 2013) vor, um anormale Objekte am Körper zu identifizieren. Computergestützte Echtzeit-Auswertungen sollen dabei Anhaltspunkte zu verdächtigen Fluggäste geben (vgl. Dekan, 2014).

Ein weiterer, bspw. in Israel seit Jahren praktizierter, und vielversprechender Ansatz stellt die *Verhaltensanalyse* (engl. behaviour profiling / *behaviour recognition*; BR) durch ausgebildetes Sicherheitspersonal dar. "The theory behind behavior recognition is that when someone is in the process of carrying out a criminal or terrorist act, that person will exhibit behavior that is out of the norm (Maccario, 2013, S. 150). Dabei stehen primär Körperbewegungen (insb. Kopf-, Arm-, Bein-, Gesichts- oder Handbewegungen) als non-verbale Hinweise zu Emotionen und unausgesprochene Gefühle oder Gedanken im Fokus (vgl. a. Wigginton, Jensen, Graves & Vinson, 2014). Im Kontext dieser Arbeit kann zwischen BR-Anwendungen bei *beobachtbaren, regulären Prozessen* (wie eben erwähnt; vgl. bspw. Koller, Wetter & Hofer, 2015, 2016; Maccario, 2013) und bei gezielt herbeigeführten Situationen zur *Aufklärung von Absichten oder getätigten Handlungen* (Lügenerkennung; vgl. bspw. Ekman, 2009; Vrij, Granhag, Mann & Leal, 2011) unterschieden werden. Während die im Zentrum stehenden und bei BR analysierten Verhaltensweisen für beide Anwendungen ähnlich sind, können bei der direkten Konfrontation in einem Gespräch, nebst inhaltlichen Aspekten (vgl. Vrij, 2008), insb. zusätzliche äusserliche Indikatoren (bspw. Gesichtsverfärbungen, Stimme) oder das Sprechmuster (bspw. Denkpausen, Antwortumfang, Satzlänge) berücksichtigt werden (vgl. Ormerod & Dando, 2014).

Die in den USA unter dem Namen 'screening of passengers by observation techniques' (*SPOT*⁸) umgesetzte Anwendung von BR wird auch kontrovers diskutiert. So kritisiert bspw. das Government Accountability Office das seit 2006 angewendete Programm aufgrund der bisher nicht nachweisbaren Effektivität (Government Accountability Office, 2013). Die Ergebnisse der qualitativen Studie von Loffi und Kollegen in Bezug auf SPOT deuten dabei auf eine bisherige Unterpriorisierung der für BR benötigten Fähigkeiten in der Personalauswahl als auch in der Schulung hin (Loffi, Bliss & Depperschmidt, 2013; Loffi, 2014). Die Untersuchungen von Koller et al. (2016) zeigten diesbezüglich auf, dass die Lernbarkeit der Erkennung geplanter krimineller Handlungen anhand BR als gegeben erachtet werden kann. Zudem konnten Hartwig und Bond (2014) in ihrer Meta-Analyse nachweisen, dass geschulte Personen in verschiedenen Settings Lügen zu rund 70% erkennen können. Insgesamt werden diese Hinweise positiv für eine breitere Anwendung von BR mit effektivem Nutzen im untersuchten Setting gewertet, wenn die bisherigen Erkenntnisse aus SPOT berücksichtigt und für den jeweiligen Kontext adaptiert werden.

Alle oben genannten Ansätze können genutzt werden, um Luftsicherheitskontrollen adaptiv zu gestalten, d. h. bspw. ausgehend von einem dem Fluggast zugewiesenen Gefahrenpotential. Im Kontext von Luftsicherheit wird dabei auch von '*risk-based security*' gesprochen (bspw. Wong & Brooks, 2015). Dazu wird nach effektiven und gleichzeitig effizienten Implementierungen geforscht, welche gleichzeitig die aktuellen gesetzlichen Vorgaben erfüllen.

⁸ SPOT basiert auf speziell ausgebildeten behaviour detection officers (BDO), welche das Verhalten von Fluggästen in und um den Flughafen beobachten und ggf. mit weiterführenden Abklärungen intervenieren (Elias, 2010, S. 226ff).

1.4.4 Stand der Forschung; Fokus auf Simulationsstudien

Bis dato beschäftigten sich etliche Publikationen mit *Simulationen* und Berechnungen in den Bereichen *Personenfluss am Flughafen* und *Effizienz/Effektivität an ASCs*. Eigene Recherchen identifizierten dazu über 70 veröffentlichte Studien. Dieser Abschnitt stellt eine Selektion der für diese Arbeit als relevant erachteten Publikationen aus den letzten zehn Jahren vor. Tab. 2 (S. 14) listet eine Auswahl der in den Studien verwendeten grafischen Simulationswerkzeugen auf.

Effizienz bei automatischen Sprengstoffdetektionssystemen

Sterchi und Schwaninger (2015) untersuchten den Einfluss auf Durchsatz, ausgehend von unterschiedlichen explosive detection systems (EDS)-Alarmraten. Dabei verwendeten sie ereignisorientierte Simulationen (discrete event simulations; *DES*; s. Anhang B) und stützen sich auf einzelne Prozesszeitperioden (bspw. für manuelle Gepäckdurchsuchung, Analyse durch Sprengstoffspurendetektor) aus vorgelagerten Experimenten und Beobachtungen (bspw. Mendes, Hättenschwiler, Sterchi & Schwaninger, 2015). Die Resultate deuten darauf hin, dass ein Durchsatzabfall bei moderaten Alarmraten (inkl. Fehlalarme) durch gut geschultes Personal abgefangen werden kann, während bei hohen Alarmraten ein Aufstocken von Personal am Auspendeckungstisch die gewünschte Kompensation bewirken kann.

Effizienz und Effektivität durch Trennung der Fluggäste in Risikogruppen

Verschiedene Studien konnten aufzeigen, dass eine Fluggastkategorisierung auf ASCs für unterschiedliche Risikogruppen Vorteile für die Effektivität (bspw. Chawdhry, 2009), die Effizienz (bspw. Liang, 2015) oder eine Reduktion des benötigten Personals bringen können. Nie, Batta, Drury und Lin (2009) errechneten einen Effekt auf die zwei Letztgenannten durch mathematische Modelle (mittels bayesschen Wahrscheinlichkeiten; vgl. Bättig, 2015) unter Berücksichtigung von differenzierten Fehlalarmraten und Prozesszeiten bei einer Annahme von fünf sich unterscheidenden Linien⁹. Die teils auf Empirie (bezogen auf Auswertungen von US Inland-Flughäfen) basierte Simulationsstudie von van Boekhold, Faghri und Li (2014) konnte signifikante Verbesserungen von Wartezeit und Durchsatz bei der Einführung von vorgängiger Risikoeinschätzung und einer zweistufigen¹⁰ Sicherheitsprüfung aufzeigen. Wie bei Sterchi und Schwaninger (2015), erwiesen sich auch bei van Boekhold et al. (2014) die Crewgrösse des Sicherheitspersonals und die benötigte Zeit um das Gepäck manuell zu durchsuchen als relevante Einflussgrössen auf den Durchsatz.

Effizienz und Effektivität durch Zuweisungsalgorithmus

Die mit Matlab durchgeführte numerische Simulationsstudie von Lee und Jacobson (2011) untersuchte Fluggast-Zuweisungsalgorithmen in verschiedenen Kontrollsystemen (ein- und zweistufig; s. Fussnote¹⁰), abhängig von zufälligen oder anhand von Indikatoren zugewiesenen Risikoeinteilungen (bspw. auf Basis CAPPs und den Untersuchungsergebnissen der ersten Stufe) und aktueller Länge der Warteschlange. Gegenüber einer rein zufälligen Zuweisung konnten sie mit ihrem Zuweisungsalgorithmus Vorteile in punkto Effizienz und Effektivität aufzeigen (vgl. multilevel passenger screening problem; *MPSP*; bspw. McLay, Jacobson & Kobza, 2006; Nie, Parab, Batta & Lin, 2012; Olapiriyakul & Das, 2007). Nikolaev, Lee und Jacobson (2012) verfeinerten die Zuordnung über mehrere Stufen und führten den Begriff multistage sequential passenger screening problem (*MSPSP*) ein. Dabei

⁹ Risikoeinteilung gemäss Department of Homeland Security (zitiert nach Nie et al., 2009): low risk, guarded risk, elevated risk, high risk & severe risk

¹⁰ Zweistufige Sicherheitsprüfungen sind Systeme, bei denen in einer ersten Stufe alle Personen mit einem bestimmten Set von Tests geprüft und eine Auswahl an Personen zusätzlich in einer zweiten Stufe intensiviert geprüft werden (vgl. bspw. Zhang et al., 2011).

konnte das einem Fluggast zugeordnete Gefahrenpotenzial bei jedem Prüfungsschritt dynamisch angepasst werden, welches sich wiederum auf die Prüfungsintensität (s. Fussnote¹⁰) der folgenden Schritte auswirkte. Mittels numerischer Simulationen errechneten sie eine signifikante Effektivitätssteigerung, verglichen mit einer nicht adaptiven Prüfung oder einer rein zufälligen Zuweisung.

Effekte von Anzahl Gepäck und Alarmraten auf Durchsatz

Die Studie von Dorton und Liu (2016) untersuchte mittels Kombination der Warteschlangentheorie (Teilgebiet der Wahrscheinlichkeitstheorie) und DES relevante Prädiktoren für durchsatzrelevante Kenndaten. Die Datenbasis stützte sich auf eine Mischung von zeitlich und örtlich unterschiedlichen Erhebungen sowie auf vorgelagerte Studien. Dabei konnten sie die Alarmrate als kritischen Prädiktor auf den Durchsatz eruieren, während die Anzahl Gepäckstücke keinen signifikanten Einfluss zeigte. Letztere wies jedoch einen moderat signifikanten Effekt auf die Prozesszeit pro Fluggast im System aus.

Personenfluss, menschliches Verhalten und Fluggast-Charakteristik

Kierzkowski und Kisiel (2015) modellierten eine abstrakte DES unter Teileinbezug realer Daten (bspw. Anzahl Flüge pro Tag, Passagieraufkommen) mit dem Ziel, die Anzahl benötigter ASCs unter Berücksichtigung der Effektivität zu eruieren. Die Studie von Cheng, Fookes, Reddy und Yarlagadda (2014) untersuchte Personenströme von Check-in bis Boarding unter Berücksichtigung von Gruppenverhalten mittels agentenbasierter (vgl. Anhang B) DES. Bezogen auf das individuelle Verhalten wurden insb. die Fluggast-Attribute Altersklassen, Geschlecht und Reisetypus (bspw. Geschäftsreisende, Touristen; vgl. a. Ma, Fookes, Kleinschmidt & Yarlagadda, 2012; Ma, Kleinschmidt, Fookes & Yarlagadda, 2011) als relevant identifiziert. Kraal, Popovic und Kirk (2009) untersuchten mittels ethnographischer Videoanalyse das Verhalten von Fluggästen anhand ihres Handgepäcks. Sie konnten dabei innerhalb Fluggastgruppen einzelne Gepäckstücke eruieren, bei welchen die angenommene Fluggast-Zugehörigkeit von Check-in bis zum Boarding mehrmals wechselte. Eine eindeutige Fluggast-Zuordnung ist entsprechend kritisch.

Herleitungen von Prozessmodellen

Die Arbeit von Bassetti, Ferrario und Campos (2015) bildet in dieser Auflistung eine Ausnahme, denn sie stellten den Herleitungsprozess des Simulationsmodells ausführlich dar. Dazu adaptierten und ergänzten sie das *Collaboration Observation Model* (vgl. Oliveira, Antunes & Guizzardi, 2007) und konnten mittels Simulationen kritische Situationen vor der Einführung von techno-organisationalen Veränderungen identifizieren.

Weitere Publikationen beziehen sich auf kontextspezifische Simulationsumgebungen, die mehrheitlich in Form von Case Studies dargestellt wurden (bspw. Belyavin, 2009, 2014; Perboli, Musso, Perfetti & Trapani, 2014; Skorupski & Uchronski, 2016; Wilson, Pryor, So & Roe, 2007; Wilson, Roe & So, 2006).

Aus den Publikationen können insb. folgende sechs Erkenntnisse extrahiert werden: (i) Keine Simulation bezog sich auf ein empirisch erhobenes Prozessmodell in Kombination mit im selben Setting erhobenen quantitativen Daten. (ii) Mit Ausnahme von Bassetti et al. (2015) fokussierte keine Studie auf Aspekte der psychologischen Arbeitsgestaltung. (iii) Keine Arbeit bezieht sich explizit auf durch Security Mitarbeitende durchgeführte Verhaltensanalysen der Fluggäste. (iv) Die Mehrheit der Arbeiten weist einen Hintergrund aus den Disziplinen Mathematik oder Ingenieurwissenschaften auf. (v) Numerische und grafische Simulationen werden in Publikationen in etwa zu einem gleichen Anteil

verwendet. (vi) Die vorgängige Einteilung der Fluggäste in unterschiedliche Risikogruppen bringt insb. Vorteile in der Effektivität.

Tab. 2: In Publikationen verwendete DES-Tools mit grafischen 3D-Animationen

Name	Bemerkungen	Beispielstudien
Security Checkpoint Optimizer (<i>SCO</i>)*	2-D Tool; Northrop Grumman, US	(Wilson et al., 2007, 2006)
<i>AirSIM</i> *	DES, basierend auf OMNeT++	(Perboli et al., 2014)
Fuzzy Passenger Security Control Assessment (<i>FUPSCA</i>)*	Basierend auf Fuzzy-Logik	(Skorupski & Uchronski, 2016)
Integrated Performance Modeling Environment (<i>IPME</i>)*	3D-Simulation, von Fa. QinetiQ, UK	(Belyavin, 2009, 2014)
<i>AnyLogic</i>	Kommerzielles 3D-DES; AnyLogic, US	(Cheng et al., 2014)
<i>Arena</i>	Kommerzielles 3D-DES; Rockwell Automation, US	(Zhang, Luh & Wang, 2011)
<i>FlexSim</i> (2016)	Kommerzielles 3D-DES; FlexSim, US	(Kierzkowski & Kisiel, 2015; Sterchi & Schwaninger, 2015)

Anmerkung. *: Das Werkzeug wurde primär für Optimierungen von ASCs entwickelt.

1.5 Fragestellungen und Vorgehen

Die oben beschriebenen Aspekte und die Komplexität von ASCs legen nahe, potenzielle Optimierungen vor einer Umsetzung in der Praxis unter priorisierten Gesichtspunkten zu evaluieren. Mit einer bewussten Inklusion psychologischer Aspekte setzt diese Studie hier an. In dieser Arbeit wurde ein potenzieller Handlungsbedarf bei motivationspsychologischen Aspekten der Arbeitsgestaltung für das Personal gesehen (s. Kap. 1.4.2.1). Bis heute gehören Security Mitarbeitende mitunter zu den wichtigsten Sicherheitsfaktoren (s. Kap. 1.4.2.3) in der Luftfahrt und dienen der höheren Effizienz (s. Kap. 1.4.2.2). Ergebnisse aus Simulationen können allgemein dazu beitragen, relevante Kenndaten aus modellierten Szenarien zu berechnen und versprechen dadurch wichtige Antworten, insb. zu relevanten ökonomischen Faktoren (bspw. Durchsatz, Fluggast-Dichte).

Wie bereits vorgängig erwähnt, dienen die vier durchgeführten Vorstudien (Kap. 2) der Modellierung eines realitätsnahen, simulierten und validierten Prozessabbildes. Die Hauptstudie (Kap. 3) wendet dieses Simulationsmodell für eine motivationstheoretisch geleitete Optimierung der Arbeitsgestaltung praktisch an. Die erste Fragestellung fokussiert entsprechend auf die Modellkonstruktion der Simulation und gilt für alle vier Vorstudien:

Welche Faktoren und Prozesse sind bei einer realitätsnahen Simulation eines ASCs zu berücksichtigen, um die Effizienz unter dem Aspekt variierender Fluggast-Charakteristik valide abzubilden?

Dazu werden heutige Prozesse an einem ASC eines europäischen Flughafens empirisch untersucht und als Teil eines *formalen Modells*¹¹ in Form von Prozessabläufen dargestellt. Für die Bestimmung von Prozessparametern folgten detaillierte Videoanalysen zu zwei Zeitpunkten (T1, T2). Die Daten der beiden Untersuchungen unterschieden sich insb. hinsichtlich Fluggast-Charakteristik und Aussentemperatur (s. Kap. 2.2.1.1). Gefundene Zusammenhänge von Prozessparametern (bspw. Zeitperioden und Häufigkeiten) wurden auf Basis der erhobenen Daten von T1 statistisch exploriert und mittels Korrelations-, Wahrscheinlichkeits- und Verteilungsmodellen beschrieben. Die Daten von T2 dienen dabei als Basis für eine Replikation der Untersuchung und Validierung der explorierten Modelle.

In einem weiteren Schritt wurden die Daten der Prozessanalyse mit den statistischen Modellen konsolidiert und in eine Simulationsumgebung implementiert. Die Ergebnisse aus der Simulation wurden wiederum mit den empirischen Daten der Videoanalyse (T1) validiert. Dies mit dem Ziel, relevante Leistungsindikatoren der Simulation mit den realen Erhebungen zu vergleichen. Im Anschluss wurden die Modellparameter von T2 in die Simulation übernommen. Je besser die Leistungsindikatoren der Simulation mit den erhobenen Daten übereinstimmen, desto mehr kann von einer Passung des Modells mit der Realität ausgegangen werden.

In der Praxis stossen soziotechnische Prozessoptimierungen insb. dann auf Akzeptanz, wenn bei der Analyse auch ökonomische Aspekte (s. Kap. 1.4.2.2) berücksichtigt werden. Die in der Hauptstudie untersuchten Szenarien verknüpfen motivationstheoretische Optimierungspotenziale mit aktuellen Entwicklungen im Bereich Security (s. Kap. 1.4.3).

Folglich bezieht sich die Fragestellung der Hauptstudie auf die Evaluation der simulierten Szenarien:

Welche Effekte hat eine motivationstheoretisch optimierte Arbeitsgestaltung auf die Effizienz von Sicherheitskontrolllinien?

Aus den Ergebnissen werden potenzielle Implikationen für die Praxis und die Wissenschaft abgeleitet und diskutiert.

Zusammengefasst wurden im Rahmen dieser Arbeit Daten einer realen twin line empirisch erhoben (Kap. 2.1, 2.2), Modellierungen abgeleitet (Kap. 2.3), eine Linie virtuell durch eine Simulation nachgebildet und validiert (Kap. 2.4) um daraus motivationstheoretisch und soziotechnisch optimierte Szenarien zu definieren, simulieren und evaluieren und deren potenziellen Implikationen für die Praxis und Wissenschaft zu diskutieren (Kap. 3).

1.6 Aufbau der Arbeit und Vertraulichkeit

Der Aufbau dieser Arbeit folgt einem sequentiellen Mehrstudien-Design (gem. APA *multiple-experiment paper*). Wie in Kapitel 1.5 dargestellt, befassen sich die Vorstudien mit der Erarbeitung eines validierten Simulationsmodells des Status-Quo. Die jeweilige Beschreibung des methodischen Vorgehens, die Darstellung der Resultate und deren Interpretation werden in den einzelnen Abschnitten des Kapitel 2 erläutert. Kapitel 3 befasst sich mit der Hauptstudie, welche sich auf simulationsgestützte soziotechnische Optimierungen der Arbeitsgestaltung fokussiert. In den entsprechenden Unterkapiteln werden die angewandten Methoden vorgestellt, die Resultate dargestellt, interpretiert und Implikationen für die Praxis und Wissenschaft abgeleitet. In Kapitel 4 wird die Arbeit kritisch gewürdigt, kombiniert mit der Diskussion weiterführender Gedanken zu studienübergreifenden Erkenntnissen. Kapitel 4.3 schliesst durch einen Wechsel auf die Metaebene mit Anregungen auf potenzielle weiterführende Fragestellungen sowie einem kurzen persönlichen Rückblick.

Um die Verständlichkeit im Kontext der Luftsicherheit zu gewährleisten, wurden in dieser Arbeit fachspezifische Begriffe und Abkürzungen (Abkürzungsverzeichnis: s. Anhang A) teils aus dem deutschen oder englischen Sprachraum verwendet. Diese sind primär an die im Untersuchungssetting verwendeten Terminologien, und wenn nicht eindeutig, an zitierte Publikationen und öffentlich zugängliche Verordnungen (s. Kap. 2.1.1.2), angelehnt.

¹¹ Formales Modell: abstrahierte Notation der Realität; s. a. Einleitung Kap. 2, Anhang B.

Vertraulichkeit

Relevante Ergebnisse, welche vom Autor als sensibel eingestuft wurden und nicht weiter verallgemeinert werden konnten, sind mit einem Schlosssymbol gefolgt von einer Verweisnummer (bspw. 🔒¹) markiert und in einem separaten, vertraulichen Anhang ausgeführt.

Beide Forschungspartner (s. Kap. 1.3.2) haben anhand eines vorab gesichteten Entwurfs zudem weitere als sicherheitsrelevant erachtete Inhalte identifiziert. Die entsprechenden Beschreibungen wurden in dieser Endfassung unkenntlich gemacht und anhand der genannten Notation referenziert. Sie sind ebenfalls im vertraulichen Anhang ausgeführt.

2 Vorstudien: Modellierung des Status-Quo

Die vier Vorstudien verfolgten das Ziel, ein elaboriertes Werkzeug, in Form einer realitätsnahen und empirisch validierten Simulation des Status-Quo, zu erstellen. Diese soll erstmals in der Hauptstudie (s. Kap. 3) sowie in potenziell kommenden Untersuchungen Anwendung finden. Der beschriebene Status-Quo bezieht sich auf eine twin line an einem europäischen Flughafen im Erhebungszeitraum Februar bis April 2016. Dabei stützt sich insb. dieser Studienteil auf eine breite Methodenpalette der angewandten Psychologie. Die einzelnen Untersuchungsschritte lassen sich in zwei Cluster unterteilen (s. Abb. 2): Die Analyse des konzeptuellen Modells (Kap. 2.1 - Kap. 2.3) sowie die Implementierung, Verifikation und Validierung (Kap. 2.4).

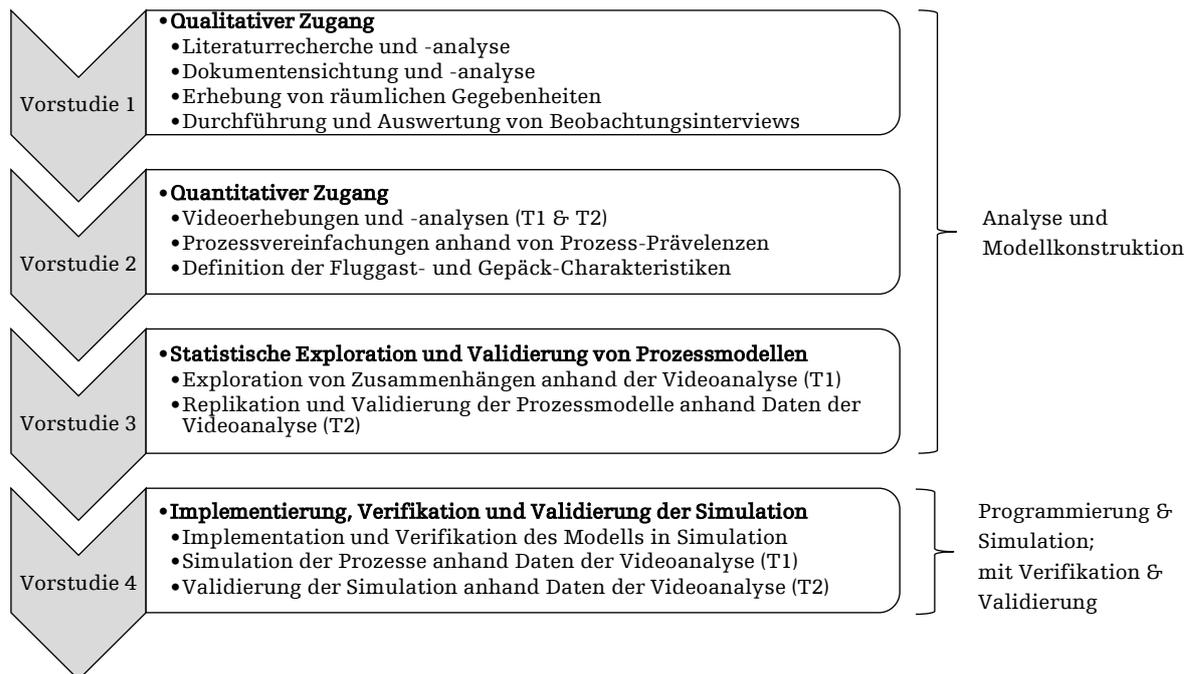


Abb. 2: Darstellung der Erhebungs-, Analyse- und Validierungsschritte der Vorstudien

1. Analyse und Modellkonstruktion (Vorstudien 1-3)

"Die Wirklichkeitskonstruktion in Organisationen ist weder ein passiver Prozess noch ein rein individueller Akt der Aufnahme und Interpretation von Wahrnehmungen, sondern weitgehend ein Produkt kommunikativer Aushandlung, in die soziale Beziehungen, zeitliche Verankerungen, sachliche Zusammenhänge oder auch das physische Umfeld einfließen" (Froschauer, 2009, S. 327). Beziehen sich Modelle auf beobachtbare Daten, von welchen die inneren Abläufe nicht im Detail bekannt sind, wird von phänomenologischen Modellen gesprochen (bspw. Günther & Velten, 2014). Dabei wird versucht, das Verhalten von Systemkomponenten (und dadurch des Systems) aufgrund von erfassbaren Eigenschaften vorherzusagen (vgl. a. Law, 2015). Eine simulationsgestützte Untersuchung kann auf Modelle verschiedener Ebenen und Arten aufbauen. Zusammen ergeben die inkludierten Modelle einer Simulation das formale Modell (bspw. Saam & Gautschi, 2015). Je nach Disziplin wird dieses auch konzeptuelles Modell genannt (bspw. Oberkampff & Roy, 2010). Simulationen können die Gesamtheit der Realität (das Urbild) jedoch nie komplett abbilden (vgl. Banks, Carson, Nelson & Nicol, 2010; Günther & Velten, 2014; Law, 2015; Oberkampff & Roy, 2010).

Stachowiak (1973, zitiert nach Saam, 2015) differenziert Modelle gegenüber dem Urbild insb. auf drei Dimensionen:

- (i) *Das Abbildungsmerkmal*. Modelle sind stets Modelle von etwas; sie sind nie identisch mit dem Urbild.
- (ii) *Das Verkürzungsmerkmal*. Modelle können niemals alle, sondern nur die dem Konstrukteur relevanten Merkmale des Urbildes enthalten.
- (iii) *Das pragmatische Merkmal*. Modelle sind ihren Originalen nicht per se eindeutig zugeordnet. Sie erfüllen ihre Ersetzungsfunktion (a) für bestimmte -erkennende und/oder handelnde, modellbenutzende - Subjekte, (b) innerhalb bestimmter Zeitintervalle und (c) unter Einschränkung auf bestimmte gedankliche oder tatsächliche Operationen. (S. 79)

Im Rahmen der *Modellkonstruktion* lag der methodische Fokus auf der deskriptiven Erhebung von Prozessen, Zeiten und Häufigkeiten sowie der statistischen Exploration von Zusammenhängen und dem Ableiten von validierten Modellen. Die qualitativen (s. Kap. 2.1) und quantitativen (s. Kap. 2.2) Zugänge sind im Grundsatz an eine *psychologische Tätigkeitsanalyse* nach Ulich (2011) angelehnt und wurden zeitlich mehrheitlich parallel durchgeführt. Durch die Kombination unterschiedlicher Erhebungsmethoden (im Sinne von Methoden- und Datentriangulation; vgl. Flick, 2011, 2014), einem iterativen Vorgehen (s. bspw. Kap. 2.1.1.4, 2.2.1.1), verschiedenen Zwischenvalidierungen (s. bspw. Kap. 2.2.1.1, 2.2.1.2, 2.3.1.1) und durch unterschiedliche Erhebungszeitpunkte konnte den angesprochenen Limitationen von Modellen weitgehend Rechnung getragen werden. Zudem wurde der für die Simulationsmodellierung übliche Methodenmix (vgl. bspw. Banks et al., 2010; Günther & Velten, 2014; Law, 2015) gezielt adaptiert und mit in der Psychologie gebräuchlichen Methoden der Datenerhebung, Exploration und Validierung ergänzt. Für die Validierung der explorierten Modelle (s. Kap. 2.3) wurde strikte sequentiell vorgegangen. Dafür wurden die Modelle der ersten Videoanalyse in einem folgenden Schritt auf Basis einer zweiten, unabhängigen Videoanalyse repliziert.

2. Programmierung und Simulation (Vorstudie 4)

Die konsolidierten Erkenntnisse aus der Modellkonstruktion wurden in die *Umsetzung* einer realitätsnahen Simulation implementiert, welche in Kapitel 2.4 vorgestellt wird. Abschliessend wurden die Simulationsergebnisse des Status-Quo mittels Vergleich mit den empirisch erhobenen Daten validiert.

2.1 Qualitativer Zugang

Die Erfassung von prozeduralen Gegebenheiten ist insb. im Kontext von Luftsicherheitskontrollen sensibel, da Informationen über Prozesse und Kenndaten vertraulich und dadurch nur bedingt zugänglich sind. Der gewählte qualitative Zugang der *Vorstudie 1* erlaubte im gegebenen Setting eine gezielte, effiziente und effektive Erfassung der im Rahmen dieser Untersuchung benötigten Informationen. Das Ziel dieses Studienteils ist die Erfassung der relevanten Prozesse und der spezifischen Umgebungsbedingungen (bspw. technische und räumliche Gegebenheiten). Das folgende Kapitel 2.1.1 beschreibt die angewendeten Methoden, gefolgt von den Ergebnissen (Kap. 2.1.2) und einer kurzen Schlussfolgerung (Kap. 2.1.2.4) des qualitativen Zugangs.

2.1.1 Methodik

2.1.1.1 Literaturrecherche und -analyse

Ausgangspunkt für ein erstes Verständnis des Kontrollprozesses war eine eingehende Literaturrecherche und -analyse von themenverwandten Forschungsarbeiten und

Veröffentlichungen im Kontext der Luftfahrtsicherheit. Dadurch konnte insb. ein verallgemeinertes Bild der technischen Einrichtungen und des im Kontext verwendeten Wortschatzes erlangt werden. Die Erkenntnisse flossen in verschiedene Teilschritte dieser Arbeit ein: bspw. Qualitative Erhebungen, Kap. 2.1.2; Quantitative Erhebungen, 2.2.2; Implementierung in Simulation, Kap. 2.4.2

2.1.1.2 Dokumentensichtung und -analyse

In einem nächsten Schritt wurde eine Dokumentenanalyse (DA; Coffey, 2014; Flick, 2014) von öffentlich zugänglichen regulatorischen Verordnungen durchgeführt. Dies mit dem Ziel, einen Überblick über die Mindestanforderungen des Kontrollprozesses zu erhalten. Weichbrodt (2015) beschreibt einen der Nutzen von Regulationen für betriebliche Kontexte passend als "formal rules can also be used to teach newcomers, and furthermore to replicate the underlying routines" (S. 222). Als Basisdokumente dienten aktuell gültige internationale (bspw. der International Civil Aviation Organization; ICAO; vgl. Weber, 2015, S. 100ff) und europäische Verordnungen¹²; insb. die Verordnungen Nr. 300/2008, 185/2010 und 104/2013 der Europäischen Kommission (2008, 2010, 2013a). Diese sind für den untersuchten Kontext bindend. Das BAZL erlässt zusätzlich ergänzende, schweizweit gültige Vorschriften¹³. Diese werden von Flughäfen für den jeweiligen Kontext in ihrem Sicherheitskonzept umgesetzt¹⁴ sowie teilweise für die Öffentlichkeit via Medien transparent kommuniziert (vgl. bspw. Flughafen Zürich AG, 2015a, 2015b; Keystone, 2015; Watson, 2015). Wie in diesem Kapitel einleitend erwähnt, können im Kontext von Luftsicherheitskontrollen aus Sicherheitsgründen nicht alle Prozesse im Detail veröffentlicht werden. Zudem besteht oftmals eine Diskrepanz zwischen *work as imagined vs. work as actually done* (vgl. bspw. Dekker, 2006; Hollnagel, Woods & Leveson, 2013). Im Zusammenhang mit Safety-Analysen wird beschrieben, dass "operations 'as imagined' . . . are not always as amenable to capture or analysis [*sic*] as the idealised control model of a systems incl. starting position would be" (Dekker, 2006, S. 89). Um diesen Aspekt gebührend zu berücksichtigen, wurden in einem folgenden Schritt zusätzlich räumliche Gegebenheiten und Prozesse vor Ort erfasst (s. insb. Kap. 2.1.1.3, 2.1.1.4). Im Sinne einer Methoden- und Datentriangulation (Flick, 2011, 2014) wurden die aus den öffentlich zugänglichen Dokumenten gewonnenen Daten mit vor Ort erhobenen Daten konsolidiert.

2.1.1.3 Erhebung von räumlichen Gegebenheiten

Ein von der Flughafen Zürich AG zur Verfügung gestelltes elektronisches Layout der untersuchten Räumlichkeiten diente als primäre Datengrundlage. Zudem erlaubte eine von zwei Fachpersonen der Forschungspartner begleitete Begehung der ASC-Räumlichkeiten eine vertiefte Klärung von Fragen zur technischen Infrastruktur. Zusätzlich wurden Referenzmasse des Layouts sowie detaillierte Masse der betroffenen Linien (bspw. Tischhöhen, Tray-Abmessungen, Bandgeschwindigkeiten) vor Ort erfasst und für die graphische Implementierung in der Simulation dokumentiert. Ferner dienten veröffentlichte Fotos (bspw. Flughafen Zürich AG, 2016c) und visuelle Daten der Videoanalyse (s. Kap. 2.2.1.1) dem farblichen und räumlichen Abgleich von einzelnen Modellkomponenten (s. a. Anhang E-I). Diese Informationen wurden direkt im Simulationsmodell implementiert und sind im Rahmen dieser Arbeit nicht explizit ausgewiesen.

¹² Für eine strukturelle Übersicht der verfügbaren Verordnungen sei auf dal Pozzo (2015, S. 66ff) verwiesen.

¹³ Die angesprochenen Dokumente vom BAZL sind nicht öffentlich zugänglich.

¹⁴ Der Interpretationsspielraum wird vom Flughafen als gering bezeichnet; bspw. können von vorgegebenen Methoden und Verfahren die für das Setting passendsten ausgewählt werden.

2.1.1.4 Beobachtungsinterviews

Das Ziel dieser Erhebungsphase war es, den realen Ablauf des Kontrollprozesses unter Berücksichtigung von folgenden drei Fokussen zu erheben: *Wo* (räumlich), *geschieht was* (Entscheidungen), *weshalb* (Gründe). Aus praktischen Gründen konzentrierte sich dabei das Erhebungssample auf die *Sicherheitsbeauftragten Flughafen (SBF)* als eigentliche Systemspezialisten - obgleich aus Simulationsperspektive Fluggäste die wichtigen Akteure im System darstellen.

Mit den Tätigkeiten der SBF ist ein hohes Mass an Verantwortung bei vielen kurzen Entscheidungsphasen anhand teils subjektiver Einschätzungen verbunden. Diese sind oftmals nicht direkt beobachtbar. SBF werden von verschiedenen technischen Systemen unterstützt, welche Informationen präsentieren oder Entscheidungen teils komplett abnehmen können. Die Methode *Beobachtungsinterview* (BI) bietet sich aus diversen Gründen für bedingungsbezogene und systematische Prozessanalysen an. Während *wo* und *was* noch relativ einfach erhoben werden könnte (bspw. durch Videoanalysen), ergänzt die Kombination von Beobachtungs- und Befragungselementen zusätzlich ein situatives Erheben der individuellen Denkprozesse (Kuhlmann, 2009). Dabei können aus einer konkreten Situation zusammenhängende Handlungs- und Entscheidungsalternativen, Rahmenbedingungen (oder Voraussetzungen) für bestimmte Handlungen, potenzielle Folgewirkungen, Interaktionen mit Mensch und Technik sowie zeitliche und inhaltliche Verordnungen angesprochen und erhoben werden (vgl. Kuhlmann, 2009, S. 85). Diese Informationen beruhen teils auch auf Erfahrungen der Mitarbeitenden. Bei BIs können "die für die Beantwortung der Fragen erforderlichen Informationen . . . im freien Dialog mit dem/der Arbeitenden während der Beobachtung der Arbeitstätigkeit beschafft werden" (Dunckel, 1989, zitiert nach Ulich, 2011, S. 168). BIs bieten damit den wichtigen Vorteil, dass Situationen des regulären Betriebs flexibel aufgegriffen und im realen Kontext konkret befragt werden können. Das explorative Vorgehen bezieht sich dadurch "unmittelbar auf faktisches Handeln sowie auf technische und organisationsstrukturelle Artefakte und Voraussetzungen" (Kuhlmann, 2009, S. 94).

Durchführung der Erhebung

Die BIs fanden an zwei Erhebungsterminen im Februar statt. Alle beteiligten SBF wurden kurzfristig, während des laufenden Betriebs, durch den Sektorchef (verantwortlich für Etage) vor Ort informiert. Die Erhebungen fanden parallel an zwei Linien durch den Autor und eine weitere vorgängig weitgehend geschulte beobachtende/interviewende Person statt. Die Mithilfe der SBF basierte auf Freiwilligkeit. Zusammen mit einer kurzen Vorstellung der Studie wurde dies beim ersten Kontakt transparent kommuniziert. Von insgesamt 27 Personen haben bis auf zwei alle Befragten einer auditiven Aufzeichnung zugestimmt.

Der im Anhang C-I dargestellte Leitfaden wurde in zwei Versionen mit jeweils unterschiedlichen Layout-Abbildungen (aufgrund abweichenden infrastrukturellen Gegebenheiten) erstellt. Nebst demographischen Angaben zu den befragten Personen, beinhaltete der Leitfaden auch Raum für Information zum Erhebungszeitpunkt, Notizen und Skizzen spezieller Vorkommnisse sowie einem Postskriptum. Für jede Crewfunktion¹⁵ verfügte der Leitfaden zudem über eine dedizierte Seite mit Kategorien, Beispielfragen und einem Layout für räumliche Angaben der erhobenen Prozesse. Um pro Funktion, Kategorie und befragter Person eine möglichst ausgeglichene Frageauswahl zu erlangen, konnte pro

¹⁵ Crewfunktionen: Lader/in, Operator/in, Bogenpersonal und Auspacker/in, s. Kap. 2.1.2.1

gestellte Frage ein entsprechender Verweis in der Tabelle gemacht werden. Dadurch konnte eine hohe Strukturierung der Fragen erlangt und zeitgleich Redundanzen weitgehend vermieden werden. Abhängig von der situativen Arbeitsauslastung wurden die einzelnen SBF sequentiell während fünf bis zehn Minuten bei ihrer Arbeit begleitet und nach Möglichkeit direkt befragt. Für die Befragung der Funktionen 'Lader/in'¹⁶ und 'Operator/in'¹⁶ konnte auf eine weitere Person in der Funktion eines/r 'Springers/in'¹⁶ oder den Sektorchef zurückgegriffen werden. Dieses Vorgehen erlaubte in kurzer Zeit eine breite Auswahl SBF in verschiedenen Funktionen zu erreichen, ohne den Betrieb über eine lange Zeitperiode potenziell negativ zu tangieren. Ein vorgesehene Feedbackgespräch (vgl. Kuhlmann, 2009) hat aus betrieblichen Gründen im gegebenen Setting nicht stattfinden können.

Transkription und Auswertung der Daten

Die Audioaufnahmen der auf Schweizerdeutsch geführten Dialoge wurden zur besseren Verständlichkeit in Schriftdeutsch transkribiert. Im Rahmen der Transkription wurde die Verschriftlichung von parasprachlichen Merkmalen und Sprechpausen bewusst verzichtet, da diese für die Zielsetzung der Prozessbeschreibung als nicht relevant erachtet wurden. Um gesprochene Satzgliederungen anzuzeigen, wurden die Interpunktionszeichen Punkt und Komma verwendet. Alle Daten, welche einen Rückschluss auf die Person zugelassen hätten, wurden anonymisiert (vgl. Helfferich, 2011).

Mit dem Ziel, "bestimmte Themen, Inhalte, Aspekte aus dem Material herauszufiltern und zusammenzufassen" (Mayring, 2010, S. 103), wurde das Vorgehen der Analyse an die *inhaltliche Strukturierung* nach Mayring (2010) angelehnt. Die Kategorisierung der Textpassagen erfolgte mit dem Softwarepaket MAXODA 12 (s. Anhang F). Die Hauptkategorien wurden primär theoriegeleitet, d. h. deduktiv, anhand der vier Crewfunktionen definiert. Relevante spezifische Fälle, Tätigkeiten oder Vorkommnisse wurden induktiv als jeweilige Unterkategorien ergänzt. Weiter wurden Angaben über technische Gerätschaften, Spezialfälle sowie nicht direkt erfragte periphere Informationen als zusätzliche Haupt-, bzw. Unterkategorien ergänzt (s. Anhang C-II); bspw. Angaben zu Arbeitsbedingungen, Schichtdauer oder persönlichen Strategien. Letztere standen nicht im Fokus der Erhebung und wurden entsprechend nicht weiter analysiert.

Die Zuordnung der Passagen auf die Kategorien erfolgte in mehreren Iterationsschlaufen. Aus den Codierungen wurden die inhaltstragenden Elemente extrahiert. Der zusammengefasste Output der prozessrelevanten Textanalysen wurde als graphische Notation in Form einer Prozessdarstellung nach DIN 66001¹⁷ beschrieben (s. Kap. 2.1.2.2, Anhang C-IV). Die während dem BI auf dem Leitfaden skizzierten räumlichen Informationen ergänzten die Prozessdarstellungen. Aus den Analysen konnten zudem weitere prozessübergreifende Abläufe und technische Beschreibungen in Textform rekapituliert werden (s. Kap. 2.1.2.1, 2.1.2.3).

Beschreibung der Stichprobe

Die BIs fanden im Februar an zwei verschiedenen Wochentagen, mit knapp zwei Wochen Unterbruch, auf jeweils zwei Linien (I, II) und durch jeweils zwei Interviewende (s. Tab. 3; a= Autor; b/c= weitere geschulte Person) statt. Alle SBF-Crews bestanden aus jeweils fünf

¹⁶ Ein/e Lader/in hilft dem Fluggast beim Bereitlegen des Gepäcks und der persönlichen Gegenständen vor der Röntgenmaschine (s. Kap. 2.1.2.1). Ein/e Operator/in ist ein/e SBF, welche/r die Röntgenbilder am Bildschirm beurteilt (s. Kap. 2.1.2.1). Ein/e Springer/in ist zusätzliches, nicht fix zugeteiltes SBF-Personal pro Etage.

¹⁷ Siehe bspw. Diehl (2007) für Prozessdarstellungen im Softwareentwicklungskontext; Anhang C-III

Personen: drei Frauen und zwei Männer. Es nahmen total 24 SBF (inkl. ein/e Springer/in; zwei Enthaltungen) und ein Sektorchef an den Erhebungen teil ($n=25$). Daraus ergaben sich 5:30h Erhebungszeit (44 A4-Seiten Transkription).

Die in Tab. 3 dargestellte Stichprobe und die Anzahl Teilnehmenden resultierte als Kompromiss unterschiedlicher Anforderungen (Praxis vs. Wissenschaft): Der laufende Betrieb und die Tätigkeiten der Crew-Mitglieder sollten möglichst wenig beeinträchtigt werden, während eine grösstmögliche Vielfalt in punkto Wochentag, Tageszeit und Merkmale der Crewkomposition (Verteilung von Geschlecht, Alter, Dienstalter und Arbeitspensum) erreicht werden sollte (*interne Heterogenität*; vgl. bspw. Döring & Bortz, 2016; Froschauer, 2009; Rapley, 2014). In der Abteilung Passagier- und Gepäckkontrollen wurden zum Zeitpunkt der Erhebung total 697 SBF (396 Frauen, 301 Männer) mit einem durchschnittlichen Alter von $M=44.63$ Jahren ($SD=11.9$) [min=22, max=65], Dienstalter von $M=8.00$ Jahren ($SD=6.1$) [0, 42] und mittleren Arbeitspensum von $M=74\%$ ($SD=21\%$) [30%, 100%] beschäftigt.

Tab. 3: Demographische Angaben zu den Crews der Beobachtungsinterviews

Crew	Erhebungsperiode	Linie	Interviewer/in	Alter; Jahre	Dienstalter	Arbeitspensum; %
A	Donnerstag; μ^1	I	a	μ^1	μ^1	μ^1
B	Donnerstag; μ^1	II	b	μ^1	μ^1	μ^1
C	Donnerstag; μ^1	II	b	μ^1	μ^1	μ^1
D	Dienstag; μ^1	I	c	μ^1	μ^1	μ^1
E	Dienstag; μ^1	II	a	μ^1	μ^1	μ^1

Anmerkungen. Werte ohne Klammern stellen die Mittelwerte (M), Werte in runden Klammern die Standardabweichung (SD) und Werte in eckigen Klammern die Minimal- und Maximalwerte [min, max] dar. Die aggregierten Daten (Alter, Dienstalter und Arbeitspensum) wurden von FPSTA-FE zur Verfügung gestellt. Für den Bericht wurden die Angaben zusammen mit den exakten Crew-Einsatzzeiten als vertraulich klassifiziert.

2.1.2 Ergebnisse und Diskussion

Für ein besseres Verständnis der folgenden Ergebnisse werden in Kapitel 2.1.2.1 die in der Studie relevanten Prozesseinheiten, Gerätschaften und dazugehörige Begriffe¹⁸ aus Sicht eines Fluggastdurchgangs vorgestellt. Für weiterführende Informationen zu den einzelnen Gerätschaften sei insb. auf aktuelle luftfahrtspezifische Literatur (bspw. Ashford et al., 2013, S. 265ff; Elias, 2010, S. 193ff; Kazda & Caves, 2015, S. 331ff; Rodrigues & Cusick, 2012, S. 269ff; Wetter, 2013; Young & Wells, 2011, S. 287ff) sowie für Details zu Sprengstofferkennungsgesetze bspw. auf Bielecki et al. (2012) verwiesen.

Kapitel 2.1.2.2 stellt die vereinfachte Gesamtübersicht der Prozessabläufe aus Fluggastperspektive grafisch dar, während Kapitel 2.1.2.3 ergänzende Ergebnisse auf Linien- und Crewebene liefert.

2.1.2.1 Flughafen-spezifische Begrifflichkeiten und Infrastruktur

Die vor Ort vorhandenen und in der Prozessanalyse erwähnten technischen Gerätschaften (bspw. ❶) sind in Abb. 3 anhand des Layouts der Linie II visualisiert, in Kombination mit den in Kap. 2.1.2.2 dargestellten Prozessen (bspw. ①). Die ②-Symbole stellen die von den Fluggästen meist genutzten Warteräume dar.

¹⁸ Wie im Kap. 1.6 beschrieben, sind die Begrifflichkeiten primär an im Untersuchungssetting verwendeten Terminologien, sowie wenn nicht eindeutig, an zitierte Publikationen und öffentlich zugängliche Verordnungen angelehnt. Dadurch entstammen die Begrifflichkeiten teils aus dem deutschen, teils aus dem englischen Sprachraum.

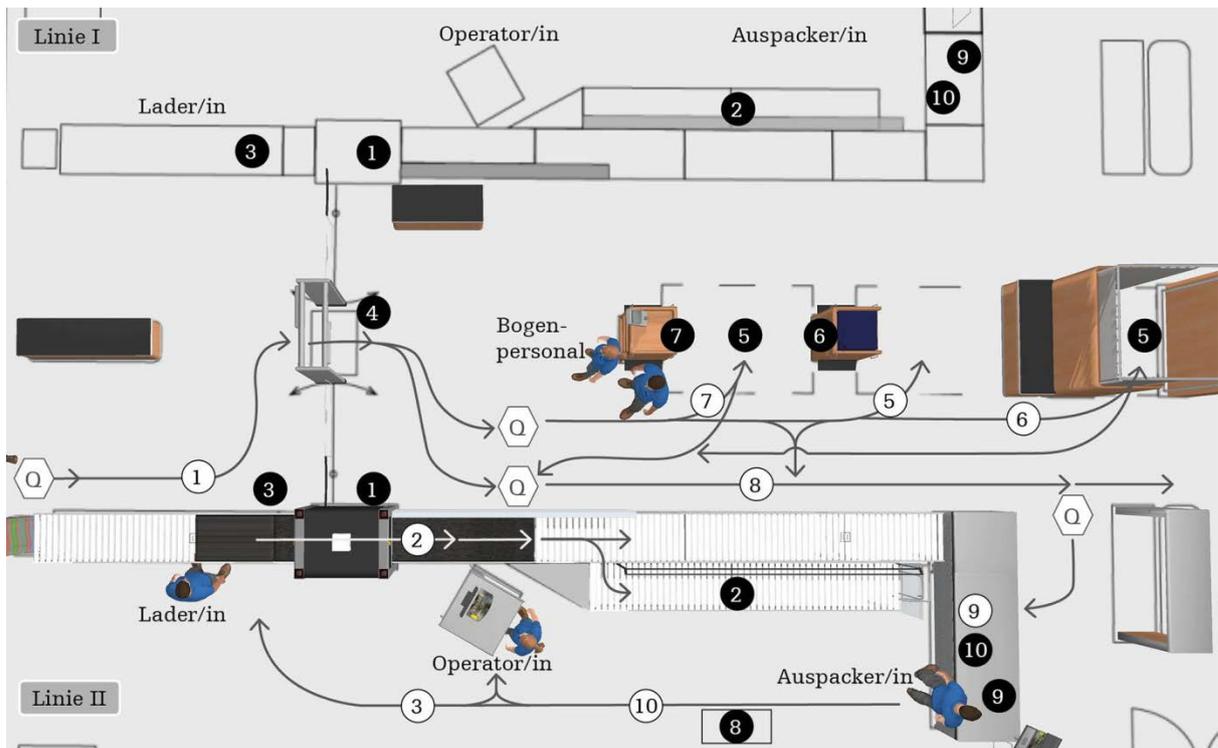


Abb. 3: Räumliche Verteilung vorhandener Infrastruktur und Prozesse

Die technischen Apparaturen Metalldetektor-Schleuse (4), Metalldetektor-Handgerät (5), Sprengstoffspurendetektor (6; mit Randomizer 7) und Flüssigsprengstoff-Detektor (8) werden linienübergreifend verwendet, während das Röntgengerät (1), das Bypass-Band (2), das Taktband (3), der Auspacktisch (9) und der Flüssigsprengstoff-Detektor-Randomizer (10) pro Linie dediziert zur Verfügung stehen.

Divesting

Der englische Begriff *Divesting* bezieht sich auf die Prozesseinheit, bei der ein Fluggast (bei Variablen *Pax* genannt) sein Handgepäck und weitere persönliche Gegenstände (folgend *items* genannt) für die Prüfung mittels Röntgengerät vorbereitet (1). Als weitere persönliche Gegenstände sind gemäss Verordnung (EU) Nr. 185/2010 bspw. "Mäntel und Jacken der Fluggäste . . . vor der Kontrolle abzulegen und als Handgepäck zu kontrollieren" (Europäische Kommission, 2010, S. 12). Zudem sind "tragbare Computer und andere grössere elektrisch betriebene Gegenstände . . . vor der Kontrolle aus dem Handgepäck zu entfernen" (Europäische Kommission, 2010, S. 13).

Ein SBF in der Funktion *Lader/in* weist dabei den Fluggast an und unterstützt bei Bedarf.

Trays sind vom Flughafen bereitgestellte Kunststoffwannen, welche bspw. lose Gegenstände oder Computer für den Durchlauf durch das Röntgengerät aufnehmen können. *X-ray items* können *Trays* oder einzelne Gepäckstücke (Trolleys, Rucksäcke, Handtaschen, Schuhe) sein, welche mittels Röntgengerät individuell geprüft werden.

Röntgengerät

Eine *X-ray Maschine* (1) durchleuchtet die *X-ray items* mittels Röntgenstrahlen und erzeugt ein visuelles Abbild des Inhalts. Ein SBF in der Funktion einer/s *Operatorin/s* kontrolliert jedes Bild (*X-ray screening*, 2). Die Verordnung (EU) Nr. 185/2010 schreibt vor, dass wenn der Operator nicht ermitteln kann, "ob das Handgepäck verbotene Gegenstände enthält oder nicht, so ist dieses zurückzuweisen oder bis zu einem für die Kontrollperson

zufrieden stellenden Ergebnis erneut zu kontrollieren" (Europäische Kommission, 2010, S. 12). Letzteres wird in der Prozessdarstellung *X-ray Kontrolle rescreening* (③) genannt.

Werden verdächtige Gegenstände erkannt oder kann der Inhalt nicht eindeutig ermittelt werden, drückt der Operator eine designierte Taste auf der Steuereinheit und verschiebt das X-ray item auf das *Bypass-Band* (②).

In einer bestimmten Verteilung wird eine Bildprojektion gefährlicher Gegenstände auf das Röntgenbild des X-ray items eingeblendet (TIP; vgl. Europäische Kommission, 2010; Kap. 1.4.2.3).

Vor der X-ray Maschine ist ein *Taktband* (⑤) vorgelagert, welches die X-ray items automatisiert in Laufrichtung um 50 cm distanziert.

Metalldetektor-Schleuse

Walk through metal detectors (*WTMD*; ④) sind gemäss Verordnung (EU) Nr. 185/2010 Geräte, welche an Fluggästen "spezifische Metallgegenstände einzeln oder zusammen mit anderen Objekten" (Europäische Kommission, 2010, S. 50) aufspüren (④). Bei Entdeckung geben sie ein optisches und ein akustisches Signal (*metal alarm*) aus. Zudem sind sie in der Lage, bei einem spezifischen Prozentsatz von Personen ein akustisches und/oder optisches Signal (*quota alarm*) auszulösen.

Bei der untersuchten *twin line* wird ein gemeinsam genutzter *WTMD* eingesetzt. Dieser verfügt über eine eingangsseitige Anzeige (*Display In*), eine ausgangsseitige Anzeige (*Display Out*) sowie auf der Seitenstütze ausgangsseitig eine weitere vertikale LED Anzeige.

Abhängig von der Crew-Grösse, -Komposition und Linienauslastung sind pro Linie ein oder zwei SBF in der Funktion *Bogenpersonal* tätig. Sie beobachten die Fluggäste *WTMD*-Durchtritt ausgangsseitig und kontrollieren die Fluggäste bei *metal/quota alarm*.

Metal alarm resolution

Bei einer *metal alarm* Signalisierung "ist die Ursache des Alarms zu klären" (Europäische Kommission, 2010, S. 12). Dabei wird der Fluggast von einem SBF in der Funktion *Bogenpersonal* des gleichen Geschlechts kontrolliert. In einem ersten Schritt findet eine standardisierte Abtastkontrolle (*11-Punkte Kontrolle*) statt, gefolgt von einer Kontrolle mittels Metalldetektor-Handgerät (⑤). Bei Bedarf finden die Kontrollen in einer sichtgeschützten Kabine statt (⑥).

Metalldetektor-Handgerät

Hand held metal detectors (*HHMD*; ⑤) sind gemäss Verordnung (EU) Nr. 185/2010 tragbare Geräte, welche "sowohl Eisen- als auch Nichteisenmetalle aufspüren können" (Europäische Kommission, 2010, S. 51) und einen Alarm mittels akustischem Signal ausgeben.

Quota alarm resolution

Bei einer *quota alarm* Signalisierung wird der Fluggast von einem/r SBF in der Funktion *Bogenpersonal*¹⁹ kontrolliert (*ETD Kontrolle; s. nächster Abschnitt; ⑦*). Nach der Entnahme gezielter Wischproben wird der verwendete Teststreifen mittels Sprengstoffspurendetektor geprüft (Flughafen Zürich AG, 2015a).

¹⁹ Die untersuchten Daten (BI & Videoanalysen; vgl. Kap. 2.2) zeigen auf, dass die Kontrollen jeweils vom *Bogenpersonal* des gleichen Geschlechts des Fluggastes durchgeführt wurden. Entsprechend wird in der Simulation die Übereinstimmung der Geschlechter berücksichtigt.

Sprengstoffspurendetektor

Explosive detection devices (*ETD*; ⑤) sind gemäss Verordnung (EU) Nr. 185/2010 in der Lage, "Partikel oder Dämpfe von kontaminierten Oberflächen oder aus dem Inhalt von Gepäck- oder Versandstücken aufzunehmen und zu analysieren und durch Alarm die Anwesenheit von Sprengstoffspuren anzuzeigen" (Europäische Kommission, 2010, S. 53).

Am untersuchten Flughafen visualisiert ein vom SBF betätigter *ETD Randomizer* (⑦), ob der Fluggast mit oder ohne sein Gepäck geprüft werden soll (Flughafen Zürich AG, 2015a).

Flüssigkeiten, Aerosole und Gele

Flüssigkeiten werden im Zusammenhang mit Luftsicherheitskontrollen als liquids, aerosols und gels (*LAG*) zusammengefasst. LAG dürfen in jeweils <100 ml Behältnissen und pro Fluggast in einem einzelnen durchsichtigen und verschliessbaren Plastikbeutel (*LAG bag*) mit einem Fassungsvermögen von nicht mehr als 1 L mitgebracht werden (vgl. Europäische Kommission, 2010; Flughafen Zürich AG, 2015c). Flüssige Tax und Duty Free Artikel, welche vor der Kontrolle von autorisierten Stellen eingeschweisst wurden, können zusammen mit dem Kaufbeleg in einem manipulationssicheren Beutel (security tamper-evident bag; *STEB*) transportiert werden (vgl. Europäische Kommission, 2010, 2013b).

Flüssigsprengstoff-Detektoren

Liquid explosive detection systems (*LEDS*; ③) sind gemäss Durchführungsverordnung (EU) Nr. 246/2013 Geräte, "mit denen gefährliche (flüssige) Substanzen erkannt werden können" (Europäische Kommission, 2013b, S. 10).

Falls es sich um erlaubte Flüssigkeiten (bspw. *STEBs*, flüssige Medikamente, Baby- oder Spezialnahrung; vgl. Flughafen Zürich AG, 2015c; Hofer & Wetter, 2012; Wetter & Fuhrer, 2013) in einem >100ml Behältnis handelt, werden am untersuchten Flughafen zufalls-mässig *LEDS* eingesetzt. Ein vom SBF betätigter *LEDS Randomizer* (⑨) ermittelt den Prüfungsbedarf pro Fluggast und visualisiert das Ergebnis; analog dem *ETD Randomizer*.

Recomposing

Recomposing beschreibt den Prozess, bei welchem ein Fluggast sein röntgengeprüftes und freigegebenes Gepäck zusammen mit seinen weiteren persönlichen Gegenständen (s. *Divesting*) retabliert (⑧). In der Praxis geschieht dies bspw. am Ausgabeort des Trays und/oder am Tisch der X-ray alarm resolution.

X-ray alarm resolution

Befindet sich ein X-ray item auf dem Bypass-Band, wird es von einem SBF in der Funktion des *Auspackers* von Hand durchsucht (⑩); unterstützt durch das übermittelte X-ray Bild am zweiten Bildschirm beim Auspacktisch (⑪). Dieser Prozess umfasst nach Verordnung (EU) Nr. 185/2010 "eine gründliche manuelle Kontrolle des Gepäcks einschließlich seines Inhalts, um hinreichend sicherzustellen, dass es keine verbotenen Gegenstände enthält" (Europäische Kommission, 2010, S. 13).

Jedes X-ray item wird nach der manuellen Suche nochmals mittels X-ray Maschine geprüft (*X-ray alarm resolution rescreening*; ⑫), bevor es ggf. vom SBF für den Fluggast freigegeben werden kann.

2.1.2.2 Prozessabbild

Aus den konsolidierten und triangulierten Analyseergebnissen der LA, DA, BI und Videoanalysen wurden Prozessdarstellungen erstellt (s. Kap. 2.1.1.1 bis 2.1.1.4). Die detaillierten Unterprozesse mit den soziotechnisch übergreifenden Tätigkeiten (bspw. SBF, X-ray item,

technische Infrastruktur) sind im Anhang C-IV dargestellt. Ergänzend dazu stellt Abb. 3 (S. 23) die räumliche Verortung der Prozesse dar. Die Prozessdarstellungen dienen als Vorlage für den Simulationsablauf und integrieren die in Kapitel 2.1.2.1 dargestellten Resultate mit sequentiellen Abhängigkeiten, eindeutigen Akteurzuweisungen und mit einem höheren Detaillierungsgrad. Der Fluggast steht dabei als Hauptakteur im Zentrum der Untersuchung. Entsprechend wird dieser in der vereinfachten Gesamtübersicht (Abb. 4) von Prozesseintritt bis Prozessaustritt als führender Akteur betrachtet.

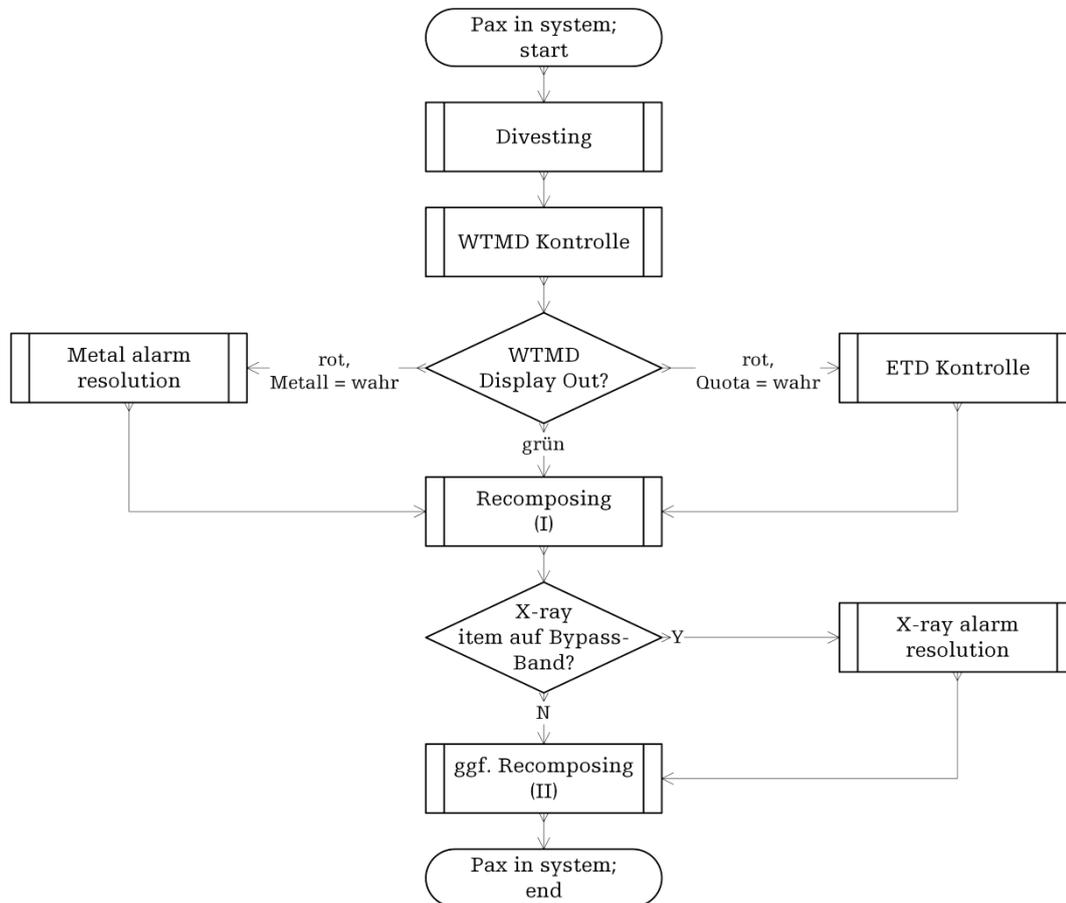


Abb. 4: Vereinfachte Gesamtübersicht der Prozesse

Anmerkung. *Recomposing (I)* und *Recomposing (II)* unterscheiden sich durch eine sequentielle Ausführung; falls dies durch den Fluggast in zwei Schritten ausgeführt wurde sowie ggf. durch die Örtlichkeit.

Auf Basis von Aussagen zur Auftretenshäufigkeit (anhand der BI) und quantitativen Daten (Videoanalysen; s. Kap. 2.2.2.2) wurden Vereinfachungen vorgenommen; insb. bei sensiblen Prozessen im Verdachtsfall. Prozesse, welche in den Videoanalysen $< \alpha^2$ (Schwellwert) der untersuchten Fluggäste (jeweils $n=252$) dokumentiert wurden, gelten in dieser Arbeit als Spezialfälle²⁰ (s. Tab. 6, S. 37).

²⁰ Im Rahmen dieser Arbeit wurden verschiedene Spezialfälle als nicht relevant erachtet und im Sinne einer bewussten Komplexitätsreduktion nicht weiter erläutert oder visualisiert.

- 1: Fluggast mit Herzschrittmacher: α^3
- 2: Selbstständiges redivesting von Schuhen/Gürtel: α^3
- 3a: Erweiterte ETD Kontrolle bei Verdacht 1: α^3
- 3b: Erweiterte metal alarm resolution bei Verdacht: α^3
- 3c: Erweiterte X-ray alarm resolution bei Verdacht: α^3
- 3d: Erweiterte ETD Kontrolle bei Verdacht 2: α^3
- 4: WTMD Alarm-Kombination von Quota und Metall: α^3

2.1.2.3 Ergänzende Ergebnisse

Crew-Kompositionen und Einsatzlänge

Die Crews werden vor jeder Schicht von der Einsatzplanung aus einer Person mit dem Grad Sicherheitsbeauftragte/r mit besonderen Aufgaben (SBmbA) und drei bis vier weiteren SBF zusammengestellt. Es wird darauf geachtet, dass pro Geschlecht mindestens zwei Personen in einer Crew-Komposition (für 11-Punkte-Kontrolle) vertreten sind. Die Einsätze an den Linien dauern maximal 3 h, gefolgt von einer Pause und je nach Schichtlänge weiteren Einsätzen an anderen Einsatzorten.

Funktionsrotation

Die Durchführungsverordnung (EU) Nr. 1116/2013 schreibt vor, dass "Personen, die Handgepäck mit Röntgengeräten oder EDS-Geräten kontrollieren, ... in der Regel nicht länger als 20 Minuten ununterbrochen Bilder prüfen" (Europäische Kommission, 2013c, S. 3) dürfen.

Am untersuchten Flughafen wird nach 20 Minuten ein Pop-up-Fenster auf dem Bildschirm des/r Operators/in eingeblendet. Der Funktionsabtausch²¹ wird nach einem bestimmten Rotationsmuster koordiniert. Das Muster ergibt sich aus der Crew-Komposition, sodass zu jedem Zeitpunkt beide Geschlechter in der Funktion Bogenpersonal bereit stehen.

Tray-Logistik

Durch die einheitliche Richtung des Fluggastflusses und den Gepäckprüfungen bewegen sich die Trays jeweils in Richtung des Auspacktisches. Die verfügbare Anzahl Trays ist pro Linie insb. aus Platzgründen limitiert. Die Erhebungen ergaben, dass der/die SBF in der Funktion eines/r Auspackers/in die Trays bei Bedarf und abhängig von der Arbeitslast zur Ladeposition bringt. Dafür stehen entsprechende Wagen zur Verfügung.

Linien-Stopps

Befinden sich mehr als μ^4 X-ray items auf dem Bypass-Band, wird die Linie gestoppt²². In diesem Fall wird der vorderste Fluggast von dem/der Lader/in meist noch fertig bedient und für den Beginn der Personenprüfung freigegeben. Bis auf die SBF in der Funktion Bogenpersonal (s. Abschnitt Funktionsübergreifende Unterstützung) verbleiben dabei alle SBF auf ihren Stationen.

Funktionsübergreifende Unterstützung

Bei Bedarf kann ein SBF in der Funktion Bogenpersonal den Auspacker kurzfristig unterstützen. Dies unter der Bedingung, dass beim WTMD noch genügend SBF tätig sind.

2.1.2.4 Schlussfolgerung

Der gewählte Abstrahierungsgrad der dargestellten Prozesse (s. Kap. 2.1.2) wurde im Rahmen dieser Arbeit und unter Berücksichtigung des Forschungsziels vom Autor als geeignete Grundlage für eine Umsetzung in der Simulation angesehen. Zudem wird angenommen, dass sich die Ergebnisse zur schrittweisen Verifikation während der Implementation (s. Kap. 2.4.1.2) eignen.

Nachdem der Prozessablauf erhoben und dokumentiert wurde, steht in Kapitel 2.2 die Erhebung von Häufigkeiten und Zeitperioden von einzelnen Tätigkeiten im Fokus.

5: Sprengstoffverdacht: μ^3

²¹ Dadurch wird die *Polyvalenz* (bspw. Wäfler, Windischer, Ryser, Weik & Grote, 1999, S. 45ff) gewährleistet. Diese sagt aus, dass sich idealerweise Mitarbeitende eines Arbeitssystems gegenseitig unterstützen und vertreten können.

²² Daneben gibt es weitere Gründe die Linie zu stoppen, auf welche im Rahmen dieser Arbeit nicht eingegangen wird.

2.2 Quantitativer Zugang

Zu einem formalen Modell einer Simulation (s. Anhang B) gehören nebst den Abläufen auch Modelle und Prozessparameter (bspw. Häufigkeiten und Zeitperioden von Prozessen). Im Rahmen dieser Arbeit wurden in der *Vorstudie 2* die dazugehörigen Rohdaten an den Referenzlinien empirisch erhoben und analysiert, um daraus in einem Folgeschritt Modelle abzuleiten (s. Kap. 2.3). In folgendem Kapitel 2.2.1 werden die angewandten Methoden beschrieben. Kapitel 2.2.2 stellt die Ergebnisse aggregiert dar und leitet Erkenntnisse ab.

2.2.1 Methodik

Vorhandene technische Gerätschaften (bspw. Röntgengerät, Metalldetektor-Schleuse) zeichnen bis dato nur einen Teil der benötigten Daten auf. Der relativ komplexe Prozessablauf bei ASCs, der erforderliche Detaillierungsgrad, die hohe zeitliche Event-Dichte, die Platzverhältnisse vor Ort, der verbundene Schulungsaufwand sowie potenziell reaktive Wirkungen durch sichtbare Beobachtende wurden nebst anderem als kaum überwindbare Herausforderungen für klassische vor Ort Live-Beobachtungen (vgl. Fassnacht, 1995; Greve & Wentura, 1997) bewertet. Im Rahmen dieser Arbeit wurden deshalb Videoanalysen (VA; Kissmann, 2009; Knoblauch, Schnettler & Raab, 2012; Knoblauch, Tuma & Schnettler, 2014) im natürlichen Setting als Zugang zu den Daten gewählt.

2.2.1.1 Videoanalyse

Videoanalysen als strukturierte Erhebungsmethode von beobachtbaren Artefakten bieten Vorteile auf verschiedenen Ebenen: Videodaten beinhalten bspw. die zeitliche Struktur, unabhängig von parallelen Prozessen und limitierten Wahrnehmungsmöglichkeiten eines Beobachtenden (Fassnacht, 1995). Sequenzen können bei der Analyse ohne Einschränkungen mehrmals betrachtet oder nach Bedarf langsamer oder schneller abgespielt werden (Knoblauch et al., 2014), was zeitgleich einen weiteren Vorteil anspricht: Dieselben Daten können von mehreren Ratern analysiert werden, auch sequentiell. Erhebungen können zum Zwecke einer Übereinstimmungsprüfung (s. Anhang D-VI) wiederum miteinander verglichen werden (vgl. Yoder & Symons, 2010). Zudem wurde durch die nicht-teilnehmende Beobachtungsmethodik nicht in natürliche Abläufe eingegriffen (non-reaktiv; vgl. Döring & Bortz, 2016). VA bringen jedoch auch Herausforderungen mit sich (bspw. Laurier & Philo, 2012; Schnettler & Knoblauch, 2009). Exemplarisch sind dabei Aspekte des Persönlichkeitsschutzes und des technischen Aufwandes zu erwähnen. Ersteres wurde in den betroffenen Gremien der Forschungspartner intern geprüft und für den Rahmen dieser Studie unter Bedingungen²³ freigegeben. Fluggäste, als auch SBF, sind sich im Setting von ASCs der Präsenz von Kameras²⁴ bereits weitgehend bewusst und gewohnt, deshalb war durch die Kamerainstallation kaum ein Verzerrungseffekt zu erwarten.

Die VA verfolgten primär drei Ziele: Wie in diesem Kapitel einleitend angedeutet, sollen zum einen Verteilungen von Zeitsequenzen und Vorkommnissen für die Simulation explorativ erforscht und zueinander in Beziehung gesetzt werden (s. Kap. 2.3). Weiter wurde das Ziel verfolgt, diese Beziehungsmodelle auf der Basis einer weiteren VA replizieren zu können. Drittens dienten die Daten der VA zur Validierung von in der Simulation ermittelten Kennzahlen unter zwei unterschiedlichen Modellparametersets (s. Kap. 2.4.1.3).

²³ Bedingungen für Videoerhebungen waren insb. eine vertrauliche Handhabung und Analyse des Datenmaterials, sicherheitsrelevante Bestimmungen bei der Installation und individuell unterzeichnete Einverständniserklärungen der betroffenen SBF.

²⁴ Die vor Ort bestehenden Video-Installationen (CCTV) wurden vom Autor für den antizipierten Detaillierungsgrad der Erhebung (Perspektive, Auflösung, Framerate) als nicht ausreichend beurteilt.

Sampling-Strategie: Auswahl der Erhebungstage

Vom Ziel ausgehend, für die Replizierung ein zweites Sample mit unterschiedlicher Fluggast-, bzw. Gepäck-Charakteristik zu erheben, wurden zwei Erhebungstage angestrebt. Nebst sich stetig ändernden Bedingungen wie Wochentag, Tageszeit, Ferienzeit und mögliche Zielflughäfen, wurden bei der Auswahl der Erhebungstagen hauptsächlich saisonal bedingte variierende Aussentemperaturen (vgl. Wetter et al., 2010; resultierend in bspw. mehr oder weniger Jacken/Mäntel pro Fluggast) und sich unterscheidende Reisetypen (mehrheitlich Geschäftsreisende vs. Touristen; bspw. Cheng et al., 2014) berücksichtigt. Ein Betrieb unter Volllast galt für beide Erhebungstage als weiteres Kriterium (vgl. Dorton & Liu, 2016). Die beiden letztgenannten Kriterien wurden auf Basis von Erfahrungswerten der Forschungspartner und Vorjahresdaten (Flughafen Zürich AG, 2016d) berücksichtigt. Pro Erhebungstag wurde zudem das Ziel verfolgt, eine praxisnahe und zeitgleich grösstmögliche Varianz an Crew-Konstellationen zu erheben. Daraus ergab sich eine Videoerhebung zum Zeitpunkt T1 (VA I; 3:00 h) und eine zum Zeitpunkt T2 (VA II; 3:39 h).

Durchführung der Aufzeichnungen und Videodaten-Aufbereitung

Jeder Creweinsatz beginnt mit einem mehrminütigen Briefing durch den Sektorchef. In Kooperation mit der verantwortlichen Person der FPSTA-FE konnte der Autor diese Gelegenheit nutzen und die von der Aufzeichnung betroffenen Mitarbeitenden über die bevorstehende Installation der Videoausrüstung und die vorgesehene Datenverwendung informieren. Die transparente Kommunikation des Untersuchungsgegenstandes und der Freiwilligkeit mit dargestellter sanktionsfreier Alternative erhielt eine hohe Priorität. Der Leitfaden der Informationssequenz mit allen kommunizierten Punkten ist im Anhang D-I dargestellt. Um eine potenzielle Verfälschung der Daten durch übermotivierte Mitarbeitende zu verringern (vgl. bspw. Wetter et al., 2010), wurde bewusst der Weg der ad hoc Information ohne vorgängiges, freiwilliges Auswahlverfahren gewählt. Zudem wurden die SBF darauf hingewiesen, dass sie aufgrund der stattfindenden Aufnahmen die Arbeitsweise nicht adaptieren sollten²⁵. Die SBF wurden gebeten, auf Gründen des Daten- und Persönlichkeitsschutzes vor Ort eine Einverständniserklärung ihres Arbeitgebers (s. Anhang D-II) zu unterzeichnen. Insgesamt haben drei Crewmitglieder auf eine Teilnahme verzichtet und ihren Einsatz kurzfristig mit einem Mitglied einer anderen Crew abgetauscht. Auch Mitarbeitende der zeitlich folgenden Crew/s wurden analog der obenstehenden Beschreibung informiert. Die teilnehmenden Crews wurden im Nachgang ihres Einsatzes mit einer kleinen Süßigkeit verdankt. Nach Ablauf der angekündigten Erhebungszeit erfolgte der Rückbau der Installation.

Das Einrichten der Technik dauerte jeweils rund 30 Minuten und wurde bei der ersten Crew während des laufenden Betriebs durchgeführt. Sechs Kameras²⁶ mit unterschiedlichen, vorab definierten Perspektiven wurden um die untersuchten Kontrolllinien installiert (s. Anhang D-III). Die Kameras, Blickwinkel und die Montagepositionen wurden gezielt so gewählt, dass sie den Fluggästen und den Mitarbeitenden möglichst nicht aufgefallen sind und dennoch einen unverdeckten Einblick in die relevanten Fluggasttätigkeiten ergaben.

Pro Erhebung wurden die sechs Videostreams (VA I: 219 GB; VA II: 263 GB Daten) mit Adobe Premiere Pro synchronisiert und in eine Videosequenz auf verschiedenen x-/y-Positionen und Zoomfaktoren in eine abspielbare Videodatei gerendert (s. Abb. 5; Anhang F-II).

²⁵ Wie in Kap. 1.4.2.3 erwähnt, konnte eine Untersuchung zu crew goal settings bei Luftfahrtsicherheitskontrollen aufzeigen, dass mündliche Hinweise während des Briefings einen Effekt auf Fluggast-Dichte haben können (Wetter, Hofer, et al., 2012).

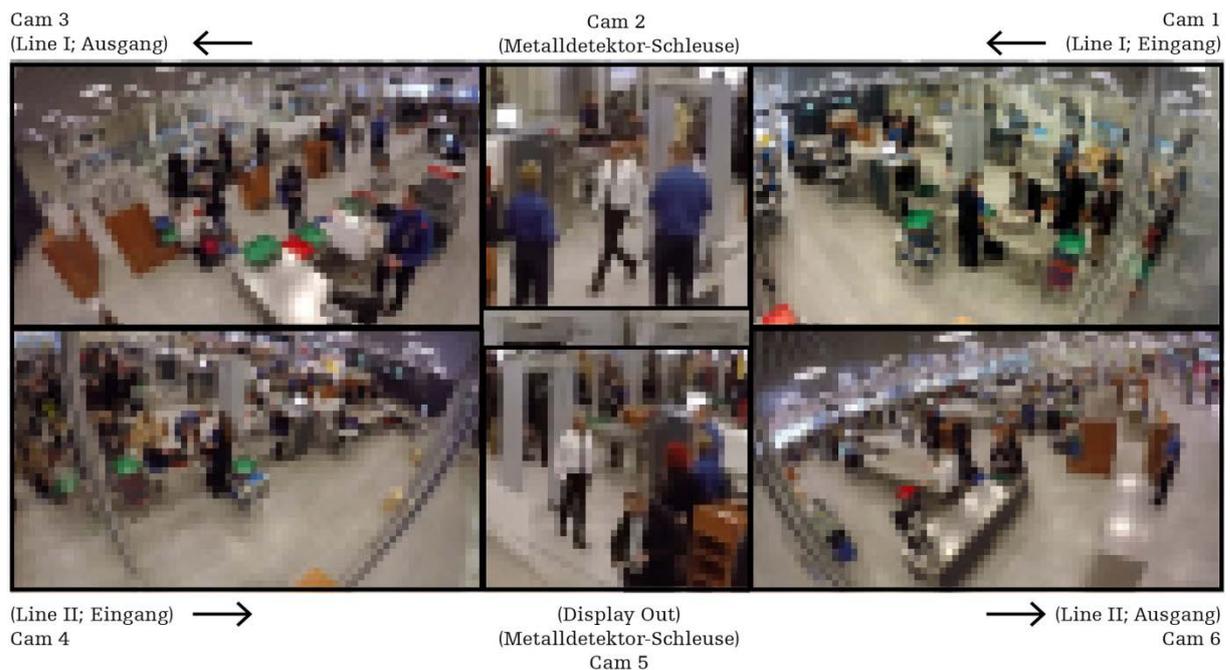


Abb. 5: Screenshot einer synchronisierten Videosequenz (aus VA I) mit Beschriftung
 Anmerkung. Der Screenshot wurde zur Bewahrung der Anonymität unkenntlich gemacht.

Analyse der Videodaten: Beobachtungssystem und Codierung

Ausgehend von den erhobenen Prozessen, dem bisherigen Systemverständnis und den ersten Überlegungen zur Simulation wurden in einem ersten Schritt mögliche Tätigkeitseinheiten aus Sicht des Fluggastes definiert, welche im Sinne von *event-samplings* der Verhaltensbeobachtung (vgl. Fassnacht, 1995; Heyman, Lorber, Eddy & West, 2014; Yoder & Symons, 2010) erhoben werden konnten. Diese wurden mit crew- und linienspezifischen Ablaufsequenzen ergänzt und ergaben kombiniert eine erste Version des Kategoriensystems der zu erhebenden Zeitperioden (bspw. start/stop Divesting, start/stop Recomposing). Aufgrund der örtlich gebundenen Infrastruktur, liegt es in der Natur des untersuchten Prozesses, dass die tätigkeitsbezogenen Kategorien gleichzeitig Informationsträger örtlicher Gegebenheiten sind (vgl. Andrienko & Andrienko, 2006). Analog dazu wurde ein weiteres Kategoriensystem für die beobachtbaren Häufigkeiten (time-sampling; vgl. Fassnacht, 1995; Heyman et al., 2014; Yoder & Symons, 2010; bspw. Anzahl ausgepackte elektronische Geräte, Art und Anzahl der Alarm Resolution) erstellt und beschrieben. Mit Mehrfachsichtungen und Analysen der ersten 30 Minuten Videosequenz wurde das Beobachtungssystem in iterativen Überarbeitungsschleifen induktiv ergänzt und verfeinert. Dabei lagen die Kriterien insb. bei der Objektivität, Umsetzbarkeit sowie beim Bedarf und Nutzen in der Simulation. Im Zuge einer Prüfung auf Inhaltsvalidität (vgl. Döring & Bortz, 2016, S. 347) wurde das Kategoriensystem im Anschluss in einem Reviewprozess mit einem security- und simulationserfahrenen Teammitglied von CASRA besprochen, was zu marginalen Anpassungen führte.

Als Werkzeug mit integrierter Abspiel-, Spul- und Codierfunktionalität diente erneut das Softwarepaket MAXODA 12 (s. Anhang F). Für die parallele Erhebung der beobachteten Häufigkeiten²⁷ wurde eine übersichtliche, benutzerfreundliche und plausibilitätsprüfende Eingabemaske pro Fluggast in Excel und Visual Basic for Applications (VBA) programmiert

²⁶ Die Evaluierung und Beschaffung der Aufnahmegeräte (s. Anhang F-II) wurde im Rahmen dieses Projektes getätigt.

²⁷ 16 Variablen pro Fluggast, 23 Variablen pro X-ray item (s. Tab. 13 in Anhang D-IV)

(s. Abb. 29 in Anhang D-IV). Nach der Finalisierung der Kategorien wurde das Kategoriensystem der Zeitperioden²⁸ für den Import in MAXODA pro Fluggast²⁹ mittels Excel und einem weiteren VBA-Skript generiert und durch weitere Kategorien pro Crew³⁰ und Linie³¹ ergänzt.

Analyse der Videodaten: Codierung

Der Autor (Rater I) analysierte im Zuge der Kategorienbildung einen Datensatz von 70 Fluggästen (Aufwand: ca. 70h). Für die weiterführende Auswertung der Videodaten wurde ein zweiter Rater (Rater II) hinzugezogen. Eine durchgängige Beobachterschulung ist insb. bei mehreren Ratern ein kritisches Element (vgl. Döring & Bortz, 2016; Fassnacht, 1995; Greve & Wentura, 1997; Heyman et al., 2014; Yoder & Symons, 2010). Nach einer umfassenden Schulung des zweiten Raters, analysierte dieser die ersten zehn Fluggäste (Pretest des Beobachtungssystems). Die beiden Datensätze wurden im Anschluss mittels eines weiteren Excel VBA-Skripts auf Differenzen der beiden Rater hin geprüft. Unterschiedliche Ratings wurden in den Datensätzen farblich visualisiert und mit dem Rating des anderen Raters kommentiert. Jede Diskrepanz wurde einzeln von beiden Ratern durchgesprochen, was zu Verfeinerungen der Kategorienbeschreibungen führte. Rater II analysierte weitere 60 Fluggäste, mit punktuellen Absprachen bei Unklarheiten. Im Rahmen von *Interrater Reliabilität* (IRR) Berechnungen wurde bei diesem Sample überprüft, wie hoch die Codierungs-Übereinstimmung der beiden Rater ist (bspw. Gwet, 2012). Aufgrund unterschiedlichen Skalenniveaus wurden für die Daten verschiedene IRR-Koeffizienten ermittelt: *Cohens Kappa* (κ) und *Intraclass correlation* (ICC); siehe Anhang D-VI für Erläuterungen.

Das verbleibende Videomaterial wurde ausschliesslich durch Rater II analysiert (Aufwand: ca. 220h). Dabei wurden alle Fluggäste bei der Metalldetektor-Schleuse zeitlich erfasst, mit dem jeweiligen Geschlecht (PaxSex) und der Altersgruppe (PaxType) ergänzt. Diese werden folgend *erhobene Fluggäste* genannt. Pro VA wurden jeweils drei Sequenzen bestimmt, bei welchen die Fluggäste durchgängig analysiert wurden (folgend *analysierte Fluggäste* genannt; s. Abb. 6). Es wurde ein Augenmerk darauf gelegt, dass die Sequenzen mit den durchgängigen Analysen alle erhobenen Crews berücksichtigen, jeweils länger als zehn Minuten andauern und zum Zeitpunkt des Metalldetektor-Schleusen-Durchtritts der Fluggäste mehr als drei Personen in der Warteschlange vor der twin line standen. Durch die Priorisierung des Letztgenannten konnte die Crew K nicht berücksichtigt werden (s. Tab. 4, Abb. 6).

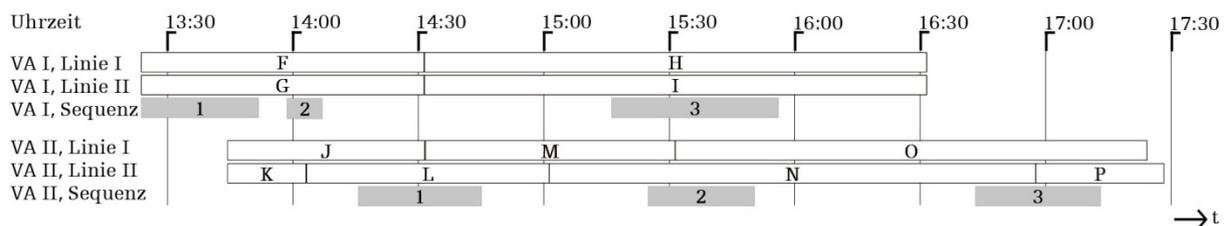


Abb. 6: Darstellung der Sequenzen von durchgängig analysierten Fluggästen

Anmerkungen. VA I = Videoaufnahme am Zeitpunkt T1; VA II = Videoaufnahme am Zeitpunkt T2; Buchstaben F...P = Crews; Zahlen 1...3 = Durchgängig analysierte Sequenzen pro VA

²⁸ 42 mögliche Kategorien pro Fluggast (s. Tab. 14 in Anhang D-IV)

²⁹ MAXODA kann keine identischen zeitlich überschneidenden Codings definieren; deshalb wurde ein hierarchisches Kategoriensystem erstellt (erste Ebene = Fluggast).

³⁰ 14 Kategorien (s. Tab. 13 in Anhang D-IV)

³¹ 2 Kategorien (s. Tab. 15 in Anhang D-IV)

Falls nicht spezifisch vermerkt, beziehen sich die Ergebnisse der VA auf das Datenmaterial von Rater II. In Total wurden durch Rater II in beiden VA 27'518 Beobachtungen aus den Videodaten manuell erfasst, exkl. Null- oder fehlenden Werten.

Beschreibung der Stichprobe

Bei der ersten Erhebung (VA I) an einem Freitagnachmittag konnten 3:00 h Videomaterial aufgezeichnet werden. Über die Erhebungssequenz wurden insgesamt 662 Fluggäste erhoben ($N=662$) und 252 durchgängig analysiert ($n=252$). Die maximale Tagestemperatur (aussen) betrug 4.6 °C, bei leicht bewölktem Himmel.

Der zweite Erhebungstag (VA II) fiel gezielt auf den Gründonnerstag vor den Osterfeiertagen. Die maximale Aussentemperatur betrug 12.5 °C. Es wurde eine Sequenz von 3:39 h mit 881 Fluggästen aufgezeichnet ($N=881$), wovon 252 durchgängig analysiert wurden ($n=252$).

Die Handlungen der Fluggäste standen im Hauptfokus. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Crews auch einen Einfluss auf den Ablauf und damit auf die Erhebungsdaten der Fluggäste haben (bspw. Wetter et al., 2010). In Tab. 4 sind die demographischen Merkmale der involvierten Crews dargestellt (s. Kap. 2.1.1.4 für Angaben zur Grundgesamtheit). Potenzielle Effekte durch unterschiedliche Crew-Charakteristiken stehen ausserhalb des Fokus und werden im Rahmen dieser Studie nicht erforscht.

Tab. 4: Demographische Angaben zu den Crews der Videoerhebungen

Crew	Erhebungsperiode	Linie	Geschlecht		Alter; Jahre	Dienstalter	Arbeitspensum; %
			w	m			
F	Freitag; ⁵	I	4	1	⁵	⁵	⁵
G	Freitag; ⁵	II	2	3	⁵	⁵	⁵
H	Freitag; ⁵	I	3	2	⁵	⁵	⁵
I	Freitag; ⁵	II	3	2	⁵	⁵	⁵
J	Donnerstag; ⁵	I	2	3	⁵	⁵	⁵
K	Donnerstag; ⁵	II	2	2	⁵	⁵	⁵
L	Donnerstag; ⁵	II	2	3	⁵	⁵	⁵
M	Donnerstag; ⁵	I	2	3	⁵	⁵	⁵
N	Donnerstag; ⁵	II	3	2	⁵	⁵	⁵
O	Donnerstag; ⁵	I	2	3	⁵	⁵	⁵
P	Donnerstag; ⁵	II	2	2	⁵	⁵	⁵

Anmerkungen. Die Geschlechteraufteilung (w-m) ist in absoluten Zahlen angegeben. Die aggregierten Daten (Alter, Dienstalter und Arbeitspensum) wurden von FPSTA-FE zur Verfügung gestellt. Für den Bericht wurden die Angaben zusammen mit den exakten Crew-Einsatzzeiten als vertraulich klassifiziert.

2.2.1.2 Validierung durch automatisch erhobene Daten

Mit dem Ziel die erhobenen Videodaten zu validieren, wurden zusätzlich automatisch erhobene Daten mit den Erhebungen der Videoanalyse verglichen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden letztendlich exklusiv Durchsatzdaten berücksichtigt³². Diese wurden für die relevanten Zeitperioden mittels videobasierender Trackingtechnologie erhoben, pro untersuchte Linie in einem Minutenintervall aggregiert und von der Flughafen Zürich AG zur

³² Als weitere potenziell integrierbare Vergleichsdaten wurden auch Aufzeichnungen von Röntgengerät (TIP-Daten; vgl. Europäische Kommission, 2010; Hofer & Schwaninger, 2005), Metalldetektorschleuse (Wetter, Hofer, et al., 2012, S. 47), Sprengstoffspurendetektor oder Flüssigsprenstoff-Detektor identifiziert; s. a. Kap. 1.4.2.3.

Verfügung gestellt. Das am untersuchten Flughafen installierte System zählt einen Fluggast, sobald die Metalldetektor-Schleuse in Personen-Flussrichtung durchtreten wurde.

Die benötigten Daten der VA wurden mit einer eigenen Funktion in R³³ aufbereitet (ausgehend von der erfassten WTMDPrimaryTime; s. Tab. 14 in Anhang D-IV), im Minutenintervall aggregiert und zeitlich synchronisiert³⁴. Die zeitlich angepassten Datenreihen dienten als Grundlage für Validierung mittels ICC-Berechnung in Kapitel 2.2.2.1.

2.2.1.3 Datenanalyse auf Gruppenebene

Bevor in Kapitel 2.3 Zusammenhänge von Zeitperioden und Entscheidungen exploriert werden, schliesst dieser Abschnitt mit der deskriptiven Analyse von kleinen Fallzahlen und von Fluggast- und Gepäck-Charakteristiken. Dabei werden primär Fallzahlen und Gruppenunterschiede verschiedener Samples untersucht und diskutiert.

Die Unterschiede zwischen den Samples wurden je nach Aggregationsniveau und Voraussetzungen mit verschiedenen Verfahren geprüft (vgl. Döring & Bortz, 2016; Hedderich & Sachs, 2016):

- Gruppenunterschiede (bei zwei Samples):
 - Der *exakte Fischer-Test* dient der Überprüfung, ob Häufigkeiten zweier nominal skalierten Stichproben derselben Verteilung entsprechen (analog Chi²-Test, jedoch keine Voraussetzungen an Stichprobenumfang). In der vorliegenden Arbeit wurde dazu die `fischer.test()`-Funktion des R-Packages 'stats' verwendet.
 - Der *Mann-Whitney-U-Test* ist ein nichtparametrischer Test und prüft, ob die zentrale Tendenz von zwei ordinalskalierten Stichproben unterschiedlich ist. Er wurde den T-Tests insb. deshalb vorgezogen, da er keine Anforderung an eine Normalverteilung der Daten stellt. In dieser Arbeit wurde dafür die `wilcox.test()`-Funktion des R-Packages 'stats' verwendet.
- Gruppenunterschiede von zwei kombinierten Verteilungen (Joint Dependence):
 - Zur Prüfung einer *Joint Dependence* (vgl. Hedderich & Sachs, 2016, S. 814ff) wurden die Daten der drei Dimensionen umformatiert und in eine zweidimensionale Tabelle geschrieben und wiederum mit der `fischer.test()`-Funktion des R-Packages 'stats' berechnet.

Bei multiplen Anwendungen statistischer Tests auf Unterschiede besteht die Gefahr einer *Alpha-Inflation* (vgl. bspw. Döring & Bortz, 2016). Eine Option zur Entgegenwirkung ist die Bonferroni-Korrektur. Sie verringert das Signifikanzniveau, was gleichzeitig die Teststärke negativ beeinflusst. Im Rahmen dieser Arbeit geht es bei den Tests nicht um das Aufzeigen signifikanter Effekte, sondern um die Identifikation relevanter Unterschiede, welche das Vorgehen beeinflussen. Entsprechend wurde die Teststärke vor einer potenziellen Alpha-Inflation priorisiert und auf eine Korrektur des Signifikanzniveaus bewusst verzichtet.

Bestimmung von Wahrscheinlichkeiten

Ausgehend von diesen Erkenntnissen wurden aus den empirischen Daten gruppenspezifische oder zusammengefasste *Wahrscheinlichkeiten* und Verteilungen für die Zuweisung von Charakteristiken bestimmt. Im Setting von ASCs wird dabei auch von *Prävalenz* gesprochen; folgend werden die beiden Begriffe synonym verwendet.

³³ R ist eine open source Statistiksoftware (s. Anhang F)

³⁴ Die Synchronisation der Daten wurde durch einen eigens programmierten Matching-Algorithmus in R umgesetzt: Zuerst angenähert in Minutenschritten, gefolgt von einem Feinabgleich in Sekundenschritten. Als Kriterium diente der ICC-Wert der Übereinstimmung mit Linie II.

Die klassische Definition der Wahrscheinlichkeit ist wie folgt:

$$p(E) = \frac{\text{Anzahl der für } E \text{ günstigen Fälle}}{\text{Anzahl der insgesamt möglichen Fälle}} \text{ mit } 0 < p(E) < 1$$

Formel 2: klassische Definition der Wahrscheinlichkeit (nach Döring & Bortz, 2016)

Bestimmung von diskreten Verteilungen

Verteilungen beschreiben ein Sample von Werten mit Auftretenswahrscheinlichkeiten und können in diskrete und stetige (s. a. Kap. 2.3.1.1) Verteilungen unterteilt werden (vgl. bspw. Forbes, Evans, Hastings & Peacock, 2011). Zur Bestimmung von Verteilungen wurde das in FlexSim (2016) integrierte Tool ExpertFit (2016) verwendet (vgl. Law, 2015, S. 359ff). Nebst einer bestmöglichen statistischen Passung wurden primär in Simulationen gebräuchliche Verteilungen gewählt (vgl. Law, 2015, S. 285ff).

2.2.2 Ergebnisse und Diskussion

Im folgenden Kapitel 2.2.2.1 wird das Kategoriensystem der VA auf Reliabilität geprüft. Anschliessend werden die manuell erfassten Daten mit verfügbaren, automatisch erhobenen Daten validiert. Kapitel 2.2.2.2 beschreibt die erhobenen Effizienz-Kenndaten der beiden VA. In Kapitel 2.2.2.3 werden für die Simulation nicht relevante Prozesse identifiziert, welche in den darauffolgenden Phasen nicht weiter ausgeführt werden. Kapitel 2.2.2.4 beschäftigt sich mit den relevantesten Prozessvariablen von VA I und VA II und den Fluggast- und Gepäck-Charakteristiken.

2.2.2.1 Reliabilität und Validität der Videoanalysen

Die Prüfung der Gütekriterien der VA wurde mittels zwei Verfahren durchgeführt. In einem ersten Schritt wurde das Beobachtungssystem durch den Vergleich der ermittelten Daten zweier Rater verglichen (Interrater Reliabilität). In einem weiteren Schritt wurden die Daten von Rater II mit automatisch erhobenen Daten verglichen (Validierung).

Interrater Reliabilität: Rater I gegenüber Rater II

Wie in Kapitel 2.2.1.1 beschrieben, wurden für die von beiden Ratern analysierten Fluggäste (abzüglich Pretest) entsprechende IRR errechnet ($n=60$ [PaxID=11...70]). Dadurch konnte die Übereinstimmung von beiden Ratern bestimmt werden.

Tab. 5 zeigt die Resultate der analysierten Zeitperioden, welche bis auf eine Ausnahme als gut bis sehr gut eingestuft werden können. Der bescheidene ICC-Wert bei der WTMD-PrimaryTime lässt sich durch die kurze Sequenzdauer ($M=2.48$ s, $SD=.57$ s bei Rater II), die einhergehende systematische Varianz und den entsprechend grossen Einfluss bei kleineren Abweichungen durch die zeitliche Auflösung erklären. Die knapp guten Werte der Variablen ManualBaggageSearchXrayItemTime und XrayItemTime können weitgehend durch einen bewussten Entscheid im Rahmen der dem Pretest nachgelagerten gemeinsamen Datenbesprechungen (s. Kap. 2.2.1.1) erklärt werden. Dabei wurde beschlossen, dass bei Familien, bei welchen die Gepäckstücke nicht eindeutig einem Kind zugewiesen werden können, diese dem Elternteil mit der grössten zeitlichen Involvierung während dem Divesting/Recomposing zugeordnet werden. Entsprechend führte dies zu unterschiedlichen Fluggast-Zuweisungen von Trays bei Rater I und Rater II.

Der *Cohen's* κ -Wert über die 394 von einem oder beiden gemessenen Häufigkeiten mit nominalen Skalen (s. Tab. 13 in Anhang D-IV) lag sehr hoch; $\kappa=.979$ mit einem 95% Konfidenzintervall von .962 bis .996.

Tab. 5: ICC-Analysen der Zeitperioden zwischen Rater I und Rater II

Kategorie	n	F	(df1,df2)	p	ICC3	Konfidenzintervall
						95%
DivestingPrimaryTime	57	3521.94	(56,56)	<.001	1.00	1.00 bis 1.00
WTMDPrimaryTime	60	3.60	(59,59)	<.001	.56	.50 bis .62
ETDPrimaryTime	6 ⁶	7533.17	(6 ⁶)	<.001	1.00	1.00 bis 1.00
RecomposingQueueingPrimaryTime	41	5.78	(40,40)	<.001	.70	.65 bis .76
RecomposingPrimaryTime	57	30.50	(56,56)	<.001	.94	.92 bis .95
ManualBaggageSearchQueueingTime	6	150.23	(5,5)	<.001	.99	.98 bis .99
ManualBaggageSearchXrayItemTime	16	4.16	(15,15)	.004	.61	.49 bis .71
RecomposingAfterManualBaggageSearchTableTime	11	17.64	(10,10)	.001	.89	.84 bis .93
XrayItemTime	201	4.25	(200,200)	<.001	.62	.59 bis .65

Anmerkungen. Die Variablen sind nach chronologischem Prozessablauf gelistet und nach Relevanz gefiltert (≥ 5 Datenpunkte). Die analysierten Zeitperioden wurden nach Stopzeitpunkt minus Startzeitpunkt von Fluggast- und XrayItem-Variablen bestimmt, s. Tab. 14 im Anhang D-IV.

Die 433 analysierten Beobachtungen der intervallskalierten Häufigkeiten (s. Tab. 13 in Anhang D-IV) ergaben eine bescheidene IRR; $ICC3$ -Wert=.533 mit einem 95% Konfidenzintervall von .462 bis .592 ($F(432,432)=3.284$, $p<.001$). Die Inspektion der unterschiedlichen Bewertungen liess hauptsächlich auf unterschiedliche Fluggast-Zuweisungen von Trays (s. IRR Analyse der Zeitperioden) sowie auf eine teils unterschiedliche Identifikationen von Gegenständen schliessen. Betrachtet man die ICC-Berechnung der 382 von beiden Ratern gemessenen Beobachtungen³⁵, ergibt sich (je nach Quelle; s. Anhang D-VI) ein exzellenter $ICC3$ -Wert=.796 mit einem 95% Konfidenzintervall von .756 bis .830 ($F(381,381)=8.794$, $p<.001$).

Die Resultate der IRR und die Relativierungen durch die individuell analysierten Differenzen der nur von einem Rater angegebenen Codierungen bei den intervallskalierten Daten deuten insgesamt auf ein klares Beobachtungssystem sowie auf eine gelungene Raterschulung (vgl. Döring & Bortz, 2016; Heyman et al., 2014) hin.

Validierung: Videoerhebung gegenüber automatisch erhobenen Daten

Um die Daten der Videoanalyse mit externen Daten zu validieren, wurden diese mittels IRR-Methodik mit den verfügbaren, automatisch erhobenen Daten verglichen (s. Kap. 2.2.1.2 sowie Anhang D-VI für Erläuterungen und Interpretationsgrenzwerte).

VA I: Über die Videosequenz wurden am WTMD der Linie I 329 Fluggäste automatisch erfasst (in Summe 0% Abweichung zur VA I). Über einen Minutenintervall aggregiert ergab sich ein $ICC3$ -Wert=.941 mit einem 95% Konfidenzintervall von .921 bis .956 ($F(175,175)=32.845$, $p<.001$). An der Linie II wurden zur gleichen Zeit mit dem automatischen System 333 Fluggäste erfasst (summiert 2% Abweichung gegenüber VA I). Aggregiert ergab sich dabei ein $ICC3$ -Wert=.924 mit einem 95% Konfidenzintervall von .900 bis .944 ($F(175,175)=25.575$, $p<.001$).

VA II: Bei der Linie I wurden am WTMD während der analysierten Videosequenz der VA II insgesamt 444 Fluggäste erfasst (1% Abweichung: $n=6$). Aggregiert über einen Minutenintervall ergab sich ein $ICC3$ -Wert=.921 mit einem 95% Konfidenzintervall von .898 bis .939 ($F(215,215)=24.439$, $p<.001$). Zur gleichen Zeit wurde mit dem automatischen System an der Linie II 443 Fluggäste erfasst (summiert 1% Abweichung gegenüber VA II: $n=4$). Der

³⁵ Durch diesen gezielten Datenausschluss werden die unterschiedlichen Fluggast-Zuweisungen von Trays ignoriert.

aggregierte *ICC3-Wert* lag bei hohen .907, mit einem 95% Konfidenzintervall von .881 bis .928 ($F(215,215)=20.614, p<.001$).

In einer zusätzlichen Nachsichtung des Videomaterials wurden potentielle Gründe für die Differenz der Anzahl beobachteter Fluggäste eruiert. Dabei konnte Vermutung verstärkt werden, dass ggf. die geringen Abweichungen bei der videobasierten Trackingtechnologie durch das Zählen von Mitarbeitenden der Flughafenpolizei und des Flughafens verursacht wurden³⁶. Zeitgleich konnte die Annahme bestärkt werden, dass ein potenzieller negativer Effekt auf die erhobenen Daten (Häufigkeiten und Zeitperioden mit Fokus auf Fluggäste) weitgehend ausgeschlossen werden kann. Die gesamthaft sehr guten Resultate der Validierung lassen auf eine akkurate Übereinstimmung mit der Realität schliessen.

2.2.2.2 Relevante Effizienz-Kenndaten

Über alle durchgängig analysierten Fluggäste der VA I ($n=252$) ergab sich über beide Linien zusammen ein Durchsatz von 115.36 Fluggäste/h. Im Vergleich dazu lag dieser bei der VA II ($n=252$) mit 122.35 Fluggäste/h um rund 6% höher. Die empirischen Fluggast-Taktzeiten (stehen mit dem Durchsatz in direktem Bezug; s. Kap. 2.4.1.3) sind auf Abb. 7 pro Linie aufgeschlüsselt dargestellt.

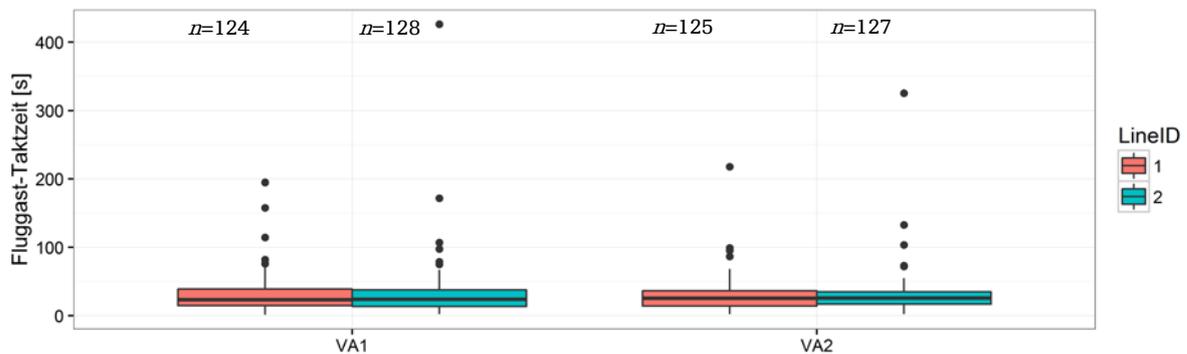


Abb. 7: Fluggast-Taktzeit in Sekunden; VA1: Videoanalyse 1, VA2: Videoanalyse 2

2.2.2.3 Prozesse mit tiefer Prävalenz

Fluggast-Prozesse

Wie in Kapitel 2 einleitend beschrieben, beruhen Simulationen auf Modellen, welche die Realität nie komplett abbilden können. In diesem Abschnitt werden Prozesse auf kleine empirische Fallzahlen (Prävalenz; Schwellwert: μ^2) untersucht, identifiziert und zusammengefasst, bzw. ausgeschlossen. Tab. 6 (S. 37) stellt die beobachteten Häufigkeiten mit der Anzahl Fluggäste pro VA in Beziehung.

Die Häufigkeit der Prozesse *Divesting* und *recomposing* sind pro VA identisch, da bei den analysierten Sequenzen jeder Fluggast seine X-ray items auch wieder abgeholt hat. Beide Prozesse unterscheiden sich in der Fallzahl zwischen VA I und VA II signifikant (s. Tab. 6). Es ist davon auszugehen, dass dies auf ein unterschiedliches Fluggast-Sample (insb. durch die Fluggast- und Gepäck-Charakteristika; s. a. Kap. 2.2.2.4) zurückzuführen ist.

Der Prozess *metal alarm resolution (in Kabine)* weist bei beiden VA eine tiefe Fallzahl auf und wird deshalb für die folgenden Analysen mit dem verwandten *Prozess metal alarm resolution (ohne Kabine)* zusammengefasst.

³⁶ Bei der VA I halten sich insb. bei 01:27:15 Mitarbeitende der Flughafenpolizei im Zählbereich auf. Bei der VA II wurde im WTMD-Bereich bei 01:19:30 und 02:52:56 Reinigungspersonal aufgezeichnet.

Der Ausschluss der Prozesse *selbstständiges redivesting*, *erweiterte ETD Kontrolle bei Verdacht 1*, *erweiterte metal alarm resolution bei Verdacht*, *erweiterte X-ray alarm resolution bei Verdacht*, *erweiterte ETD Kontrolle bei Verdacht 2*, *WTMD Alarm-Kombination von Quota* und *Sprengstoffverdacht* wurden in Kapitel 2.1.2.2 (s. Fussnote²⁰, S. 26) bereits beschrieben: Die jeweiligen Fallzahlen unterschreiten in beiden VA den definierten Schwellwert α^2 .

Die Prozesse *X-ray Kontrolle rescreening* und *Prüfung mit LEDS* wurden aufgrund der tiefen Prävalenz in dieser Arbeit nicht im Detail berücksichtigt. Bei Letzterem wird die Zeitperiode jedoch bereits implizit durch *X-ray alarm resolution (pro Gepäckstück)* eingeschlossen (vgl. Tab. 14 in Anhang D-IV).

Tab. 6: Beobachtete Häufigkeiten pro Fluggast

Prozesse	VA I; n=252	VA II; n=252	Test auf Unterschiede	p	sign.
Divesting	232 → {92%}	248 → {98%}	Exakter Fisher-Test:	.001	**
X-ray Kontrolle rescreening	4 → {2%}	5 → {2%}	Exakter Fisher-Test:	.75	
Selbstständiges redivesting	8 → {3%}	6 → {2%}	Exakter Fisher-Test:	.79	
Metal alarm resolution (ohne Kabine)	9 → {4%}	11 → {4%}	Exakter Fisher-Test:	.82	
Metal alarm resolution (in Kabine)	5 → {2%}	0 → {0%}	Exakter Fisher-Test:	.06	
Recomposing	232 → {92%}	248 → {98%}	Exakter Fisher-Test:	.001	**
X-ray alarm resolution	38 → {15%}	34 → {13%}	Exakter Fisher-Test:	.70	
ETD Kontrolle (Fluggast)	α^7	α^7	Exakter Fisher-Test:	.58	
ETD Kontrolle (Fluggast und Gepäck)	α^7	α^7	Exakter Fisher-Test:	.30	
Prüfung mit LEDS	α^7	α^7	Exakter Fisher-Test:	1.00	
Erweiterte ETD Kontrolle bei Verdacht 1	α^7	α^7	Exakter Fisher-Test:	1.00	
Erweiterte metal alarm resolution bei Verdacht	α^7	α^7	Exakter Fisher-Test:	1.00	
Erweiterte X-ray alarm resolution bei Verdacht	α^7	α^7	Exakter Fisher-Test:	1.00	
Erweiterte ETD Kontrolle bei Verdacht 2	α^7	α^7	Exakter Fisher-Test:	1.00	
WTMD Alarm-Kombination von Quota	α^7	α^7	Exakter Fisher-Test:	1.00	
Sprengstoffverdacht (α^7)	α^7	α^7	Exakter Fisher-Test:	1.00	

Anmerkung. Die in geschweiften Klammern {} angegebene Zahl ist die gerechnete Prävalenz: Häufigkeit/Anzahl Fluggäste

Crew-Prozesse und -Kompositionen

Die VA haben aufgezeigt, dass die SBF in einem regelmässigen Intervall ihre Funktion innerhalb der Crew wechseln (*Funktionsrotation*; s. Kap. 2.1.2.3). Dieser Wechsel fand bei den VA stets fliegend statt; in keiner Beobachtung musste die Linie dafür gestoppt werden. Auf Basis einer weiteren dedizierten Sichtung des Videomaterials kann die Vermutung geäussert werden, dass dieser Prozess einen vernachlässigbaren Einfluss auf die Effizienz hat. Eine weiterführende statistische Prüfung des Datenmaterials auf Effekte der Crewkonstellations wurde aufgrund der diesbezüglich bescheidenen Datengrundlage der VA nicht durchgeführt. Die Rotationen wurden im Rahmen dieser Studie nicht in die Modellierung der Simulation aufgenommen.

Auf Basis der erhobenen VA-Daten könnte für die funktionsübergreifende Unterstützung von SBF (s. Kap. 2.1.2.3) kein valides Konzept erstellt werden. Entsprechend wird dies in der Simulation nicht modelliert. Der Effekt dieses Ausschlusses auf den Simulationsoutput wird vom Autor im Rahmen dieser Arbeit als gering eingeschätzt.

Die Crew-Grösse bestand bis auf zwei Ausnahmen aus fünf Personen (s. Tab. 4, S. 32). Eine der beiden vierer Konstellationen konnte bei den durchgängig analysierten Sequenzen

nicht berücksichtigt werden (s. Kap. 2.2.1.1). Die Zweite wurde nur über einen kurzen Zeitraum von rund 15 Minuten analysiert. Entsprechend basieren rund 95% (vgl. Abb. 6, S. 31) der VA-Daten auf je einer fünfer Crew pro Linie. Demnach wurde die Simulation im Rahmen dieser Arbeit komplett mit fünfer Konstellationen modelliert. Es sind pro Linie stets beide Geschlechter als Bogenpersonal vertreten.

Linien-Prozesse

Bei der VA I (3:00 h) und VA II (3:39 h) wurden jeweils vier Linien-Stopps erhoben. Sie wurden bis auf eine Ausnahme allesamt durch mehr als μ^8 X-ray items auf dem Bypass-Band ausgelöst (s. Kap. 2.1.2.3). Mit einem $M=166.73$ s ($SD=133.35$ s) [8.90 s, 408.50 s] werden die Effekte vom Autor als relevant beurteilt; insb. um Effekte potenzieller Interventionen in der Simulationen darzustellen (bspw. durch eine höhere Prävalenz der X-ray alarm resolution). Entsprechend wird dieser Prozess in der Modellierung berücksichtigt.

Zusammenfassend verspricht sich der Autor durch den Ausschluss, bzw. die Zusammenlegung der diskutierten Prozesse, eine sinnvolle Komplexitätsreduktion, ohne dadurch die relevanten Simulationsresultate negativ zu beeinflussen.

2.2.2.4 Fluggast- und Gepäck-Charakteristik

In der Simulation (s. Kap. 2.4) basieren eine Vielzahl von einzelnen Zeitperioden und Entscheidungen (s. Kap. 2.3) auf den Fluggast- und Gepäck-Charakteristiken. Die Analyse dieser Merkmale erhält im Rahmen dieser Arbeit ein entsprechend hohes Gewicht.

Fluggast-Charakteristik

In einem ersten Schritt stellt Tab. 7 die Daten zu Fluggast-Typus und Geschlecht dar.

Tab. 7: Charakteristik der durchgängig analysierten Fluggäste

	VA I; $n=252$	VA II; $n=252$	Test auf Unterschiede zwischen VA	p	sign.
Fluggast Typ (PaxType)					
Kinder	22 → 9%	5 → 2%	Exakter Fisher-Test:	<.001	***
Erwachsene	226 → 90%	245 → 97%			
Erwachsene mit Kleinkind	4 → 2%	2 → 1%			
Geschlecht Fluggast (PaxSex)					
Weiblich	111 → 44%	114 → 45%	Exakter Fisher-Test:	.86	
Männlich	141 → 56%	138 → 55%			

Anmerkung. Siehe Anhang D-IV für die Beschreibung der Variablenbeschreibung

Der Fluggast-Typ (PaxType) unterscheidet sich in den untersuchten Samples signifikant. Am Erhebungstag kurz vor Ostern (VA II) wurden merklich weniger Familien mit Kindern erfasst. Erwachsene mit Kleinkindern weisen mit 1%, bzw. 2%, eine Beobachtungshäufigkeit von $<\mu^2$ auf. Im Rahmen dieser Arbeit wurden diese für weitere Analysen ausgeschlossen.

Aus den in Tab. 7 dargestellten Daten wird ersichtlich, dass sich die Geschlechterverteilung zwischen VA I und VA II nicht signifikant unterscheidet. Das Geschlecht ist im Rahmen dieser Studie dennoch ein relevantes Attribut: insb. unterscheiden sich Gepäck-Charakteristiken aufgrund dieses Gruppenmerkmals. Zudem ist die Relevanz durch geschlechtsspezifische Prozesse (bspw. metal alarm resolution, ETD Kontrolle; vgl. Kap. 2.1.2.1) gegeben. Deshalb wird dieses Attribut in der Modellierung beibehalten.

Unter Berücksichtigung der genannten Erkenntnisse können für die Simulation folgende Fluggast-Charakteristiken aus den empirischen Daten extrahiert werden:

VA I:	Erwachsene (w) 39%	(m) 52%	Kinder (w) 4%	(m) 4%
VA II:	Erwachsene (w) 44%	(m) 54%	Kinder (w) 2%	(m) 0%

Gepäck-Charakteristik

In diesem Abschnitt wird die Gepäck-Charakteristik pro Fluggast analysiert. Tab. 8 stellt eine erste Aufschlüsselung der erhobenen Gepäck-Charakteristiken pro erwachsenen Fluggast dar. Aus den darin dargestellten Daten wird ersichtlich, dass sich die Anzahl X-ray items zwischen den beiden VA signifikant unterscheiden. Jeder Fluggast führte bei der VA I im Schnitt .30 X-ray items mehr mit als bei der VA II kurz vor Ostern. Dies kann als Hinweis zur Bestärkung der Erkenntnisse von Wetter et al. (2010) interpretiert werden, da die Aussentemperatur während der VA II knapp 8 °C wärmer war. Wenn Fluggäste weniger Items bei sich tragen, kann dies wiederum zu weniger Aufwand pro Fluggast und demnach höherer Effizienz am ASC führen. Dem in Kapitel 2.2.1.1 beschriebenen Ziel, zwei Querschnittssamples mit unterscheidenden Fluggast- und Gepäck-Charakteristiken zu erheben, konnte somit entsprochen werden.

Tab. 8: Anzahl X-ray items pro erwachsenen Fluggast

	VA I; n=226	VA II; n=245	Test auf Unterschiede zwischen VA	p	sign.
Anzahl X-ray items (TotalXrayItemQty)	3.34 (1.29) [1, 8]	3.04 (1.23) [1, 7]			
1 X-ray item	9 → 4%	27 → 11%	Exakter Fisher-Test: Mann-Whitney-U-Test: U=3075.50	.02 .03	* *
2 X-ray items	54 → 24%	56 → 23%			
3 X-ray items	70 → 31%	76 → 31%			
4 X-ray items	58 → 26%	60 → 24%			
5 X-ray items	18 → 8%	20 → 8%			
6 X-ray items	14 → 6%	4 → 2%			
7 X-ray items	2 → 1%	2 → 1%			
8 X-ray items	1 → 0%	0 → 0%			

Anmerkungen. Kinder wurden für die Beschreibung der Gepäck-Charakteristik ausgeschlossen, da sie anhand des Beobachtungssystems (vgl. Kap. 2.2.2.1) kein oder $\leq 1^2$ (Schwellwert) Gepäck bei sich trugen. Im Rahmen der VA konnten keine erwachsenen Fluggäste ohne X-ray item beobachtet werden.

Die in Tab. 8 dargestellte Anzahl X-ray items unterscheidet sich bei der VA I auch auf Geschlechterebene signifikant:

VA I:	Weiblich $M=3.63$ ($SD=1.28$) [1, 7]	Männlich $M=3.13$ ($SD=1.27$) [1, 8]
	exakter Fischer-Test, $p=.07$;	Mann-Whitney-U-Test ($U=7624.50$), $p=.003^{**}$
VA II:	Weiblich $M=3.06$ ($SD=1.27$) [1, 7]	Männlich $M=3.02$ ($SD=1.21$) [1, 7]
	exakter Fischer-Test, $p=.80$;	Mann-Whitney-U-Test ($U=7551.50$), $p=.80$

Folglich wird es als sinnvoll erachtet, die Verteilungen der Anzahl X-ray items für beide VA (aufgrund der Mittelwertdifferenz von .30 items) und pro Geschlecht (signifikante Unterschiede in VA I, s. Tab. 20 in Anhang D-VII) separat zu bestimmen. Mittels ExpertFit liessen sich pro Fluggast folgende Binomialverteilungen³⁷ eruieren:

³⁷ Die Binomialverteilung (vgl. bspw. Forbes et al., 2011, S. 62ff; Law, 2015, S. 308ff) ist eine diskrete Wahrscheinlichkeitsverteilung und wird in FlexSim (2016) mit $B: p, n$ angegeben; p =Eintretenswahrscheinlichkeit pro Durchgang, n =Anzahl Durchgänge; s. a. Anhang E-I.

VA I,	Erwachsene (w):	1 + B: 7, .37 (s. Abb. 30 in Anhang D-VII)
VA I,	Erwachsene (m):	1 + B: 10, .21 (s. Abb. 31 in Anhang D-VII)
VA II,	Erwachsene (w):	1 + B: 9, .23 (s. Abb. 32 in Anhang D-VII)
VA II,	Erwachsene (m):	1 + B: 7, .29 (s. Abb. 33 in Anhang D-VII)

Anmerkung. Der Term "1 +" garantiert jeweils ein erstes X-ray item.

Für die Bestimmung der detaillierteren Gepäck-Charakteristik pro Fluggast suchte der Autor, in Zusammenarbeit mit einem Teammitglied von CASRA, nach einem simplifizierten und validen Algorithmus, bzw. einem stabilen Regressionsmodell (vgl. a. Kap. 2.3.1.1). Die in der Fussnote³⁸ erwähnten Vereinfachungen alleine führten noch nicht zu einer zufriedenstellenden Komplexitätsreduktion. Auch nach mehreren Iterationen und verschiedenen Ansätzen konnte den Ansprüchen im Rahmen dieser Arbeit nicht entsprochen werden³⁹. Die schlussendlich in dieser Arbeit implementierte Lösung zieht die relevante Gepäck-Charakteristik anhand der zuvor zugeteilten Fluggast-Charakteristik (Typus und Geschlecht) und der Anzahl X-ray items aus einer auf Basis der VA I erstellten Datentabelle.

Zusammenfassend wird es als zielführend erachtet, in der avisierten realitätsnahen Simulation die Fluggast- und Gepäck-Charakteristiken wie folgt zu bestimmen und zuzuteilen:

- *Fluggast-Charakteristiken (*1)*
- *Gepäck-Charakteristiken*
 - Anzahl X-ray items pro Fluggast (*2)
 - Anteil simple X-ray items (s. Fussnote³⁸; *3)
 - Typus aus Trolley, Rucksack, Tasche und Schuhe (*3)
 - Anteil Varia-Trays (s. Fussnote³⁸; *3)
 - Anzahl items pro Tray (*3)
 - item-Typus pro item (*4; nur für realitätsnahe Visualisierung)

Anmerkungen. *1: Diese Wahrscheinlichkeiten unterscheiden sich für VA I und VA II.

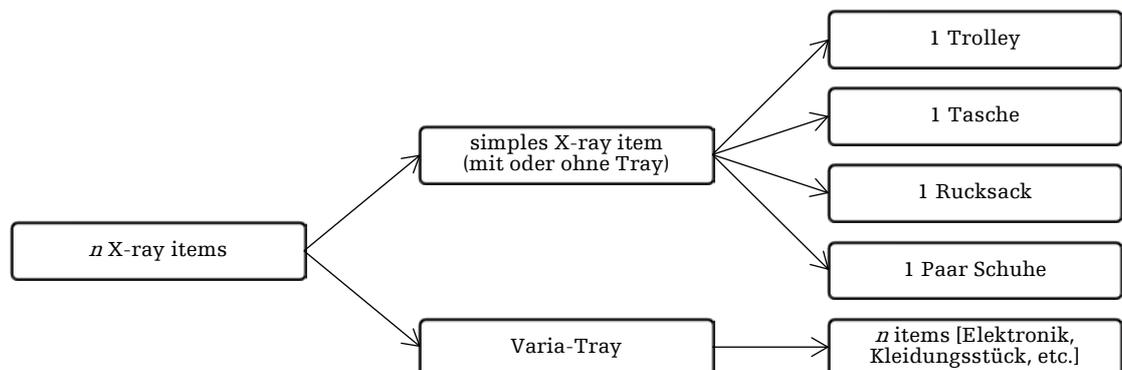
*2: Diese Verteilungen unterscheiden geschlechterspezifisch sich für VA I und VA II.

*3: Diese Parameter werden zufallsmässig aus empirischen Daten der VA I gezogen.

*4: Diese Wahrscheinlichkeiten werden zufallsmässig aus empirischen Daten der VA I gezogen, s. Tab. 21 in Anhang D-VII.

³⁸ Aufgrund von Detailuntersuchungen zur Spezifizierung der X-ray items (s. Tab. 19 und Tab. 20 in Anhang D-VII und unter Berücksichtigung der in Kap. 2.3.2 diskutierten Ergebnisse) wurden im Rahmen dieser Arbeit folgende Vereinfachungen vorgenommen:

- Jeder erwachsene Fluggast generiert mind. ein X-ray item in Form eines gemischten Trays.
- X-ray items werden unterteilt in *simple X-ray items* (können mit oder ohne Tray geprüft werden; Trolley, Tasche, Rucksack, Schuhe) und in *Varia-Trays* mit jeweils *n* items:



³⁹ Insb. scheint die Komplexität eines potenziellen Algorithmus durch die mehrheitlich signifikanten Gruppenunterschiede zwischen VA, Geschlecht, Anzahl X-ray items, X-ray item Typ und Anzahl items, sowie von im Rahmen dieser Arbeit nicht im Detail untersuchten multimodalen Abhängigkeiten, determiniert (s. Tab. 19 & Tab. 20 in Anhang D-VII).

2.3 Statistische Exploration und Validierung von Prozessmodellen

Die Zeitperioden der avisierten Simulation basieren primär auf Entscheidungsgrundlagen, welche in dieser *Vorstudie 3* aus den in Kapiteln 2.1 und 2.2 beschriebenen Erhebungen extrahiert und berechnet wurden. Die Masse an verfügbaren Daten und potenziell ableitbaren Modellen bedingte ein strukturiertes Vorgehen, gekoppelt mit einer effizienten und effektiven explorativen Datenanalyse. In folgendem Kapitel 2.3.1 sind die Methodenbeschreibungen der in dieser Arbeit durchgeführten Explorationen dargestellt, gegliedert nach Art der in der Simulation benötigten Daten. Anschliessend werden in Kapitel 2.3.2 die Ergebnisse dargestellt und diskutiert.

2.3.1 Methodik

Auf der einen Seite verleiten heutige technische Hilfsmittel dazu, die Realität durch immer komplexer werdende Modelle abzubilden. Auch Simulationsstudien dieser Art sind davon nicht befreit (bspw. Banks et al., 2010; Günther & Velten, 2014; Law, 2015). Auf der anderen Seite gilt die in der Wissenschaft bewährte Maxime, welche als *Occams' razor* bekannt ist und von den Verschriftlichungen von William von Occam (1290–1349) abgeleitet wurde: "Eine Theorie sollte so sparsam wie möglich, aber so aufwendig wie nötig sein" (Saam & Gautschi, 2015, S. 36; vgl. a. Young, Parkinson & Lees, 1996). Im aktuellen Kapitel geht es insb. um Vorhersagen von Häufigkeiten und Zeiten. Dawid und Senn (2011) beschreiben dabei, dass "good explanations typically require relatively complex models, while good prediction may be better served by simpler models" (S. 12). Im vorliegenden Fall geht es primär im Vorhersagen; entsprechend wurden einfachere Modelle favorisiert.

Vorgehen

Für alle explorierten Prozessmodelle wurde das folgende sequentielle Vorgehen gewählt:

1. Daten der VA I (Querschnittsdaten T1) dienten als Grundlage für die *Exploration* von Modellen, bzw. Verteilungen, von Zeitperioden und Entscheidungen (s. Kap. 2.3.1.1, 2.3.1.2).
2. Das im Schritt 1 als passend befundene Modell wurde im Anschluss mit den Daten der VA II (Querschnittsdaten T2) geprüft und validiert. Dieses Vorgehen kann als *Replikation* der Modelluntersuchungen (s. Kap. 2.3.1.3) verstanden werden.

2.3.1.1 Zusammenhänge von Zeitperioden und Häufigkeiten; auf Basis der VA I

Zeitperioden

Um funktionale Modelle zwischen potenziellen Prädiktoren und Zeitperioden zu erschliessen, wurden vorrangig *lineare Regressionen* gerechnet (bspw. Backhaus, Erichson, Plinke & Weiber, 2016; Field, Miles & Field, 2012; Günther & Velten, 2014; Wooldridge, 2013). Nach Hedderich und Sachs (2016) ist das Ziel einer Regressionsanalyse "anhand einer empirischen Funktion ... eine funktionale Beziehung zwischen den Größen Y und X zu finden, die es gestattet, aus vorgegebenen bzw. zu beliebigen Werten der unabhängigen Einflussgrössen X die jeweils abhängige Zielgrösse Y zu schätzen" (S. 128). Werden mehrere Prädiktoren in ein Modell inkludiert, wird von einer *multiplen Regression* gesprochen.

Wie bereits dargestellt, können Eigenschaften der realen Welt nur in den seltensten Fällen komplett durch deterministische Modelle erklärt werden (vgl. bspw. Backhaus et al., 2016; Field et al., 2012; Law, 2015; Wooldridge, 2013; Anhang B). Sie können zwar eine bestimmte Varianz aufklären (s. a. Fussnote⁴⁴, S. 42), während ein restlicher Anteil durch einen *Fehlerterm* mit unbestimmten Einflussgrössen verbleibt. Dieser Fehlerterm wurde im

Rahmen dieser Arbeit für eine stochastische Implementierung in der Simulation (vgl. Kap. 2.4.1.1) mitanalysiert und in Form von Verteilungskurven beschrieben.

Die grösste Herausforderung bei diesem Vorgehen liegt in der Findung eines passenden Modells (engl. model fitting). Die folgend dargestellten Schritte 2-9 wurden für jede in Schritt 1 identifizierte AV wiederholt⁴⁰.

1. *Identifikation von potenziell aufklärbaren Zeitperioden* als AV (bei Regressionen auch Kriterium genannt) anhand des Prozessabbildes (s. Kap. 2.1.2), der Beobachtungshäufigkeit (s. Kap. 2.2.2.2) und der Verteilungswerte⁴¹.
2. *Modellformulierung*: Identifikation von einer/mehreren potenziellen Prädiktorvariable/n (UV) pro Prozess-Zeitperiode mittels deduktiven Vorgehens (aufbauend auf dem bestehenden Prozessverständnis). Durch diese integrierte Plausibilitätsprüfung wurde einerseits versucht, alle vorhandenen und relevanten Variablen zu berücksichtigen und andererseits jene, die keinen erklärbaren Bezug zur AV haben, im Vorherein auszuschliessen. Die Linearität der Zusammenhänge wurden mittels Streudiagramm-Matrizen⁴² visuell und anhand von Korrelationswerten exploriert.
3. *Schätzung der Regressionsfunktion*: Berechnung eines integrierenden Modells mit allen in Schritt 2 identifizierten Prädiktoren mit der R-Funktion `lm()`
4. *Rückwärts-Elimination*⁴³ *von Prädiktoren*: Ausgehend vom vollständigen Modell (Schritt 3) wurden schrittweise Prädiktoren entfernt, die keinen signifikanten Einfluss auf die Zielgrösse haben und dadurch nur geringfügig zu einer Erhöhung von R^2 beitragen⁴⁴.
5. *Prüfung der Regressionskoeffizienten, kombiniert mit sinnhafter Prüfung des Modells*: Die UV/s wurden unter Berücksichtigung der jeweiligen β_j ⁴⁵, der t-Statistik (p -Wert) und mit der Perspektive einer Umsetzung in der Simulation reflektiert.
6. *Prüfung der Stichprobenresiduen*: Analyse anhand von hohen Cooks-Werten⁴⁶

⁴⁰ Alternativ hätte auch das Backhaus et al. (2016, S. 69) empfohlene Vorgehen, welches die Schritte 'Modellformulierung', 'Schätzung der Regressionsfunktion', 'Prüfung der Regressionsfunktion', 'Prüfung der Regressionskoeffizienten' und 'Prüfung der Modellprämissen' beinhaltet, verfolgt werden können. Durch die grosse Anzahl an möglichen UV/AV-Kombinationen wurde bewusst eine Synthese aus theoriegeleitetem Vorgehen (insb. Schritte 1, 2 & 5) und automatisiertem Vorgehen (Schritt 4) gewählt.

⁴¹ Insb. wurden Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) berücksichtigt, um die Relevanz im Rahmen der Simulation abzuschätzen.

⁴² Streudiagramm-Matrizen mit Angabe von Korrelationswerten wurden mit `ggpairs()` des R-Packages 'ggplot2' erstellt.

⁴³ Für die Elimination wurde die R-Funktion `step()` verwendet (vgl. bspw. Field et al., 2012; Hedderich & Sachs, 2016). Dabei wird mittels F-Statistik (p -Wert; welcher die jeweiligen R^2 , die Anzahl Beobachtungen und die Anzahl Prädiktoren einschliesst) die Entscheidung über den Verbleib einzelner Komponenten getroffen.

⁴⁴ Das Bestimmtheitsmass R^2 kann einen Wert zwischen 0 und 1 annehmen und gibt den Anteil der durch das Modell erklärten Varianz an. Um die Tatsache zu berücksichtigen, dass bei multiplen Regressionen das Modell bei jeder zusätzlichen UV unsicherer wird, wird das korrigierte R^2 berücksichtigt, welches diesen Effekt kompensiert (vgl. Backhaus et al., 2016; Hedderich & Sachs, 2016). Nach Cohen (1992) kann bei einem R^2 -Wert $\geq .26$ von einer grossen, $\geq .13$ von einer mittleren und $\geq .02$ von einer geringen Effektstärke ausgegangen werden. Dazu wurden die angegebenen f^2 -Werte mit der Formel $f^2 = \frac{R^2}{1-R^2}$ auf R^2 umgerechnet (vgl. Backhaus et al., 2016).

⁴⁵ Der Regressionskoeffizient (β -/b-Wert) stellt den Zusammenhang der UV auf die AV dar; je grösser der Koeffizient, desto höher ist der Einfluss auf die AV (vgl. bspw. Döring & Bortz, 2016; Field et al., 2012).

⁴⁶ In der vorliegenden Arbeit wurden Ausreisser mit einem hohen Cooks-Wert (R-Funktion `cooks.distance()` > 1); vgl. Field et al., 2012, S. 292) spezifisch inspiziert. Das komplette von Field et al. (2012) empfohlene sequentielle Vorgehen zum Ausschluss von Ausreissern (anhand Cooks-Wert, Leverage-Wert & Kovariatsverhältnis) wurde im Rahmen dieser Arbeit als nicht zielführend befunden. Ausreisser sind für Vorhersagen Teil des empirischen Datensatzes; ein vorschneller Ausschluss kann im vorliegenden Anwendungsfall die Validität des Modells verfälschen. Entsprechend wurden die Fälle mit einem Cooks-Wert > 1 stichprobenartig mittels Videomaterial qualitativ interpretiert (vgl. bspw. Empfehlungen von Aguinis, Gottfredson & Joo, 2013). Alle analysierten Fälle zeigten, dass es sich dabei nicht um apriorisch ausschliessbare Vorkommnisse, sondern Passagiere mit bestimmten Voraussetzungen (Familien, Probleme bei der Kommunikation, etc.) handelte. Diese wurden entsprechend nicht ausgeschlossen.

7. *Erneute Schätzung der Regressionsfunktion*: Berechnung des Modells mit den verbleibenden Prädiktoren mit der `lm()`-Funktion.
8. *Prüfung der Modellprämissen*: Lineare Regressionsmodelle setzen bestimmte Anforderungen an Daten voraus. Nebst einer zufälligen Stichprobe (gegeben durch Art der Daten), entsprechenden Skalenniveaus⁴⁷ und einer Varianz⁴⁸ bei den UV, werden in der Literatur insb. folgende Bedingungen genannt (vgl. Backhaus et al., 2016, S. 97ff; Field et al., 2012, S. 271ff):
 - *Linearität*: Ein linearer Zusammenhang der AV und einzelnen UV muss gegeben sein. Schritt 2 beinhaltet dies bereits als Prämisse potenzieller UV.
 - *Autokorrealion*: Die Residuen sind in der Grundgesamtheit unkorreliert, was mit dem Durbin-Watson⁴⁹ Test geprüft wurde.
 - *Homoskedastizität*: Eine konstante Streuung der Residuen ist eine weitere Bedingung. Dies wurde visuell mit einem Streudiagramm sowie anhand des Breusch-Pagan Tests⁵⁰ geprüft wurde.
 - *Multikollinearität*: Zwischen zwei/mehreren UV dürfen keine perfekten Korrelationen bestehen. Entsprechende UV wären auf den Streudiagramm-Matrizen (Schritt 2) visuell und durch den Korrelationswert identifiziert worden.
9. *Bestimmung der Verteilungskurve der Residuen* (Fehlerterm) mit ExpertFit (2016).

Im Rahmen eines zusätzlichen Validierungsschrittes wurde die Modellfindung von einem Teammitglied von CASRA parallel exploriert und im Anschluss querverglichen.

Bestimmung von stetigen Verteilungen

Konnte für eine Prozess-Zeitperiode mittels Regression kein valides Modell eruiert werden oder wurde die Zeitperiode in Schritt 1 als nicht relevant eingestuft, wurde anhand der empirischen Zeitperioden mittels ExpertFit (2016) eine stetige Verteilungskurve ermittelt.

2.3.1.2 Zusammenhänge von Entscheidungen und Häufigkeiten; auf Basis der VA I

Entscheidungen

In den Prozessabbildungen (s. Kap. 2.1.2.2) wird ersichtlich, dass auf Grundlage verschiedenster Merkmale Entscheidungen gefällt werden. Diese können bspw. auf zufälligen Zuweisungen, der Detektionsleistung technischer Gerätschaften oder auf menschlichen Situationsinterpretationen beruhen. Bei Ersterem können anhand der empirischen Daten einfache unabhängige *Wahrscheinlichkeiten* (s. a. Kap.2.2.1.3) gerechnet werden. Im Rahmen dieser Arbeit wurden für die letzteren zwei Möglichkeiten (insb. zur Entscheidung des Operators für eine X-ray alarm resolution) erst *logistische Regressionen* exploriert⁵¹.

⁴⁷ Bei einer linearen Regression muss das Skalenniveau der AV mind. intervallskaliert sein. Dies wurde in Schritt 2 berücksichtigt. Die UV/s darf/dürfen auch ein kategoriales Skalenniveau aufweisen, wenn geeignet codiert wurde (vgl. Field et al., 2012).

⁴⁸ Die Varianz >0 wurde mit der Berechnung der SD geprüft und bereits in Schritt 2 berücksichtigt.

⁴⁹ Der Durbin-Watson Wert (vgl. Durbin & Watson, 1951) wurde mit der `DurbanWatsonTest()`-Funktion des R-Packages 'DescTools' (Signorell, 2016) berechnet. Als Daumenregel beschreiben Field et al. (2012) Werte <1 und >3 als problematisch; der Wert 2 wäre ideal und deutet auf keine Korrelation hin.

⁵⁰ Der Breusch-Pagan Test (Breusch & Pagan, 1979) wurde mit der `bptest()`-Funktion des R-Packages 'lmtest' (Hothorn et al., 2015) berechnet.

⁵¹ Im Unterschied zur normalen linearen Regression, sollte hierbei das geschätzte Y idealerweise die diskreten Werte Null oder Eins aufzeigen. Die *logistische Regression* berücksichtigt dies durch die logistische Transformation von Y. Dies wird auch als Linkfunktion bezeichnet; dabei wird Y als natürlicher Logarithmus des Wettquotienten (auch *odds* genannt) mit $\ln\left(\frac{p}{1-p}\right)$ gewandelt (vgl. Howell, 2013, S. 560). Das für die lineare Regression vorgestellte Vorgehen unterscheidet sich nur partiell zum gewählten Vorgehen bei logistischen Regressionen und wird nicht näher erläutert.

Dabei kann vorweggenommen werden, dass die Exploration auf Basis der verfügbaren Daten nicht zu stabilen logistischen Regressionsmodellen führte. Folglich wurden die Prävalenzen auf Ebene der einzelnen Gepäck-Typen auf Unterschiede geprüft und die Wahrscheinlichkeit pro Typus berechnet (s. a. Kap.2.2.1.3).

2.3.1.3 Replikation und Validierung der Modelle; auf Basis der VA II

Mit dem Ziel die gewählten Prädiktoren der Regressionsmodelle der Vorstudie bereits zu validieren, wurden die aus den VA I explorierten Modelle in einem sequentiell folgenden Schritt auf Basis der Daten von der VA II *repliziert*. Dafür wurde die R-Funktion `predict()` verwendet. Diese kann ein bestehendes Regressionsmodell mit neuen Daten evaluieren und den entsprechenden R^2 -Wert ausgeben.

Konnte auf Basis der VA I kein Regressionsmodell bestimmt werden, wurden die empirischen Verteilungen aus den Daten der VA I für die Simulation bestimmt.

Für die in einem späteren Schritt durchgeführte Validierung des kompletten Simulationsmodells (s. Kap. 2.4.1.3) wurden zudem die beiden VA-Samples auf Unterschiede geprüft. Konnten keine signifikanten Unterschiede identifiziert werden (was in der vorliegenden Arbeit jeweils der Fall war), bezieht sich auch die Validierung in Kapitel 2.4 auf die entsprechenden Verteilungs-Kenndaten der VA I.

2.3.2 Ergebnisse und Diskussion

Folgend werden die Ergebnisse der Modellgenerierung chronologisch nach dem Prozessablauf (s. Kap. 2.1.2) gegliedert dargestellt und diskutiert. Die ergänzenden Angaben zu den Modellen, der Voraussetzungsprüfung von Regressionen und zu den eruierten Verteilungen sind in Anhang D-VIII ausgeführt.

Unterprozess 'Divesting'

Die Zeitperiode *Divesting* wurde in den VA vom Start *Divesting* (Bereitlegen des ersten items) bis zum Start WTMD-Queueing (oder -Durchtritt) erhoben (s. Tab. 14 in Anhang D-IV). Unter Berücksichtigung der Zeitperiode des Fluggast-Vorgängers wurde die für die Simulation relevante Dauer des *beaufsichtigten Divestings* (*TotalAttendedDivestingTime*; s. Tab. 17 in Anhang D-V; $M=29.41$ s ($SD=20.22$ s) [2.20 s, 147.00 s]) errechnet. Für die Exploration von potenziellen Prädiktoren wurden insb. Merkmale der Fluggast- und der Gepäck-Charakteristik auf Basis der VA I berücksichtigt (s. Anhang D-VIII für alle untersuchten Prädiktoren). Nach dem in Kapitel 2.3.1 beschriebenen Vorgehen konnte die Varianz der Zeitperiode *beaufsichtigtes Divesting* am passendsten anhand der folgenden zwei errechneten Prädiktoren aufgeklärt werden:

- *Anzahl X-ray items* (*TotalXrayItemQty*, s. Tab. 18 in Anhang D-V)
- *Anzahl items in Varia-Trays* (*TotalVariaItemsQty*, s. Tab. 18 in Anhang D-V)

Das Hinzuziehen von weiteren Prädiktoren konnte die Daten nicht wesentlich besser schätzen; sie verringerten jedoch die Robustheit (vgl. Döring & Bortz, 2016) des Modells, was mit einem tieferen korrigierten R^2 -Wert einhergeht. Das multiple Regressionsmodell zur Schätzung der *beaufsichtigten Divesting Zeit* kann mit der *Anzahl X-ray items* ($b_1=5.52$, $t=5.81$, $p<.001^{***}$) und der *Anzahl items in Varia-Trays* ($b_2=3.06$, $t=5.09$, $p<.001^{***}$) zu 25% bestimmen: $R^2=.25$, $F(2,209)=36.11$, $p<.001^{***}$, $b_0=2.28$. Nach Cohen (1992) entspricht dies noch einer mittleren Effektstärke (s. Fussnote⁴⁴, S. 42). Für die Residuen liess sich mit

ExpertFit folgende Log-logistische-Verteilung⁵² bestimmen: Log-logistic, mit $Location=58.14$, $k=55.64$, $\theta=6.58$.

Die Prüfung der Voraussetzungen (s. Anhang D-VIII) deutet auf eine Verletzung der Homoskedasität. Folglich wurden die Konfidenzintervalle zusätzlich mit der *fehlerkorrigierten Bootstrapping-Methode* (engl. bias-corrected bootstrapping method; BC; Efron, 1987) untersucht. Die BC_a -Werte⁵³ geben dabei dieselben Signifikanzniveaus aus und stützen das Regressionsmodell somit (vgl. Field et al., 2012; Fox, 2016).

Im Zuge der Validierung wurde das Modell in einem Folgeschritt mit den empirischen Daten der VA II geprüft. Dabei errechnete sich ein R^2 -Wert von .37. Folglich kann das multiple Regressionsmodell die Daten der VA II besser vorhersagen, als die der VA I. Es wird davon ausgegangen, dass dieses atypische Phänomen bei der VA II durch die geringere Anzahl von Familien mit Kindern bewirkt wird (s. Kap. 2.2.2.4). Das Modell zur Schätzung der Dauer des *beaufsichtigten Divestings* kann somit als validiert bezeichnet werden.

Unterprozess 'X-ray screening'

Wetter et al. (2010) beschreiben, dass "the throughput of a security control lane ... depends on the speed of the x-ray system or, to be precise, on the speed of its conveyor belt and the spacing between baggage" (S. 154ff). Die von einem/r Operateur/in für die Entscheidung benötigte Zeit, ob der Inhalt auf einem X-ray Bild als gefahrlos beurteilt werden kann oder nicht, wird folglich als weniger relevant erachtet. Im Rahmen der VA wurden für dieses Merkmal keine dedizierten Daten erhoben werden⁵⁴. Die minimal verfügbare Dauer ist dadurch im Rahmen der Vorstudie durch die Bandgeschwindigkeit der X-ray Maschine (.60 m/s) sowie durch den Intervall des Taktbandes (resultiert in .50 m Abstand zwischen Trays) determiniert.

Die Wahrscheinlichkeit, ob ein X-ray item von dem/r Operateur/in für ein X-ray alarm resolution aussortiert werden soll, wird in der Literatur für die Bestimmung der Effizienz-Kenndaten als zentral eingeschätzt (bspw. Dorton & Liu, 2016; Sterchi & Schwaninger, 2015). Folglich wurde die Wahrscheinlichkeit für eine *X-ray alarm resolution* pro X-ray item Typus im Detail betrachtet (Logistische Regression führte zu keinem stabilen Modell; s. a. Tab. 23 in Anhang D-VIII; \clubsuit^{13}). Die Prävalenzen unterscheiden sich nicht signifikant zwischen den beiden Erhebungen. Demzufolge wurden die Prävalenzen für eine manuelle Durchsuchung aus den erwähnten empirischen Daten der VA I bestimmt und für die Simulation übernommen (\clubsuit^{13}).

Unterprozess 'WTMD Kontrolle'

Die empirisch erhobene Dauer des Unterprozesses *WTMD Kontrolle* (WTMDPrimaryTime) ist bei der VA I mit $M=2.66$ s ($SD=.70$ s) [1.40 s, 6.00 s] kurz. Entsprechend wurde dafür kein Regressionsmodell gerechnet (vgl. Schritt 1, Kap. 2.3.1.1). Abb. 8 stellt die erhobenen Zeitperioden graphisch dar. Bei Durchritten ohne Alarm sind die Unterschiede zwischen VA I und VA II gem. Mann-Whitney-U-Test nicht signifikant ($U=20057$), $p=.15$. Die Beobachtungen bei Alarm unterscheiden sich interessanterweise gem. Mann-Whitney-U-Test zwischen beiden VA signifikant ($U=374$), $p<.001^{***}$. Die Erklärung dieser Unterschiede

⁵² Die Log-logistische Verteilung (vgl. bspw. Law, 2015, S. 299ff; Nelson, 2005, S. 50) ist eine stetige Wahrscheinlichkeitsverteilung und wird in FlexSim (2016) mit drei Parametern angegeben: *Location* (Verschiebung auf der X-Achse), *k*=Skala, θ =Form.

⁵³ Der BC_a -Wert wurde mit der *boot.ci()*-Funktion des R-Packages 'boot' (Ripley, 2016) mit 10'000 Durchgängen berechnet.

⁵⁴ Die erwarteten und für eine potenzielle Aufklärung relevanten TIP-Daten standen im Rahmen dieser Arbeit nicht zur Verfügung, s. a. Fussnote³², S. 31.

könnte mit dem Fluggast Sample begründet werden. Dabei könnte eine unbestätigte Annahme lauten, dass Fluggäste der VA II (kurz vor Ostern) weniger flugerfahren sind und dadurch bei einem Alarm eher irritiert reagieren (bspw. im Bereich des WTMD kurz stehen bleiben). Im Rahmen dieser Arbeit wird dieser Effekt jedoch nicht weiter untersucht. Es wird angenommen, dass die unterschiedlichen Zeitperioden (bei VA II; Differenz zwischen mit und ohne Alarm: $M=0.67s$) einen vernachlässigbaren Effekt auf die Effizienz hat. Entsprechend wird die Zeitperiode für die Simulation mit einer durch ExpertFit (2016) eruierten Lognormal-Verteilungskurve⁵⁵ fixiert; LN: $M=2.66 s$, $SD=.70$.

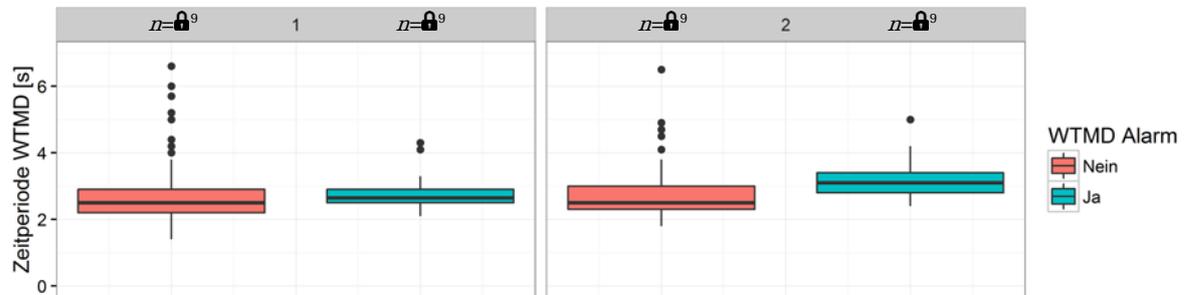


Abb. 8: Boxplot der WTMD-Zeitperioden in Sekunden (links: VA I; rechts: VA II)

Anmerkung. In der Grafik sind metal und quota alarms als WTMD Alarms zusammengefasst dargestellt.

Anhand der WTMD-Alarm-Fallzahlen der VA I (metal und quota alarms zusammengefasst) konnten keine signifikanten geschlechterspezifischen Unterschiede bestimmt werden (exakter Fischer-Test: $p=.74$). Auch zwischen beiden VA zeigten sich keine signifikanten Unterschiede im Sample (exakter Fischer-Test: $p=.55$). Folglich werden für die Simulation die in der Tab. 6 (S. 37) dargestellten Prävalenzen der VA I verwendet.

Unterprozess 'Metal alarm resolution'

Die bescheidene Anzahl erhobener Zeitperioden zu *Metal alarm resolution* liess keine stabile Modellierung mittels Regression zu (nach Zusammenlegung der Untersuchungen inner- und ausserhalb der Kabine; VA I: $n=14$, VA II: $n=11$; s. Tab. 6, S. 37). Folglich wurden die Zeitperioden mittels Mann-Whitney-U-Test auf Unterschiede zwischen den Geschlechtern untersucht ($U=74$): $p=.89$, sowie im Anschluss auf Unterschiede zwischen den Daten der VA I und VA II ($U=80$): $p=.89$. Es wurden keine signifikanten Differenzen zwischen den untersuchten Samples festgestellt.

Anhand der Daten aus der VA I konnte mittels ExpertFit (2016) für die Zeitperiode folgende Gamma-Verteilungskurve⁵⁶ bestimmt werden; Gamma: $Location=41.10$, $k=7.55$, $\theta=6.97$.

Unterprozess 'ETD Kontrolle, ohne Gepäck'

Die Zeitperioden der beiden ETD Kontroll-Typen (mit/ohne Gepäck) wurden getrennt untersucht. Ohne Gepäck wurden bei der VA I Zeitperioden von $M=32.55 s$ ($SD=5.93 s$) [25.7 s, 43.6 s] erhoben. Mittels Mann-Whitney-U-Test konnten keine Geschlechterunterschiede gefunden werden ($U=80$): $p=.46$. Auch die im Anschluss durchgeführte Prüfung mit dem Mann-Whitney-U-Test auf Unterschiede zwischen den beiden VA war (knapp) nicht signifikant ($U=57$): $p=.06$.

⁵⁵ Die Lognormal-Verteilung (vgl. bspw. Forbes et al., 2011, S. 131ff; Law, 2015, S. 294ff) ist eine stetige Verteilung und wird in FlexSim (2016) mit den drei Parametern LN: M , k , θ angegeben; $Location$ (Verschiebung auf der X-Achse), $k=Skala$, $\theta=Form$; oder nur mit M und SD .

⁵⁶ Die Gamma-Verteilung (vgl. bspw. Forbes et al., 2011, S. 109ff; Law, 2015, S. 288ff) ist eine stetige Verteilung und wird in FlexSim (2016) mit den drei Parametern Gamma: M , k , θ angegeben; $Location$ (Verschiebung auf der X-Achse),

Folglich konnte anhand der VA I-Daten und mittels ExpertFit (2016) die Verteilung bestimmt werden; Lognormal-Verteilungskurve (s. Fussnote⁵⁵) mit den Parametern; LN: $Location=22.55$, $k=9.34$, $\theta=.51$.

Unterprozess 'ETD Kontrolle, mit Gepäck'

Für die Zeitperiode *ETD Kontrolle mit Gepäck* konnte anhand der Daten aus der VA I wiederum ein Regressionsmodell ermittelt werden. Ergänzende Angaben zu den untersuchten Variablen und zum Modell sind in Anhang D-VIII dargestellt.

Das Regressionsmodell zur Schätzung der Zeitperiode *ETD Kontrolle mit Gepäck* kann mit der *Anzahl X-ray items* ($b_1=14.79$, $t=4.57$, $p=.001^{**}$) zu 59% bestimmt werden: $R^2=.59$, $F(1, 1^{10})=20.88$, $p<.001^{***}$, $b_0=36.98$. Nach Cohen (1992) sind dies exzellente Effektstärken.

Für die Residuen liess sich mit ExpertFit (2016) eine Normalverteilung⁵⁷ mit folgenden Parametern bestimmen: $M=0.00$, $SD=17.90$.

In einem darauf folgenden Schritt wurde das Modell mit den in VA II erhobenen Daten geschätzt. Dabei ergab sich ein unzureichender R^2 -Wert von .00. Eine genauere Untersuchung des Datensamples machte deutlich, dass die Varianz der Anzahl X-ray items in den betroffenen Fällen der VA II mit $SD=1.01$ relativ gering ist, kombiniert mit einer kleinen Fallzahl. Kein mit ETD kontrollierter Fluggast verzeichnete mehr als vier X-ray items. Aufgrund der Annahme, dass die Validierungsergebnisse an einem ungünstigen Sample liegen, wird im Rahmen dieser Arbeit dennoch das beschriebene Modell der VA I verwendet.

Unterprozess 'Recomposing'

Auch für die Zeitperiode des Unterprozesses *Recomposing* konnte anhand der Daten aus der VA I ein Regressionsmodell ermittelt werden. Dazu wurde zusätzlich folgende Variable berechnet:

- *Anzahl recomposed X-ray items* (TotalXrayItemQty-TotalManualSearchQty; s. Tab. 18 in Anhang D-V)

Ergänzende Angaben zu den untersuchten Variablen sind in Anhang D-VIII dargestellt.

Das multiple Regressionsmodell kann die Varianz der Zeitperiode *Recomposing* mit der *Anzahl recomposed X-ray items* ($b_1=7.67$, $t=1.71$, $p<.001^{***}$), der *Anzahl items in Variatorays* ($b_2=2.96$, $t=1.07$, $p=.006^{**}$) und der *beaufsichtigten Divesting Zeit* ($b_3=.38$, $t=.11$, $p=.001^{**}$) zu 24% schätzen: $R^2=.24$, $F(3,208)=23.63$, $p<.001^{***}$, $b_0=9.55$. Der R^2 -Wert kann nach Cohen (1992) als mittlere Effektstärke betrachtet werden.

Die Verteilung der Residuen lässt sich mit ExpertFit (2016) wie folgt bestimmen: Lognormal-Verteilungskurve (s. Fussnote⁵⁵, S. 46); LN: $Location=-93.36$, $k=89.12$, $\theta=.31$.

Der Breusch-Pagan Test deutet auf eine Verletzung der Homoskedasität hin (s. Anhang D-VIII). Folglich wurde auch dieses Modell durch Bootstrapping geprüft (analog dem Unterprozess 'Divesting'). Es zeigten sich keine Unterschiede der Signifikanzniveaus.

Die nachgelagerte Überprüfung des Modells mit den empirischen Daten der VA II ergab einen R^2 -Wert von .27. Anhand der Einstufungen von Cohen (1992) entspricht dies einer exzellenten Effektstärke; entsprechend kann das gewählte Modell als valide betrachtet werden.

k =Skala, θ =Form.

⁵⁷ Die Normalverteilung (vgl. bspw. Forbes et al., 2011, S. 143ff; Law, 2015, S. 292ff) ist eine stetige Verteilungskurve

Unterprozess 'X-ray alarm resolution'; pro X-ray item

Die Bestimmung eines Modells für die Zeitperiode *X-ray alarm resolution* stützt sich auf die in Kapitel 2.2.2.4 vorgestellte, vereinfachte Gepäck-Kategorisierung. Die Anzahl der pro Kategorie erfassten Fälle ist jedoch gering. Unter der Annahme, dass die einzelnen Verteilungen der Zeitperioden unter den Kategorien ähnlich sind, werden die Mittelwerte der Verteilungsparameter (in diesem Fall des Fehlerterms) analog zum Vorgehen der bisherigen Modelle geschätzt.

Das multiple Regressionsmodell zur Schätzung der Zeitperiode *X-ray alarm resolution* pro X-ray item kann mit den kategorialen item-Merkmalen *Trolley* ($b_1=79.28$, $t=18.67$, $p<.001^{***}$), *Tasche* ($b_2=18.41$, $t=14.97$, $p=.23$) sowie *Rucksack* ($b_3=71.53$, $t=17.04$, $p<.001^{***}$) zu 44% bestimmt werden: $R^2=.44$, $F(3,32)=10.09$, $p<.001^{***}$. Der Achsenschnittpunkt $b_0=79.90$ ($t=7.62$, $p<.001^{***}$) kann zeitgleich als Koeffizient eines Varia-Trays verstanden werden. Das hohe Bestimmtheitsmass von R^2 lässt nach Cohen (1992) auf eine exzellente Effektstärke schliessen (s. Fussnote⁴⁴, S. 42).

Aus den Residuen konnte ExpertFit (2016) die Verteilung des Fehlerterms als Normalverteilung mit folgenden Parametern bestimmen: $M=0.00$, $SD=32.59$.

Die nachgelagerte Validierung auf Basis der VA II Daten ergibt einen R^2 -Wert von .43. Daraus ableitend kann auch das Modell zur Bestimmung der *X-ray alarm resolution* als validiert bezeichnet werden.

Unterprozess 'Recomposing nach X-ray alarm resolution'

Abschliessend wird in diesem Kapitel die Dauer des *Recomposing nach einer X-ray alarm resolution* analysiert ($M=54.77$ s ($SD=37.66$ s) [6 s, 149.90 s]). Zwischen den Geschlechtern wurde kein signifikanter Unterschied festgestellt; Mann-Whitney-U-Test ($U=137$): $p=.90$. Analysen ergaben, dass diese Dauer nicht einfach mittels Regressionsmodell durch Prädiktoren schätzbar ist. Zudem sind die Unterschiede zwischen den beiden VA (knapp) nicht signifikant: Mann-Whitney-U-Test ($U=650$): $p=.06$. Folglich wurde mittels ExpertFit (2016) anhand der Daten der VA I eine Verteilung mit folgenden Parametern bestimmt; Gamma: $Location=0.00$, $k=30.08$, $\theta=1.89$ (s. Fussnote⁵⁶, S. 46).

Zusammengefasst konnte für alle dynamischen und als relevant erachteten Zeitperioden ein Modell oder eine Verteilung, bzw. für Prävalenzen ein Daten-Set, bestimmt werden. Durch die Vereinfachung und Vereinheitlichung der gewählten Prädiktoren und Gruppeneinteilungen konnte ein potenziell künftig relevanter Vorteil eingebracht werden. Die Mehrheit der gewählten Prädiktoren ist für kommende Erhebungen mittels vorhandenen Daten und technischen Einrichtungen automatisch bestimmbar (Geschlecht: bspw. anhand von Fluggastinformationen des boarding pass; Anzahl X-ray items: bspw. anhand der TIP-Daten).

Für Zuteilungen von Anzahl items in Varia-Trays sowie Typus der simplen X-ray items konnte bisher kein geeignetes/r Modell/Algorithmus erstellt werden. Im Rahmen dieser Arbeit werden die Daten aus Listen auf Basis der empirischen Daten gezogen.

Der Autor geht davon aus, dass die Anwendung der beschriebenen Regressions-Modelle und Verteilungen in einer Simulation zur Vorhersage der Effizienz genutzt werden können. Die Prüfung dieser Annahme wird im kommenden Kapitel 2.4 durchgeführt.

und wird mit zwei Parametern angegeben: M , SD .

2.4 Implementierung, Verifikation und Validierung der Simulation

Während die Vorstudien 1 bis 3 auf die Modellkonstruktion fokussierten, geht es bei der *Vorstudie 4* um die Umsetzung des formalen Modells in einer 3D-Simulationsumgebung, die Verifikation und die Validierung des Simulationsmodells. In Kapitel 2.4.1 wird die Methode beschrieben und in Kapitel 2.4.2 werden die Ergebnisse dargestellt und diskutiert.

2.4.1 Methodik

Nebst einer qualifizierten Analyse des Status-Quo und der Modellkonstruktion (Vorstudie 1-3) wird in der Literatur eine dem Untersuchungsziel angepasste Umsetzung, Verifikation und Validierung als relevant angesehen (vgl. bspw. Bungartz, Zimmer, Buchholz & Pflüger, 2013; Law, 2015; Oberkampf & Roy, 2010). Das Vorgehen ist dabei abhängig vom Kontext, der Komplexität und Disziplin. Abb. 9 basiert auf den Ausführungen von Schleisinger (1979, nach Oberkampf & Roy, 2010). Dabei werden die Phasen und Zusammenhänge der *Realität*, des *konzeptuellen Modells* (in dieser Arbeit synonym verwendet mit 'formalem Modell'; s. a. Einleitung Kap. 2, Anhang B) und des *Simulationsmodells* verdeutlicht.

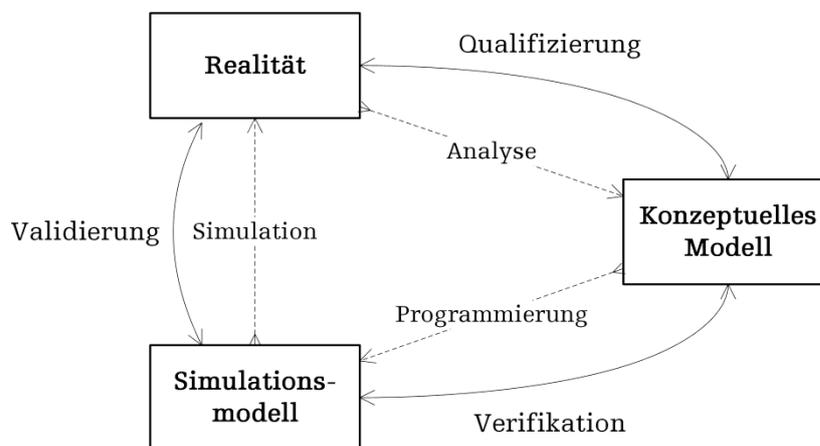


Abb. 9: Phasen der Modellierung und Simulation (nach Oberkampf & Roy, 2010, S. 23)

In folgendem Kapitel 2.4.1.1 wird kurz auf die *Implementation* (in Abb. 9 *Programmierung* genannt) eingegangen. Kapitel 2.4.1.2 beschreibt anschliessend das Vorgehen der Verifikation, während Kapitel 2.4.1.3 auf die Validierung der Simulation eingeht.

2.4.1.1 Implementation in Simulation

Die bisherigen Erhebungen des Status-Quo (s. Kap. 2.1; 2.2) zeigten keine konkreten Anzeichen einer wechselseitigen Beeinflussungen durch die gemeinsam genutzte Infrastruktur (bspw. WTMD) auf. Im Rahmen dieser Arbeit wurde folglich in der Simulation eine *einzelne Linie* implementiert. Die Simulation wurde mit der kommerziellen Simulationsumgebung von *FlexSim* (2016) umgesetzt⁵⁸. Alle spezifischen Programmteile wurden mittels Codesyntax (*FlexScript*; vgl. FlexSim, 2016) implementiert. Wie es bei ereignisorientierten Programmierumgebungen üblich ist, wird beim Eintreffen von Ereignissen während der Laufzeit der dazugehörige Programmcode ausgelöst (s. a. Anhang B). In der vorliegenden Arbeit sind diese Trigger mehrheitlich mit dem Eintreffen oder Verlassen

⁵⁸ FlexSim (2016) beinhaltet bereits von Hause aus eine umfangreiche 3D-Objekt Bibliothek (s. a. Anhang E-I), eine an C++ angelehnte Skriptsprache (FlexScript) sowie, seit dem neusten Release (von anfangs 2016), eine rein grafische Programmierumgebung (ProcessFlow). Das Softwarepaket findet heute primär für Simulationen von Materialflüssen für Logistik- und Produktionssystemen Anwendung. Zudem vertreibt FlexSim auch das Produkt 'HealthCare', welches auf die Simulation von Personenströmen und Abfertigungszeiten im Spitalkontext konzipiert wurde.

eines beweglichen Objektes (bspw. Fluggast, Tray) bei/von räumlich statischen Objekten (bspw. WTMD, Bypass-Band) verknüpft (s. Abb. 10). Zudem wurden für die simulierte Linie 137 zusätzliche 'helper objects' implementiert. Diese haben eine Funktion (analog den statischen Objekten), sind jedoch für die realitätsnahe Visualisierung nicht sichtbar. Das umgesetzte Modell basiert auf knapp 60 Verknüpfungen (connections), rund 150 individuellen Programmteilen (code snippets), ergänzt mit 20 globalen Funktionen (user commands) und 20 Tabellen (global tables und global lists). Tabellen dienen während der Laufzeit dem Einlesen von Prozessparametern, Zwischenspeichern von Zuständen und Ausgeben von im Anschluss auswertbaren Daten. Zudem sind insb. Fluggäste und Trays Träger von dynamischen Eigenschaften (labels). Sobald ein Fluggast das virtuelle System verlässt, werden diese Daten in eine exportierbare Tabelle geschrieben. Diese enthält alle relevanten Variablen; analog den verwendeten Daten der VA (insg. 95 Variablen pro Fluggast). Die virtuellen SBF (in Abb. 10 mit blauem Shirt dargestellt) folgen einem vorgegebenen Geh-Pfad (path network).

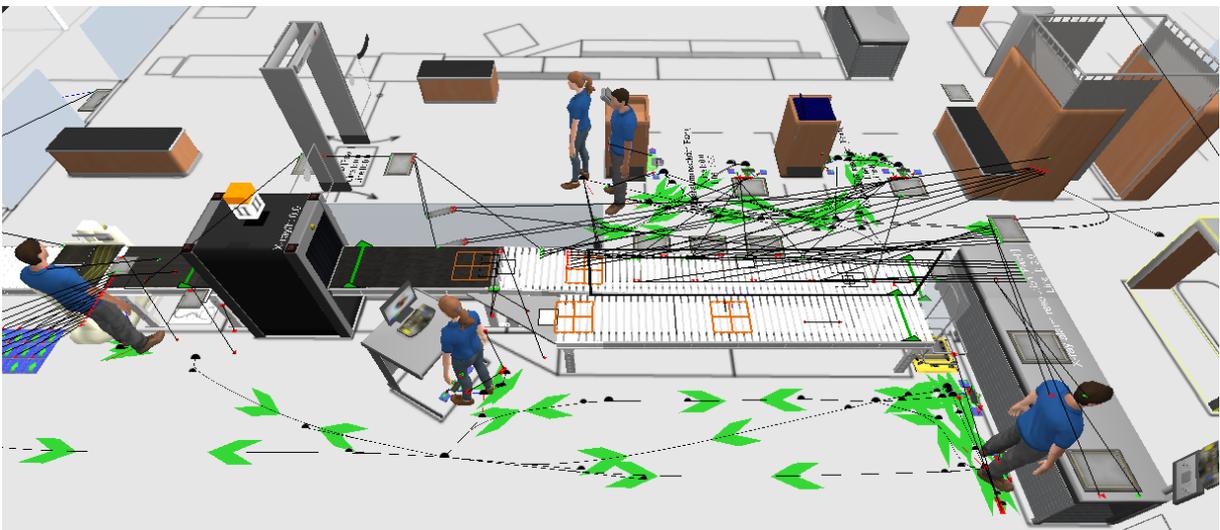


Abb. 10: Screenshot der Simulation mit helper objects, Geh-Pfaden und Verknüpfungen
Anmerkungen. Helper objects sind bspw. vor und nach dem WTMD und auf dem Auspacktisch (rechts) ersichtlich. Geh-Pfade sind bspw. unten im Bild mit grünen Richtungspfeilen angezeigt. Connections sind als gerade Linien zwischen den Objekten eingeblendet.

Alle Codeabschnitte sind umfassend kommentiert, um eine spätere Nachvollziehbarkeit des Programms zu erleichtern. In Anhang E-I wird auf eine Auswahl von Implementierungen (insb. von Modellen, 3D-Grafiken und Geschwindigkeiten) eingegangen. Eine ausführlichere Beschreibung des Simulationsmodells entspricht jedoch nicht dem Hauptfokus dieser Arbeit, würde den Umfang dieses Berichts bei weitem überschreiten und wird folglich nicht als Teil der vorliegenden Studie angesehen.

2.4.1.2 Verifikation während der Implementierung

Im Rahmen der Simulationsumsetzung wurde das virtuelle Modell vor und nach jeder Teilimplementierung mit dem formalen Modell verglichen. Dadurch konnte sichergestellt werden, dass die Prozesse unter verschiedenen Bedingungen richtig ablaufen und die berechneten Prozessperioden eingehalten werden. Im Kontext von Simulationen spricht man dabei von *Verifikation*. Die Definition geht dabei je nach Autor, Kontext und Disziplin mehr oder weniger ins Detail. Diese Arbeit bezieht sich auf eine ältere, jedoch universell verwendbare, Auslegung von Schlesinger (1979; nach Oberkampff & Roy, 2010): "Substantiation that a computerized model represents a conceptual model within specified limits of accuracy" (S. 22).

Basierend auf den in der Vorstudie 2 erarbeitenden Ergebnissen (in Form von Prozessdarstellungen) konnten nicht nur die Struktur der Simulation vorgegeben, sondern gleichzeitig auch die implementierten Abläufe verifiziert werden. FlexSim (2016) erlaubt die direkte Simulationsausführung mit visueller Ausgabe der Situationen. Dadurch konnten bspw. 'fehlgeleitete' oder 'stehengelassene' Fluggäste und Trays identifiziert werden sowie der entsprechende Codeabschnitt direkt angepasst werden. Für die Verifikation der Prozessperioden unterstützte eine Excel Tabelle mit eigens programmiertem VBA-Skript. Nach einem Simulationslauf konnten damit die Tabellen aus FlexSim (s. Kap. 2.4.1.1) mit den ausgegebenen Zeiten (berechnet vs. simuliert) im Detail, als auch aggregiert, verglichen werden. Dadurch konnten insb. Fluggast-Wegzeiten pro Prozessoption individuell kalibriert werden. Auf eine Ausführung dieser Details wird im Rahmen des Berichtes verzichtet - die Resultate spiegeln sich jedoch in den Ergebnissen (s. Kap. 2.4.2) wider.

2.4.1.3 Validierung der Simulationsergebnisse

Nebst der Verifikation auf einer Mikroebene (Prozesse im Detail), wurden auch Ergebnisse auf der Makroebene (aus dem System resultierend) betrachtet. Im Kontext dieser Arbeit sind dabei insb. aggregierte und summierte Daten angesprochen, welche sich aus der Emergenz (s. Anhang B) ergeben. Als Definition von *Validierung* bezieht sich diese Arbeit wiederum auf die Auslegung von Schlesinger (1979; nach Oberkampff & Roy, 2010): "Substantiation that a computerized model within its domain of applicability possesses a satisfactory range of accuracy consistent with the intended application of the model" (S. 22).

Im Gegensatz zu den ressourcenintensiven Erhebungen der Realität (s. Vorstudie 2; Kap. 2.2), kann die Simulation mit dem in FlexSim (2016) integrierten '*Experimenter*'⁵⁹ nahezu beliebig oft repliziert werden. Aufgrund der stochastischen Implementierung bestimmter Parameter (s. Anhang B; Kap. 2.3) unterscheiden sich die Ergebnisse bei jedem Durchlauf. Eine reine Analyse der Daten mittels Inferenzstatistik (bspw. T-Tests) wird als nicht zielführend und teils als problematisch erachtet⁶⁰. Im Rahmen dieser Arbeit wird die Validierung folglich primär anhand deskriptiver Darstellungen und ausgewählten Testverfahren, bspw. mit dem *Kolmogorov-Smirnov (KS) Test*⁶¹, vorgenommen. Für die in der Vorstudie 4 durchgeführten Validierungen wurden pro Szenario jeweils 250 *Replikationen* simuliert.

Nebst der Anzahl Replikationen, kann in FlexSim (2016) auch die *Simulationslänge* nahezu beliebig bestimmt werden. Aufgrund des in Kapitel 2.1.2.3 beschriebenen Linien-Stops⁶² ist dieser Aspekt im Kontext des Untersuchungsgegenstandes zu berücksichtigen. Bei zu kurzen Simulationsperioden sinkt die Prävalenz dieses sich aufschaukelnden Ereignisses. Im Rahmen dieser Arbeit wurde pro Replikation eine Zeitdauer von 120 Minuten simuliert.

Die in Kapitel 1.4.2.2 dargestellten Effizienz-Kennndaten (Durchsatz, Flugast-Dichte und Prozesszeit) stehen im Zentrum der Validierung. Diese wurden auf Basis der VA- und Simulations-Daten anhand der folgenden Beschreibungen bestimmt.

⁵⁹ Der *Experimenter* ist eine in FlexSim integrierte Applikation, mit welcher das Simulationsmodell ohne grafische Visualisierung mit vorgegebenen Szenarien und Anzahl Replikationen instanziiert und kernelabhängig simultan ausgeführt werden kann. Dabei können die generierten Tabellen pro Simulationslauf als Dateien abgespeichert werden.

⁶⁰ Eine Simulation mit stochastischen Anteilen kann die Realität nie komplett abbilden (s. a. Einleitung Kap. 2). Zudem können durch die freie Bestimmung der Samplezahl Testergebnisse manipuliert werden: Bspw. wird bei einem Mittelwertvergleich mit steigender Samplezahl die Wahrscheinlichkeit grösser, signifikante Unterschiede zu bestimmen.

⁶¹ Mittels Kolmogorov-Smirnov-Test können Verteilungen zweier Stichproben untersucht werden, ob sie derselben Verteilungsfunktion folgen. Der kritische Wert wird von der kleineren *n*-Zahl bestimmt, was den Test immun auf unterschiedliche *n* macht. In der vorliegenden Arbeit wurde dazu die *ks.test()*-Funktion des R-Packages 'stats' verwendet.

⁶² Befindet sich eine bestimmte Anzahl Trays auf dem Bypass-Band, wird der *Divesting*-Prozess neuer Fluggäste unterbrochen bis die Alarmer der Trays aufgelöst sind. Bei der VA I & VA II wurde während gesamten der Erhebungszeit (3:00h & 3:30h) über beide Linien jeweils viermal ein Linien-Stopp registriert (s. Kap. 2.2.2.3).

Durchsatz

Der Durchsatz der VA und der Simulation wurde wie folgt errechnet:

$$\text{Durchsatz}/h = \frac{3600 [s]}{\text{Mittelwert der Zeitperiode zwischen einem Fluggast und dem Nächsten [s]}}$$

Formel 3: Berechnung des Fluggast-Durchsatzes pro Stunde

Anmerkung. Die erwähnte Zeitperiode entspricht der Variable 'PaxPeriodSinceLastWTMDTime', s. Tab. 17 in Anhang D-V.

Fluggast-Dichte

Die Dichte wurde mittels einer eigens programmierten Funktion in R eruiert. Über die zu untersuchende Zeitdauer (VA: ausschl. Sequenzen der durchgängig analysierten Fluggäste; Simulation: exkl. 'Aufwärmzeit' von 60s) wurden in einem Zeitintervall von 30s die Fluggäste gezählt, welche im untersuchten Prozess gleichzeitig in einer Linie registriert sind.

Prozesszeit

Die *Prozesszeit* beschreibt im Grundsatz die benötigte Zeit von System-Ein- bis -Austritt. Aufgrund der im Fokus liegenden Prozesse und der Umsetzung in der Simulation wurde der relevante Systemeintritt beim Beginn des beaufsichtigten Divestings definiert (TotalIn-SystemTime2, s. Tab. 17 in Anhang D-V).

Wie insb. in Kapitel 1.5 und 2.2.1.1 beschrieben, wurden zwei sich unterscheidende Fluggast-Samples erhoben (VA I und VA II). Folglich wurde die Vorhersagekraft der Simulation anhand zweier Vergleichsgruppen geprüft, was die Validität der Simulation nochmals erhöhen kann. Dazu wurden lediglich die Fluggast- und Gepäck-Charakteristik (s. Kap. 2.2.2.4) als Inputparameter verändert. Alle Modelle und deren Parameter (s. Kap. 2.3.2) wurden konstant gehalten. Es ist hervorzuheben, dass die Simulation ausschliesslich auf den beschriebenen Modellen beruht. Es wurden d. h. ausser den erwähnten Wegzeitkorrekturen (s. Kap. 2.4.1.2) keine weiteren Abgleiche (oder Kalibrationen) vorgenommen.

2.4.2 Ergebnisse und Diskussion

Folgend werden die Ergebnisse der Umsetzung, Verifikation und Validierung dargestellt.

2.4.2.1 Realitätsnahe Darstellung

Wie in Kapitel 1.1 beschrieben, war eine realitätsnahe Darstellung der Simulation eine Zielsetzung. Durch die Kombination ausgewählter animierter Objekte aus der FlexSim-Bibliothek und der Implementation eigener 3D-Modelle (s. Anhang E), konnte diesem Ziel weitgehend entsprochen werden (s. Abb. 11, Titelbild dieser Arbeit).



Abb. 11: Screenshots unterschiedlicher Situationen der Simulation aus drei Perspektiven

Die realitätsnahe und animierte 3D-Visualisierung (s. a. Fussnote¹, S. 3) kann bei Betrachtenden dazu beitragen, Ableitungen und potenzielle Gestaltungsmassnahmen nachvollziehbar zu begründen und dadurch die Akzeptanz zu erhöhen. Engpässe können einfach lokalisiert und durch die Implementation von Massnahmen weiter analysiert werden.

2.4.2.2 Verifikation und Validierung auf Basis der VA I

In einem ersten Schritt werden die Ergebnisse der Simulation anhand einzelner Variablen und Prozessperioden dargestellt. Die in Abb. 12 abgebildete 'VA I' BoxPlot-Spalten entsprechen den empirischen Daten, die 'calc SIM1' den anhand der Modelle berechneten Zeiten (wo verfügbar; n =Anzahl Fluggäste aus 250 Replikationen, 2h Simulationszeit) und die 'SIM1' den in der Simulation generierten Zeitperioden.

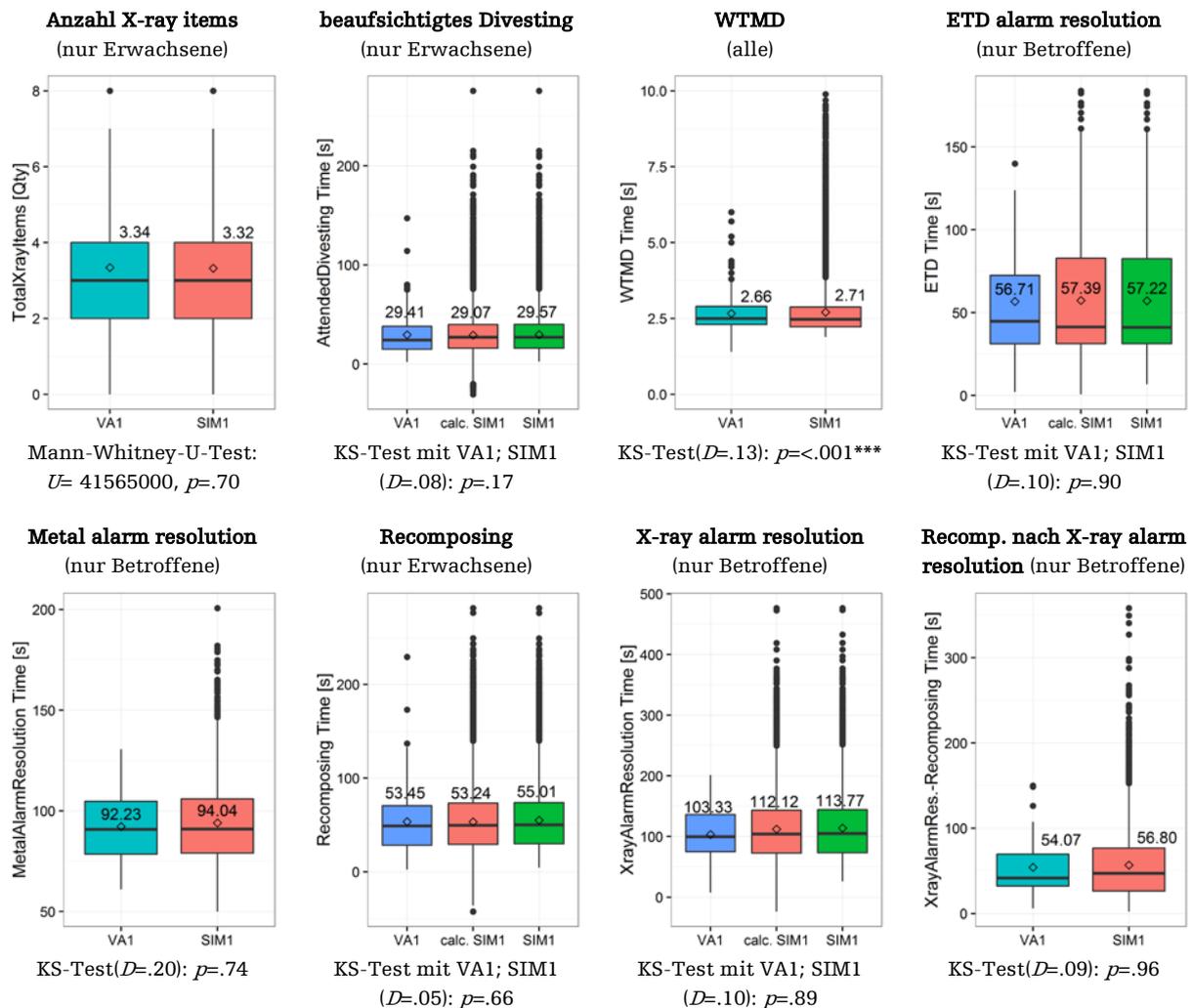


Abb. 12: Verifikation und Validierung einzelner Variablen und Prozesszeiten

Anmerkungen. Die mit '◇' gekennzeichneten Positionen geben den Mittelwert an und sind mit dem entsprechenden Wert beschriftet. Bei negativen Werten der 'calc. SIM1' wird deutlich, dass diese in der Simulation ('SIM1') mit der kleinstmöglichen Wegzeit berücksichtigt wurden (s. Anhang E). Auf die genaue Angabe von n wird bewusst verzichtet, da diese teilweise einen Rückschluss auf vertrauliche Daten erlauben (s. Kap 2.2.2.3) und für den grafischen Vergleich der Box-Plots als nicht relevant erachtet wurden. Die erhöhte Anzahl Ausreisser bei den simulierten Daten kann durch die höhere Fallzahl erklärt werden.

Die in Kapitel 2.3 explorierten Modelle und Verteilungen zeigen im direkten visuellen Vergleich insgesamt eine gute Übereinstimmung. Es wird angenommen, dass der signifikante KS-Test der WTMD-Zeiten auf die vielen Ausreisser nach oben (bedingt durch die gewählte Verteilungskurve; s. Kap. 2.3.2) und die grobe Auflösung bei der VA (s. Kap. 2.2.2.1)

zurückzuführen sind. Durch die geringen Zeitspannen (und dem entsprechend kleinen Einfluss) werden diese Unterschiede akzeptiert. Die visuell erkennbaren Abweichungen der Prozessperiode X-ray alarm resolution stechen etwas heraus. Es wird angenommen, dass dieser Effekt insb. durch die in Kapitel 2.2.2.4 beschriebenen Vereinfachungen der Gepäck-Charakteristiken zurückzuführen ist. Zudem scheint die potenzielle Summierung bei >1 X-ray item pro Fluggast grosse Ausreisser nach oben zu ermöglichen. Weiter beruht das hinterlegte Regressionsmodell auf einer relativ kleinen Fallzahl. Letztendlich wurde auch die Tray-Logistik (s. Kap. 2.1.2.3) in der Simulation implementiert, welche bei vereinzelt Fluggästen zu unvorhersehbaren Verzögerungen in der Abwicklung führen kann. Im Rahmen dieser Arbeit wird jedoch auch diese Abweichung als akzeptabel beurteilt - insb. auch aufgrund des berechneten KS-Wertes.

In einem nächsten Schritt wurden die resultierenden effizienzrelevanten Kenndaten der beiden VA mit den Simulationsergebnissen verglichen.

2.4.2.3 Validierung auf Basis der VA I und VA II

Wie in Kapitel 2.4.1.3 beschrieben, wurde das Simulationsmodell anhand der erhobenen Effizienz-Kenndaten beider VA validiert. In Abb. 13 sind die resultierenden Diagramme pro VA dargestellt. Sie beruhen auf einem Set von jeweils 250 Simulationsreplikationen.

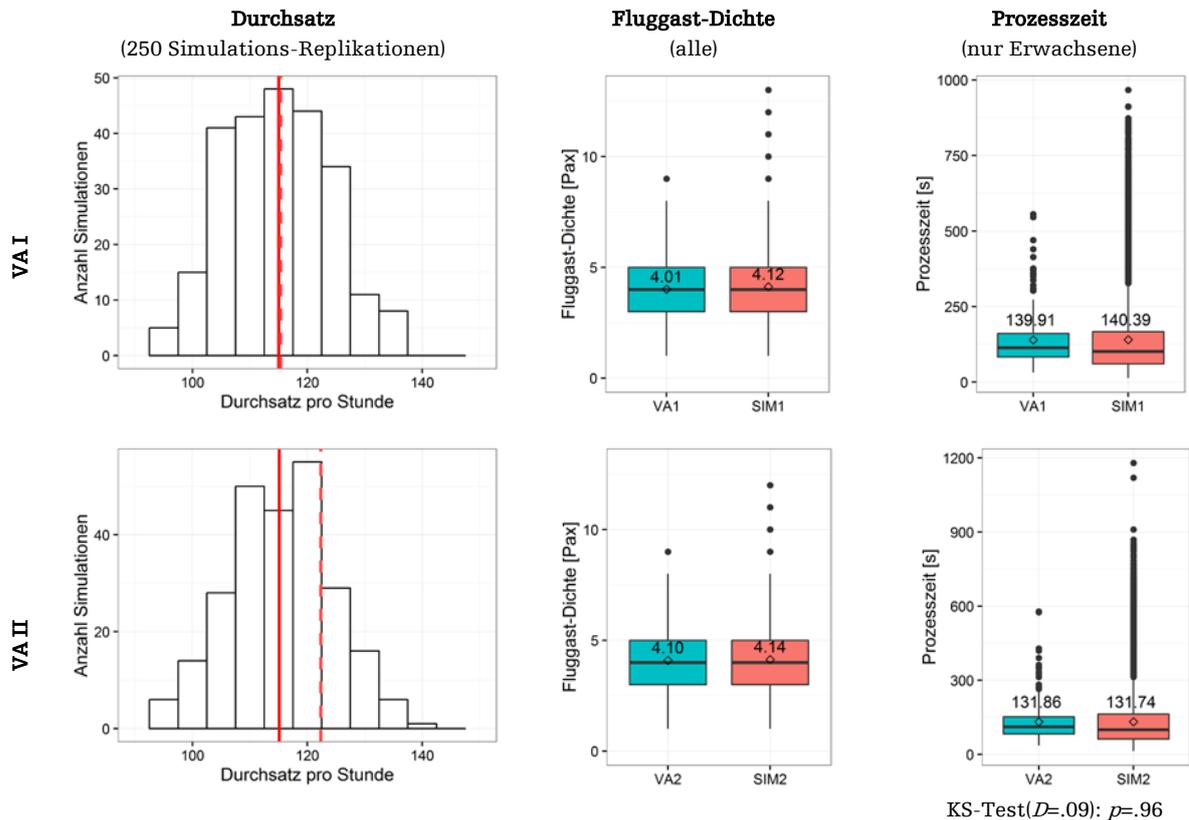


Abb. 13: Diagramme zur Validierung von effizienzrelevanten Kenndaten

Anmerkungen. Die rote Linie | gibt den Median der simulierten Durchsatzdaten pro Replikation an, während die gestichelte Linie | dem beobachteten VA-Durchsatz entspricht. Die Diagramme der Fluggast-Dichte und der Prozesszeit schliessen alle beobachteten, bzw. simulierten, Werte ein. Auf eine Daten-Aggregation wurde bewusst verzichtet, um die komplette Varianz darzustellen. Die erhöhte Anzahl Ausreisser bei den simulierten Daten kann durch die höhere Fallzahl erklärt werden.

Auf Basis der VA I berechnet das Simulationsmodell den Median des Durchsatzes korrekt, was insb. auf die Datengrundlage bei der Modellbildung zurückzuführen ist. Die Analyse der festgestellten Durchsatz-Differenz bei der VA II (s. Exkurs in Anhang E-II) bestärkt die

Annahme, dass die implementierten Linien-Stopps (s. Kap. 2.4.1.3) einen erheblichen Einfluss auf den Durchsatz haben und dadurch insgesamt die Validierung des Modells bestärken. Die Fluggast-Dichte und die Prozesszeit werden von diesem Effekt weniger beeinflusst. Aus den Diagrammen der Abb. 12 wird ersichtlich, dass die Simulation die Fluggast-Dichte und die Prozesszeit⁶³ auf Basis beider VA valide abbildet. Bezogen auf den Mittelwert liegen die Abweichungen dieser beiden Kennwerte bei weniger als 3%.

Insgesamt kann beim Simulationsmodell anhand der dargestellten Ergebnisse von einer hohen Validität ausgegangen werden (mit ggf. zu berücksichtigenden Vorbehalten beim Durchsatz; s. a. Anhang E-II). In folgenden Kapitel 2.5 werden die Erkenntnisse der Vorstudien 1 bis 4 kurz zusammengefasst und die Schlussfolgerungen dargestellt.

2.5 Zusammenfassung der Vorstudien und Schlussfolgerungen

Nach den umfangreichen Vorstudien wird das Bisherige kurz zusammengefasst. Die Vorstudie 1 fokussierte auf qualitative Erhebungen und die Darstellung der realen Prozesse vor Ort. Durch die Methoden- und Datentriangulation (insb. DA und BI) konnten die soziotechnischen Abläufe mittels grafischer Notation in Form von Flussdiagrammen präzise abgebildet werden. Zudem wurden technische und räumliche Gegebenheiten für die spätere Implementation in der Simulation erfasst. Die umfangreichen Videoerhebungen und Analysen der Vorstudie 2 an zwei Zeitpunkten ergänzten die erhobenen Prozesse mit ergiebigen quantitativen Daten, woraus Strukturen der Fluggast- und Gepäck-Charakteristiken abgeleitet werden konnten. Zudem konnten verschiedene Prozesse aufgrund von tiefen Prävalenzen zusammengefasst oder ausgeschlossen werden, was zu einer Komplexitätsreduktion führte. Das strukturierte Vorgehen und die Modellierung der Prozesszeiten durch Regressionen und Verteilungen erlaubten eine effiziente und effektive Exploration der Videodaten in der Vorstudie 3. In einem Folgeschritt konnten die abgeleiteten Modelle anhand der VA II validiert werden. Die ersten drei Studienteile ermöglichten in der Vorstudie 4 eine elaborierte Implementierung des komplexen soziotechnischen Systems einer ASC in einer DES-Entwicklungsumgebung. Dabei wurden die Umsetzungsschritte regelmässig auf Basis der Daten aus den Vorstudien 1-3 verifiziert. Abschliessend folgte die erfolgreiche Gesamtvalidierung des Simulationsmodells anhand der beiden VA mittels drei Effizienz-Kenndaten: Durchsatz, Fluggast-Dichte und Prozesszeit. Es kann davon ausgegangen werden, dass mit dem bestehenden Entwicklungsstand des Modells weitgehend valide Aussagen zur Effizienz getätigt werden können. Die realitätsnahe 3D-Simulation erleichtert die Identifikation von Engpässen und kann dazu beitragen, die Akzeptanz von potentiellen Optimierungen bei Betrachtenden zu erhöhen.

Die durchgeführten Vorstudien bezogen sich insb. auf die Identifikation von Einflussfaktoren und zu berücksichtigenden Prozessen, welche dazu beitragen, die Effizienz-Kenndaten variierender Fluggast-Samples in einer Simulation valide abbilden (s. a. Erläuterungen zur Fragestellung in Kap. 1.5):

Welche Faktoren und Prozesse sind bei einer realitätsnahen Simulation eines ASCs zu berücksichtigen, um die Effizienz unter dem Aspekt variierender Fluggast-Charakteristik valide abzubilden?

⁶³ Die potenziellen Fluggast-Wartezeiten zwischen den Prozessen sind in der Prozesszeit inkludiert und hängen von der Dichte pro Prozess (s. Anhang E-I) und der in der Simulation entstehenden Emergenz ab.

In Anbetracht des erfolgreich validierten Simulationsmodells kann dabei auf die in Kapitel 2.1.2 dargestellten Abläufe (exkl. die aufgrund tiefer Prävalenz in Kapitel 2.2.2.3 erwähnten Prozesse) sowie die in Kapitel 2.3.2 ausgeführten und diskutierten Modelle verwiesen werden:

Einflussfaktoren

- Fluggast- und Gepäckcharakteristik, s. Kap. 2.2.2.4 (Wahrscheinlichkeiten und Sampling)

Fluggast-Prozesse

- Beaufsichtigtes Divesting, s. Kap. 2.1.2 (Zeit: Regressions-Modell, s. Kap. 2.3.2)
- X-ray screening, s. Kap. 2.1.2 (Entscheidung: Wahrscheinlichkeiten, s. Kap. 2.3.2)
- WTMD-Kontrolle, s. Kap. 2.1.2 (Entscheid., s. Kap. 2.2.2.3; Zeit: Verteilung, s. Kap. 2.3.2)
- Metal alarm resolution, s. Kap. 2.1.2 (Zeit: Verteilung, s. Kap. 2.3.2)
- ETD Kontrolle, s. Kap. 2.1.2 (Zeit: Regressions-Modell und Verteilung, s. Kap. 2.3.2)
- Recomposing, s. Kap. 2.1.2 (Zeit: Regressions-Modell, s. Kap. 2.3.2)
- X-ray alarm resolution, s. Kap. 2.1.2 (Zeit: Regressions-Modell, s. Kap. 2.3.2)
- Recomposing nach X-ray alarm resolution, s. Kap. 2.1.2 (Zeit: Verteilung, s. Kap. 2.3.2)

Weitere Prozesse

- Tray-Logistik (bei Bedarf, s. Kap. 2.1.2.3)
- Linien-Stopp (bei mehr als 8 X-ray items auf Bypass-Band, s. Kap. 2.2.2.3)

In einer Simulationsumgebung konsolidiert können daraus für den Untersuchungsgegenstand weitgehend valide Prognosen zu den Effizienz-Kenndaten erstellt werden (s. a. Kap. 2.4.2.3, Anhang E-II).

In der folgenden Hauptstudie (Kap. 3) wird das Simulationsmodell für die Analyse und Evaluation möglicher soziotechnischer Optimierungen angewendet.

3 Hauptstudie: Modellierung und Evaluation von optimierten ASCs

Nachdem in den vier Vorstudien (s. Kap. 2) das eigentliche Werkzeug für diese Hauptstudie geschaffen wurde, wird folgend die erstmalige Forschungsanwendung des Simulationsmodells mit praxisbezogenem Hintergrund beschrieben. Der Einsatz von Computersimulationen (s. Anhang B) zur Evaluation verschiedener motivationstheoretisch optimierten System-Konzeptionen (folgend Szenarien genannt) bezüglich deren Auswirkungen auf die Effizienz eines ASCs wird vom Autor als geeignetes Mittel erachtet. Die damit ermöglichte Untersuchung von verschiedenen soziotechnischen Gestaltungsmaßnahmen erlaubt Effekte durch Aufgabenveränderungen bei Menschen unter wechselwirkenden Einflüssen der sozialen und technischen Teilsysteme (s. Kap. 1.4.1) zu untersuchen. Gleichzeitig kann das Simulationsmodell weitere valide Anhaltspunkte in Form von Effizienz-Kennwerten liefern, um die einzelnen Szenarien objektiv zu vergleichen und zu bewerten.

Die untersuchten Szenarien fokussieren primär auf Verbesserungen psychologischer Aspekte der Arbeitsgestaltung. Die Ergebnisse einer kürzlich von einem Forschungspartner durchgeführten internen Studie (Kantonspolizei Zürich, 2015) bei SBF und SBmbA haben aufgezeigt, dass bei den heutigen Tätigkeiten insb. die Aufgabenmerkmale *Anforderungsvielfalt* und *Autonomie* (vgl. JCT; Hackman & Oldham, 1976, 1980) als relativ niedrig eingeschätzt werden (s. Kap. 1.4.2.1).

Gleichzeitig berücksichtigen die hier vorgeschlagenen Szenarien aktuelle Trends und Optimierungsansätze (s. Kap. 1.4.3). Durch die Erweiterung des Aufgabenportfolios eines Sicherheitsmitarbeitenden mit *systematischen Risikoeinschätzungen* (risk-based security; bspw. anhand von nachrichtendienstlichen Informationen, technikbasierten Prüfungen durch Sensornetzwerke, BR vor Ort; s. Kap. 1.4.3;) können potenziell beide genannten Aufgabenmerkmale gleichzeitig optimiert werden. Insb. BRs können dazu beitragen, die Aufgabenbereiche diverser und damit attraktiver zu gestalten. Der Autor geht davon aus, dass durch eine systematisch durchgeführte BR die *Anforderungsvielfalt* (Mass an Vielfalt der Aktivitäten, Fähigkeiten und Kenntnisse zum Ausüben einer Tätigkeit; s. Kap. 1.4.2.1) steigt. Zudem erhalten Sicherheitsmitarbeitende dadurch die konkrete Möglichkeit, die als Primäraufgabe (s. Kap. 1.4.1) eines ASCs verstandene Effektivität (s. Kap. 1.4.2.3) durch eigene Einschätzungen in verschiedenen Prozessphasen noch direkter zu beeinflussen. Folglich kann auch davon ausgegangen werden, dass dadurch die *Autonomie* (Einfluss der eigenen Anstrengungen, Initiativen und Entscheidungen auf das Resultat der Arbeit; s. Kap. 1.4.2.1) erhöht werden kann.

Die im folgenden Kapitel vorgestellten Szenarien stellen keine radikale Ablösung der heutigen Prozesse oder Infrastruktur dar, sondern sind vielmehr als gezielte Aufgabenerweiterungen bei bestimmten Funktionen des ASCs zu verstehen. Dabei werden punktuell Risikoeinschätzungen in den heutigen Prozessablauf integriert. Durch die Funktionsrotationen wird die Polyvalenz der Mitarbeitenden bereits in einem hohen Mass gewährleistet (s. Kap. 2.1.2.3). Folglich betreffen die hier vorgestellten und untersuchten Szenarien 1 bis 4 alle an ASCs wirkenden Mitarbeitenden. Es wird angenommen, dass SBF durch den täglichen Kontakt mit Fluggästen bereits heute über Spezialistenwissen zu 'normalem Fluggast-Verhalten' verfügen (s. a. Kap. 1.4.3). Dies kann somit als gute Voraussetzungen erachtet werden, sodass sie nach geeigneten Schulungen mögliche Abweichungen von dieser Norm erkennen könnten.

Anhand der Verordnung (EU) Nr. 185/2010 werden die in diesem Kapitel vorgestellten Szenarien aus Sicht des Autors im Grundsatz als umsetzbar erachtet: "Die zuständige

Behörde kann Kategorien von Fluggästen festlegen, die aus objektiven Gründen besonderen Kontrollverfahren unterzogen werden bzw. von der Kontrolle ausgenommen werden können" (Europäische Kommission, 2010, S. 13).

3.1 Methodik

Im Kapitel 3.1.1 werden die im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Szenarien vorgestellt. Kapitel 3.1.2 beschreibt die Umsetzung in der Simulation, während in Kapitel 3.1.3 die angewendeten Evaluationskriterien beschrieben werden.

3.1.1 Beschreibung der Szenarien

Auf Basis der oben beschriebenen Ausgangslage und Annahmen, wurden vier Szenarien definiert. Neben den motivationstheoretischen Gesichtspunkten (s. Kap. 1.4.2.1), der Effektivität (s. Kap. 1.4.2.3) und dem Anschluss an aktuell diskutierte Optimierungspotenziale (s. Kap. 1.4.3) wurde auch eine praktische Umsetzbarkeit berücksichtigt. Dies schliesst bspw. Einschätzungen des Autors zu den Potenzialen der Sicherheitsmitarbeitenden, die vorhandenen räumlichen Gegebenheiten und Infrastruktur sowie die technische Machbarkeit mit ein.

Szenario 0

Das *Szenario 0* entspricht dem Status-Quo (s. Kap. 2), gilt als Vergleichswert und basiert auf den Fluggast- und Gepäck-Charakteristiken der VA I.

Szenario 1

Szenario 1 integriert eine *individuelle Risikoeinschätzung* des Fluggastes durch den SBF in der Funktion des/der Laders/in. Beim Status-Quo weist der/die Lader/in den Fluggast an, seine persönlichen Gegenstände für die folgende Prüfung mittels Röntgenmaschine bereitzustellen und unterstützt ihn dabei (s. 'Divesting', Kap. 2.1.2.1). Bereits heute findet dazu eine direkte Interaktion statt, welche in diesem Szenario mit einer systematische Risikoeinschätzung ergänzt wird⁶⁴. Neben Anhaltspunkten aus vorgelagerten Analysen (bspw. auf Basis nachrichtendienstlicher Informationen oder von technischem Sensornetzwerken) und Fluggast-Beobachtungen während dem regulären Prozess können auch gezielt herbeigeführte Situationen (durch entsprechende Interviewtechnik) einbezogen werden (s. Kap. 1.4.3). Je nach Analyseergebnis kann der SBF die X-ray items des Fluggastes entsprechend markieren⁶⁵. Im Rahmen dieser Arbeit wird von drei Risikostufen ausgegangen: (i) *tief*, (ii) *mittel* und (iii) *hoch* (s. Tab. 9). Die Risikoeinschätzung 'tief' entspricht der normalen Ausgangslage (analog des Status-Quo). 'Mittel' stellt einen leichten Verdachtsfall dar, während die Risikostufe 'hoch' bei einem starken Verdacht zugewiesen werden kann.

Im Rahmen dieser Arbeit wird angenommen, dass dadurch die benötigte Zeit (beaufsichtigtes Divesting) nicht verlängert wird. Die Prävalenz der Einstufungen ist in diesem Szenario wie folgt festgelegt: Die Risikoeinschätzung 'hoch' ist direkt gekoppelt mit der Stufe

⁶⁴ Bspw. ist es vorstellbar, dass sich der Fluggast vor dem Divesting mit seiner Boardcard an einem dafür vorgesehenen Scanner identifiziert. Der/Die Lader/in erhält die Fluggast-Informationen aggregiert und mit einem gut erkennbaren Farbcode versehen (bspw. grün, orange, rot) an einem nur für ihn sichtbaren Bildschirm eingeblendet. Das normale Fluggast-Verhalten ist direkt beobachtbar. Ein vom SBF initiiertes Gespräch (wird heute insb. für Anweisungen und Fragen zum Gepäck bereits eingesetzt) kann mit gezielten und systematischen Fragen ergänzt werden, welche Aufschluss über relevante Absichten geben können.

⁶⁵ Als Markierungen sind verschiedene Optionen denkbar, bspw.: (i) Einlegen von metallischen Schildern, welche im Röntgenbild klar erkennbar sind. (ii) Betätigen eines Knopfes (oder Fusschalters) beim Taktband, welches die Position auf dem Band identifiziert und den/die Operateur/in bei der Darstellung des Röntgenbildes informiert. (iii) Trays mit Strichcode versehen, welche vom SBF eingescannt werden und elektronisch markiert werden können (engl. tagging; bspw. durch unterschiedliche Scan-Knöpfe am Handgerät). Diese Auflistung ist nicht abschliessend.

'mittel': Pro zehn Fluggäste mit der Stufe 'mittel', wird im Schnitt ein Fluggast mit 'hoch' eingeschätzt. Um Effizienzeffekte über eine variierende Prävalenz festzustellen, wird die Wahrscheinlichkeit der Einschätzung 'mittel' zwischen 1% und 25% der Fluggastzahl simuliert. Die Prävalenz der Risikostufe 'tief' entspricht den verbleibenden Fluggästen: 98.9% - 72.5%.

In der Simulation wird davon ausgegangen, dass der/die Operateur/in die zugewiesenen Risikostufen auf dem dargestellten Röntgenbild erkennen (s. Fussnote⁶⁵) und die visuelle Prüfung entsprechend vornehmen kann. Bei der Stufe 'mittel' wird die in der Simulation implementierte Konsequenz an eine CASRA-interne Studie zu Suchstrategien (CASRA, 2015) angelehnt. Von einer Vereinfachung ausgehend⁶⁶, wurde die Prävalenz einer X-ray alarm resolution pro Gepäckkategorie (s. Kap. 2.2.2.4) verdoppelt und die benötigte Zeit für die Entscheidung (s. Kap. 2.3.1.1) um 50% erhöht. Bei der Risikostufe 'hoch' werden alle X-ray items für eine X-ray alarm resolution ausgewählt. Die zur Entscheidung benötigte Zeit ist wiederum 50% höher (analog zur Stufe 'mittel') als beim Status-Quo.

Szenario 2

Das *Szenario 2* entspricht weitgehend dem Szenario 1. Der Unterschied liegt darin, dass die Risikoeinschätzungen auch Auswirkung auf die Prävalenz des vom WTMD ausgegeben quota alarms⁶⁷ hat.

Im Rahmen dieser Arbeit wird für die Risikostufe 'mittel' von einer 50% erhöhten Prävalenz des quota alarms ausgegangen. Bei der Risikostufe 'hoch' wird jeweils ein quota alarm ausgegeben (s. Tab. 9), wenn nicht bereits ein metal alarm (Prävalenz des Status-Quo) bestimmt wurde. Folglich wird der Fluggast in jedem Fall durch eine/n SBF in der Funktion Bogenpersonal kontrolliert⁶⁸. Im Rahmen dieses Szenarios wurde keine zusätzliche Zeit eingeplant (analog beaufsichtigtes Divesting bei Szenario 1), da bei einem metal oder quota alarm bereits eine direkte Interaktion zwischen Fluggast und SBF stattfindet.

Tab. 9: Parameterveränderungen anhand des Risikolevels (Szenario 1 und 2)

Risikostufe	untersuchte Prävalenzen [%] pro Fluggast	Szenario 1				Szenario 2			
		X-ray screening; → X-ray alarm		WTMD; → quota alarm		X-ray screening; → X-ray alarm		WTMD; → quota alarm	
		Prävalenz	Zeit	Prävalenz	Zeit	Prävalenz	Zeit	Prävalenz	Zeit
tief	98.9; 97.8; ...; 72.5	-	-	-	-	-	-	-	-
mittel	<u>1.0</u> ; <u>2.0</u> ; ...; <u>25.0</u>	x 2.00	x 1.50	-	-	x 2.00	x 1.50	x 1.50	x 1.50
hoch	.1; .2; ...; 2.5	100%	x 1.50	-	-	100%	x 1.50	100%	100%

Anmerkungen. 'x' steht für eine Multiplikation gegenüber dem Status-Quo; '-' steht für keine Veränderung gegenüber dem Status-Quo. Die unterstrichenen Prävalenzen (UVs) wurden in den Simulationsreihen der Szenarios 1 und 2 verändert, um die Effekte an der Effizienz (AV) festzustellen.

⁶⁶ Bei der erwähnten Laboruntersuchung wurden den Probanden reguläre Gepäckbilder (ohne gefährliche items) sowie mit einer hohen Prävalenz TIPs (mit gefährlichen items; ohne LAGs) eingeblendet. Dabei wurden verschiedene Effekte untersucht. Insb. standen das Verhalten der Operateure/innen bei unterschiedlichen Anweisungen zur Suchstrategie (wie diese bspw. bei vorgegebenen Risikoeinschätzungen angewendet werden könnten) im Fokus. Erste Erkenntnisse deuten darauf hin, dass sich die Fehlerrate verdoppelt (gerundet), während sich die benötigte Zeit für die Entscheidung um rund 50% erhöht. Eine durchgängig korrektere Interpretation der Daten und Implementation würde die Berechnung über komplexe SDT-Kenndaten einschliessen, was im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht durchgeführt wurde.

⁶⁷ Die technische Umsetzbarkeit einer auf Fluggastebene individuellen WTMD Quota wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht abgeklärt. Es wird davon ausgegangen, dass dies möglich ist. Alternativ könnte bspw. ein quota alarm manuell durch eine/n SBF ausgelöst werden.

⁶⁸ Ergänzend könnte in der Praxis an dieser Stelle ein zusätzliches BR implementiert werden, was in der Simulation nicht berücksichtigt wurde.

Szenario 3

Während in den Szenarien 1 und 2 die Risikolevels von Fluggästen nur nach oben angepasst wurden, ist bei *Szenario 3* (und 4) auch eine Abstufung der Risikoeinschätzung möglich. In der Praxis könnte dies bspw. bei Familien mit Kindern oder sicherheitsgeprüften Vielfliegern angewendet werden. Dabei ist wichtig zu vermerken, dass auch mit dieser tieferen Risikoeinschätzung alle Gepäckstücke mittels Röntgengerät visuell inspiziert werden und beim WTMD pro Fluggast zufallsmässig quota alarms ausgelöst werden. Um bei den beschriebenen Risikonotationen zu bleiben, entspricht in Szenario 3 und 4 die Stufe 'mittel' dem Status-Quo. Ein Teil der Fluggäste kann durch den/die Lader/in mit der Risikoeinschätzung 'tief' eingestuft werden (Prävalenz 1%...25%), während ein anderer Teil (identisch mit der Prävalenz 'tief') als 'hoch' eingestuft wird. In der Simulation beeinflusst eine tiefe Risikoeinschätzung die Entscheidung des/r Operator/in mit einer 20% tieferen Prävalenz zu X-ray alarm pro Gepäckkategorie (s. Kap. 2.2.2.4), während die Einschätzung 'hoch' die Prävalenz verdoppelt. Die zur Entscheidung benötigte Zeitperiode wird für die Risikoeinschätzung 'hoch' um 50% verlängert (analog zum Szenario 1 und 2; s. Tab. 10).

Szenario 4

Aufbauend auf das Szenario 3, wird in *Szenario 4* wiederum ergänzend die Prävalenz des WTMD quota alarms beeinflusst (s. Tab. 10), analog den Veränderungen von Szenario 1 zu Szenario 2.

Tab. 10: Parameterveränderungen anhand des Risikolevels (Szenario 3 und 4)

Risikostufe	untersuchte Prävalenzen [%] pro Fluggast	Szenario 3		Szenario 4			
		X-ray screening; → X-ray alarm		WTMD; → quota alarm		WTMD; → quota alarm	
		Prävalenz	Zeit	Prävalenz	Prävalenz	Zeit	Prävalenz
tief	<u>1.00</u> ; <u>2.00</u> ; ...; <u>25.00</u>	x .80	-	-	x .80	-	x .80
mittel	98.00; 96.00; ...; 50.00	-	-	-	-	-	-
hoch	<u>1.00</u> ; <u>2.00</u> ; ...; <u>25.00</u>	x 2.00	x 1.50	-	x 2.00	x 1.50	x 1.50

Anmerkungen. 'x' steht für eine Multiplikation, '-' für keine Veränderung gegenüber dem Status-Quo. Die unterstrichenen Prävalenzen (UV) wurden in den Simulationsreihen der Szenarios 3 und 4 verändert, um die Effekte an der Effizienz (AV) festzustellen.

Bezugnehmend zu den in Kapitel 1.4.4 beschriebenen Simulationsstudien weisen die Szenarien 1 und 3 Gemeinsamkeiten zum *MPSP* (bspw. McLay et al., 2006; Nie et al., 2012; Olapiriyakul & Das, 2007) auf, während insb. die Szenarien 2 und 4 jeweils weitgehend der Definition eines *MSPSP* (bspw. Nikolaev et al., 2012) entsprechen. Die in den erwähnten Publikationen dargestellten Simulationen gehen jedoch von einer Fluggast-Risikoeinteilung und ASC-Zuweisung vor dem Erreichen eines ASCs aus. Bei den im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Szenarien passen sich insb. die ASC-Prozesse dynamisch den Risikoklassen der Fluggäste an, ohne dass die Fluggäste im Vorfeld spezifischen Linien zugeordnet wurden. Auf Basis von vorangegangenen Simulationsstudien (s. Kap. 1.4.4) darf davon ausgegangen werden, dass die vorgeschlagen Szenarien keine negativen Effekte auf die Effektivität bewirken, bzw. diese die Sicherheitsleistung erhöhen können.

Die Umsetzung der Szenarien in der Simulation wird im folgenden Kapitel dargestellt.

3.1.2 Implementation in der Simulation und Analyse

Die beschriebenen Modifikationen der Risikoeinteilungen wurden am Simulationsmodell des Status-Quo (s. Kap. 2.4) ergänzt. Die Fluggast- und Gepäckcharakteristiken beruhen auf den Daten der VA I. Die untersuchten Prävalenzen (bspw. Risikostufe des Fluggastes)

wurden mittels multinomialen Wahrscheinlichkeiten (s. Anhang E-I) implementiert. Für die benötigte Zeit beim X-ray screening wurde eine Normalverteilung mit den Parametern $M=3.90$ und $SD=1.32$, bzw. bei X-ray alarm resolution $M=5.13$ und $SD=2.67$ angenommen⁶⁹. Bei X-ray items mit der Risikoeinschätzung 'hoch' wurden die Mittelwerte um 50% erhöht. Die aus der Verteilung resultierende Zeit wurde mit der im Kapitel 2.3.2 (Abschnitt X-ray screening) beschriebenen Zeitperiode überlagert. Folglich wird die Zeitperiode durch die Bandgeschwindigkeit und den Abstand zwischen den X-ray items determiniert und ggf. anhand der stochastisch generierten Zeitdauer der Verteilung verlängert.

Analog dem in Kapitel 2.4.1.3 beschriebenen Vorgehen, wurden auch in dieser Hauptstudie pro untersuchtem Parameterset jeweils 250 Replikationen mit jeweils zwei Stunden Simulationszeit berechnet. Entsprechend ergaben sich aus dem Szenario 0 250 Datentabellen. Mit jedem weiteren Szenario (4; 1-4) mit jeweils 25 Parametersets (1%-25%) und 250 Replikationen erweiterte sich die Datenbasis. Total wurden für diese Hauptstudie in 50'500 simulierten ASC-Betriebsstunden 5'281'765 Fluggast-Abfertigungen simuliert⁷⁰ (ergibt ein Datenvolumen von 5 GB in 25'250 Dateien). Für den Vergleich der Szenarien wurden wiederum die in Kapitel 2.4.1.3 beschriebenen Effizienz-Kenndaten (*Durchsatz*, *Fluggast-Dichte*, *Prozesszeit*) berechnet. Für den angegebenen Durchsatz und die Prozesszeit wurde in einem ersten Schritt pro Replikation der Mittelwert aggregiert. Daraus wurden pro Szenario und Parameterset wiederum der Mittelwert (M) und zusätzlich der Standardfehler (SE) bestimmt. Die Berechnung der angegebenen Fluggast-Dichte wurde analog ausgeführt, jedoch mit vorgelagerter Fluggast-Dichte Bestimmung in einem 30s Intervall⁷¹ (vgl. Kap. 2.4.1.3).

3.1.3 Evaluationskriterien

Unter *Evaluation* wird nach Bortz und Döring (2016) die wissenschaftlich fundierte "Bewertung von Sachverhalten und insbesondere von Interventionsmaßnahmen hinsichtlich verschiedener Bewertungskriterien, etwa Effektivität, Effizienz, Akzeptanz oder Nachhaltigkeit" (S. 977) verstanden. Im Rahmen dieser Arbeit wurden, nebst der angenommenen Wirkung der motivationstheoretisch begründeten Aspekte der Arbeitsgestaltung, primär Effizienz-Kenndaten (s. a. Kap. 2.4.1.3) der einzelnen Szenarien verglichen.

Zusammenfassend werden hiermit die in Kapitel 1.4.2 beschriebenen Zusammenhänge der untersuchten Kennwerte nochmals kurz dargestellt. Im Allgemeinen wird bei ASCs ein hoher *Durchsatz* als erwünscht angesehen. Nebst potenziellen Kosteneinsparungen kann, je nach Setting, dadurch auch die Wartezeit der Fluggäste verringert und die Kundenzufriedenheit erhöht werden. Ein hoher Durchsatz darf jedoch nicht auf Kosten der Effektivität (s. Kap. 1.4.2.3) erreicht werden. In Bezug auf die *Fluggast-Dichte* wird davon ausgegangen, dass ein hoher Wert ambivalente Effekte mit sich bringt. Je mehr Fluggäste gleichzeitig abgewickelt werden, desto höher ist die Effizienz. Auf der anderen Seite kann sich eine hohe Fluggast-Dichte negativ auf die Effektivität (s. Kap. 1.4.2.2) und das Stressempfinden der SBF (s. Kap. 1.4.2.1) auswirken. Dies kann aufgrund einer potenziell hohen Fehlalarmrate wiederum negativ auf den Durchsatz wirken (s. Kap. 1.4.2.3). Bei der *Prozesszeit* wird es wieder eindeutiger. Eine *tiefe* Prozesszeit wirkt sich zusammen mit

⁶⁹ Diese Verteilungswerte wurden von der Simulationsstudie von Sterchi und Schwaninger (2015, S. 3) übernommen.

⁷⁰ Die Rechenzeit dieser Simulationsszenarien betrug mit einem Desktop Hochleistungsrechner (i7, 4.00 GHz, 8 Kerne; s. Anhang F-III) knapp 7 h.

⁷¹ Aufgrund der dazu benötigten Rechneranforderungen (RAM >8GB) wurde dazu ein Hochleistungsnotebook (MacBook Pro; s. Anhang F-III) verwendet. Die Rechenzeit für die Bestimmung der Fluggast-Dichte betrug damit knapp 2:20 h.

einer *hohen* Fluggast-Dichte positiv auf die Effizienz aus. Zudem belegen Studien, dass sich kürzere Prozesszeiten positiv auf das Fluggasterlebnis auswirken (s. Kap. 1.4.2.2).

Folgend werden die Ergebnisse der in dieser Hauptstudie untersuchten Simulationsreihen dargestellt und diskutiert.

3.2 Ergebnisse und Diskussion

Wie in Kapitel 3.1.1 beschrieben, wurden in dieser Hauptstudie mittels dem in Kapitel 2 modellierten Simulationsmodell vier unterschiedliche und auf Basis motivationstheoretischer Aspekte der Arbeitsgestaltung optimierte Szenarien (Szenario 1-4) simuliert. Zudem wurde auch ein Szenario 0 simuliert, welches dem Status-Quo der Vorstudie entspricht und damit als Vergleichswert dient. Abb. 14 stellt die pro Replikation aggregierten Ergebnisse (s. Kap. 3.1.2) der Simulationen dar.

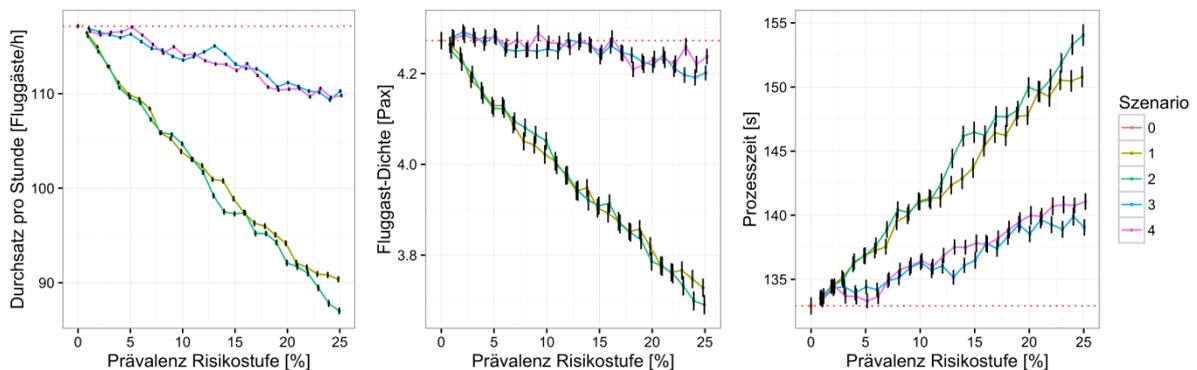


Abb. 14: Resultate der vier optimierten Szenarien im Vergleich mit dem Status-Quo

Anmerkung. Die Werte auf den y-Achsen der drei Diagramme geben die im Fokus stehenden Effizienz-Kennzahlen an. Die schwarze vertikale Linie stellt den berechneten Standardfehler (SE) der Replikationen dar. Die rot gestrichelte Linie (---) entspricht dem Referenzwert des Szenario 0 ohne variierende Prävalenz der Risikostufen. Bei Szenario 1 und 2 wurde die Prävalenz der Risikoeinschätzung 'mittel' zwischen 1% und 25% variiert (x-Achse); die Prävalenz der Risikostufe 'hoch' entspricht jeweils 10% der angegebenen Prävalenz 'mittel'. Bei Szenario 3 und 4 entsprechen die angegebenen x-Werte jeweils den Prävalenzen der Risikostufen 'tief' und 'hoch' (s. a. Kap. 3.1.2).

Szenario 1 und 2

Aus den Diagrammen der Abb. 14 wird ersichtlich, dass das Szenario 1 und 2 (Risiko-einschätzungen von 'tief' ausgehend in Richtung 'mittel' und 'hoch', s. Kap. 3.1.1) in Bezug auf Durchsatz und Prozesszeit mit steigender Prävalenz der höheren Risikoeinstufungen am Schlechtesten abschneiden. Auch die Fluggast-Dichte wird mit steigender Prävalenz tiefer. Dieser Aspekt alleine wäre im Grundsatz nicht negativ zu werten - er wirkt sich jedoch im vorliegenden Fall negativ auf den Durchsatz aus (s. a. Kap. 3.1.3). Wird bspw. von einer 5%-Prävalenz der Risikoeinschätzung 'mittel' ausgegangen (entspricht einer Prävalenz der Risikoeinschätzung 'hoch' von .5%), sinkt der Durchsatz gemäss der Simulation bereits um 7%. Die im Szenario 2 implementierte adaptive Prävalenz für einen quota alarm am WTMD scheint im Vergleich zu Szenario 1 keinen erheblichen Einfluss auf die Effizienz-Kennzahlen zu haben. Die beiden Szenarien unterscheiden sich diesbezüglich kaum.

Es ist davon auszugehen, dass die dargestellten und insgesamt als negativ gewerteten Auswirkungen auf die Effizienz auf wenig Akzeptanz bei Flughäfen und Fluggästen stossen würde.

Szenario 3 und 4

Ergänzend wurden zwei weitere Szenarien simuliert (Szenario 3 und 4). In diesen können die Fluggast-Risikoeinschätzungen vom SBF in der Ladeposition in beide Richtungen (höher/tiefer) angepasst werden. Bis zu einer Prävalenz von 5% zeigen die simulierten Szenarien 3 und 4 in Bezug auf die drei analysierten Effizienz-Kenndaten im Vergleich zum Status-Quo kaum Unterschiede. Am Beispiel einer 5%-Prävalenz wird im Durchschnitt jeder 20. Fluggast mit einem erhöhten Gefahrenpotential eingestuft, während im Schnitt die identische Anzahl mit einem tiefen Risikopotential eingestuft wird. Auf den ersten Blick mag das Resultat damit nicht überraschen: Die Anzahl der Risikozuweisungen nach oben und unten sind gleich. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass die implementierten Konsequenzen nicht symmetrisch sind. Bei einem Gefahrenpotential 'hoch' wurde die Prävalenz einer manuellen Gepäckdurchsuchung verdoppelt, während bei einer tiefen Einschätzung diese um nur 20% abnimmt. Beim Szenario 4 wurden zusätzlich die auf den Fluggast bezogenen Prävalenzen des quota alarms am WTMD in denselben Verhältnissen beeinflusst ($\times 2$, bzw. -20%). Auch hier unterscheiden sich die Effizienz-Kenndaten kaum im Vergleich zum Szenario ohne Berücksichtigung des WTMD.

Es ist davon auszugehen, dass bei einer Prävalenz ab $5\%^{72}$ insb. mehr Linien-Stopps ausgelöst werden (bedingt durch die erhöhte Anzahl X-ray items auf dem Bypass-Band; s. Kap. 2.1.2.3) und sich dadurch die Effizienz-Kenndaten merklich verschlechtern. In der Abb. 15 ist bei den Szenarien 3 und 4 bei 5% ein leichter (jedoch nicht eindeutiger; s. Fussnote⁷²) 'Knick' erkennbar; mit einem Pfeil markiert.

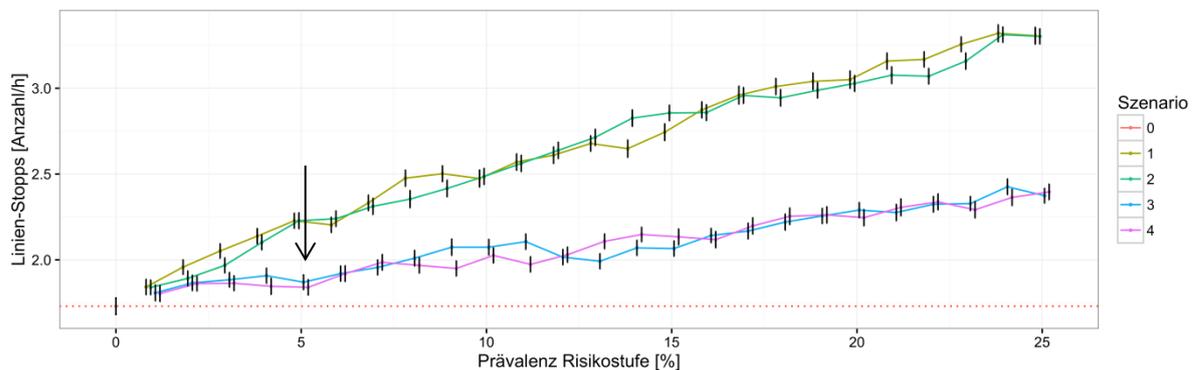


Abb. 15: Anzahl Linien-Stopps pro Stunde im Vergleich über alle simulierten Szenarien

Anmerkungen. Die Werte wurden analog des in Kapitel 3.1.2 geschilderten Vorgehens gemittelt und als Anzahl pro Stunde ausgegeben. Die schwarze vertikale Linie stellt den berechneten Standardfehler (SE) der Replikationen dar. Die rot gestrichelte Linie (---) entspricht dem Referenzwert des Szenario 0 ohne variierende Prävalenz der Risikostufen. Bei Szenario 1 und 2 wurde die Prävalenz der Risikoeinschätzung 'mittel' zwischen 1% und 25% variiert (x-Achse); die Prävalenz der Risikostufe 'hoch' entspricht jeweils 10% der angegebenen Prävalenz 'mittel'. Bei Szenario 3 und 4 entsprechen die angegebenen x-Werte jeweils den Prävalenzen der Risikostufen 'tief' und 'hoch' (s. a. Kap. 3.1.2).

Die Resultate der untersuchten Effizienz-Kenndaten liefern Hinweise, dass die Szenarien 3 und 4 im Prävalenzbereich 1% bis 5% in Anbetracht der Effizienz prinzipiell praxistauglich wären. Wo genau eine sinnvolle anzusetzende Prävalenz der angepassten Risikoeinstufungen zu setzen ist, kann im Rahmen dieser Arbeit nicht abschliessend beantwortet werden. In der Literatur konnten dazu keine konkreten Anhaltspunkte gefunden werden⁷³.

⁷² Ob der kritische Wert exakt bei 5% liegt, kann im Rahmen dieser Arbeit nicht eindeutig bestimmt werden (s. a. Anhang E-II). Dafür müssten insb. die 'funktionsübergreifende Unterstützung' (s. Kap. 2.1.2.3) und die ausserdem in der Praxis wirkenden Faktoren für Linien-Stopps in das Simulationsmodell implementiert werden (s. a. Kap. 2.2.2.3).

⁷³ insb. nicht im Kontext eines einzelnen ASC-Typs kombiniert mit Risikobewertungen während dem Kontrollprozess

Aufgrund der in Kapitel 1.4.4 beschriebenen Erkenntnissen kann insgesamt davon ausgegangen werden, dass durch die Einteilung der Fluggäste in Risikoklassen die Effektivität gesteigert wird (bspw. McLay et al., 2006; Nie et al., 2012; Nikolaev et al., 2012; Olapiriyakul & Das, 2007). Um diesen Aspekt für den Untersuchungsgegenstand im Simulationsmodell integriert zu validieren, sollten insb. empirische Anhaltspunkte der Effektivität (s. a. Kap. 1.4.2.3) mit berücksichtigt werden.

Im folgenden Kapitel 3.3 werden die Erkenntnisse zusammengefasst und die Schlussfolgerungen aus dieser Hauptstudie dargestellt.

3.3 Zusammenfassung der Hauptstudie und Schlussfolgerungen

Die vier untersuchten Szenarien integrieren eine risikobasierte Fluggast- und Gepäckprüfung an ASCs, welche für die SBF aus motivationstheoretischer Sicht insb. Optimierungen der Aufgabenmerkmale "Aufgabenvielfalt" und "Autonomie" bewirken können. Im ersten Konzept (Szenario 1) kategorisiert der/die Lader/in die Fluggäste bspw. anhand von vorgelagerten Analysen und BR in drei Risikoklassen. Während die Einstufung 'tief' gegenüber dem Status-Quo keine Veränderungen bewirken, erhöhen sich die Wahrscheinlichkeit einer X-ray alarm resolution und die für die Entscheidung benötigte Zeitdauer bei den Stufen 'mittel' und 'hoch'. Beim Szenario 2 wirkt sich diese Einstufung zudem auf die Prävalenz des quota alarms beim WTMD aus. Die Simulation zeigt bei diesen Veränderungen einen beachtlichen negativen Effekt auf die untersuchten Effizienz-Kenndaten auf. Das Konzept der Szenarien 3 und 4 unterscheidet sich gegenüber den ersten beiden Varianten dahingehend, dass der/die Lader/in die Fluggäste vom Status-Quo ausgehend in *tiefere* oder *höhere* Risikoklassen einstufen kann. Szenario 4 wirkt wiederum auf die Prävalenz des quota alarms. Die aus der Simulation resultierenden Effizienz-Kenndaten der vorgestellten Szenarien 3 und 4 sind im Prävalenzbereich (1%-5%) ähnlich zum Status-Quo.

Die für die Hauptstudie definierte Fragestellung bezieht sich auf die Effizienz von ASCs und sollte entsprechend für die einzelnen Szenarien differenziert beantwortet werden:

Welche Effekte hat eine motivationstheoretisch optimierte Arbeitsgestaltung auf die Effizienz von Sicherheitskontrolllinien?

Während die Anpassungen der Szenarien 1 und 2 jeweils einen relativ starken Einbruch der Effizienz-Kenndaten bewirken, bleiben diese in den simulierten Szenarien 3 und 4 bis zu einer Prävalenz von 5% relativ stabil. Bei einer steigenden Prävalenz (>5%) nehmen die Effizienz-Kenndaten stetig ab.

Die in dieser Hauptstudie dargestellten Ergebnisse lassen darauf schliessen, dass sich eine Umsetzung der Szenarien 3 oder 4 in der Praxis aus motivationstheoretischer Perspektive sowie aus Sicht der Effizienz und ggf. der Effektivität lohnen könnte. Ob und in welcher Form die Szenarien in der Praxis realisierbar sind, kann durch die vorliegende Arbeit nicht abschliessend beantwortet werden.

Folgend werden die als relevant erachteten Implikationen und Bemerkungen für die Praxis und Wissenschaft diskutiert, welche im Rahmen dieser Arbeit angesprochen wurden.

Training und Zertifizierung von Sicherheitsmitarbeitenden

Eine erfolgreiche Implementierung von risikobasierter Kontrollen ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Die in dieser Arbeit vorgestellten Szenarien basieren letztendlich auf menschlichen Entscheidungen, welche durch technische Systeme unterstützt werden können. In Bezug auf BR kann heute von einer Palette an Erkenntnissen des in den USA implementierten SPOT-Programms (s. Kap. 1.4.3) profitiert werden (vgl. bspw. Loffi et al.,

2013; Loffi, 2014). Die angepasste Priorisierung der für BR benötigten Fertigkeiten und das Wissen (bspw. durch Trainings) stellt dabei ein wichtiger Faktor dar. Die Untersuchungen von Koller et al. (2016) konnten bspw. aufzeigen, dass bei Beobachtungen vor einer eigentlichen böswilligen Handlung, das *Wissen über kriminelle Vorgehensweisen* die Erkennungsraten positiv beeinflusst. Auch bei gezielt herbeigeführten Situationen (bspw. Interviews) zeigen *geschulte* Mitarbeitende eine vielversprechende Aufdeckungsrate (vgl. bspw. Hartwig & Bond, 2014; Ormerod & Dando, 2014; Vrij et al., 2011).

- ➔ Folglich kann dies für die Praxis bedeuten, dass diesbezüglich die bestehenden Trainingskonzepte ggf. zu ergänzen wären. Regelmässige spezifische Zertifizierungen können die Effektivität zudem nachhaltig beeinflussen. Dabei kann davon ausgegangen werden, dass wissenschaftliche Erkenntnisse dazu beitragen, den geeigneten Inhalt der Trainings zu bestimmen und die Wirkung kontinuierlich zu evaluieren.
- ➔ Durch vorgelagerte Analysen (bspw. mittels technischer Systeme) und darauf folgende BR sind verschiedene statistische Auswertungen vorstellbar. Bspw. könnten Entscheidungen von Sicherheitsmitarbeitenden interindividuell verglichen werden und mögliche Massnahmen automatisiert in ein individuelles, adaptives Training einfließen.

Stressempfinden und Arbeitslast bei SBF

In den in dieser Arbeit beschriebenen Szenarien erhält der/die Lader/in durch die Risikoeinschätzung zusätzliche Aufgaben, welche aus motivationstheoretischer Perspektive insb. die Aufgabenmerkmale "Aufgabenvielfalt" und "Autonomie" verbessern können. Die Zeitperioden der betroffenen Prozesse wurden in der Simulation jedoch *nicht* verlängert, da die Interaktionen bereits heute stattfinden. Die aus den zusätzlich durchgeführten BRs resultierenden kognitiven Belastungen und das Stressempfinden wurden in dieser Arbeit bisher weitgehend ausser Acht gelassen. In Bezug auf SPOT wurden bereits erste Untersuchungen publiziert, welche bspw. mittels kognitiver Aufgabenanalysen die subjektiv empfundene Arbeitslast von BDOs erheben (vgl. bspw. Kittinger & Bender, 2015; Kudrick, Caggiano & Speed, 2015). Im Kontext der vorgeschlagenen Szenarien kommen bspw. noch weitere bedingungsbezogene Faktoren dazu (vgl. bspw. Baeriswyl et al., 2016; Hättenschwiler et al., 2015), welche in kommenden Studien integriert untersucht werden könnten.

- ➔ Wissenschaftliche Untersuchungen können dazu beitragen, die psychologischen Effekte von BR auf das Stressempfinden des Sicherheitspersonals zu verstehen und bei Bedarf geeignete Massnahmen abzuleiten.

BR im Bereich der Flughafensicherheit

Die Forschung zur Effektivität von BR im Bereich der Luftfahrt ist noch relativ jung. Wie im Zusammenhang mit Trainings bereits erwähnt, wurden bereits Studien durchgeführt, welche die Potenziale (bspw. Ormerod & Dando, 2014; Wong & Brooks, 2015) oder Aspekte der Ausbildung und Effektivität (bspw. Koller et al., 2016; Vrij et al., 2011) untersuchen. Vrij und Granhag (2012) weisen zusätzlich darauf hin, dass nebst den non-verbale Merkmalen insb. der Inhalt der *gestellten Fragen* für die Detektion von Lügen eine hohe Relevanz haben. Die herbeigeführten Interaktionen mit Fluggästen sollen weder gestellt oder aufdringlich wirken, noch durchschaubar sein. Bisherige BR-Anwendungen (bspw. SPOT, s. Kap. 1.4.3) zielten meist auf ein dediziertes BR ab, ohne dass die Sicherheitsmitarbeitenden gleichzeitig mit anderen Aufgaben betraut sind.

- ➔ Folglich ist ein potenzieller Bedarf an in der Praxis umsetzbaren, effizienten und effektiven BR-Interaktionsstrategien erkennbar, welche im Setting von ASCs an verschiedenen Positionen angewendet werden können. Wissenschaftliche Herangehensweisen (bspw. Experimente) können insb. dazu beitragen, verschiedene Strategien zu evaluieren.

Effektivität von risikobasierten Kontrollen und wahrgenommenes Sicherheitsempfinden

Wie in Kapitel 1.4.4 und 3.1.1 bereits beschrieben, deutet die Umsetzung von risikobasierter Kontrolle auf eine Steigerung der Effektivität hin. Die Ressourcen können gezielt da eingesetzt werden, wo sie benötigt werden (vgl. Wong & Brooks, 2015). In der im Rahmen dieser Arbeit analysierten Literatur konnten bisher nur wenige Anhaltspunkte über eine abschreckende Wirkung von nicht vorhersehbaren Prozessen gefunden werden. Der Autor geht davon aus, dass die beobachtbare und damit berechenbare Effektivität von ASC durch *nicht transparente Prozesse* (bspw. durch den Einsatz von BR und variierender Quoten) verstärkt wird. Ausserdem scheinen die Einflüsse der vom Fluggast *wahrgenommenen Sicherheit* bis dato noch wenig erforscht zu sein (bspw. Sakano et al., 2016).

- ➔ Der Autor geht davon aus, dass ein besseres Verständnis dieser Zusammenhänge wertvolle Hinweise zur Effektivität und Akzeptanz von Sicherheitsmassnahmen liefern kann. Der konkrete Befragung des subjektiven Sicherheitsempfindens von Fluggästen in kommenden wissenschaftlichen Studien könnte entsprechende Anhaltspunkte liefern.

Technische Infrastruktur und rechtliche Aspekte

Nicht zuletzt wurde die Umsetzbarkeit der beschriebenen Szenarien im Rahmen dieser Arbeit alleine vom Autor beurteilt, ohne Rücksprache mit Experten. Es wurden weitgehend minimalinvasive Anpassungen an Infrastruktur und technischen Gerätschaften angestrebt. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass insb. die automatisierten Vorab-Prüfungen von Fluggästen (s. Kap. 1.4.3, 3.1.1) kostenintensive Ergänzungen und Anpassungen der bestehenden technischen Infrastruktur bedingen, bspw. durch den Einsatz eines Sensornetzwerks (s. Kap. 1.4.3), ein boarding pass Lesegerät vor dem ASC oder dem Display mit Fluggast-Informationen für den/die Lader/in.

- ➔ Vor einer möglichen Umsetzung sind in der Praxis insb. technische und rechtliche Aspekte im Detail zu klären.

Der Autor geht zudem davon aus, dass mit weiteren Simulationsuntersuchungen die Effizienz-Kenndaten noch optimiert werden könnten (bspw. durch die Variation der Prävalenzen bei der Risikoeinschätzung oder des WTMDs). Zudem könnten mit der Integration von Effektivitäts-Kenndaten in soziotechnischen und simulationsgestützten Analysen umfassendere und elaboriertere Aussagen zur Effizienz und Effektivität gemacht werden. Aus Sicht des Autors sollten dabei die psychologischen Aspekte der Arbeitsgestaltung wiederum mit besonderem Fokus berücksichtigt werden.

Im folgenden Kapitel 4 werden die angewandten Methoden dieser Arbeit kritisch reflektiert und weiterführende Gedanken dargestellt.

4 Kritische Würdigung und weiterführende Überlegungen

In diesem Kapitel werden studienübergreifend (vier Vorstudien, eine Hauptstudie) die in dieser Arbeit verwendeten Methoden kritisch reflektiert, mögliche Einschränkungen diskutiert und weiterführende Überlegungen dargestellt.

4.1 Methodische Kritik und abgeleitete Potenziale

Qualitativer Zugang (Vorstudie 1)

Die in Kapitel 2.1 dargestellten Methoden zur Prozesserhebung und -darstellung des Status-Quo können insgesamt als geeignet bezeichnet werden. Durch die fruchtbare Kooperation der Forschungspartner / des Praxispartners und dem dadurch ermöglichten Zugang zum Untersuchungsgegenstand stellten BIs eine effektive und effiziente Methode dar, um die aktuellen Prozesse zu erheben. Der sequentielle Mehrfachzugang (eine Begehung; Kap. 2.1.1.3, zwei BI-Termine; Kap. 2.1.1.4) und die erreichte interne Heterogenität der Stichprobe (s. Kap. 2.1.1.4) ermöglichten eine umfassende Prozessbeschreibung in kurzer Zeit. Es bestätigte sich jedoch auch, dass die Schulung der beobachtenden/interviewenden Person höchstrelevant ist. Bei der vorliegenden Arbeit musste durch einen krankheitsbedingten Ausfall kurzfristig eine dritte Person einspringen. Folglich konnte das bestehende Vorwissen über die bereits bekannten Prozesse nicht durchgängig vermittelt werden. Dies führte teils zu redundanten Erhebungen, was rückblickend betrachtet jedoch gleichzeitig auch die Ergebnisse bestärken konnte. Die graphische Notation der Prozessabläufe mit Ablaufplänen (s. Anhang C-III) hat sich insb. bei der Simulations-Implementation bewährt.

Quantitativer Zugang, Modellgenerierung und Umsetzung (Vorstudien 2 bis 4)

Die VA erwiesen sich als relativ aufwändige Methode. Dank der Unterstützung der Forschungspartner konnten die Aufnahmen vor Ort reibungslos aufgezeichnet werden. Durch das mehrheitlich induktive Vorgehen wurde das Kategoriensystem verhältnismässig umfangreich - entsprechend arbeitsintensiv gestaltete sich die Codierung. Retrospektiv erwies sich die gewählte Breite jedoch als äusserst hilfreich. Bei der explorativen Modellbildung konnten so verschiedene als sinnvoll erachtete Kombinationen getestet werden. Insbesondere dazu erwies sich die Verwendung des Statistikpaketes 'R' als sehr effizient, nebst der dadurch stark vereinfachten Datenaufbereitung.

In Anbetracht der Erkenntnisse aus den Validierungsschritten (s. Kap. 2.2.2.1, 2.4.2.2) ist anzunehmen, dass der Einbezug von Gruppen und Gruppenverhalten (insb. für Familien; vgl. bspw. Cheng et al., 2014), die Unterscheidung von Touristen vs. Geschäftsreisende (vgl. bspw. Ma et al., 2012, 2011) und die eindeutige Zuweisung von Gepäckstücken (vgl. bspw. Kraal et al., 2009) noch bessere Modelle ergeben hätte. Die Erhebung dieser Daten könnte insb. für die Modellierung der Zuteilung von Fluggast- und Gepäckcharakteristik dienlich sein (s. Kap. 2.2.2.4). Der Autor geht davon aus, dass diese Unterscheidungen auf Basis der erhobenen non-reaktiven Videodaten kaum eindeutig möglich gewesen wären. Folglich könnte bei einer nächsten Untersuchung die Erhebung von Fluggast-Spezifikationen (bspw. Alter, Reisetyp, Gruppenzugehörigkeit; s. Kap. 1.4.4, 2.2.1.1) durch eine Parallelerhebung (bspw. Befragung, Einbezug von boarding pass Daten) nützliche Anhaltspunkte bieten. In diesem Zusammenhang könnte sich zudem ein Einbezug von Reise-destinationen als nützlich erweisen, um durch die Modelle eine höhere Aufklärung zu ermöglichen. Als neues, und für die Praxis ggf. nützliches, Forschungsfeld ist zudem ein Fokus auf die Anzahl mitgenommener items pro Fluggast denkbar (bspw. welche Faktoren

wirken auf die Entscheidung zur Mitnahme von items in die Kabine; Saison, Reisetyp, Destination etc.). Die dadurch generierten Modelle könnten kommende Simulationsstudien weiter verfeinern und einem Flughafen neue Prädiktoren für die Ressourcenplanung bieten.

Aus Sicht des Autors waren VA für das explorative Vorgehen insgesamt die richtige Wahl. Falls zu einem späteren Zeitpunkt davon ausgegangen werden kann, dass validierte Modelle (idealerweise durch weitere Stichproben) vorhanden sind, wäre es denkbar die Prozessparameter automatisiert zu erheben: Anhaltspunkte könnten bspw. TIP-, LEDS- und ETD-Daten sowie zusätzliche Zähler (bspw. Lichtschranken für Bypass-Band) liefern, welche im Anschluss durch eine zeitliche Codierung kombiniert werden könnten.

Für eine DES können verschiedene deterministische und stochastische (s. Anhang B) Modelle hinterlegt werden. Eine Modellgenerierung mittels Regressionsmodellen ist bis dato noch weniger verbreitet (vgl. bspw. Law, 2015). Das könnte bspw. daran liegen, dass DES bisher hauptsächlich für Logistik-, Materialfluss- und Produktionssysteme angewendet wurden, bei denen Entscheidungen mehrheitlich von eindeutigen Kriterien determiniert sind. Die in dieser Arbeit gewählte Kombination von berücksichtigten Prozessen (s. Kap. 2.1), gewählten Modellen und hinterlegten Prozessparametern (s. Kap. 2.2, 2.3), zusammen mit dem Simulationswerkzeug (FlexSim, 2016) und der Implementation (s. Kap. 2.4) führte insgesamt zu validen Effizienzkenndaten. Die bei der Validierung durch das zweite Datensample festgestellten Differenzen beim Durchsatz können insb. durch die Linien-Stopps erklärt werden (s. Kap. 2.4.2.3, Anhang E-II). Bezogen auf den Untersuchungsgegenstand könnte ein kommender Fokus auch bei einer elaborierteren Analyse und Simulationsumsetzung dieses Ereignisses liegen.

Die in Kapitel 2.2.2.3 dargestellten Crew-Kompositionen, Funktionsrotationen sowie ergänzende Crewprozesse stellen aus Sicht des Autors weitere interessante Potenziale dar, welche im Rahmen von kommenden Studien näher untersucht werden könnten. Die erhobenen VA basieren mehrheitlich auf zwei 5er Crews, was aus ressourcentechnischen Gründen nur selten der Praxis entspricht (s. Kap. 2.2.1.1). Bspw. könnte mittels kommenden Simulationsstudien untersucht werden, welchen Effekt die Crew-Grösse (4er oder 5er Crews) in Kombination mit der Crew-Komposition (bspw. Geschlecht, Dienstalder) auf die Effizienz-Kenndaten hat.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine einzelne Linie in der Simulation umgesetzt (s. Kap. 2.4.1.1). Eine Erweiterung auf mehrere Linien kann im bestehenden Simulationsmodell für künftige Analysen umgesetzt werden.

Optimierung von ASCs (Hauptstudie)

Wie aus Kapitel 3 ersichtlich wurde, basieren mehrere der in den evaluierten Szenarien verwendeten Parameter auf Annahmen des Autors (bspw. bei Szenario 3 und 4: Prävalenzen der Einstufung 'tief' und 'hoch', angepasste Prävalenz WTMD, Prävalenz X-ray screening bei tiefer Risikostufe). Diese Annahmen könnten in einem kommenden Schritt durch Expertenwissen validiert, adaptiert oder verfeinert werden. Zudem kann mit einer spezifischeren Auswertung der in Kapitel 3.1.1 erwähnten CASRA-internen Studie zu Suchstrategien (s. a. Fussnote⁶⁶, S. 59), ggf. elaboriertere Prozessparameter abgeleitet werden, bzw. weitere anwendungsspezifische Laboruntersuchungen durchgeführt werden. Auch unter Berücksichtigung dieser bisher angenäherten Variablen, sind aus Sicht des Autors die in den Simulationen berechneten Resultate aufschlussreich. Die Kennwerte lassen unter Einbezug von wechselwirkenden Effekten soziotechnischer Teilsysteme einen direkten Vergleich zu.

Diese Studie ist nach Kenntnisstand des Autors (s. Kap. 1.4.4) die erste Arbeit, welche Prozesse und Prozessparameter eines ASCs (fast⁷⁴) komplett auf Basis von empirischen Daten erhob, daraus Modelle explorierte, replizierte und validierte sowie diese in einer DES implementiert durch unabhängige empirische Daten validierte. Weiter ist die in dieser Arbeit angewendete Breite der Methodenpalette (bspw. BIs, VA, Regressionsanalysen) bei bisherigen Simulationsstudien kaum anzutreffen. Insb. die Modellgenerierung durch die in der psychologischen Forschung häufig angewendeten multiplen Regressionsanalysen erlaubte eine Modellierung menschlichen Handelns durch deterministische und stochastische Anteile. Die weitgehend erfolgreiche Validierung des Simulationsmodells (s. Kap. 2.4.2.3) deutet darauf hin, dass dieses insgesamt innovative Vorgehen auch für kommende Simulationsstudien eine nützliche Anwendung finden kann. Die in dieser Arbeit vorgestellten Ergebnisse schöpfen das Potenzial von Simulationen bei weitem nicht aus.

In folgendem Kapitel wird auf eine Auswahl an Potenzialen und Einschränkungen von Simulationen eingegangen.

4.2 Potenziale und Einschränkungen von Simulationen

Zusammenfassend lassen die im Rahmen dieser Arbeit bereits dargestellten Möglichkeiten von Simulationen von ASCs künftig noch weitere Potenziale erahnen. Exemplarisch können an dieser Stelle ein künftiger Einbezug von Effektivitäts-Kenndaten erwähnt werden (s. insb. Kap. 1.4.4, 3.3), Effekte auf die Wartezeit der Fluggäste (s. Kap. 1.4.2.2) oder Untersuchungen zu unterschiedlichen Crew-Konstellationen (s. Kap. 3.3). Zudem können mit bestehenden Modellen relativ einfach Effekte durch neue technische Geräte erforscht werden, ohne diese erst in der Praxis zu implementieren.

In diesem Zusammenhang ist ausserdem auf Aspekte einer realitätsnahen 3D-Simulation zu verweisen. Im Rahmen dieser Arbeit konnte nur ein kleiner Einblick gegeben werden, was heute bereits umsetzbar ist (s. bspw. Kap. 2.4.2.1). Es ist bspw. vorstellbar, dass künftig betroffenen Entscheidungsträgern und Mitarbeitenden die animierten visuellen Darstellungen als Film oder in einer in Echtzeit gerechneten VR-Umgebung gezeigt werden. Dabei können visualisierte Schlüsselsituationen (bspw. Anhäufung von Fluggästen bei bestimmten Prozessen) zu einem besseren Verständnis und ggf. zu einer höheren Akzeptanz von vorgeschlagenen Veränderungen führen. Folglich sind mit 3D-Simulationen auch Anwendungen in Trainingssituationen denkbar. Ausserdem ist es vorstellbar, dass durch die realitätsnahe Visualisierung partizipative Prozesse zur Gestaltung neuer Szenarien weiter befruchtet werden können. Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Simulationsmodell kann ein erster Schritt in diese Richtung sein, welches nach Bedarf in kommenden iterativen Schritten weiter ausgebaut werden kann.

Auf der anderen Seite bieten Simulationen aus Sicht des Autors nicht die Lösung aller anstehenden Herausforderungen. Auf Basis von gründlich durchgeführten Erhebungen können für einen bestimmten Untersuchungsgegenstand valide Modelle abgebildet werden, welche, wie in dieser Arbeit dargestellt, bspw. Hinweise zu Optimierungen liefern können. Simulationen bilden jedoch nie die komplexe Realität ab (s. a. Einleitung Kap. 2, 3.3), entsprechend sind die Resultate jeweils mit Vorsicht zu interpretieren. Die teils komplexen Zusammenhänge und Interaktionen sind insb. bei einer Adaption auf einen neuen Untersuchungsgegenstand (bspw. eines anderen Flughafens) zu berücksichtigen - ggf. ändern sich nur einzelne Parameter, sondern auch die hinterlegten Modelle.

⁷⁴ Eine Ausnahme bildet bspw. die implementierte Gehgeschwindigkeit der Fluggäste (s. Anhang E-I).

Die Anwendung einer Simulation für Luftsicherheitskontrollen wird vom Autor als eine von vielen Forschungsfeldern gesehen. Es ist davon auszugehen, dass unzählige weitere soziotechnische Anwendungsgebiete vorstellbar sind, in denen Simulationen - kombiniert mit Aspekten der Psychologie - einen wertvollen Beitrag zur Verbesserung der Arbeitswelt leisten können. Es hat sich im Rahmen dieser Arbeit herausgestellt, dass FlexSim (2016) dabei ein zuverlässiges Instrument sein kann.

4.3 Erweiterter Aus- und Rückblick

Mit angepasster Flughöhe wird in diesem Kapitel eine kleine Auswahl an persönlichen Erkenntnissen auf der Metaebene reflektiert. Abschliessend werden Gedanken des Autors in Zusammenhang mit Psychologie und Simulationen dargestellt.

Die homogenen und übereinstimmenden Ergebnisse der DA und BI (auch innerhalb der BI) sowie die bestehenden Regulationen und Strukturen im Umfeld der Luftsicherheitskontrollen können als Indikatoren für ein gewolltes, striktes und akkurates Befolgen von Vorgaben gedeutet werden⁷⁵. Interessanterweise findet in den letzten Jahren der Forschung zu *Safety* ein Paradigmenwechsel statt. Unter dem Namen *Safety II* wird die Variabilität menschlichen Handelns positiv gewertet und als Beitrag zu einer angestrebten Resilienz⁷⁶ anerkannt (vgl. bspw. Leonhardt, Peters & Hollnagel, 2014). Inwiefern sich Erkenntnisse und Teilaspekte dieser Bewegung auch im Bereich Security ableiten lassen, kann im Rahmen dieser Arbeit nicht beantwortet werden. Es ist jedoch anzunehmen, dass sich bei Einnahme einer Safety II Perspektive ein Fundus an neuen potenziellen Fragestellungen ergeben würde (wohlwissend, dass sich Safety und Security in verschiedenen Aspekten stark unterscheiden; vgl. a. Kap. 1.2). Nicht zuletzt könnten daraus weitere Ansätze motivationstheoretisch optimierter Arbeitsgestaltung entstehen, welche wiederum mittels Simulationsstudien untersucht werden könnten.

Die Grosszahl der heutigen ASC-Prozesse und -Technologien basieren auf Erkenntnissen und Entwicklungen, welche insb. durch Vorfälle der letzten Jahrzehnte und anhand bestehender Rahmenbedingungen determiniert wurden. Ich (der Autor) durfte mich in meinem beruflichen Werdegang mehrere Jahre in der Welt der Innovationen bewegen. Dabei brachte ein leerer Tisch mit einem Fokus auf die Trends der Zukunft oftmals neue und innovative Ideen, welche später erfolgreich in Form von Produkten im Markt umgesetzt werden konnten. Das Konzept des *Tabula rasa* könnte auch für ASC inspirierende Ansätze hervorbringen. Mehrere bisher noch nicht weiter angereicherte Ideen⁷⁷ verweilen bisher hartnäckig in meinem Hinterkopf.

Diese Arbeit bildet für mich den Abschluss einer mehrjährigen Ausbildung in Angewandter Psychologie an der FHNW; erst als Bachelorand und nun als angehender Psychologe im Masterstudium. Alleine mit meiner Vorbildung und Berufserfahrung in den Bereichen

⁷⁵ In der Vorstudie lag bewusst kein Fokus auf einer Kontrolle des Arbeitsprozesses. Im Zuge der VA sind saliente Abweichungen zum erhobenen Prozessablauf (s. Kap.2.1.2.1, 2.1.2.2, 2.1.2.3) nur andeutungsweise aufgefallen. Da es sich um eine geringe Anzahl von Einzelfällen handelte, wurden diese nicht weiter analysiert oder vertieft.

⁷⁶ Für eine ausführliche Beschreibung des Paradigmenwechsels im Forschungsgebiet Safety sei insb. auf die Bücher *Resilience engineering: concepts and precepts* (Hollnagel et al., 2013) sowie *Safety-I and Safety-II: The Past and Future of Safety Management* (Hollnagel, 2014) verwiesen. Darin werden die Relevanz von Safety II theoretisch fundiert und anhand von Beispielen erarbeitet, insb. auch für komplexe soziotechnischen Systeme. In Bezug auf Security gibt es bereits Publikationen, welche potenzielle Parallelen, Ansätze und Anregungen für neue Perspektiven, teils auf einer gesellschaftlichen Meta-Ebene, aufgreifen und diskutieren (bspw. Egli, 2013; McFarlane & Hills, 2013; Thoma, Scharte, Hiller & Leismann, 2016).

⁷⁷ Bspw. wäre eine mögliche 1:1 (Sicherheitsmitarbeitende:Fluggast) Begleitung durch den ganzen Kontrollprozess vorstellbar. Das Linien-Design würde sich entsprechend verändern, sodass der Ablauf noch immer flüssig ist. Es ist anzunehmen, dass dadurch insb. die Ganzheitlichkeit der Aufgabe (Sicherheitsmitarbeitende; s. Kap. 1.4.2.1) verbessert, eine umfassendere BR umsetzbar und das Fluggasterlebnis bereichert wird.

Elektronik, Automation, Maschinenbau und in der Industrie wäre eine Umsetzung in diesem Rahmen kaum, oder nur bedingt, möglich gewesen. Die grössten Mehrwerte der diversen Perspektiven bieten in meinen Augen die interdisziplinäre Symbiose von technischer Umsetzungsfähigkeit, ein vertieftes psychologisches Verständnis von Mensch, Arbeit und Organisation sowie eine wissenschaftlich fundierte Herangehensweise (insb. Analyse, Bewertung und Gestaltung). Es ist anzunehmen, dass durch die laufende und unaufhaltsame Digitalisierung in der Gesellschaft die Schwelle zur Anwendung von technischen Systemen stets weiter sinkt (bspw. werden Simulationsumgebungen einfacher in der Anwendung; das Grundwissen der Menschen im Umgang mit Technik steigt). Das Erheben und die Analyse von Daten, die Interpretation und das Bewerten von Simulationsergebnissen sowie das Ableiten und die Umsetzung von potenziellen Massnahmen bleiben mitunter auch mittelfristig Stärken von Menschen mit einem Rucksack psychologischer Aus- und Weiterbildung (vgl. Saam & Gautschi, 2015). Wäre dies ein Anlass, im sozio-technischen Kontext schrittweise Simulationen in den Methodenkoffer der angewandten Psychologie zu integrieren?

Die Umsetzung des Projekts als Masterarbeit war für mich als Neuling im Bereich Security von Anfang an ambitioniert. Wenn mir von Beginn weg bewusst gewesen wäre, was in der relativ kurzen Zeit auf mich zukommt, dann... auch dann hätte ich mich dafür entschieden. Ich bin sehr dankbar für die lehrreiche Zeit der Masterarbeit. Sie ermöglichte mir ein Ordnen und Konsolidieren von methodischem Wissen, eine praktische Anwendung von psychologischen Theorien, einen vertieften Einblick in Luftsicherheitskontrollen sowie einen Erfahrungsgewinn in der Anwendung neuer Werkzeuge - insb. mit R und FlexSim.

Literaturverzeichnis

- Aguinis, H., Gottfredson, R.K. & Joo, H. (2013). Best-practice recommendations for defining, identifying, and handling outliers. *Organizational Research Methods*, 16 (2), 270–301.
- Andrienko, N. & Andrienko, G. (2006). *Exploratory Analysis of Spatial and Temporal Data*. Berlin: Springer.
- Ashford, N.J., Stanton, H.P.M., Moore, C.A., Coutu, P. & Beasley, J.R. (2013). *Airport operations* (3. Auflage). New York: McGraw-Hill.
- Backhaus, K., Erichson, B., Plinke, W. & Weiber, R. (2016). *Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung* (14. Auflage, Band 10). Berlin: Springer.
- Baeriswyl, S., Krause, A. & Schwaninger, A. (2016). Emotional exhaustion and job satisfaction in airport security officers-work-family conflict as mediator in the job demands-resources model. *Frontiers in physiology*, (April).
- Banks, J., Carson, J.S., Nelson, B.L. & Nicol, D.M. (2010). *Discrete-event system simulation* (5. Auflage). Upper Saddle River: Pearson.
- Bassetti, C., Ferrario, R. & Campos, M.L.M. (2015). Airport security checkpoints: an empirically-grounded ontological model for supporting collaborative work practices in safety critical environments. *ISCRAM 2015 Conference*. Kristiansand.
- Bättig, D. (2015). *Angewandte Datenanalyse: Der Bayes'sche Weg*. Berlin: Springer.
- Belyavin, A. (2009). Simulating search comb performance. *Proceedings of the 45th IEEE International Carnahan Conference on Security Technology*, 206–211.
- Belyavin, A. (2014). Simulating the impact of remote screening on search comb capacity. *Security Technology (ICCST), 2014 International Carnahan Conference on* (S. 1–6).
- Bielecki, Z., Janucki, J., Kawalec, A., Mikolajczyk, J., Palka, N., Pasternak, M. et al. (2012). Sensors and systems for detection of explosive devices - an overview. *Metrology and Measurement Systems*, 19 (1), 3–28.
- 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(1), 45–67.
- 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. *4th Symposium of the Workgroup Human-Computer Interaction and Usability Engineering of the Austrian Computer Society, USAB 2008, November 20-21, 2008*. (S. 419–438). Graz.
- Breusch, T.S. & Pagan, A.R. (1979). A simple test for heteroscedasticity and random coefficient variation. *Econometrica*, 47 (5), 1287–1294.
- Breutmann, N., Goethe, W., Grode, H.-P., Kiehl, P., Liess, E., Machert, D. et al. (2001). *Einführung in die DIN-Normen*. (DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Hrsg.). Stuttgart: Beuth.
- Bungartz, H.-J., Zimmer, S., Buchholz, M. & Pflüger, D. (2013). *Modellbildung und Simulation*. Berlin: Springer.
- CASRA. (2015). *[Studie zu Suchstrategien bei Röntgenbildern von Fluggepäck]*. Unpublizierte interne Untersuchung.
- CASRA. (2016). Center for Adaptive Security Research and Applications. Zugriff am 12.3.2016. Verfügbar unter: www.casra.ch
- Chawdhry, P.K. (2009). Risk modeling and simulation of airport passenger departures process. *Winter Simulation Conference (Wsc 2009)*, 1-4, 2680–2691.
- Cheng, L., Fookes, C., Reddy, V. & Yarlagadda, P.K.D.V. (2014). Analysis of passenger group behaviour and its impact on passenger flow using an agent-based model. *International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications (SIMULTECH)* (S. 733–738). Wien.
- Cicchetti, D. V. (1994). Guidelines, criteria, and rules of thumb for evaluating normed and standardized assessment instruments in psychology. *Psychological Assessment*, 6 (4), 284–290.

- Coffey, A. (2014). Analysing Documents. In U. Flick (Hrsg.), *The SAGE handbook of Qualitative Data Analysis* (S. 367–380). London: SAGE.
- Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement, 20*, 37–46.
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin, 112* (1), 155–159.
- Crevits, I., Vanderhaegen, F., Labour, M. & Maréchal, L. (2013). Toward a cooperative action-driven decision model of an airport security process. *IFAC Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems* (Band 12, S. 244–248). Las Vegas: IFAC.
- dal Pozzo, F.R. (2015). *EU Legal Framework for Safeguarding Air Passenger Rights*. Cham: Springer.
- Dekan, T. (2014). Future system for behavioral Analysis during the security checks at airports. *ACTA Avionica, 16* (1), 1–2.
- Dekker, S. (2006). Resilience Engineering: Chronicling the emergence of confuses consensus. In E. Hollnagel, D.D. Woods & N. Leveson (Hrsg.), *Resilience Engineering* (repr. 2013., S. 77–94). Surrey: Ashgate.
- Diehl, S. (2007). *Software Visualization*. Berlin: Springer.
- Dillon, T.W. & Thomas, D.S. (2015). Exploring the acceptance of body searches, body scans and TSA trust. *Journal of Transportation Security, 8* (3-4), 51–67.
- Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften* (5. Auflage). Berlin: Springer.
- Dorton, S.L. & Liu, D. (2016). Effects of Baggage Volume and Alarm Rate on Airport Security Screening Checkpoint Efficiency using Queuing Networks and Discrete Event Simulation. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries, 26* (1), 95–109.
- Durbin, J. & Watson, G.S. (1951). Testing for serial correlation in least squares regression. *Biometrika Trust, 38* (1), 159–177.
- Efron, B. (1987). Better bootstrap confidence intervals. *Journal of the American Statistical Association, 82* (397), 171–185.
- Egli, D. (2013). Beyond the storms: Strengthening preparedness, response, & resilience in the 21st century. *Journal of Strategic Security, 6* (2), 32–45.
- Ekman, P. (2009). *Telling lies* (4. Auflage). New York: Norton.
- Elias, B. (2010). *Airport and aviation security*. Boca Raton: CRC Press.
- Europäische Kommission. (2008). Verordnung (EG) Nr. 300/2008. Zugriff am 12.3.2016. Verfügbar unter: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32008R0300>
- Europäische Kommission. (2010). Verordnung (EG) Nr. 185/2010. Zugriff am 12.3.2016. Verfügbar unter: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/LKD/?uri=CELEX:32010R0185>
- Europäische Kommission. (2013a). Durchführungsverordnung (EU) Nr. 104/2013. Zugriff am 12.3.2016. Verfügbar unter: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1446733579400&uri=CELEX:32013R0104>
- Europäische Kommission. (2013b). Durchführungsverordnung (EU) Nr. 246/2013. Zugriff am 12.3.2016. Verfügbar unter: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1451981741995&uri=CELEX:32013R0246>
- Europäische Kommission. (2013c). Durchführungsverordnung (EU) Nr. 1116/2013. Zugriff am 12.3.2016. Verfügbar unter: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1452003642842&uri=CELEX:32013R1116>
- European Parliament. (2016). PNR: Passenger Name Record. Zugriff am 17.4.2016. Verfügbar unter: <http://www.europarl.europa.eu/news/en/top-stories/20150218TST24901/PNR-Passenger-Name-Record>
- ExpertFit. (2016). Distribution-fitting software. Zugriff am 21.4.2016. Verfügbar unter: <http://www.averill-law.com/distribution-fitting/>
- Fassnacht, G. (1995). *Systematische Verhaltensbeobachtung*. München: UTB.

- FHNW. (2016). Intelligence, Competence and Unpredictability in Airport Security. Zugriff am 10.12.2015. Verfügbar unter: <http://www.fhnw.ch/aps/miks/forschungsprojekte-miks/aktuelle-projekte-neu/icu>
- Field, A., Miles, J. & Field, Z. (2012). *Discovering statistics using R. Journal of Chemical Information and Modeling* (Band 53). Los Angeles: SAGE.
- FlexSim. (2016). Flexsim Simulationssoftware. Zugriff am 10.12.2015. Verfügbar unter: <https://www.flexsim.com/de/flexsim>
- Flick, U. (2011). *Triangulation* (3. Aufl.). Wiesbaden: VS Verlag.
- Flick, U. (2014). *Qualitative research*. Los Angeles: SAGE.
- Flughafen Zürich AG. (2015a). Neue Sicherheitskontrolle. Zugriff am 7.4.2016. Verfügbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=UpOOPpzsVgk>
- Flughafen Zürich AG. (2015b). Veränderte Sicherheitskontrollen. Zugriff am 7.4.2016. Verfügbar unter: <https://www.flughafen-zuerich.ch/unternehmen/medien/news-center/2015/oct/zrh-2015-10-20-sicherheitskontrolle>
- Flughafen Zürich AG. (2015c). Beschränkungen bei Mitnahme von Flüssigkeiten im Handgepäck. Zugriff am 7.4.2016. Verfügbar unter: https://www.flughafen-zuerich.ch/~media/flughafenzh/dokumente/passagiere_und_besucher/abflug_und_ankunft/beschraenkungen-bei-mitnahme-von-fluessigkeiten-im-handgepaeck.pdf
- Flughafen Zürich AG. (2016a). Vielseitige Perspektiven - Willkommen bei der Flughafen Zürich AG. Zugriff am 12.3.2016. Verfügbar unter: https://www.flughafen-zuerich.ch/~media/flughafenzh/dokumente/das_unternehmen/flughafen_zuerich_ag/unternehmensbroschuer_e_20160101_de.pdf
- Flughafen Zürich AG. (2016b). Internet & App. Zugriff am 1.6.2016. Verfügbar unter: <https://www.flughafen-zuerich.ch/passagiere-und-besucher/airport-services/internet-und-app>
- Flughafen Zürich AG. (2016c). Fotogalerie. Zugriff am 7.4.2016. Verfügbar unter: <https://www.flughafen-zuerich.ch/passagiere-und-besucher/shopping-und-erlebnis/fotogalerie>
- Flughafen Zürich AG. (2016d). Statistikbericht 2015. Zugriff am 7.4.2016. Verfügbar unter: https://www.flughafen-zuerich.ch/~media/flughafenzh/dokumente/das_unternehmen/flughafen_zuerich_ag/statistikbericht_2015.pdf
- Forbes, C., Evans, M., Hastings, N. & Peacock, B. (2011). *Statistical distributions* (4. Auflage). Hoboken: Wiley.
- Fox, J. (2016). *Applied regression analysis & general linear models*. Los Angeles: SAGE.
- Fried, Y. & Ferris, G. (1987). The validity of the job characteristics model: A review and meta-analysis. *Personnel Psychology*, 40 (2), 287–322. doi:10.1111/j.1744-6570.1987.tb00605.x
- Froschauer, U. (2009). Artefakteanalyse. In S. Kühn, P. Strodtholz & A. Taffertshofer (Hrsg.), *Handbuch Methoden der Organisationsforschung* (S. 326–347). Heidelberg: VS Verlag.
- Gillen, D. & Morrison, W.G. (2015). Aviation security: Costing, pricing, finance and performance. *Journal of Air Transport Management*, 48, 1–12.
- Gkritza, K., Niemeier, D. & Mannering, F. (2006). Airport security screening and changing passenger satisfaction: An exploratory assessment. *Journal of Air Transport Management*, 12 (5), 213–219.
- Government Accountability Office. (2013). Aviation security: TSA should limit future funding for behavior detection activities. Verfügbar unter: <http://www.gao.gov/assets/660/658923.pdf>
- Greve, W. & Wentura, D. (1997). *Wissenschaftliche Beobachtung*. Weinheim: Beltz.
- Günther, M. & Velten, K. (2014). *Mathematische Modellbildung und Simulation*. Weinheim: Wiley.
- Gwet, K.L. (2012). *Handbook of inter-rater reliability: the definitive guide to measuring the extent of agreement among raters*. Gaithersburg, MD: Advanced Analytics.
- Hacker, W. (2005). *Allgemeine Arbeitspsychologie*. (E. Ulich, Hrsg.) (2. Auflage). Bern: Huber.

- Hackman, J.R. & Oldham, G.R. (1974). The Job Diagnostic Survey: An Instrument for the Diagnosis of Jobs and the Evaluation of Job Redesign Projects. New Haven, Conn.: Yale University.
- Hackman, J.R. & Oldham, G.R. (1975). Development of the Job Diagnostic Survey. *Journal of Applied Psychology*, 60 (2), 159–170.
- Hackman, J.R. & Oldham, G.R. (1976). Motivation through the design of work: test of a theory. *Organizational Behavior and Human Performance*, 16 (2), 250–279.
- Hackman, J.R. & Oldham, G.R. (1980). *Work Redesign*. Reading: Addison-Wesley.
- Hartwig, M. & Bond, C. (2014). Lie detection from multiple cues: a meta analysis. *Applied Cognitive Psychology*, 28 (5), 661–676.
- Hättenschwiler, N., Michel, S., Kuhn, M., Strebel, N. & Schwaninger, A. (2015). Relevanz situativer Einflussfaktoren auf die Arbeit von Luftsicherheitskontrollpersonal bei der Röntgenbildbeurteilung - eine Arbeitsanalyse. *GfA*. Dortmund.
- Hedderich, J. & Sachs, L. (2016). *Angewandte Statistik - Methodensammlung mit R* (15. Auflage). Berlin: Springer.
- Heiderich, N. & Meyer, W. (2014). *Technische Probleme lösen mit C/C++* (2. Auflage). München: Hanser.
- Helbing, D. (2010). Pluralistic Modeling of Complex Systems. *Science and Culture*, 76 (9-10), 315–329.
- Helbing, D. & Baliotti, S. (2012). Agent-Based Modeling. In D. Helbing (Hrsg.), *Social Self-Organization* (S. 25–71). Heidelberg: Springer.
- Helfferrich, C. (2011). *Die Qualität qualitativer Daten: Manual für die Durchführung qualitativer Interviews* (4. Auflage). Wiesbaden: VS Verlag.
- Hering, E. (1984). *Software-Engineering*. Wiesbaden: Springer.
- Heyman, R.E., Lorber, M.F., Eddy, J.M. & West, T. V. (2014). Behavioral Observation and Coding. In H. T.Reis & C.M. Judd (Hrsg.), *Handbook of Research Methods in Social and Personality Psychology* (2nd. Auflage, S. 345–372). New York: Cambridge University Press.
- Hofer, F. & Schwaninger, A. (2005). Using threat image projection data for assessing individual screener performance. *WIT Transactions on the Built Environment*, 82, 417–426.
- Hofer, F. & Wetter, O.E. (2012). Operational and human factors issues of new airport security technology—two case studies. *Journal of Transportation Security*, 5 (4), 277–291.
- Holguín-Veras, J., Xu, N. & Bhat, C. (2012). An assessment of the impacts of inspection times on the airline industry's market share after September 11th. *Journal of Air Transport Management*, 23, 17–24.
- Hollnagel, E. (2009). *The ETTO principle: efficiency-thoroughness trade-off*. Farnham: Ashgate.
- Hollnagel, E. (2014). *Safety-I and safety-II: The past and future of safety management*. Surrey: Ashgate.
- Hollnagel, E., Woods, D.D. & Leveson, N. (Hrsg.). (2013). *Resilience engineering: concepts and precepts*. London: Ashgate.
- Hothorn, T., Zeileis, A., Farebrother, R.W., Cummins, C., Millo, G. & Mitchell, D. (2015). lmtest: Testing linear regression models. Zugriff am 1.6.2016. Verfügbar unter: <https://cran.r-project.org/web/packages/lmtest/lmtest.pdf>
- Hougham, C. (2009). Aviation Security in the face of tragedy. *A new understanding of Terrorism* (S. 143–158). Dordrecht: Springer.
- Howell, D.C. (2013). *Statistical methods for psychology (international version)* (8. Auflage). Victoria (AU): Wadsworth.
- IATA & ACI. (2013). Smart Security. Zugriff am 10.12.2015. Verfügbar unter: <http://www.aci.aero/media/cd4f98d8-79db-4d9d-932e-2b85b07be7a2/dvZ8iQ/About ACI/Priorities/Security/Smart-Security-Flyer.pdf>
- IATAtv. (2014a). Smart Security – The evolution is underway. Verfügbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=mD3KfxZMlpU>

- IATAtv. (2014b). Smart Security - Next generation passenger screening. Verfügbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=GaPUNywU0oY>
- Jackson, B.A. & LaTourrette, T. (2015). Assessing the effectiveness of layered security for protecting the aviation system against adaptive adversaries. *Journal of Air Transport Management*, 48, 26–33.
- Kantonspolizei Zürich. (2015). *[Umfrage zur Arbeitscharakteristik und zur Motivation der Mitarbeitenden]*. Unpublizierte interne Untersuchung.
- Kantonspolizei Zürich. (2016a). Flughafenpolizei. Zugriff am 8.4.2016. Verfügbar unter: http://www.kapo.zh.ch/internet/sicherheitsdirektion/kapo/de/ueber_uns/org/fp.html
- Kantonspolizei Zürich. (2016b). Forschung & Entwicklung. Zugriff am 12.3.2016. Verfügbar unter: www.kapo.zh.ch/internet/sicherheitsdirektion/kapo/de/ueber_uns/fachstelle/div/fe/fe_de.html
- Kaufmann, S. (2016). Security through technology? Logic, ambivalence and paradoxes of technologised security. *European Journal for Security Research*, 1, 77–95.
- Kazda, A. & Caves, R.E. (2015). Security. In A. Kazda & R.E. Caves (Hrsg.), *Airport design and operation* (3. Auflage, S. 305–341). Bingley: Emerald.
- Keystone. (2015). Sprengstoffkontrollen am Flughafen Zürich - Kontrolle - Sicherheit- Polizei - Sprengstoff. Zugriff am 7.4.2016. Verfügbar unter: http://youtube.com/watch?v=tn_KxWlZqHg
- Kierzkowski, A. & Kisiel, T. (2015). Modelling the passenger flow at an airport terminal to increase the safety level. *Military Technologies (ICMT)* (S. 1–7). Brno.
- Kirschenbaum, A. (Avi). (2013). The cost of airport security: The passenger dilemma. *Journal of Air Transport Management*, 30, 39–45.
- Kirschenbaum, A. (Avi). (2015). The social foundations of airport security. *Journal of Air Transport Management*, 48, 34–41.
- Kissmann, U.T. (2009). *Video interaction analysis*. Frankfurt am Main: Peter Lang.
- Kittinger, R. & Bender, J. (2015). Methods for determining the role of fatigue and cognitive load on behavior detection officers performance in the field. *9th International Conference, Augmented Cognition* (S. 36–43). Los Angeles.
- Knoblauch, H., Schnettler, B. & Raab, J. (2012). Video-analysis. Methodological aspects of interpretive audiovisual analysis in social research. *Video analysis: methodology and methods* (3. Auflage, S. 9–28). Frankfurt am Main: Peter Lang.
- Knoblauch, H., Tuma, R. & Schnettler, B. (2014). Video analysis and videography. In U. Flick (Hrsg.), *The SAGE Handbook of Qualitative Data Analysis* (S. 435–450). London: SAGE.
- Koller, C.I., Wetter, O.E. & Hofer, F. (2015). What Is Suspicious When Trying to be Inconspicuous? Criminal Intentions Inferred From Nonverbal Behavioral Cues. *Perception*, 44 (6), 679–708.
- Koller, C.I., Wetter, O.E. & Hofer, F. (2016). 'Who's the Thief?' The Influence of Knowledge and Experience on Early Detection of Criminal Intentions. *Applied Cognitive Psychology*, 30 (2), 178–187.
- Kraal, B.J., Popovic, V. & Kirk, P.J. (2009). Passengers in the airport: artefacts and activities. *Design: Open 24/7* (S. 349–352). Melbourne.
- Kraus, J. & Verner, T. (2016). Using sensor network for passengers prescreening in air transport. *Journal of Transportation Security*, 1–8.
- Kudrick, B., Caggiano, D. & Speed, A. (2015). Human factors within the transportation security administration: optimizing performance through human factors assessments. *9th International Conference, Augmented Cognition* (S. 767–776). Los Angeles.
- Kuhlmann, M. (2009). Beobachtungsinterview. In S. Kühl, P. Strodtholz & A. Taffertshofer (Hrsg.), *Handbuch Methoden der Organisationsforschung* (S. 78–101). Heidelberg: VS Verlag.
- Laurier, E. & Philo, C. (2012). Natural problems of naturalistic video data. In H. Knoblauch, B. Schnettler, J. Raab & H.-G. Soeffner (Hrsg.), *Video analysis: methodology and methods* (3. Auflage, S. 183–192). Frankfurt am Main: Peter Lang.

- Law, A.M. (2015). *Simulation modeling and analysis* (5. Auflage). New York: McGraw-Hill.
- Lee, A.J. & Jacobson, S.H. (2011). The impact of aviation checkpoint queues on optimizing security screening effectiveness. *Reliability Engineering & System Safety*, 96 (8), 900–911.
- Leonhardt, J., Peters, C. & Hollnagel, E. (2014). Der nötige Paradigmenwechsel im Verständnis von Sicherheit in komplexen Arbeitswelten. In U. Bargstedt, G. Horn & A. van Vegten (Hrsg.), *Resilienz in Organisationen stärken*. Frankfurt: Verlag für Polizeiwissenschaft.
- Liang, H. (2015). Risk-based optimization design for checkpoints in airports. *Proceedings of the 49th IEEE International Carnahan Conference on Security Technology* (S. 347–351).
- Loffi, J.M. (2014). Curriculum and pedagogy in higher education to fulfill the knowledge demands required for a master of science in aviation security management: a qualitative inquiry of aviation security professionals. *Journal of Transportation Security*, 7 (2), 169–189.
- Loffi, J.M., Bliss, T.J. & Depperschmidt, C.L. (2013). Identifying knowledge demands and professional skill sets for employment within the aviation security environment: a qualitative inquiry of aviation security professionals. *Journal of Transportation Security*, 6 (3), 235–256.
- Ma, W., Fookes, C., Kleinschmidt, T. & Yarlagadda, P.K.D. V. (2012). Modelling Passengers Flow at Airport Terminals. *SIMULTECH 2012* (S. 34–38). Rom.
- Ma, W., Kleinschmidt, T., Fookes, C. & Yarlagadda, P.K.D. V. (2011). Check-in processing: Simulation of passengers with advanced traits. *Proceedings of the Winter Simulation Conference* (S. 1783–1794).
- Maccario, C.J. (2013). Aviation Security and Nonverbal Behaviour. In D. Matsumoto, M.G. Frank & H.S. Hwang (Hrsg.), *Nonverbal Communication; Science and Applications* (S. 147–154). Los Angeles: SAGE.
- Macmillian, N.A. & Creelman, C.D. (2005). *Detection Theory: A User's Guide* (2. Auflage). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- März, L., Krug, W., Rose, O. & Weigert, G. (Hrsg.). (2011). *Simulation und Optimierung in Produktion und Logistik: Praxisorientierter Leitfaden mit Fallbeispielen*. Berlin: Springer.
- Mayring, P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse*. Weinheim: Beltz.
- McFarlane, P. & Hills, M. (2013). Developing immunity to flight security risk: prospective benefits from considering aviation security as a socio-technical eco-system. *Journal of Transportation Security*, 6 (3), 221–234.
- McLay, L. a., Jacobson, S.H. & Kobza, J.E. (2006). A sequential stochastic multilevel passenger screening problem for aviation security. *Naval Research Logistics*, 53 (3), 183–197.
- Mendes, M., Hättenschwiler, N., Sterchi, Y. & Schwaninger, A. (2015). Advanced cabin baggage (ACBS) study on human-machine performance and automation. *61st Meet. ECAC Tech. Task Force*. Paris.
- Mendes, M., Schwaninger, A. & Michel, S. (2011). Does the application of virtually merged images influence the effectiveness of computer-based training in x-ray screening? *Proceedings of the 45th IEEE International Carnahan Conference on Security Technology*. Mataro, ES.
- Meuter, R.F.I. & Lacherez, P.F. (2016). When and why threats go undetected. Impacts of event rate and shift length on threat detection accuracy during airport baggage screening. *Human Factors*, 58 (2), 218–228.
- Nelson, W.B. (2005). *Applied Life Data Analysis*. New York: Wiley.
- Nie, X., Batta, R., Drury, C.G. & Lin, L. (2009). Passenger grouping with risk levels in an airport security system. *European Journal of Operational Research*, 194 (2), 574–584.
- 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 (1), 146–155.
- Nikolaev, A.G., Lee, A.J. & Jacobson, S.H. (2012). Optimal Aviation Security Screening Strategies With Dynamic Passenger Risk Updates. *IEEE Transactions on intelligent transportation systems* (Band 13, S. 203–212).

- Oberkampff, W.L. & Roy, C.J. (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 (2), 67–74.
- Oldham, G.R. & Hackman, J.R. (2010). Not what it was and not what it will be: The future of job design research. *Journal of Organizational Behavior*, 31, 463–479.
- Oldham, G.R., Hackman, J.R. & Stepina, L.P. (1978). *Norms for the Job Diagnostic Survey*. New Haven: Yale University.
- Oliveira, F.F., Antunes, J.C.P. & Guizzardi, R.S.S. (2007). Towards a collaboration ontology. *2nd workshop on ontologies and metamodeling in software and data engineering* (S. 97–108).
- Ormerod, T.C. & Dando, C.J. (2014). Finding a needle in a haystack: Towards a psychologically-informed method for aviation security screening. *Journal of Experimental Psychology: Genreal*, 144 (1), 76–84.
- Parker, S.K., Wall, T.D.T.D. & Cordery, J.L.J.L. (2001). Future work design research and practice: Towards an elaborated model of work design. *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, 74 (4), 413–440.
- Perboli, G., Musso, S., Perfetti, F. & Trapani, P. (2014). Simulation of new policies for the baggage check in the security gates of the airports: The logiscan case study. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 111 (2014), 58–67.
- Rapley, T. (2014). Sampling strategies in qualitative research. In U. Flick (Hrsg.), *The SAGE Handbook of Qualitative Data Analysis* (S. 49–63). London: SAGE.
- Revelle, W. (2015). Psych: procedures for psychological, psychometric, and personality research. Zugriff am 12.3.2016. Verfügbar unter: <https://cran.r-project.org/web/packages/psych/index.html>
- Ripley, B. (2016). Boot: Functions and datasets for bootstrapping. Zugriff am 15.6.2016. Verfügbar unter: <https://cran.r-project.org/web/packages/boot/boot.pdf>
- Rodrigues, C.C. & Cusick, S.K. (2012). *Commercial aviation safety* (5. Auflage). New York: McGraw-Hill.
- Saam, N.J. (2015). Simulation in den Sozialwissenschaften. In N. Braun & N.J. Saam (Hrsg.), *Handbuch Modellbildung und Simulationen in den Sozialwissenschaften* (S. 61–98). Wiesbaden: Springer.
- Saam, N.J. & Gautschi, T. (2015). Modellbildung in den Sozialwissenschaften. *Handbuch Modellbildung und Simulation in den Sozialwissenschaften* (S. 15–60).
- Sakano, R., Obeng, K. & Fuller, K. (2016). Airport security and screening satisfaction: A case study of U.S. *Journal of Air Transport Management*, 55, 129–138.
- Schmidt, K.H., Kleinbeck, U., Ottmann, W. & Seidel, B. (1985). Ein Verfahren zur Diagnose von Arbeitsinhalten: Der Job Diagnostic Survey (JDS). *Psychologie und Praxis*, 29 (4), 162–172.
- Schmitt, D. & Gollnick, V. (2016). *Air Transport System. Air & Space Europe*. Wien: Springer.
- Schnettler, B. & Knoblauch, H. (2009). Videoanalyse. In S. Kühl, P. Strodtholz & A. Taffertshofer (Hrsg.), *Handbuch Methoden der Organisationsforschung* (Band 2, S. 272–299). Wiesbaden: VS Verlag.
- Schüpbach, H. (2013). *Arbeits- und Organisationspsychologie*. München: UTB.
- Schwaninger, A. (2005). Objekterkennung und Signaldetektion. In B. Kersten & M. Groner (Hrsg.), *Praxisfelder der Wahrnehmungspsychologie* (S. 106–130). Bern: Huber.
- Schwaninger, A. (2006a). Airport security human factors: From the weakest to the strongest link in airport security screening. *Proceedings of the 4th International Aviation Security Technology Symposium, November 27 – December 1* (S. 265–270). Washington.
- Schwaninger, A. (2006b). Threat image projection: enhancing performance? *Aviation Security International, December*, 36–41.
- Schwaninger, A. (2009). Why do airport security screeners sometimes fail in covert tests? *43rd Annual 2009 International Carnahan Conference on Security Technology* (S. 41–45). Zürich.

- Shrout, P.E. & Fleiss, J.L. (1979). Intraclass correlations: uses in assessing rater reliability. *Psychological bulletin*, 86 (2), 420–428.
- Signorell, A. (2016). DescTools: tools for descriptive statistics. Zugriff am 11.4.2016. Verfügbar unter: <https://cran.r-project.org/web/packages/DescTools/index.html>
- Skorupski, J. & Uchroński, P. (2016). Managing the process of passenger security control at an airport using the fuzzy inference system. *Expert Systems With Applications*, 54, 284–293.
- Skorupski, J. & Uchroński, P. (2016). A human being as a part of the security control system at the airport. *Procedia Engineering*, 134, 291–300.
- Skytrax. (2016). The World's Best Airports for Security Screening. Zugriff am 7.4.2016. Verfügbar unter: http://www.worldairportawards.com/Awards/best_airport_security.html
- Sterchi, Y. & Schwaninger, A. (2015). A first simulation on optimizing EDS for cabin baggage screening regarding throughput. *Proceedings of the 49th IEEE International Carnahan Conference on Security Technology*. Taipei.
- Taylor, F.W. (1911). *The principles of scientific management*. New York: Harper & Brothers.
- Thoma, K., Scharte, B., Hiller, D. & Leismann, T. (2016). Resilience engineering as part of security research: Definitions, concepts and science approaches. *European Journal for Security Research*, 1, 3–19.
- Trist, E.L. & Bamforth, K.W. (1951). Some Social and Psychological Consequences of the Longwall Method of Coal-Getting. *Human Relations*, 4 (3), 4–38.
- Ulich, E. (2011). *Arbeitspsychologie*. Zürich: vdf.
- Vrij, A. (2008). Nonverbal dominance versus verbal accuracy in lie detection: a plea to change police practice. *Criminal Justice and Behavior*, 35 (10), 1323–1336.
- Vrij, A., Granhag, P. a., Mann, S. & Leal, S. (2011). Lying about flying: the first experiment to detect false intent. *Psychology, Crime & Law*, 17 (7), 611–620.
- Vrij, A. & Granhag, P.A. (2012). Eliciting cues to deception and truth: what matters are the questions asked. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 1 (2), 110–117. The Society of Applied Research in Memory and Cognition.
- Wäfler, T., Windischer, A., Ryser, C., Weik, S. & Grote, G. (1999). *Wie sich Mensch und Technik sinnvoll ergaenzen*. *Mensch Technik Organisation* (Band 19). Zürich: vdf.
- Watson. (2015). Demonstration des neuen Sprengstoffspuren-Detektionsgeräts am Flughafen Zürich. Zugriff am 7.4.2016. Verfügbar unter: <https://www.youtube.com/watch?v=6s6IHIzIHeE>
- Weber, L. (2015). *International Civil Aviation Organization (ICAO)*. (R. Blanpain, F. Hendrickx & J. Wouters, Hrsg.) (2. Auflage). Alphen aan den Rijn: Wolters Kluwer.
- Weichbrodt, J. (2015). Safety rules as instruments for organizational control, coordination and knowledge: Implications for rules management. *Safety Science*, 80, 221–232.
- Wetter, O.E. (2013). Imaging in airport security: Past, present, future, and the link to forensic and clinical radiology. *Journal of Forensic Radiology and Imaging*, 1 (4), 152–160.
- Wetter, O.E. & Fuhrer, M. (2013). A holistic approach for evaluating liquid explosive detection systems. *Journal of Transportation Security*, 6 (4), 377–388.
- Wetter, O.E., Fuhrmann, H., Lipphardt, M. & Hofer, F. (2011). Bringing adversaries together: The importance of a common management-level approach in complex work domains. *2011 Carnahan Conference on Security Technology*, 1–6.
- Wetter, O.E., Hardmeier, D. & Hofer, F. (2008). Covert testing at airports: Exploring methodology and results. *Proceedings - International Carnahan Conference on Security Technology*, 357–363.
- Wetter, O.E., Hofer, F. & Jonas, K. (2012). Crew goal setting for security control. *Journal of Transportation Security*, 6 (1), 43–57.
- Wetter, O.E., Lipphardt, M. & Hofer, F. (2010). External and internal influences on the security control process at airports. *IEEE International Carnahan Conference on Security Technology (ICCST)* (S. 301–309).

- Wetter, O.E., Wegge, J., Jonas, K. & Schmidt, K.H. (2012). Dual goals for speed and accuracy on the same performance task: Can they prevent speed-accuracy trade-offs? *Journal of Personnel Psychology*, 11 (3), 118–126.
- Wigginton, M., Jensen, C.J., Graves, M. & Vinson, J. (2014). What Is the Role of Behavioral Analysis in a Multilayered Approach to Aviation Security? *Journal of Applied Security Research*, 9 (4), 393–417.
- Wilson, D.L., Pryor, R., So, S.A. & Roe, E.K. (2007). Security checkpoint optimizer simulation tool for passenger screening prototyping. In S.G. Henderson, B. Biller, M.-H. Hsieh, J. Shortle, J.D. Tew & R.R. Barton (Hrsg.), *2007 Winter Simulation Conference*. Washington.
- Wilson, D.L., Roe, E.K. & So, S.A. (2006). Security checkpoint optimizer (SCO): an application for simulating the operations of airport security checkpoints. In L.F. Perrone, F.P. Wieland, J. Liu, B.G. Lawson, D.M. Nicol & R.M. Fujimoto (Hrsg.), *2006 Winter Simulation Conference* (S. 529–535). Monterey.
- Wolfe, J.M., Horowitz, T.S., van Wert, M.J., Kenner, N.M., Place, S.S. & Kibbi, N. (2009). Low target prevalence is a stubborn source of errors in visual search tasks. *Journal of Experimental Psychology*, 136 (4), 623–638.
- 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.
- Wooldridge, J.M. (2013). *Introductory econometrics - a modern approach (international version)* (5. Auflage). Victoria (AU): South-Western.
- Yoder, P. & Symons, F. (2010). *Observational measurement of behaviour*. New York: Springer.
- Young, P., Parkinson, S. & Lees, M. (1996). Simplicity out of complexity in environmental modelling: Occam's razor revisited. *Journal of Applied Statistics*, 23 (2-3), 165–210.
- Young, S. (1999). Evaluation of Pedestrian Walking Speeds in Airport Terminals. *Transportation Research Record*, 1674 (1), 20–26.
- Young, S.B. & Wells, A.T. (2011). *Airport planning and management* (6. Auflage). New York: McGraw-Hill.
- Zhang, Z.G., Luh, H.P. & Wang, C. (2011). Modeling Security-Check Queues. *Management Science*, 57 (11), 1979–1995.

Abbildungs-, Tabellen- und Formelverzeichnis

Abb. 1: Teilsysteme und Aufgaben in soziotechnischen Systemen (nach Ulich, 2011, S. 199)	5
Abb. 2: Darstellung der Erhebungs-, Analyse- und Validierungsschritte.....	17
Abb. 3: Räumliche Vertonung vorhandener Infrastruktur und Prozesse.....	23
Abb. 4: Vereinfachte Gesamtübersicht der Prozesse	26
Abb. 5: Screenshot einer synchronisierten Videosequenz (aus VA I) mit Beschriftung	30
Abb. 6: Darstellung der Sequenzen von durchgängig analysierten Fluggästen	31
Abb. 7: Fluggast-Taktzeit in Sekunden; VA1: Videoanalyse 1, VA2: Videoanalyse 2.....	36
Abb. 8: Boxplot der WTMD-Zeitperioden in Sekunden (links: VA I; rechts: VA II)	46
Abb. 9: Phasen der Modellierung und Simulation (nach Oberkampf & Roy, 2010, S. 23).....	49
Abb. 10: Screenshot der Simulation mit helper objects, Geh-Pfaden und Verknüpfungen ...	50
Abb. 11: Screenshots unterschiedlicher Situationen der Simulation aus drei Perspektiven	52
Abb. 12: Verifikation und Validierung einzelner Variablen und Prozesszeiten.....	53
Abb. 13: Diagramme zur Validierung von effizienzrelevanten Kenndaten	54
Abb. 14: Resultate der vier optimierten Szenarien im Vergleich mit dem Status-Quo	62
Abb. 15: Anzahl Linien-Stopps pro Stunde im Vergleich über alle simulierten Szenarien ...	63
Abb. 16: Verwendete Sinnbilder nach DIN 66001	96
Abb. 17: Unterprozess "Queueing"	97
Abb. 18: Unterprozess "Divesting"	97
Abb. 19: Unterprozess "X-ray Kontrolle"	98
Abb. 20: Unterprozess "X-ray Kontrolle rescreening"	98
Abb. 21: Unterprozess "WTMD Kontrolle"	99
Abb. 22: Unterprozess "Metal alarm resolution".....	99
Abb. 23: Unterprozess "ETD Kontrolle".....	100
Abb. 24: Unterprozess "Recomposing"	100
Abb. 25: Unterprozess "X-ray alarm resolution".....	101
Abb. 26: Unterprozess "X-ray alarm resolution rescreening"	101
Abb. 27: Unterprozess "LEDS Kontrolle"	102
Abb. 28: Aufnahmeperspektiven der Linie I	105
Abb. 29: Screenshot der Eingabemaske für Häufigkeiten pro Fluggast.....	108
Abb. 30: Differenzplot für die Anzahl X-ray items; VA I, Erwachsene, weiblich	115
Abb. 31: Differenzplot für die Anzahl X-ray items; VA I, Erwachsene, männlich.....	115
Abb. 32: Differenzplot für die Anzahl X-ray items; VA II, Erwachsene, weiblich.....	116
Abb. 33: Differenzplot für die Anzahl X-ray items; VA II, Erwachsene, männlich	116
Abb. 34: Differenzplot zur Zeitperiode 'Metal alarm resolution'	121
Abb. 35: Differenzplot zur Zeitperiode 'ETD Kontrolle, ohne Gepäck'	122
Abb. 36: Differenzplot zur Zeitperiode 'Recomposing nach X-ray alarm resolution'	127
Abb. 37: Simulierter Durchsatz in Beziehung mit der Anzahl Linien-Stopps	129
Abb. 38: Durchsatz mit erhöhtem Linien-Stopp Schwellwert	130
Tab. 1: Umfrageergebnisse beim Sicherheitspersonal im Vergleich zur Normstichprobe.....	7
Tab. 2: In Publikationen verwendete DES-Tools mit grafischen 3D-Animationen	14
Tab. 3: Demographische Angaben zu den Crews der Beobachtungsinterviews	22
Tab. 4: Demographische Angaben zu den Crews der Videoerhebungen.....	32
Tab. 5: ICC-Analysen der Zeitperioden zwischen Rater I und Rater II	35
Tab. 6: Beobachtete Häufigkeiten pro Fluggast.....	37
Tab. 7: Charakteristik der durchgängig analysierten Fluggäste.....	38
Tab. 8: Anzahl X-ray items pro erwachsenen Fluggast.....	39

Tab. 9: Parameterveränderungen anhand des Risikolevels (Szenario 1 und 2)	59
Tab. 10: Parameterveränderungen anhand des Risikolevels (Szenario 3 und 4)	60
Tab. 11: Liste der im Dokument verwendeten Abkürzungen	85
Tab. 12: Kategoriensystem der Beobachtungsinterviews	95
Tab. 13: Kategoriensystem der beobachteten Häufigkeiten pro Fluggast	106
Tab. 14: Kategoriensystem der beobachteten Zeitperioden pro Fluggast	108
Tab. 15: Kategoriensystem der beobachteten Zeitperioden pro Linie	110
Tab. 16: Kategoriensystem der beobachteten Zeitperioden pro Crew	110
Tab. 17: Kategoriensystem der errechneten Zeitperioden pro Fluggast	111
Tab. 18: Kategoriensystem der errechneten Häufigkeiten pro Fluggast	112
Tab. 19: Unterschiede (Ebene VA und Geschlecht) bei X-ray items Anzahl und Typus	117
Tab. 20: Unterschiede der Anzahl items in Varia-Tray	117
Tab. 21: Häufig- und Wahrscheinlichkeiten für ein gemischtes Tray pro X-ray item	118
Tab. 22: Details zum Modell der Zeitperiode 'Divesting'	119
Tab. 23: Prävalenz-Unterschiede für X-ray alarm resolution nach X-ray item Typus	121
Tab. 24: Details zum Modell der Zeitperiode 'ETD Kontrolle, mit Gepäck'	123
Tab. 25: Details zum Modell der Zeitperiode 'Recomposing'	124
Tab. 26: Details zum Modell der Zeitperiode 'X-ray alarm resolution'; pro X-ray item	126
Formel 1: Motivationspotenzial der Arbeitssituation (nach Hackman & Oldham, 1980)	7
Formel 2: klassische Definition der Wahrscheinlichkeit (nach Döring & Bortz, 2016)	34
Formel 3: Berechnung des Fluggast-Durchsatzes pro Stunde	52
Formel 4: Multiple Regressionsgleichung (nach Backhaus et al., 2016, S. 87)	128

Anhang

A Abkürzungen und ihre Bedeutung

Tab. 11: Liste der im Dokument verwendeten Abkürzungen

Abkürzung	steht für	Bemerkungen	Kapitelverweis der ersten Verwendung
ASC	Airport security checkpoint	Wird in der Praxis auch Luftsicherheitskontrollstelle oder Checkpoint genannt	1.2
BAZL	Bundesamt für Zivilluftfahrt	Schweizerisches Bundesamt für Zivilluftfahrt	1.1
BDO	Behaviour detection officer	Ausgebildeter Sicherheitsmitarbeitender für Verhaltensanalysen	1.4.3
BI	Beobachtungsinterview	Empirische Erhebungsmethode	2.1.1.4
BR	Behaviour recognition	Verhaltensanalysen; wird in der Praxis teils auch behaviour profiling genannt	1.4.3
CAPPS	Computer-assisted passenger pre-screening system	Computer unterstütztes System zur nachrichtendienstlichen Vorabkontrolle von Fluggästen; wurde in den USA eingesetzt	1.4.3
CAPPS II	Computer-assisted passenger pre-screening system 2	Nachfolgeprogramm von CAPPS	1.4.3
CASRA	Center for Adaptive Security Research and Applications	Gegründet im Jahre 2008, Sitz in Zürich; Praxispartner dieser Masterarbeit	1.3.1
DA	Dokumentenanalyse	Empirische Erhebungsmethode	2.1.1.2
DES	Discrete event simulation	Ereignisorientierte Simulation	1.4.4
EDS	Explosive detection systems	Sprengstoffdetektionssystem	1.4.4
ETD	Explosive detection device	Sprengstoffspurendetektor	2.1.2.1
FPKOA	Flughafenpolizei Kontrollabteilung	Abteilungsbezeichnung	1.3.2
FPSTA-FE	Flughafenpolizei Stabsabteilung, Forschung und Entwicklung	Fachbereichsbezeichnung	1.3.2
HHMD	Hand held metal detector	Metalldetektor-Handgerät	2.1.2.1
IATA	International Air Transport Association		1.4.3
ICAO	International Civil Aviation Organization		2.1.1.2
ICC	Intraclass correlation	s. a. Anhang D-VI	2.2.1.1
IRR	Interrater Reliabilität	s. a. Anhang D-VI	2.2.1.1
JCT	Job characteristic theory	(vgl. Hackman & Oldham, 1976, 1980)	1.4.2.1
JDS	Job diagnostic survey	(vgl. Hackman & Oldham, 1974, 1975; ; deutsche Fassung von Schmidt et al., 1985)	1.1
KS	Kolmogorov-Smirnov	Statistisches Testverfahren zur Prüfung der Übereinstimmung zweier Wahrscheinlichkeitsverteilungen	2.4.1.3
LAG	Liquids, aerosols and gels	Flüssigkeiten, Aerosole & Gele; "Pasten, Lotionen, Mischungen von Flüssigkeiten und Feststoffen sowie der Inhalt von Druckbehältern, wie z. B. Zahnpasta, Haargel, Getränke, Suppen, Sirup, Parfum, Rasierschaum, und andere Artikel mit ähnlicher Konsistenz" (Europäische Kommission, 2010, S. 12)	2.1.2.1
MPA	Motivationspotenzial der Arbeitssituation	(vgl. Hackman & Oldham, 1980; Schmidt et al., 1985)	1.4.2.1
MPSP	Multilevel passenger screening problem	Bezeichnung für eine risikobasierte Kontrolle von Fluggästen	1.4.4
MSPSP	Multistage sequential passenger screening problem	Bezeichnung für eine adaptive risikobasierte Kontrolle von Fluggästen	1.4.4
PNR	Passenger name record	Fluggastdatensatz, welcher seit 2016 auch in der EU ausgetauscht wird	1.4.3

Abkürzung (ff)	steht für	Bemerkungen	Link zum Kap. der ersten Verwendung
SBF	Sicherheitsbeauftragte/r Flughafen	Flughafeninterne Bezeichnung für Aviation Security Mitarbeitende in der Passagier- und Gepäckkontrolle	2.1.1.4
SBmbA	Sicherheitsbeauftragte/r mit besonderen Aufgaben	Dienstgrad der SBF; im Kontext dieser Arbeit eine Bezeichnung für die Crew-Leitungsfunktion	2.1.2.3
SDT	Signaldetektionstheorie	(vgl. Macmillian & Creelman, 2005; Schwaninger, 2005, S. 113ff)	1.4.2.3
SPOT	Screening of passengers by observation techniques	In den USA im Jahre 2006 initiiertes Programm, um Verhaltensanalysen an Flughäfen durchzuführen	1.4.3
STEP	Security tamper-evident bag	Tasche fürs Einschweissen von flüssigen Tax- und Duty Free Artikel	2.1.2.1
TIP	Threat image projection	Bildprojektionen von gefährlichen Gegenständen auf das Röntgenbild	1.4.2.3
VA	Videoanalyse	Empirische Erhebungsmethode	2.2.1
VA I	Videoanalyse 1	Bezieht sich auf die Daten der Erhebung zum Zeitpunkt 1	2.2.1
VA II	Videoanalyse 2	Bezieht sich auf die Daten der Erhebung zum Zeitpunkt 2	2.2.1
VBA	Visual Basic for Applications	Skriptsprache für die Steuerung von automatisierten Abläufen in Microsoft Office Programmen	2.2.1.1
VR	Virtual reality	Darstellung einer in Echtzeit computergenerierten virtuellen Umgebung; bspw. mit einer Oculus-Rift Brille (head-mounted display)	1.2
WTMD	Walk Through Metal Detector	In der Praxis auch Metalldetektor-Schleuse oder Bogensensor genannt.	2.1.2.1

B Kurze Einführung in Simulationsbegrifflichkeiten

Folgend wird kurz auf eine Auswahl von relevanten Simulationsbegrifflichkeiten im Kontext dieser Arbeit eingegangen.

Wie in Kapitel 1.2 dargestellt, bezieht sich der Begriff '*Simulation*' in dieser Arbeit auf ein virtuelles Modell, mit welchem Prozessdaten prognostiziert werden können. Für Simulationen von eher deterministischen Anwendungen (bspw. Produktion, Logistik) gibt es bereits eine Vielzahl an Standards⁷⁸ und Methoden für die Modellgenerierung (bspw. März, Krug, Rose & Weigert, 2011).

In social systems, however, there is an irreducible degree of randomness. The behavior varies not only between individuals due to their heterogeneity (different 'personality'). It also varies from one instance to another, i.e. the decision-making of an individual is usually not deterministic. (Helbing, 2010, S. 9)

Für die Inklusion von Prozessen mit menschlichem Handeln und Entscheiden sind Publikationen zu Methoden bisher rar (bspw. für Sozio-Ökonomische Probleme: Helbing, 2010; Sozialwissenschaften: Saam & Gautschi, 2015). Im Grundsatz bauen Simulationen jedoch stets auf ein *formales Modell* auf (s. a. Einleitung Kap. 2), welches die reale Situation durch Vereinfachung und Abstraktion in das Simulationsmodell überführt (vgl. Bungartz et al., 2013; Saam & Gautschi, 2015). *Prozessparameter* bilden einen Teil davon und ergänzen Prozessabläufe und Beschreibungen mit den benötigten Kenngrößen. Mögliche Formen von Notationen eines formalen Modells und von Prozessparametern sind in den Vorstudien 1 bis 3 dargestellt.

Je nach Forschungsziel und Zielgruppe bieten sich unterschiedliche Formen von Simulationen an. Einen Überblick dazu bietet bspw. Bungartz et al. (2013) und Law (2015). In Kapitel 1.4.4 wurden bereits mehrere *numerische Simulationsstudien* (auch analytische Simulationsstudien genannt; vgl. Günther & Velten, 2014) angesprochen. Im Gegensatz zu der in dieser Arbeit angewendeten ereignisdiskreten Simulation, beruhen diese primär auf mathematischen Modellen, d. h. auf Formeln. Dadurch setzen sie insb. für die Verifikation, Validierung und Interpretation einen entsprechenden Grad an Vorwissen voraus und finden daher häufig in der Wissenschaft Anwendung. Bei *ereignisdiskreten Simulationen* (engl. discrete event simulations; *DES*) ändern sich Systemzustände an diskreten Zeitpunkten. Dadurch lassen sich beliebig komplexe Prozesse darstellen. Zeitpunkte können unterschiedlich definiert werden: bspw. als Punkte auf einer Zeitachse, bei Erreichen eines spezifischen Zustandes (bspw. gewünschte Anzahl Items in Tray) oder beim Eintreffen eines Objekts an einem räumlich definierten Ort. In der vorliegenden Arbeit wurden verschiedene Objekttypen implementiert (bspw. Fluggäste, X-ray items, SBF). Sie alle haben durch Programmcode spezifizierte Eigenschaften und Fähigkeiten, zeigen definierte Verhaltensweisen auf oder haben individuelle Aufgaben erhalten. Es wird dabei auch von *agentenbasierter Simulation* (oder Multi-Agenten-Simulation; engl. agent based simulation; vgl. Helbing & Baliotti, 2012; Law, 2015) gesprochen. Agentenbasierte Simulationen erlauben die Modellierung und Analyse von dynamischen Wechselwirkungen mit emergenten Situationen in komplexen Systemen (d. h. die auf Mikroebene definierte Situation ist auf der Makroebene nicht antizipierbar).

⁷⁸ bspw. Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen: VDI Richtlinie 3633; Digitale Fabrik: VDI Richtlinie 4499; Modellbildungsprozess: VDI Richtlinie 4465

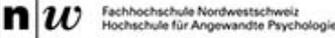
Moderne Entwicklungsumgebungen für DES verfügen meist über eine grafische Oberfläche, welche die Prozesse grafisch visualisiert. *3D-DES-Simulationsumgebungen* (bspw. FlexSim, 2016) bieten den zusätzlichen Vorteil, dass Objekte in einem 3D-Raum realitätsnah dargestellt werden können. Dadurch wird die Situationsinterpretation für den Betrachter ohne Aufwand und Vorwissen nachvollziehbar (s. a. Fussnote¹, S. 3). Zudem vereinfacht es die Verifikation im Umsetzungsstadium, da Fehler (besonders in emergenten Situationen) einfacher erkennbar werden.

Insbesondere in Kapitel 2.3 und einleitend in diesem Abschnitt wurde zwischen deterministischen und stochastischen Modellen unterschieden. *Deterministische Modelle* beschreiben eindeutige Prognosen, welche auf eine Kausalität beruhen. Im Kontext dieser Arbeit konnten jedoch keine rein deterministischen Kausalitäten von Zeitperioden exploriert werden. In anderen Worten, die Abhängigkeiten konnten nicht komplett aufgeklärt werden. Ein möglicher Umgang mit dieser Problematik ist die Anwendung von *Stochastik* (vgl. bspw. Bungartz et al., 2013; Law, 2015). Dabei werden auf Zufallsbasis Werte generiert. Je nach gewünschtem Output können verschiedene Modelle hinterlegt werden. Für dichotome *Wahrscheinlichkeiten* (0/1; Ja/Nein) kann bspw. eine Bernoulli-Verteilung (vgl. Bungartz et al., 2013, S. 33; Law, 2015, S. 306) hinterlegt werden, welche mit einer einfachen Wahrscheinlichkeit (s. Formel 2, S. 34) definiert wird. Für *diskrete Verteilungen* (Wahrscheinlichkeit einer Reihe ganzzahliger Werte) können unterschiedlichen Verteilungskurven hinterlegt werden. Soll ein zufällig *stetiger Wert* (nicht ganzzahlig) ausgegeben werden, spricht man von *stetigen Verteilungen*. Verteilungen sind jeweils unabhängig von Prädiktoren. Für unterschiedliche Voraussetzungen können jedoch verschiedene Verteilungsparameter hinterlegt werden. Deterministische Modelle können in einer Hybridform auch stochastische Anteile beinhalten (bspw. Regressionsmodell mit Fehlerterm; vgl. Formel 4, S. 128).

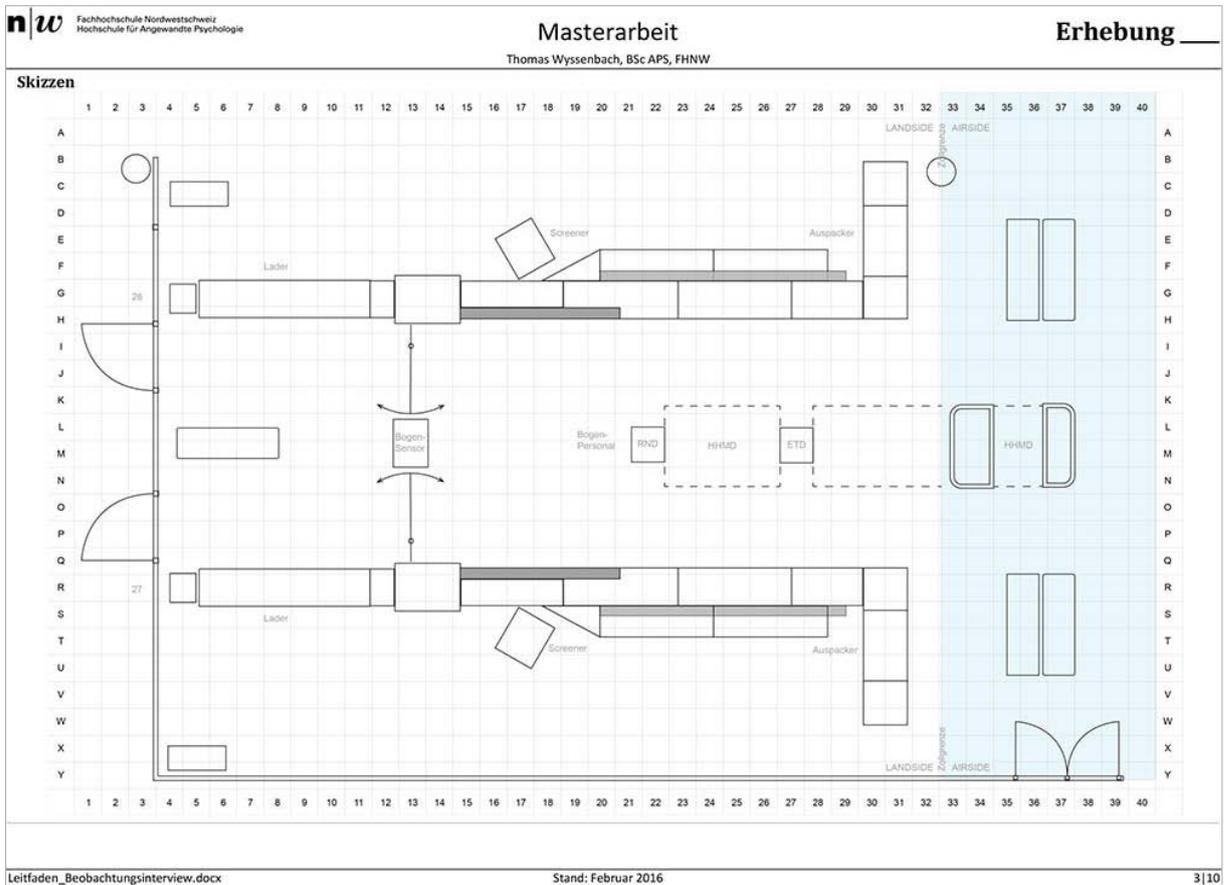
Im Anhang E werden weitere Angaben zur Implementierung im Rahmen dieser Arbeit ausgeführt.

C Beobachtungsinterview

C-I Leitfaden

		Masterarbeit		Line ___ Erhebung ___	
<small>Thomas Wyssenbach, BSc APS, FHNW</small>					
Leitfaden Beobachtungsinterview					
Beobachter/Interviewer:			Ort:		
Start:		bis:		Datum:	
Grundsatz					
<p>Auf folgende Grundsätze achten: Schaffung von Vertrauen und einem offenen Gesprächsklima, dem Interviewpartner die Möglichkeit bieten external zu attribuieren, keine Suggestivfragen, zielgruppenorientierte Kommunikation (tiefe Eintrittsschwelle, verständlicher Wortschatz, keine psychologischen Fachbegriffe). Kurze und gezielte Interviewsequenzen; dann wieder längere Beobachtungssequenzen. Sichtbare Rollen leben (Interview und Beobachtung); bspw. mit einem physischen Schritt zurück bei Beobachtungen.</p>					
Einleitung für Partizipierende (Diese Inputs werden situativ angepasst)					
Dank		<i>Danke für die Teilnahme</i>			
Who is who		<p>Ich bin Student an der Fachhochschule Nordwestschweiz, in Arbeits- & Organisationspsychologie, im vierten und letzten Semester des Master Studiengangs.</p> <p>Die angestrebte Masterarbeit realisiere ich in Zusammenarbeit mit CASRA in Oerlikon und erfolgt im Rahmen eines Projektes für das Bundesamt für zivile Luftfahrt (BAZL). Der Flughafen Zürich und die FPKOA sind Forschungspartner dieser Arbeit.</p> <p><i>Ggf. Kurzvorstellung Partizipierende</i></p>			
Projekt		<p>Die Studie beschäftigt sich mit realitätsnahen computergestützten Simulationen von Handgepäck- und Personensicherheitskontrollen im Bereich Luftfahrt. Das Ziel der Arbeit ist die Erstellung eines optimierten Prozesses, welcher den heutigen und künftigen Anforderungen gerecht wird. Im Fokus stehen die Bedingungen der Arbeits- und Tätigkeitsgestaltung, technische Unterstützung und resultierende Kennzahlen (bspw. Sicherheitsl. oder Durchsatz).</p>			
Ab- & Übersicht		<p>Dabei möchte ich in diesem ersten Schritt den heutigen Prozess exakt verstehen, damit daraus im Anschluss ein virtuelles Abbild erstellt werden kann. Dieses wird zwar teils vereinfacht sein; dennoch soll es im Gesamten der heutigen Praxis am Flughafen entsprechen.</p> <p>Für die Arbeit ist es wichtig, dass in der Simulation echte Daten aus realen Checkpoints verwendet werden. Dies erlaubt eine anschließende Prüfung, ob die Daten aus der Simulation auch der Realität entsprechen.</p> <p>Videodaten ergänzen diese Daten im späteren Verlauf, indem sie Aufschluss über Zeitdauer und Häufigkeiten von einzelnen Tätigkeiten und von Fluggasteigenschaften geben. Erste Video-Sequenzen wurden letzte Woche aufgezeichnet, eine zweite Session folgt vor Ostern.</p> <p>In einem weiteren Schritt werden in der Simulation verschiedene Szenarien dargestellt und evaluiert. Diese können neue Technologien, Abläufe oder Tätigkeiten beinhalten.</p>			
Ablauf		<p>Es ist vorgesehen, dass ich mich in den ersten Minuten im Hintergrund passiv umschaue und bewege, um die Abläufe zu erkennen und besser zu verstehen. Zwischendurch wäre es super, wenn ich ihnen während der Arbeit spezifisch Fragen stellen darf. Ich werde vermutlich alle paar Minuten von der einen Stelle zu einer anderen rotieren. Falls es die Arbeitssituation nicht zulässt, bitte ich um kurze Information. Von meiner Seite können Fragen auftauchen, welche bspw. die Hintergründe einer bestimmten Situation oder Handlung betreffen. Von Interesse sind bspw. auch Einschätzungen zu Häufigkeiten von bestimmten Vorkommnissen.</p> <p>Erachten Sie mich möglichst als Unwissender, oder Neueinsteiger in ihrer Profession. Teils klingen meine Fragen u.U. unwissend. Es gibt für mich keine richtigen o. falschen Antworten. Die Beobachtungen vor Ort oder die Interviews stellen in keiner Weise eine Kontrolle dar.</p>			
Vertraulichkeit		<p>Alle Informationen werden äusserst vertraulich behandelt. Das heisst, die relevanten Aufzeichnungen werden im Anschluss verschriftlicht und anonymisiert, ohne möglichen Bezug zur Person. Die Aufzeichnungen werden nur durch mich ausgewertet und im Anschluss gelöscht. Bei dieser Erhebung geht es ausschliesslich um die heutigen Tätigkeiten, Prozesse, Entscheidungen und deren Grundlagen, Verhaltensweisen sowie tätigkeitsbezogene Bedingungen.</p> <p>Falls Sie auf eine Frage nicht antworten möchten, dürfen Sie dies gerne zu jedem Zeitpunkt äussern. Sie dürfen mich auch gerne auf einen späteren Zeitpunkt verweisen.</p> <p>Darf ich Ihre Antworten aufzeichnen?</p>			
Rückfragen		<i>Zeit, falls bereits im Vorfeld Fragen auftauchen.</i>			
<small>Leitfaden_Beobachtungsinterview.docx</small>					
<small>Stand: Februar 2016</small>					
<small>1110</small>					

n w <small>Fachhochschule Nordwestschweiz Hochschule für Angewandte Psychologie</small>	Masterarbeit <small>Thomas Wyssenbach, BSc APS, FHNW</small>	Erhebung _____
Allgemeine Informationen		
Erhebung	von: _____ hh:mm; bis: _____ hh:mm	Wetter: _____ Aussentemperatur: _____
	Line No: _____	
	Begleitet durch: _____	
Allgemein	Avg. Schichtdauer: _____ [hh:mm]; Avg. Wochenstunden: _____ [hh:mm] bei 100%	
	Belegungszeiten der SK-Linien: von _____ bis _____	
	Avg. Rotationszyklus innerhalb Schicht: _____ [hh:mm]	
Gefahrenlage		→ falls Informationen bekannt
Spezielle Konditionen		→ falls Informationen bekannt
Spezifikation/Details Sicherheitskontrolllinie		→ Gebäude, Liniennummer, Passagierklasse
Fluggast-Sample		→ Beschreibung gem. Einschätzungen Mitarbeitende
Leitfaden_Beobachtungsinterview.docx Stand: Februar 2016 2 10		



n w Fachhochschule Nordwestschweiz Hochschule für Angewandte Psychologie	Masterarbeit Thomas Wyssenbach, BSc APS, FHNW	Erhebung ___ / Crew ___
Erhebungssequenz von: ____ [hh:mm]; bis: ____ [hh:mm]		
Crewkomposition		
A: Geschl.: <input type="checkbox"/> W/ <input type="checkbox"/> M; Dienstalster: ____j; Alter: ____j; Funktion: <input type="checkbox"/> SB(I)/ <input type="checkbox"/> SBmbA(II)/ <input type="checkbox"/> SektorChef(III); Anstellung ____% heutige Schicht: von ____: ____ bis ____: ____; Name (optional): _____		
B: Geschl.: <input type="checkbox"/> W/ <input type="checkbox"/> M; Dienstalster: ____j; Alter: ____j; Funktion: <input type="checkbox"/> SB(I)/ <input type="checkbox"/> SBmbA(II)/ <input type="checkbox"/> SektorChef(III); Anstellung ____% heutige Schicht: von ____: ____ bis ____: ____; Name (optional): _____		
C: Geschl.: <input type="checkbox"/> W/ <input type="checkbox"/> M; Dienstalster: ____j; Alter: ____j; Funktion: <input type="checkbox"/> SB(I)/ <input type="checkbox"/> SBmbA(II)/ <input type="checkbox"/> SektorChef(III); Anstellung ____% heutige Schicht: von ____: ____ bis ____: ____; Name (optional): _____		
D: Geschl.: <input type="checkbox"/> W/ <input type="checkbox"/> M; Dienstalster: ____j; Alter: ____j; Funktion: <input type="checkbox"/> SB(I)/ <input type="checkbox"/> SBmbA(II)/ <input type="checkbox"/> SektorChef(III); Anstellung ____% heutige Schicht: von ____: ____ bis ____: ____; Name (optional): _____		
E: Geschl.: <input type="checkbox"/> W/ <input type="checkbox"/> M; Dienstalster: ____j; Alter: ____j; Funktion: <input type="checkbox"/> SB(I)/ <input type="checkbox"/> SBmbA(II)/ <input type="checkbox"/> SektorChef(III); Anstellung ____% heutige Schicht: von ____: ____ bis ____: ____; Name (optional): _____		
F: Geschl.: <input type="checkbox"/> W/ <input type="checkbox"/> M; Dienstalster: ____j; Alter: ____j; Funktion: <input type="checkbox"/> SB(I)/ <input type="checkbox"/> SBmbA(II)/ <input type="checkbox"/> SektorChef(III); Anstellung ____% heutige Schicht: von ____: ____ bis ____: ____; Name (optional): _____		
Spezielle Vorkommisse		
Notizen		
Leitfaden_Beobachtungsinterview.docx Stand: Februar 2016 4 10		

n w Fachhochschule Nordwestschweiz Hochschule für Angewandte Psychologie	Masterarbeit Thomas Wyssenbach, BSc APS, FHNW	Erhebung ___ / Crew ___			
Fokus "Lader/in"					
Fragekategorie	A	B	C	D	Beispielfragen *: ggf. sozio-technisches System
Erhebungszeiten von bis	:	:	:	:	Y → Fragennummer (pro Sequenz) X ^y Fluggast; O ^y Sicherheitsbeauftragter; □ ^y _____
Verfügbare Handlungs- bzw. Entscheidungsalternativen					Für welche Handlung/Option haben sie sich entschieden? Was wären sonstige Handlungsoptionen gewesen?
Begründung für gewählte Alternative					Wer/was hat sich für <i>xyy</i> entschieden? * Weshalb haben Sie sich in diesem Fall für <i>xyy</i> entschieden? Aufgrund welcher Informationen haben Sie sich zu <i>xyy</i> entschieden? * Haben Sie diese Situation schon mal im Vorfeld erlebt?
Rahmenbed. & Voraussetzu. für das Eintreten bestimmter Situationen/Handlungen					Welche Voraussetzungen müssen gegeben sein, damit <i>xyy</i> umgesetzt werden kann? * Inwiefern sind ihnen diese Voraussetzungen bekannt (transparent)? * Würden sie sich nochmals gleich entscheiden/reagieren?
Potentielle Folgewirkungen					Was sind die potentiellen Folgen für ihre Entscheidung, bezogen auf eigene Tätigkeit? Was sind die potentiellen Folgen für ihre Entscheidung, bezogen auf Fluggast/Gepäck? Was sind die potentiellen Folgen für ihre Entscheidung, bezogen auf Kollegin/Kollegen?
Interaktionen					Inwiefern hängt ihre Handlung mit der Handl. ihres/er Kollegen/Kollegin zusammen? Inwiefern hängt die Fluggast-Handlung mit ihrer Handlung zusammen? Inwiefern hängt ihre Handlung mit der Fluggast-Handlung zusammen? Inwiefern hängt ihre Handlung mit der technischen Infrastruktur zusammen? *
Zeitlich und inhaltliche Verordung					Wie oft kommt diese Situation vor? War dies nun eine einfache/schwierige Situation?
Leitfaden_Beobachtungsinterview.docx Stand: Februar 2016 5 10					

		Erhebung ____ / Crew ____
Fachhochschule Nordwestschweiz Hochschule für Angewandte Psychologie		Masterarbeit Thomas Wyssenbach, BSc APS, FHNW
Fokus "Bogenpersonal"		
Fragekategorie	A B C D	Beispielfragen *: ggf. sozio-technisches System
Erhebungszeiten von bis	: : : : : : : :	Y → Fragennummer (pro Sequenz) X ^y Fluggast; O ^y Sicherheitsbeauftragter; □ ^y
Verfügbare Handlungs- bzw. Entscheidungsalternativen		Für welche Handlung/Option haben sie sich entscheiden? Was wären sonstige Handlungsoptionen gewesen?
Begründung für gewählte Alternative		Wer/was hat sich für <i>xyy</i> entschieden? * Weshalb haben Sie sich in diesem Fall für <i>xyy</i> entschieden? Aufgrund welcher Informationen haben Sie sich zu <i>xyy</i> entschieden? * Haben Sie diese Situation schon mal im Vorfeld erlebt?
Rahmenbed. & Vorauss. für das Eintreten bestimmter Situationen/Handlungen		Welche Voraussetzungen müssen gegeben sein, damit <i>xyy</i> umgesetzt werden kann? * Inwiefern sind ihnen diese Voraussetzungen bekannt (transparent)? * Würden sie sich nochmals gleich entscheiden/reagieren?
Potentielle Folgewirkungen		Was sind die potentiellen Folgen für ihre Entscheidung, bezogen auf eigene Tätigkeit? Was sind die potentiellen Folgen für ihre Entscheidung, bezogen auf Fluggast/Gepäck? Was sind die potentiellen Folgen für ihre Entscheidung, bezogen auf Kollegin/Kollegen?
Interaktionen		Inwiefern hängt ihre Handlung mit der Handl. ihres/er Kollegen/Kollegin zusammen? Inwiefern hängt die Fluggast-Handlung mit ihrer Handlung zusammen? Inwiefern hängt ihre Handlung mit der Fluggast-Handlung zusammen? Inwiefern hängt ihre Handlung mit der technischen Infrastruktur zusammen? *
Zeitlich und inhaltliche Verordung		Wie oft kommt diese Situation vor? War dies nun eine einfache/schwierige Situation?
Leitfaden_Beobachtungsinterview.docx		Stand: Februar 2016
		6 10

		Erhebung ____ / Crew ____
Fachhochschule Nordwestschweiz Hochschule für Angewandte Psychologie		Masterarbeit Thomas Wyssenbach, BSc APS, FHNW
Fokus "Operator/in"		
Fragekategorie	A B C D	Beispielfragen *: ggf. sozio-technisches System
Erhebungszeiten von bis	: : : : : : : :	Y → Fragennummer (pro Sequenz) X ^y Fluggast; O ^y Sicherheitsbeauftragter; □ ^y
Verfügbare Handlungs- bzw. Entscheidungsalternativen		Für welche Handlung/Option haben sie sich entscheiden? Was wären sonstige Handlungsoptionen gewesen?
Begründung für gewählte Alternative		Wer/was hat sich für <i>xyy</i> entschieden? * Weshalb haben Sie sich in diesem Fall für <i>xyy</i> entschieden? Aufgrund welcher Informationen haben Sie sich zu <i>xyy</i> entschieden? * Haben Sie diese Situation schon mal im Vorfeld erlebt?
Rahmenbed. & Vorauss. für das Eintreten bestimmter Situationen/Handlungen		Welche Voraussetzungen müssen gegeben sein, damit <i>xyy</i> umgesetzt werden kann? * Inwiefern sind ihnen diese Voraussetzungen bekannt (transparent)? * Würden sie sich nochmals gleich entscheiden/reagieren?
Potentielle Folgewirkungen		Was sind die potentiellen Folgen für ihre Entscheidung, bezogen auf eigene Tätigkeit? Was sind die potentiellen Folgen für ihre Entscheidung, bezogen auf Fluggast/Gepäck? Was sind die potentiellen Folgen für ihre Entscheidung, bezogen auf Kollegin/Kollegen?
Interaktionen		Inwiefern hängt ihre Handlung mit der Handl. ihres/er Kollegen/Kollegin zusammen? Inwiefern hängt die Fluggast-Handlung mit ihrer Handlung zusammen? Inwiefern hängt ihre Handlung mit der Fluggast-Handlung zusammen? Inwiefern hängt ihre Handlung mit der technischen Infrastruktur zusammen? *
Zeitlich und inhaltliche Verordung		Wie oft kommt diese Situation vor? War dies nun eine einfache/schwierige Situation?
Leitfaden_Beobachtungsinterview.docx		Stand: Februar 2016
		7 10

		Masterarbeit Thomas Wyssenbach, BSc APS, FHNW	Erhebung ___ / Crew ___
Fokus "Auspacker/in"			
Fragekategorie	A B C D	Beispielfragen	*: ggf. sozio-technisches System
Erhebungszeiten von bis	: : : : : : : :	Y → Fragennummer (pro Sequenz) X ^y Fluggast; O ^y Sicherheitsbeauftragter; □ ^y	
Verfügbare Handlungs- bzw. Entscheidungsalternativen		Für welche Handlung/Option haben Sie sich entschieden? Was wären sonstige Handlungsoptionen gewesen?	
Begründung für gewählte Alternative		Wer/was hat sich für <i>xyy</i> entschieden? * Weshalb haben Sie sich in diesem Fall für <i>xyy</i> entschieden? Aufgrund welcher Informationen haben Sie sich zu <i>xyy</i> entschieden? * Haben Sie diese Situation schon mal im Vorfeld erlebt?	
Rahmenbed. & Vorauss. für das Eintreten bestimmter Situationen/Handlungen		Welche Voraussetzungen müssen gegeben sein, damit <i>xyy</i> umgesetzt werden kann? * Inwiefern sind ihnen diese Voraussetzungen bekannt (transparent)? * Würden sie sich nochmals gleich entscheiden/reagieren?	
Potentielle Folgewirkungen		Was sind die potentiellen Folgen für ihre Entscheidung, bezogen auf eigene Tätigkeit? Was sind die potentiellen Folgen für ihre Entscheidung, bezogen auf Fluggast/Gepäck? Was sind die potentiellen Folgen für ihre Entscheidung, bezogen auf Kollegin/Kollegen?	
Interaktionen		Inwiefern hängt ihre Handlung mit der Handl. ihres/er Kollegen/Kollegin zusammen? Inwiefern hängt die Fluggast-Handlung mit ihrer Handlung zusammen? Inwiefern hängt ihre Handlung mit der Fluggast-Handlung zusammen? Inwiefern hängt ihre Handlung mit der technischen Infrastruktur zusammen? *	
Zeitlich und inhaltliche Verordung		Wie oft kommt diese Situation vor? War dies nun eine einfache/schwierige Situation?	
Leitfaden_Beobachtungsinterview.docx		Stand: Februar 2016	8 10

		Masterarbeit Thomas Wyssenbach, BSc APS, FHNW	Erhebung ___
Feedbackgespräch (Falls die Möglichkeit dazu besteht)			
Regularität	Entsprech die beobachtete Sequenz der Norm? <input type="checkbox"/> ja / <input type="checkbox"/> nein Inwiefern unterscheidet sich die beobachtete Sequenz von der Norm?		
Offene Fragen	_____ _____ _____ _____		
Kurzzusammenfassung des Beobachteten	_____ _____ _____		
Spezielle oder zu klärende ad hoc Erkenntnisse	_____ _____ _____		
Rückmeldungen	Gibt es noch etwas, was Sie in diesem Zusammenhang anmerken möchten?		
Dank	Bei allfälligen Rückfragen hat Stephanie Walter meine Kontaktdaten.		
Weiteres Vorgehen	Videoanalyse; Simulation des Status Quo; Vergleich mit automatisch erhobenen Daten; Simulation von neuen Szenarien		
Leitfaden_Beobachtungsinterview.docx		Stand: Februar 2016	9 10

Postskriptum

Interviewsituation

→ bspw. bekannte Personen, Schallpegel, Team-Konflikte

Besondere Vorkommnisse

Ergänzende Informationen

C-II Kategoriensystem

Das Kategoriensystem der Auswertung von den Beobachtungsinterviews ist auf Tab. 12 gelistet.

Tab. 12: Kategoriensystem der Beobachtungsinterviews

Kategorie	Codings	Kategorie	Codings
Funktionen	0	Spezialfälle	0
SBmbA	0	Stoppen der Linie	3
Aufgaben	1	Rollstuhl, Herzschrittmacher etc.	3
Sektorchef	2	Kontrolle von Boarding Passes	2
Aufgaben	1	Administratives	0
Flex/Springer	1	Crewzusammensetzung/rotationen	8
Lader	4	Schichtzeiten/Einsatzwechsel	4
Items	0	Angaben zur Infrastruktur	0
Jacken	1	Pax Zähler	1
Gürtel	1	WTMD	5
Medizin	1	Bottlenecks	4
Babynahrung	1	Taktband	1
Elektronik	1	Varia	1
LAGs	1	TIP-Projektionen	2
Persönliche Gegenstände	3	Persönliche Strategien	3
Schuhe	6	Arbeitsbedingungen	3
Beladung Trays	7	subjektives Belastungsempfinden	3
Operator	4	Umgebungs-/Umweltbedingungen	1
Aufgaben	4	Passagiersample	2
Rescreening; TIP oder unklar	4	<i>Total</i>	<i>188</i>
Interaktion	1		
Sprengstoffverdacht	4		
Auspacker	7		
Aufgaben	3		
2. Bildschirm	4		
Items	0		
Babynahrung	1		
Medizin	2		
LAGs	7		
LEDS	6		
Vorgehen bei Fund	3		
LAGs	7		
Gefährliche Gegenstände	2		
Rescreening	7		
Vergessene Gegenstände	3		
Trays zurückbringen/ordnen	3		
Bogen	8		
Aufgabe	4		
Unterscheidung Kontrollen	6		
Entscheidung zu Kabine	1		
Metallkontrolle	4		
ETD	4		
Vorgehen bei Alarm	1		
Gepäck & Person	2		
Person	1		
Rescans	4		
Spezialfälle	2		

Anmerkung. Der Einzug links symbolisiert den hierarchischen Aufbau des Kategoriensystems.

C-III Prozessdarstellungen nach DIN 66001

Die DIN 66001 (letzte Aktualisierung im Jahre 1983) beschreibt eine weitverbreitete, "einheitliche und anschauliche Darstellung von Aufgabenlösungen in der Informationsverarbeitung" (Breutmann et al., 2001, S. 39). Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Detailform *Programmablaufplan* (auch Flussdiagramm oder Control-Flow Graphs genannt) gewählt, bei welcher die Verbindungen die Reihenfolge der Abläufe darstellt (vgl. Diehl, 2007; Heiderich & Meyer, 2014; Hering, 1984). Abb. 16 listet die in dieser Arbeit verwendeten Sinnbilder mit ihren Beschreibungen.



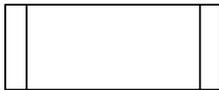
Anfangs-/Endpunkt (Grenzstelle; terminal interrupt)

"Darstellung von Anfang, Ende oder Zwischenhalt" (Hering, 1984, S. 27)



Prozess (Operation; process)

"Hiermit werden allgemeine Operationen dargestellt." (Hering, 1984, S. 27)



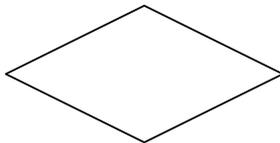
Unterprozess (predefined process)

"Darstellung eines in sich geschlossenen Programmteils." (Hering, 1984, S. 27)



Ein- und Ausgabe (input, output)

"Das Ein- und Ausgabesymbol bezeichnet die Stellen . . . , an denen Daten . . . eingegeben werden oder Ergebnisse . . . geliefert werden. Dabei können sämtliche peripheren Geräte zum Einsatz kommen." (Heiderich & Meyer, 2014, S. 132)



Verzweigung (decision)

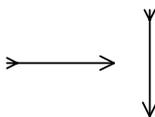
"Der Programmablauf kann durch eine oder mehrere Bedingungen verändert werden. Dabei ergeben sich mindestens zwei Ausgänge." (Hering, 1984, S. 27)

Die Option «Ja» wird mit «Y» und «Nein» mit «N» abgekürzt; weitere Fälle werden ausgeschrieben.



Off-Page-Referenz (aus Microsoft Visio 2013)

Die Off-Page-Referenz kennzeichnet Verbindungen, wenn ein Diagramm aufgeteilt ist oder über mehrere Seiten geht. (vgl. Übergangsstelle; Heiderich & Meyer, 2014; Hering, 1984).



Ablauflinien (flow lines)

"Angabe der Ablaufrichtung. Vorzugsrichtung sind – von oben nach unten und – von links nach rechts." (Hering, 1984, S. 27)

Abb. 16: Verwendete Sinnbilder nach DIN 66001

C-IV Details der Prozessanalysen

Abb. 4 (S. 26) veranschaulicht das Destillat aus den Erhebungen (DA; s. Kap. 2.1.1.2, BI; s. Kap. 2.1.1.4, VA; s. Kap. 2.2.1.1) als Überblick. Folgende Abbildungen spezifizieren die erhobenen Abläufe der einzelnen Unterprozesse (s. Abb. 17, Abb. 18, Abb. 19, Abb. 20, Abb. 21, Abb. 22, Abb. 23, Abb. 24, Abb. 25, Abb. 26, Abb. 27). Die unverbildete Darstellung der Abbildungen befindet sich im vertraulichen Anhang ¹¹.

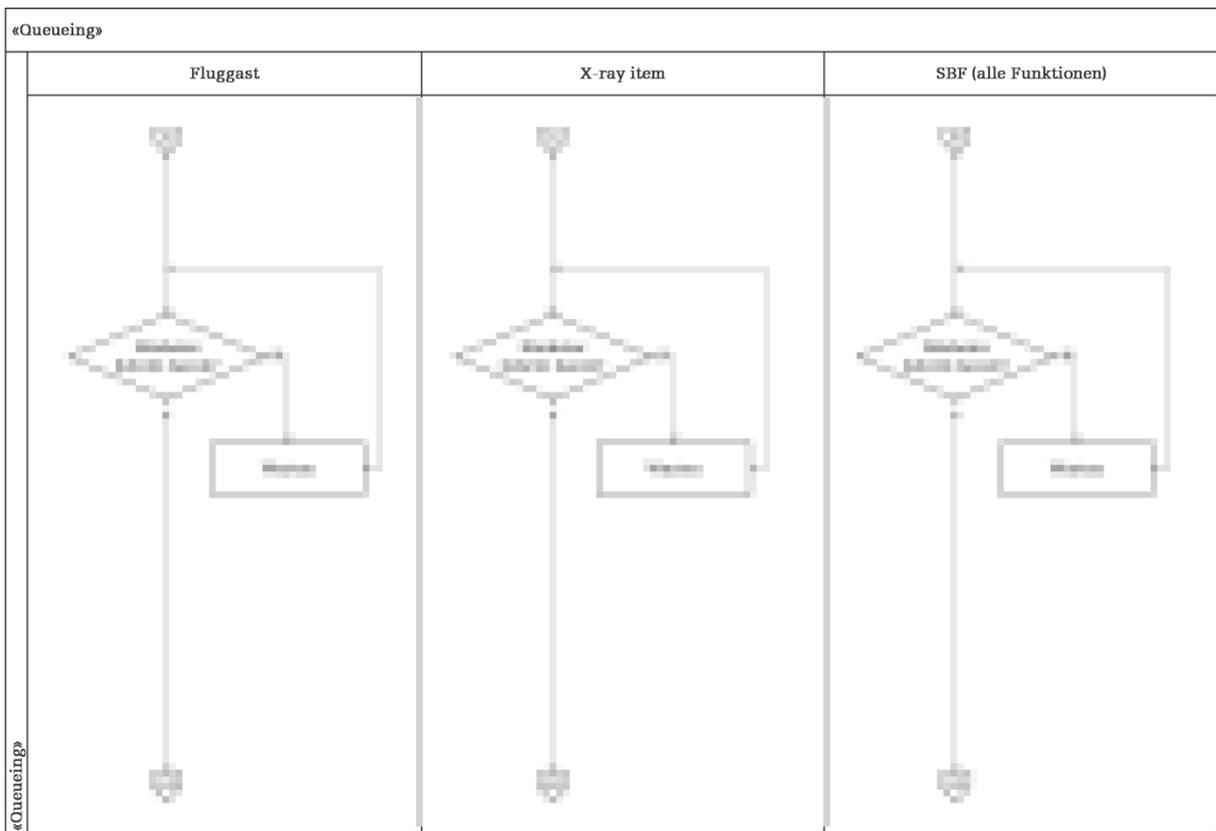


Abb. 17: Unterprozess "Queueing"

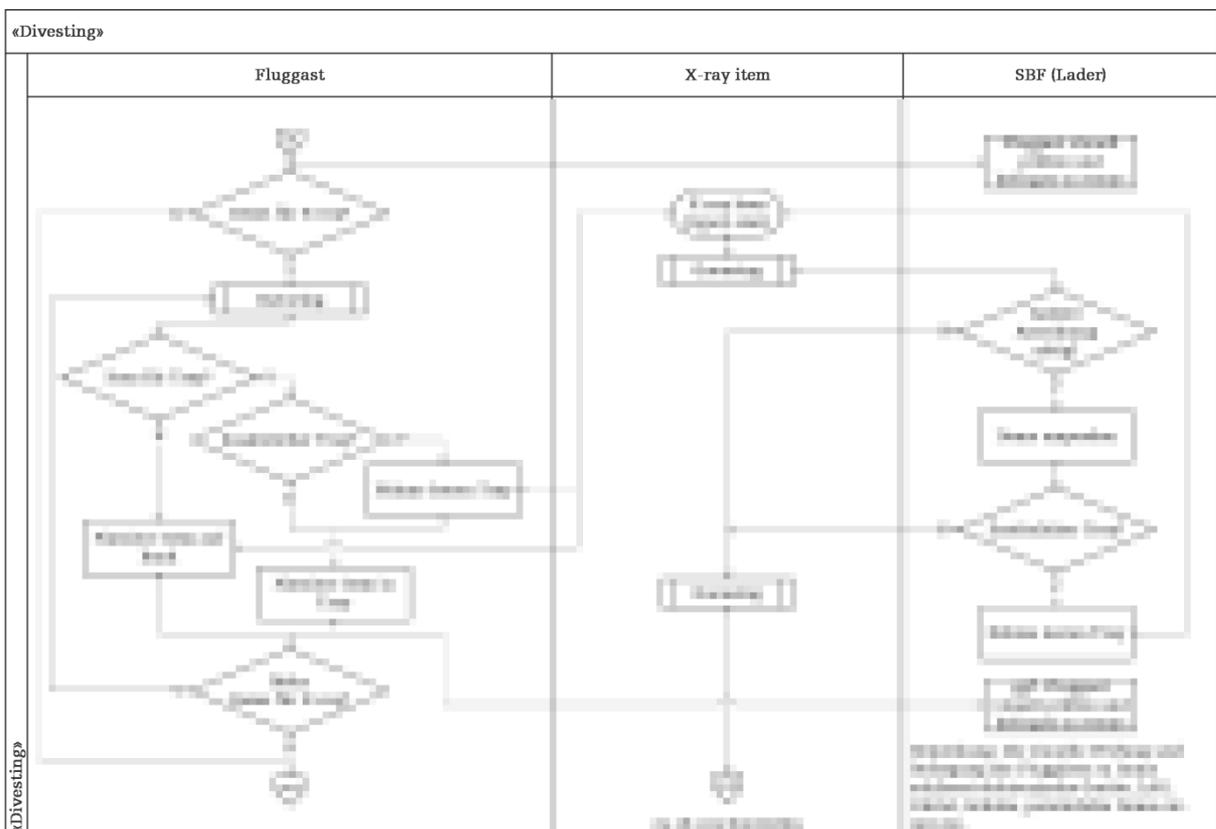


Abb. 18: Unterprozess "Divesting"

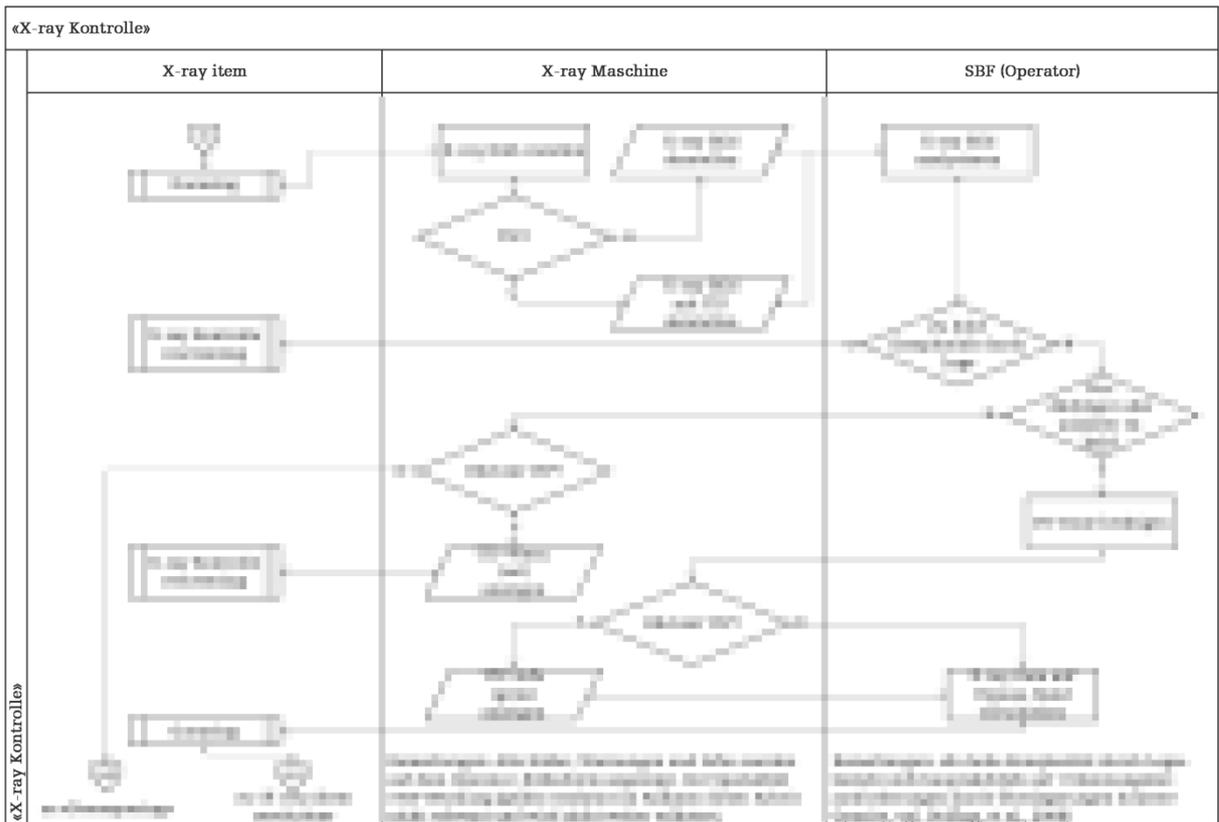


Abb. 19: Unterprozess "X-ray Kontrolle"

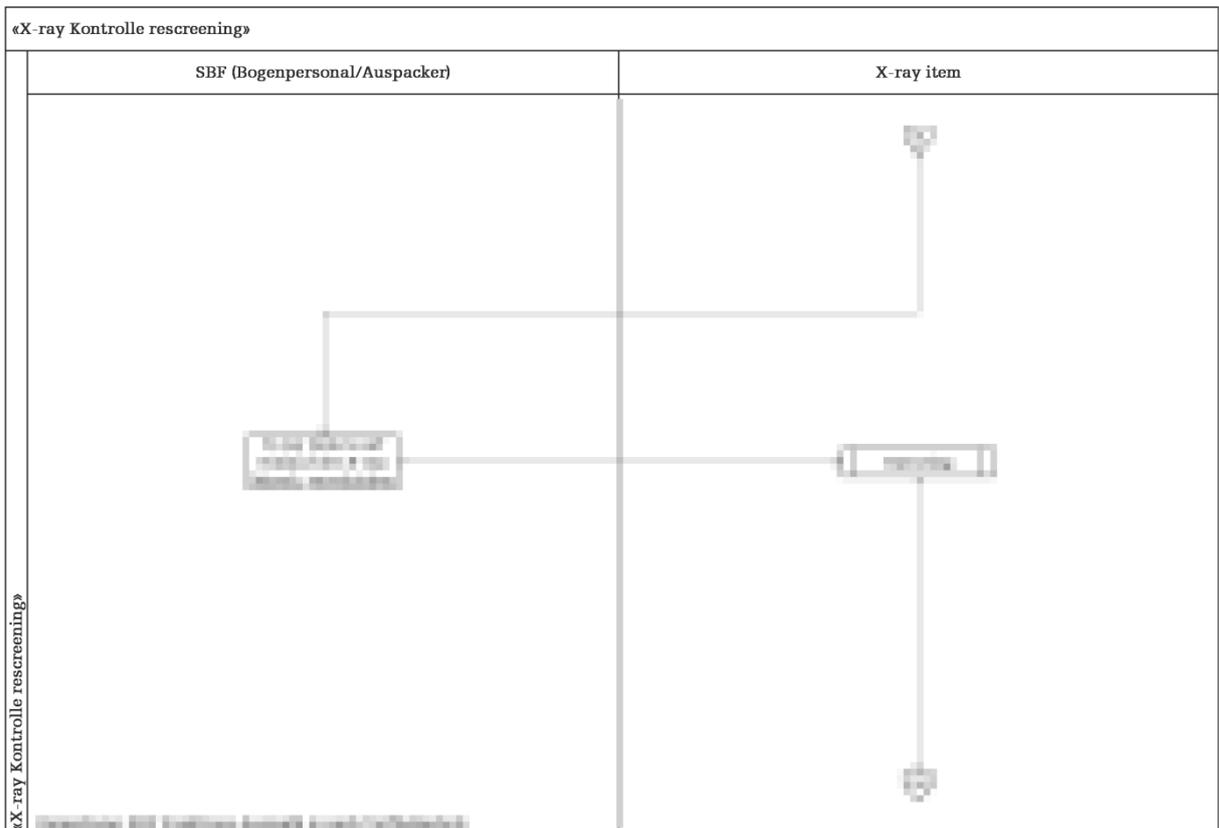


Abb. 20: Unterprozess "X-ray Kontrolle rescreeing"

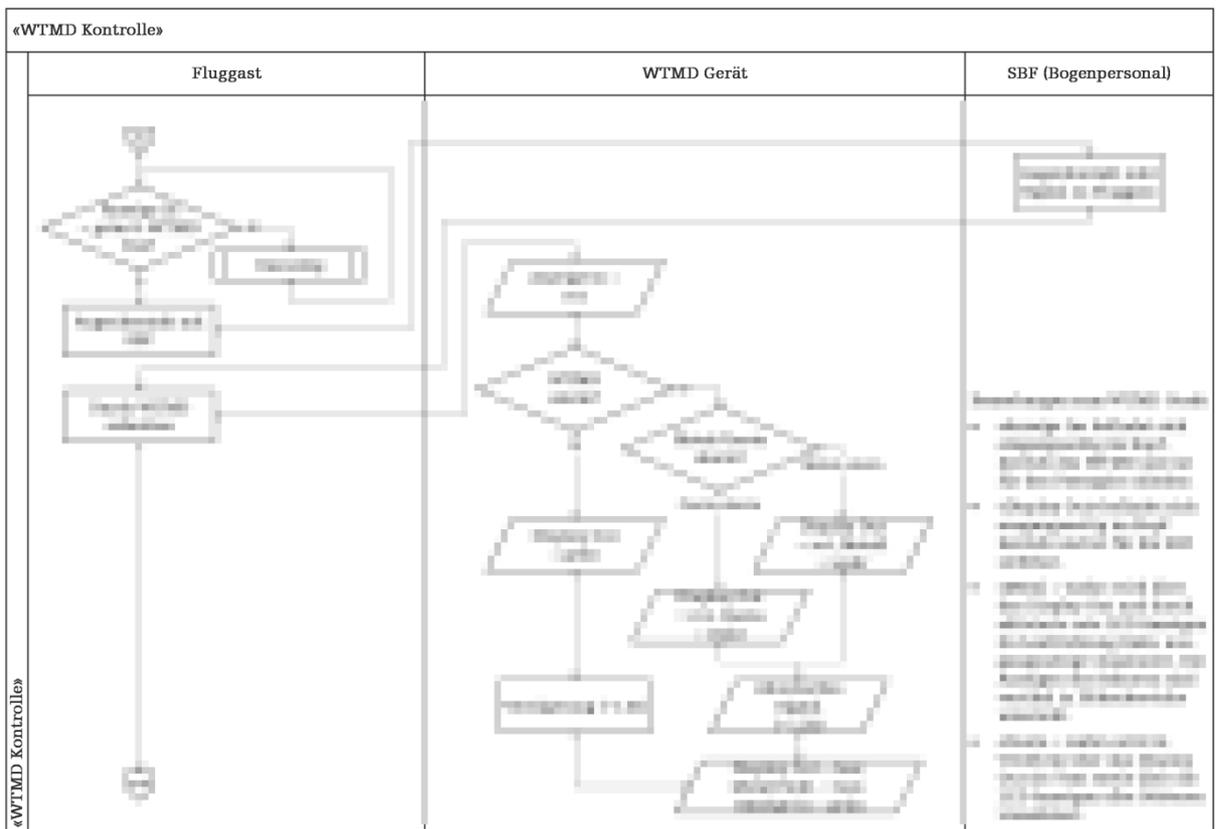


Abb. 21: Unterprozess "WTMD Kontrolle"

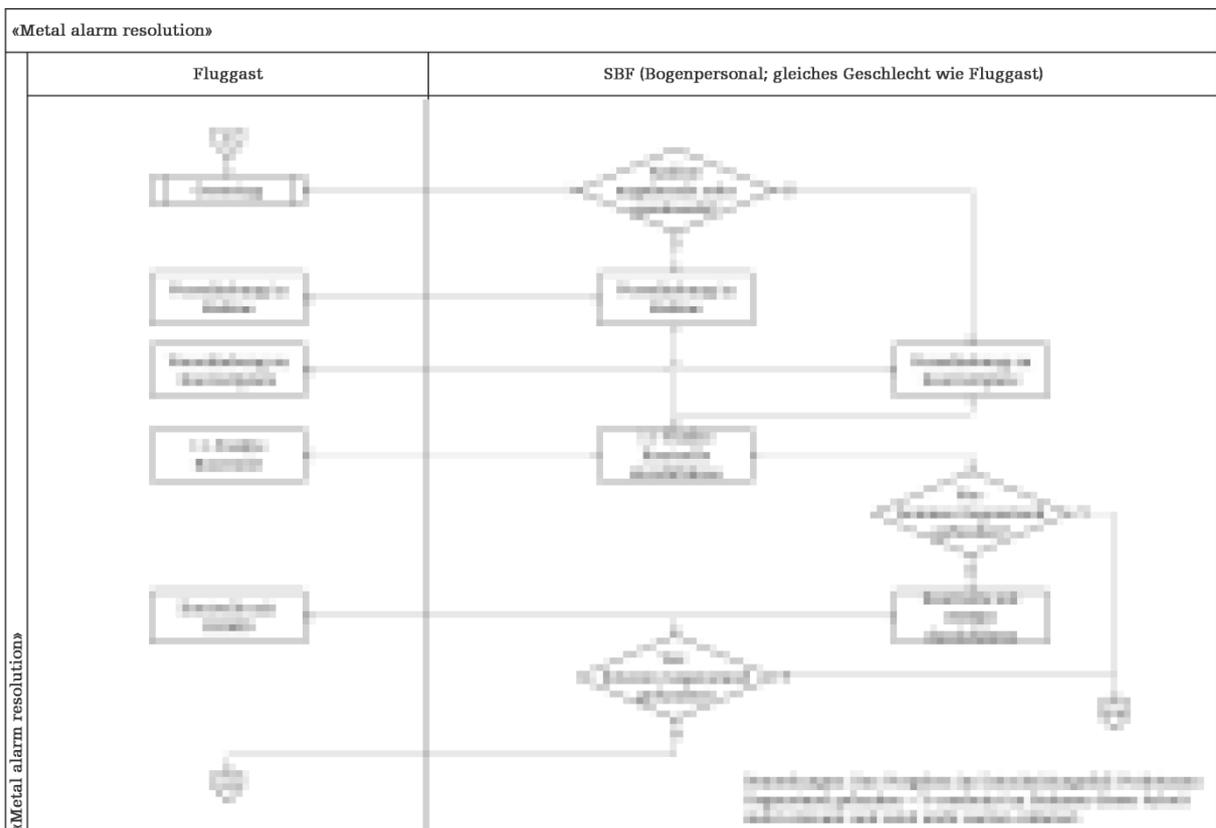


Abb. 22: Unterprozess "Metal alarm resolution"

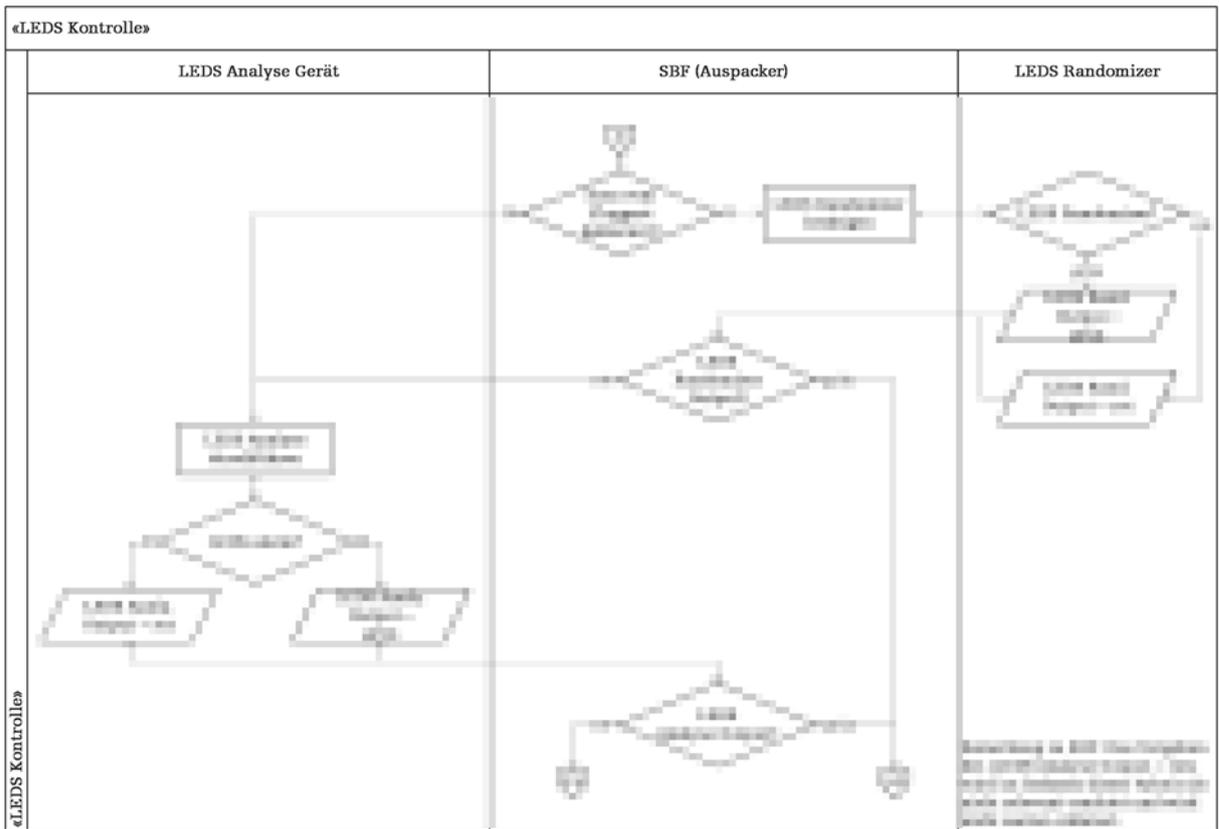
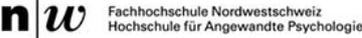


Abb. 27: Unterprozess "LEDS Kontrolle"

D Videoanalyse

D-I Info für Briefing vor Einsatzbeginn

		Masterarbeit von Thomas Wyssenbach, BSc APS, FHNW
<h2 style="color: #4F81BD;">Leitfaden Videoanalyse</h2>		
<h3 style="color: #4F81BD;">Einleitung im Rahmen des Briefings</h3>		
Dank	Danke für die Teilnahme	
Who is who	<p>Ich bin Student an der Fachhochschule Nordwestschweiz, in Arbeits- & Organisationspsychologie, im vierten und letzten Semester des Master Studiengangs.</p> <p>Die angestrebte Masterarbeit realisiere ich in Zusammenarbeit mit CASRA in Oerlikon und erfolgt im Rahmen eines Projektes für das Bundesamt für zivile Luftfahrt (BAZL). Der Flughafen Zürich und die FPKOA sind Forschungspartner dieser Arbeit.</p> <p><i>Ggf. Kurzvorstellung Partizipierende</i></p>	
Projekt	<p>Ich beschäftige mich mit realitätsnahen computergestützten Simulationen von Handgepäck- und Personensicherheitskontrollen im Bereich Luftfahrt. Das Ziel der Arbeit ist die Erstellung von einem optimierten Prozess, welcher den heutigen und künftigen Anforderungen gerecht wird. Im Fokus stehen dabei motivationale Bedingungen der Arbeitsgestaltung, technische Unterstützung und resultierende Kennzahlen (bspw. Sicherheitsleistung oder Durchsatz).</p>	
Ab- & Übersicht	<p>Vor wenigen Tagen war ich bereits vor Ort mit dem Ziel, den Ablauf am Flughafen Zürich zu verstehen. Daraus erstelle ich zur Zeit ein virtuelles Abbild. Dieses wird zwar teils vereinfacht sein; dennoch soll es im Gesamten der heutigen Praxis am Flughafen entsprechen.</p> <p>Heute möchte ich von der Linie ___ und ___ Videodaten aufzeichnen. Diese ergänzen die Daten des Ablaufs, indem sie Aufschluss über Zeitdauer und Häufigkeiten von einzelnen Tätigkeiten und Fluggasteigenschaften geben. Bitte adaptieren Sie ihr Verhalten bei der Arbeit durch die Anwesenheit der Kameras nicht, das würde die Daten verfälschen.</p> <p>Mir ist es ein Anliegen, dass in der Simulation echte Daten aus echten Checkpoints verwendet werden. Dies erlaubt eine anschliessende Prüfung, ob die Daten aus der Simulation auch annähernd der Realität entsprechen.</p> <p>In einem weiteren Schritt werden in der Simulation verschiedene Szenarien dargestellt und evaluiert. Diese können neue Technologien, Abläufe oder Tätigkeiten beinhalten.</p>	
Ablauf	<p>Ich werde nun verschiedene Kameras um die Linien ___ und ___ montieren und während den nächsten rund 4 Stunden aufzeichnen.</p> <p>Um ___:___ werden an den Linien ___ und ___ voraussichtlich die nächsten Crews aktiv.</p> <p>Zeitdauer: ___:___</p>	
Vertraulichkeit	<p>Alle Informationen werden von mir äusserst vertraulich behandelt. Das heisst, die relevanten Video-Aufzeichnungen werden im Anschluss durch mich in Bezug auf Häufigkeiten und Sequenzdauern ausgewertet und anonymisiert, ohne möglichen Bezug zu Personen. Potentiell richtiges oder falsches Verhalten wird nicht angeschaut oder gewertet.</p> <p>Die Partizipation basiert auf Freiwilligkeit. Melden Sie sich bitte jetzt, falls Sie nicht teilnehmen möchten. Der Sektorchef wird in diesem Fall einen sanktionsfreien Abtausch organisieren.</p> <p><i>Einverständniserklärung unterschreiben für alle Betroffenen der Linie x & y.</i></p>	
Rückfragen	<i>Zeit, falls bereits im Vorfeld Fragen auftauchen.</i>	
Leitfaden_Videoerhebung.docx		Stand: März 2016 1

D-II Einverständniserklärung

Folgendes Dokument haben alle freiwillig an den Videoaufzeichnungen teilnehmenden SBF vor Ort unterzeichnet.

Flughafenpolizei-Stabsabteilung

19.02.2016

Forschung & Entwicklung

Einverständniserklärung Videoaufnahme im Rahmen des Projektes Simulation

Hiermit erkläre ich mich einverstanden, dass von mir zur Erstellung einer Simulation der Sicherheitskontrollstelle durch Thomas Wyssenbach, Masterand der FHNW, eine Videoaufnahme erstellt und wissenschaftlich ausgewertet wird. Die Videoaufnahme wird ausschliesslich für Forschungszwecke verwendet und dient der Prozessoptimierung bzw. -weiterentwicklung. Es werden keine personenbezogenen Auswertungen gemacht. Weder Linienvorgesetzte noch Externe erhalten Zugang zu den Videoaufnahmen. Nach der Auswertung der Aufnahme durch Thomas Wyssenbach verbleiben die Aufnahmen bei Forschung und Entwicklung.

Name:

Vorname:

Datum:

Unterschrift:

Anmerkungen. Das Dokument wurde von der FPSTA-FE vorbereitet und zur Verfügung gestellt. Die ausgefüllten Exemplare werden auch von dieser Instanz verwaltet.

D-III Aufnahmeperspektiven

Folgend sind auf Abb. 28 exemplarisch die Blickwinkel der installierten Kameras an Linie I dargestellt. Die Montagehöhe war jeweils rund 3 m. Die technischen Details und Einstellungen der verwendeten Kameras sind im Anhang F-II gelistet.

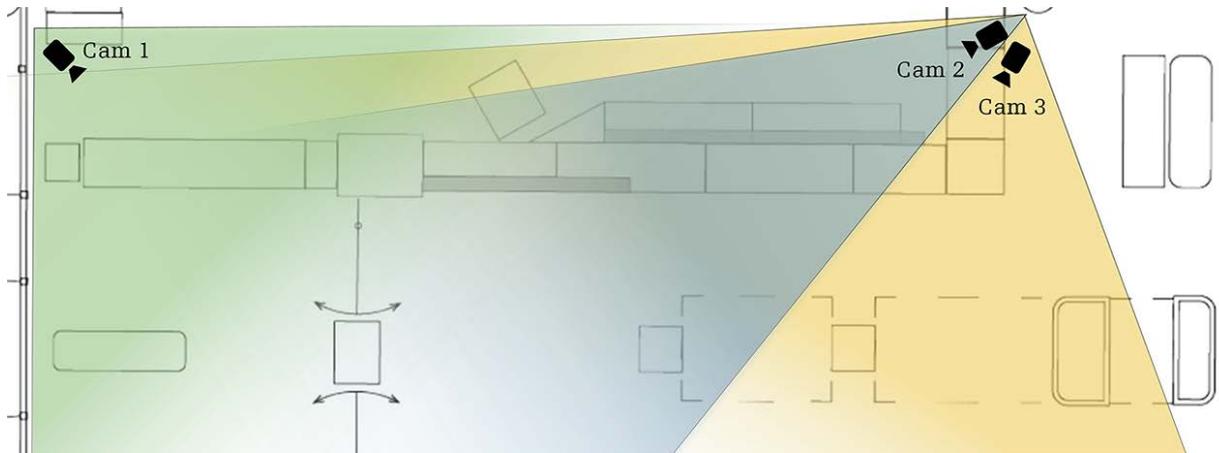


Abb. 28: Aufnahmeperspektiven der Linie I

Die Kameras an den gegenüberliegenden Linie II wurden analog (jedoch vertikal gespiegelt) angebracht.

D-IV Beobachtungs- und Kategoriensystem

Für die Videoerhebungen wurde folgendes Beobachtungssystem angewandt: Tab. 13 beschreibt das entwickelte Kategoriensystem der beobachteten Häufigkeiten. Das getestete IRR-Verfahren ist auf der letzten Spalte ersichtlich (vgl. a. Kap. 2.2.2.1, Anhang D-VI).

Tab. 13: Kategoriensystem der beobachteten Häufigkeiten pro Fluggast

VarName	Ref.-ID	VarType und Ausprägungen	Beschreibung	IRR
PaxID		int	Fluggast Nummer	
XrayItemID	PaxID	int[1, 2, ..., 10]	XrayItem Nummer	
PaxQueued	PaxID	bool[0=no, 1=yes]	>=3 Fluggäste in der Eingangsqueue, wenn Person durch Bogen läuft?	Cohens κ
PaxSex	PaxID	int[0=unknown, 1=female, 2=male]	Fluggast Geschlecht	Cohens κ
PaxType	PaxID	int[0=infant(Buggy), 1=child(walking), 3=adult, 4=adult with infant]	Fluggast Altersgruppe	Cohens κ
LineID	PaxID	int[1, 2]	Nummer der Abfertigungslinie	Cohens κ
PaxWTMDQty	PaxID	int	Anzahl Durchgänge beim WTMD	ICC
PaxWTMDAlarmType	PaxID	int[1=bottom, 2=middle, 3=top, 4=bottom&middle, 5=middle&top, 6=bottom&top, 7=bottom&middle&top, 8=quote]	Alarmzone (beim ersten Durchgang); optisch kategorisiert	Cohens κ
PaxManualMetalCheckQty	PaxID	int	Anzahl full pat-downs	ICC
PaxManualMetalCheckCabin	PaxID	bool[0=no, 1=yes]	Wird Fluggast in der Kabine geprüft?	Cohens κ
PaxETDQty	PaxID	int	Anzahl Fluggastprüfungen	ICC
XrayItemsETDQty	PaxID	int	Anzahl Gepäckprüfungen	ICC
PaxInvestigationOnSite	PaxID	bool[0=no, 1=yes]	Wird Fluggast interviewt? (durch SBmbA oder Sektorchef)	Cohens κ
PaxSendBack	PaxID	bool[0=no, 1=yes]	Wird Fluggast nach landside zurückgeschickt?	Cohens κ
PaxInterviewOffSite	PaxID	bool[0=no, 1=yes]	Wird Fluggast weggeführt? (durch Sektorchef/in oder Kriminalpolizei)	Cohens κ
PaxIgnore	PaxID	bool[0=no, 1=yes]	nur für Spezialfälle	Cohens κ
PaxDensityDataOnly	PaxID	bool[0=no, 1=yes]	für Pax, welche aufgrund der Sequenzauswahl nicht komplett erfasst wurden (nur Rater II)	-
PaxComment	PaxID	string	Unerwartetes in Textform; sowie Rescan XrayItem [int], Herzschrittmacher	
XrayItemType	Xray-ItemID	int[0=Tray, 1=Trolley, 2=Handbag, 3=PlasticBag, 4=STEB, 5=Backpack, 6=OtherBag, 7=Shoes, 8=AfterWTMDOrManualMetalCheck, 9=WTMDEXtraXrayItem]	Angabe, welcher XrayItem-Typ als Einheit geröntgt wird	Cohens κ
Electronics-PerXrayItemQty	Xray-ItemID	int	Anzahl Notebooks, iPads	ICC
TrolleyPerXrayItemQty	Xray-ItemID	int	Anzahl Koffer, Rollkoffer, Sporttaschen	ICC
HandbagPerXrayItemQty	Xray-ItemID	int	Anzahl Handtaschen, Notebooktaschen, Sleeves	ICC
PlasticBagPerXrayItemQty	Xray-ItemID	int	Anzahl Plastiksäcke, keine STEBs	ICC
STEBPerXrayItemQty	Xray-ItemID	int	Anzahl versiegelter DutyFree Tragtaschen (STEBs)	ICC
BackpackPerXrayItemQty	Xray-ItemID	int	Anzahl Rucksäcke (alle Arten)	ICC
LAGBagPerXrayItemQty	Xray-ItemID	int	Anzahl Flüssigkeiten im transparenten Beutel (LAGs)	ICC
BabyFoodPerXrayItemQty	Xray-ItemID	int	Anzahl klar identifizierbare Packungen Babynahrung	ICC

VarName (ff)	Ref.-ID	VarType und Ausprägungen	Beschreibung	IRR
MedicinePerXrayItemQty	Xray-ItemID	int	Anzahl klar identifizierbare Medikamente (ersichtliche Packungseinheiten)	ICC
ShoesPerXrayItemQty	Xray-ItemID	int	Anzahl Schuhpaare, falls im Tray oder Rescan nach WTMD	ICC
JacketPerXrayItemQty	Xray-ItemID	int	Anzahl Jacken, Anzugsjacken etc.	ICC
BeltPerXrayItemQty	Xray-ItemID	int	Anzahl Gürtel, keine Gürteltaschen	ICC
OtherClothing-PerXrayItemQty	Xray-ItemID	int	Anzahl Schals, Anzugtaschen, Hüte etc.	ICC
PersonalItems-PerXrayItemQty	Xray-ItemID	int	Anzahl Geldbörsen, Uhren, Schlüssel, Mobiltelefone, Brillen etc.	ICC
ManualSearch-PerXrayItemQty	Xray-ItemID	bool[0=no, 1=yes]	Anzahl der manuellen Durchsuchungen	Cohens κ
RescanPerXrayItemQty	Xray-ItemID	int	Anzahl der zusätzlichen Rescans	ICC
AdditionalTrays-PerRescanManual-SearchQty	Xray-ItemID	int	Anzahl zusätzliche Trays pro RescanPerXrayItem	ICC
FoundElectronics-PerXrayItemQty	Xray-ItemID	int	Anzahl gefundene Elektronik	ICC
FoundDangerous-GoodsPerXrayItemQty	Xray-ItemID	int	Anzahl gefundene unerlaubte Gegenstände	ICC
DestroyDangerous-GoodsPerXrayItemQty	Xray-ItemID	int	Anzahl der Konfiszierungen unerlaubter Gegenstände	ICC
SendHomeDangerous-GoodsPerXrayItemQty	Xray-ItemID	int	Anzahl Anwendungen von Rücksendeumschlag	ICC
FoundLAGPerXray-ItemQty	Xray-ItemID	int	Anzahl LAGs gefunden	ICC
DestroyLAG-PerXrayItemQty	Xray-ItemID	int	Anzahl LAGs weggeworfen	ICC
LEDSPerXrayItemQty	Xray-ItemID	int	Einsatz der LEDS (Flüssigkeitsscanner)	ICC
XrayItem ¹²	Xray-ItemID	bool[0=no, 1=yes]	Konkreter Verdacht auf Sprengstoff in einem X-ray item	Cohens κ

Anmerkung. Beschreibung der VariablenTypen (VarType): Ganzzahl (int; Integer), Dichotome Variable (bool; boolesche oder Dummy-Variable), Text (string)

Die Vielzahl der potenziell beobachtbaren Häufigkeiten (s. Tab. 13) hätte eine Eingabe in einer einfachen Tabelle erschwert. Abb. 29 zeigt eine spezifisch dafür programmierte übersichtliche und plausibilitätsprüfende Eingabemaske (Excel mit VBA-Skripts). Eine integrierte Plausibilitätsprüfung visualisierte unzulässige Werte direkt bei der Eingabe. Jede Eingabezelle wurde mit einer Kommentarfunktion und den dazugehörigen Wertebedeutungen versehen. Beim Wechsel auf einen anderen Fluggast wurden alle Daten in eine zweidimensionale Tabelle geschrieben, welche für die Berechnungen mit R weiterverarbeitet werden konnte.

Aktive Eingabemaske PaxAttributes		<<	reload	>>	Script Status									
VarNameRaw	Bemerkungen				Ready									
PaxID	Fluggastnummer	100												
XrayItemQty	Anzahl XrayItems	6												
PaxQueued	Stehen mind. 3 Fluggäste in der Eingangsqueue, wenn Person durch Bogen läuft?	1												
PaxSex	Geschlecht	2												
PaxType	Altersgruppe	3												
LineID	Nummer der Abfertigungslinie	26												
PaxWTMDQty	Anzahl Durchgänge	1												
PaxWTMDAlarmType	Alarmzone (beim ersten Durchgang)													
PaxManualMetalCheckQty	Anzahl full pat-downs													
PaxManualMetalCheckCabinQty	in der Kabine													
PaxETDQty	Person geprüft													
XrayItemsETDQty	Gepäck geprüft													
PaxInvestigationOnSite	SBmbA oder SC interviewt Person													
PaxSendBack	Person wird Landside zurückgeschickt													
PaxInterviewOffSite	Person wird weggeführt (SC oder KriPo)													
PaxIgnore	nur für Spezialfälle													
PaxComment	Unerwartetes in Textform; und z.B. Rescan XrayItem (int), Herzschrittmacher etc.													
XrayItemID	Reihenfolge in der Xray Maschine	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
XrayItemType	Angabe, welcher Typ gescannt wird	1	0	3	2	0	7							
ElectronicsPerXrayItemQty	Notebook, Ipad					1								
TrolleyPerXrayItemQty	Alle Arten Koffer und Sporttaschen													
HandbagPerXrayItemQty	Handtasche, Notebooktasche, Sleeve	1												
PlasticbagPerXrayItemQty	Alle Arten von Plastiksäcken, keine STEB													
STEBPerXrayItemQty	Nur DutyFree Tragtaschen													
BackpackPerXrayItemQty	Alle Arten von Rucksäcken													
LAGBagPerXrayItemQty	Nur Flüssigkeiten im Beutel													
BabyFoodPerXrayItemQty	Klar identifizierbare Babynahrung													
MedicinePerXrayItemQty	Klar identifizierbare Medikamente													
ShoesPerXrayItemQty	Schuhe, falls im Tray oder Rescan													
JacketPerXrayItemQty	Jacke, Anzugsjacke, ...													
BeltPerXrayItemQty	Gürtel, keine Gürteltaschen	1												
OtherClothingPerXrayItemQty	Schal, Anzugtasche, Hut					1								
PersonalItemsPerXrayItemQty	Wallet, Watch, Keys, Mobile, Brille...	1												
ManualSearchPerXrayItemQty	Manuelle Durchsuchung					1								
RescanPerXrayItemQty	zusätzliche Rescans													
AdditionalTraysPerRescanManualSearchQty	zusätzliche Trays pro RescanPerXrayItem													
FoundElectronicsPerXrayItemQty	falls Elektronik gefunden wurde					1								
FoundDangerousGoodsPerXrayItemQty	falls unerlaubte Gegenst. gefunden wurden													
DestroyDangerousGoodsPerXrayItemQty	Konfiszierung von unerlaubten Gegenst.													
SendHomeDangerousGoodsPerXrayItemQty	Benutzung von speziellem Umschlag													
FoundLAGPerXrayItemQty	Anzahl Flüssigkeiten gefunden													
DestroyLAGPerXrayItemQty	Anzahl Flüssigkeiten weggeworfen													
LEDSPerXrayItemQty	Einsatz der LEDS (Flüssigkeitsscanner)													
XrayItem														

Abb. 29: Screenshot der Eingabemaske für Häufigkeiten pro Fluggast Anmerkungen. Excel mit VBA-Scripts. Die integrierte statistische ad hoc Auswertung der Datensätze wurde für diesen Teil der Arbeit gezielt unkenntlich gemacht.

Tab. 14, Tab. 15 und Tab. 16 stellen zusammen das entwickelte Kategoriensystem der beobachteten Zeitperioden dar, welche mittels MAXODA erhoben wurden. Alle durch zwei Rater erhobenen und codierten Zeitperioden wurden mittels ICC auf IRR getestet (siehe Kap. 2.2.2.1). Die unterstrichenen Variablen wurden schlussendlich für die Prozessmodellierung verwendet.

Tab. 14: Kategoriensystem der beobachteten Zeitperioden pro Fluggast

VarName (SubCode)	Code	Memo
DivestingPrimaryTime	PaxID	Start: Start Laden; Ende: Beginn Anstehen WTMD oder WTMD
DivestingSecondaryTime	PaxID	Siehe DivestingPrimaryTime, jedoch für >1 Vorkommnisse
WTMDQueueingPrimaryTime	PaxID	Start: Ende Abladen oder ohne Handgepäck aus der Queue kommend; Ende: durch den WTMD gehend
WTMDPrimaryTime	PaxID	Start: 1m vor WTMD; Ende: Ende Leuchtsignal WTMD oder 1 m nach WTMD
ManualMetalCheckQueueing-PrimaryTime	PaxID	Start: Ende Leuchtsignal WTMD; Ende: Start Manual Metal Check
ManualMetalCheckPrimaryTime	PaxID	Start: Ende Leuchtsignal WTMD oder Ende Anstehen für pat-down; Ende: Freigabe durch SB
WTMDQueueingSecondaryTime	PaxID	Siehe WTMDQueueingPrimaryTime, jedoch für >1 Vorkommnisse
WTMDSecondaryTime	PaxID	Siehe WTMDPrimaryTime, jedoch für >1 Vorkommnisse

VarName (SubCode; ff)	Code	Memo
ManualMetalCheckQueueing-SecondaryTime	PaxID	Siehe ManualMetalCheckQueueingPrimaryTime, jedoch für >1 Vorkommnisse
ManualMetalCheckSecondaryTime	PaxID	Siehe ManualMetalCheckPrimaryTime, jedoch für >1 Vorkommnisse
ETDQueueingPrimaryTime	PaxID	Start: Ende Leuchtsignal WTMD; Ende: Ende Anstehen ETD
ETDPrimaryTime	PaxID	Start: Ende Leuchtsignal WTMD oder 1m nach WTMD oder Ende Anstehen ETD; Ende: Freigabe durch negatives Testresultat
ETDQueueingSecondaryTime	PaxID	Siehe ETDQueueingPrimaryTime, jedoch für >1 Vorkommnisse
ETDSecondaryTime	PaxID	Siehe ETDPrimaryTime, jedoch für >1 Vorkommnisse
XrayItem1Time	PaxID	Start: Auf Einzugsband Xray-Maschine; Ende: Höhe weisses Plexiglas
XrayItem2Time	PaxID	Start: Auf Einzugsband Xray-Maschine; Ende: Höhe weisses Plexiglas
XrayItem3Time	PaxID	Start: Auf Einzugsband Xray-Maschine; Ende: Höhe weisses Plexiglas
XrayItem4Time	PaxID	Start: Auf Einzugsband Xray-Maschine; Ende: Höhe weisses Plexiglas
XrayItem5Time	PaxID	Start: Auf Einzugsband Xray-Maschine; Ende: Höhe weisses Plexiglas
XrayItem6Time	PaxID	Start: Auf Einzugsband Xray-Maschine; Ende: Höhe weisses Plexiglas
XrayItem7Time	PaxID	Start: Auf Einzugsband Xray-Maschine; Ende: Höhe weisses Plexi
XrayItem8Time	PaxID	Start: Auf Einzugsband Xray-Maschine; Ende: Höhe weisses Plexiglas
XrayItem9Time	PaxID	Start: Auf Einzugsband Xray-Maschine; Ende: Höhe weisses Plexiglas
XrayItem10Time	PaxID	Start: Auf Einzugsband Xray-Maschine; Ende: Höhe weisses Plexiglas
RecomposingQueueingPrimary-Time	PaxID	Start: 1m nach WTMD; Ende: 1. Item frei zum Zusammenpacken
RecomposingPrimaryTime	PaxID	Start: 1m nach WTMD oder Ende ManualMetalCheck oder Ende ETD oder Ende Anstehen; Ende: Höhe Auspacktisch oder 1m weg vom Band
RecomposingQueueingSecondary-Time	PaxID	Siehe RecomposingQueueingPrimaryTime, jedoch für >1 Vorkommnisse
RecomposingAfterManualBaggage-SearchTableTime	PaxID	Start: Auspacker frei und noch am Auspacktisch; Ende: 1m weg vom Auspacktisch
ManualBaggageSearchQueueing-Time	PaxID	Start: Recomposing fertig oder Recomposing unterbrochen; Ende: Start Manual Baggage Search
<u>ManualBaggageSearchXrayItem1-Time</u>	PaxID	Start: Auspacker bereit zum Auspacken; Ende: Ende Einpacken von freigegebenem Handgepäck
<u>ManualBaggageSearchXrayItem2-Time</u>	PaxID	Start: Auspacker bereit zum Auspacken; Ende: Ende Einpacken von freigegebenem Handgepäck
<u>ManualBaggageSearchXrayItem3-Time</u>	PaxID	Start: Auspacker bereit zum Auspacken; Ende: Ende Einpacken von freigegebenem Handgepäck
<u>ManualBaggageSearchXrayItem4-Time</u>	PaxID	Start: Auspacker bereit zum Auspacken; Ende: Ende Einpacken von freigegebenem Handgepäck
<u>ManualBaggageSearchXrayItem5-Time</u>	PaxID	Start: Auspacker bereit zum Auspacken; Ende: Ende Einpacken von freigegebenem Handgepäck
<u>ManualBaggageSearchXrayItem6-Time</u>	PaxID	Start: Auspacker bereit zum Auspacken; Ende: Ende Einpacken von freigegebenem Handgepäck
<u>ManualBaggageSearchXrayItem7-Time</u>	PaxID	Start: Auspacker bereit zum Auspacken; Ende: Ende Einpacken von freigegebenem Handgepäck
<u>ManualBaggageSearchXrayItem8-Time</u>	PaxID	Start: Auspacker bereit zum Auspacken; Ende: Ende Einpacken von freigegebenem Handgepäck
<u>ManualBaggageSearchXrayItem9-Time</u>	PaxID	Start: Auspacker bereit zum Auspacken; Ende: Ende Einpacken von freigegebenem Handgepäck
<u>ManualBaggageSearchXrayItem10-Time</u>	PaxID	Start: Auspacker bereit zum Auspacken; Ende: Ende Einpacken von freigegebenem Handgepäck
LEDSTime	PaxID	Start: SB verlässt Auspacktisch zum LEDS; Ende: Rückkehr und Ankunft zum Auspacktisch
FurtherAdministrationTime	PaxID	Start: Start administrative Arbeiten am Formular; Ende: Umschlag fertig und Fokus wieder beim Auspacken
FurtherInvestigationsOnSiteTime	PaxID	Start: Start Interview, meist mit Sektorchef/in; Ende: aus dem Sichtfeld

Anmerkung. Alle gelisteten Variablen beinhalten jeweils einen Start- und End-Zeitpunkt sowie eine daraus errechnete Zeitperiode.

Tab. 15: Kategoriensystem der beobachteten Zeitperioden pro Linie

VarName (SubCode)	Code	Memo
Line01Stopped	Line- Stopped	Start: Zufuhr Taktband gestoppt (nach letztem Fluggast, der vor dem Stopp noch durch den WTMD gehen kann); Ende: Taktband wird von Lader wieder geladen
Line02Stopped	Line- Stopped	Start: Zufuhr Taktband gestoppt (nach letztem Fluggast, der vor dem Stopp noch durch den WTMD gehen kann); Ende: Taktband wird von Lader wieder geladen

Anmerkung. Alle gelisteten Variablen beinhalten jeweils einen Start- und End-Zeitpunkt sowie eine daraus errechnete Zeitperiode.

Tab. 16: Kategoriensystem der beobachteten Zeitperioden pro Crew

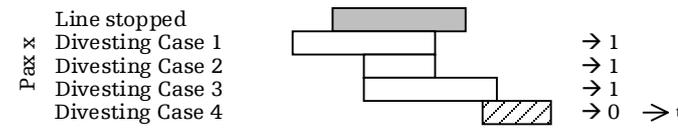
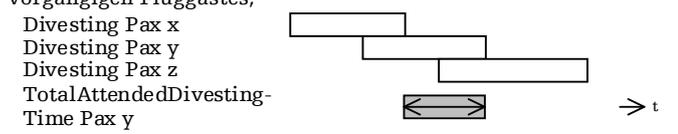
VarName (SubCode)	Code	Memo
Line01CompositionChanging	Crew- Rotation	Start: Erste Bewegung in Rotation; Ende: Letzte Bewegung in Rotation
Line02CompositionChanging	Crew- Rotation	Start: Erste Bewegung in Rotation; Ende: Letzte Bewegung in Rotation
Line01LaderDeliversTrays	Deliver- Trays	Start: Wegbringen eines Tray-Stapels von Auspackposition; Ende: Ankunft eines Tray-Stapels an Ladeposition
Line01BogenDeliversTrays	Deliver- Trays	Start: Wegbringen eines Tray-Stapels von Auspackposition; Ende: Ankunft eines Tray-Stapels an Ladeposition
Line01OperatorDeliversTrays	Deliver- Trays	Start: Wegbringen eines Tray-Stapels von Auspackposition; Ende: Ankunft eines Tray-Stapels an Ladeposition
Line01AuspackerDeliversTrays	Deliver- Trays	Start: Wegbringen eines Tray-Stapels von Auspackposition; Ende: Ankunft eines Tray-Stapels an Ladeposition
Line02LaderDeliversTrays	Deliver- Trays	Start: Wegbringen eines Tray-Stapels von Auspackposition; Ende: Ankunft eines Tray-Stapels an Ladeposition
Line02BogenDeliversTrays	Deliver- Trays	Start: Wegbringen eines Tray-Stapels von Auspackposition; Ende: Ankunft eines Tray-Stapels an Ladeposition
Line02OperatorDeliversTrays	Deliver- Trays	Start: Wegbringen eines Tray-Stapels von Auspackposition; Ende: Ankunft eines Tray-Stapels an Ladeposition
Line02AuspackerDeliversTrays	Deliver- Trays	Start: Wegbringen eines Tray-Stapels von Auspackposition; Ende: Ankunft eines Tray-Stapels an Ladeposition
Line01NumberOfCrewMembers4	Crew- Size	Start: Beginn des Creweinsatzes in dieser Grösse; Ende: Ende des Creweinsatzes in dieser Grösse
Line01NumberOfCrewMembers5	Crew- Size	Start: Beginn des Creweinsatzes in dieser Grösse; Ende: Ende des Creweinsatzes in dieser Grösse
Line02NumberOfCrewMembers4	Crew- Size	Start: Beginn des Creweinsatzes in dieser Grösse; Ende: Ende des Creweinsatzes in dieser Grösse
Line02NumberOfCrewMembers5	Crew- Size	Start: Beginn des Creweinsatzes in dieser Grösse; Ende: Ende des Creweinsatzes in dieser Grösse

Anmerkung. Alle gelisteten Variablen beinhalten jeweils einen Start- und End-Zeitpunkt sowie eine daraus errechnete Zeitperiode.

D-V Errechnete Werte aus den erhobenen Daten

Die im Anhang D-IV beschriebenen Daten wurden für die Analysen durch entsprechende Scripts in R mit den in Tab. 17 und Tab. 18 dargestellten Variablen ergänzt. Die unterstrichenen Variablen wurden schlussendlich für die Prozessmodellierung verwendet.

Tab. 17: Kategoriensystem der errechneten Zeitperioden pro Fluggast

VarName (SubCode)	Ref.-ID	Beschreibung
TotalInSystemTime1	PaxID	Gerechnete Zeit pro Fluggast vom Systemeintritt bis Systemaustritt; Differenz des grössten und kleinsten erhobenen Zeitpunktes pro Fluggast; 
<u>TotalInSystemTime2</u>	PaxID	Identisch mit der TotalInSystemTime1, ausser dass als Startzeitpunkt die TotalAttendedDivestingTime_start verwendet wurde.
<u>PaxDivestingIgnore</u>	PaxID	1, wenn die Divesting-Sequenz eine Line01Stopped/Line02Stopped-Sequenz überschneidet; 
TotalDivestingPrimaryTime	PaxID	Summierte Zeit aller DivestingPrimaryTime pro Fluggast
<u>TotalAttendedDivestingTime</u>	PaxID	Angenommene Zeit, in welcher ein Fluggast vom Lader betreut wird. Wird berechnet aus der Differenz von Zeitpunkt Ende DivestingPrimaryTime und den Ende DivestingPrimaryTime des vorgängigen Fluggastes; 
TotalWTMDQueueingPrimaryTime	PaxID	Summierte Zeit aller WTMDQueueingPrimaryTime pro Fluggast
<u>TotalWTMDPrimaryTime</u>	PaxID	Summierte Zeit aller WTMDPrimaryTime pro Fluggast
<u>PaxPeriodSinceLastWTMDTime</u>	PaxID	Zeitperiode zwischen dem aktuellen Fluggast WTMDPrimaryTime_start und die des Vorgängers, von der selben Linie
TotalManualMetalCheckQueueingPrimaryTime	PaxID	Summierte Zeit aller ManualMetalCheckQueueingPrimaryTime pro Fluggast
<u>TotalManualMetalCheckPrimaryTime</u>	PaxID	Summierte Zeit aller ManualMetalCheckPrimaryTime pro Fluggast
TotalETDQueueingPrimaryTime	PaxID	Summierte Zeit aller ETDQueueingPrimaryTime pro Fluggast
<u>TotalETDPrimaryTime</u>	PaxID	Summierte Zeit aller ETDPrimaryTime pro Fluggast
TotalRecomposingQueueingPrimaryTime	PaxID	Summierte Zeit aller RecomposingQueueingPrimaryTime pro Fluggast
<u>TotalRecomposingPrimaryTime</u>	PaxID	Summierte Zeit aller RecomposingPrimaryTime pro Fluggast
TotalManualBaggageSearchQueueingTime	PaxID	Summierte Zeit aller ManualBaggageSearchQueueingTime pro Fluggast
TotalManualBaggageSearchXrayItemTime	PaxID	Summierte Zeit aller ManualBaggageSearchXrayItem[xx]Time pro Fluggast
<u>TotalRecomposingAfterManualBaggageSearchTableTime</u>	PaxID	Summierte Zeit aller RecomposingAfterManualBaggageSearchTableTime pro Fluggast

Anmerkung. Alle gelisteten Variablen beinhalten jeweils einen Start- und End-Zeitpunkt sowie eine summierte Zeitperiode der entsprechenden Sequenzen.

Tab. 18: Kategoriensystem der errechneten Häufigkeiten pro Fluggast

VarName (SubCode)	Ref.-ID	Beschreibung
TotalTrayQty	PaxID	Anzahl der XrayItemType=0
TotalTrolleyWithoutTrayQty	PaxID	Anzahl der XrayItemType=1
TotalHandbagWithoutTrayQty	PaxID	Anzahl der XrayItemType=2
TotalPlasticbagWithoutTrayQty	PaxID	Anzahl der XrayItemType=3
TotalSTEBWithoutTrayQty	PaxID	Anzahl der XrayItemType=4
TotalBackpackWithoutTrayQty	PaxID	Anzahl der XrayItemType=5
TotalOtherBagWithoutTrayQty	PaxID	Anzahl der XrayItemType=6
TotalShoesWithoutTrayQty	PaxID	Anzahl der XrayItemType=7
TotalAfterWTMDOOrManualMetal-CheckQty	PaxID	Anzahl der XrayItemType=8
TotalExtraXrayItemQty	PaxID	Anzahl der XrayItemType=9
<u>TotalXrayItemQty</u>	PaxID	Summe von Anzahl der XrayItemType=0...7
TotalMachineXrayItemQty	PaxID	Summe von Anzahl der XrayItemType=0...9
TotalElectronicsInTrayQty	PaxID	Summe der ElectronicsPerXrayItemQty[XrayItemType=1...x]
TotalLAGBagInTrayQty	PaxID	Summe der LAGBagPerXrayItemQty[XrayItemType=1...x]
TotalBabyFoodInTrayQty	PaxID	Summe der BabyFoodPerXrayItemQty[XrayItemType=1...x]
TotalMedicineInTrayQty	PaxID	Summe der MedicinePerXrayItemQty[XrayItemType=1...x]
TotalJacketInTrayQty	PaxID	Summe der JacketPerXrayItemQty[XrayItemType=1...x]
TotalBeltInTrayQty	PaxID	Summe der BeltPerXrayItemQty[XrayItemType=1...x]
TotalOtherClothingInTrayQty	PaxID	Summe der ClothingPerXrayItemQty[XrayItemType=1...x]
TotalPersonalItemsInTrayQty	PaxID	Summe der PersonalItemsPerXrayItemQty[XrayItemType=1...x]
TotalTrolleyInTrayQty	PaxID	Summe der TrolleyPerXrayItemQty[XrayItemType=1...x]
TotalHandbagInTrayQty	PaxID	Summe der HandbagPerXrayItemQty[XrayItemType=1...x]
TotalPlasticbagInTrayQty	PaxID	Summe der PlasticbagPerXrayItemQty[XrayItemType=1...x]
TotalSTEBInTrayQty	PaxID	Summe der STEBPerXrayItemQty[XrayItemType=1...x]
TotalBackpackInTrayQty	PaxID	Summe der BackpackPerXrayItemQty[XrayItemType=1...x]
TotalShoesInTrayQty	PaxID	Summe der ShoesPerXrayItemQty[XrayItemType<=8]
TotalShoesInTrayRescanQty	PaxID	Summe der ShoesPerXrayItemQty[XrayItemType=8]
TotalElectronicsQty	PaxID	= TotalElectronicsInTrayQty (identisch)
TotalLAGBagQty	PaxID	= TotalLAGBagInTrayQty (identisch)
TotalBabyFoodQty	PaxID	= TotalBabyFoodInTrayQty (identisch)
TotalMedicineQty	PaxID	= TotalMedicineInTrayQty (identisch)
TotalJacketQty	PaxID	= TotalJacketInTrayQty (identisch)
TotalBeltQty	PaxID	= TotalBeltInTrayQty (identisch)
TotalOtherClothingQty	PaxID	= TotalOtherClothingInTrayQty (identisch)
TotalPersonalItemsQty	PaxID	= TotalPersonalItemsInTrayQty (identisch)
TotalTrolleyQty	PaxID	TotalTrolleyInTrayQty + TotalTrolleyWithoutTrayQty
TotalHandbagQty	PaxID	TotalHandbagInTrayQty + TotalHandbagWithoutTrayQty
TotalPlasticbagQty	PaxID	TotalPlasticbagInTrayQty + TotalPlasticbagWithoutTrayQty
TotalSTEBQty	PaxID	TotalSTEBInTrayQty + TotalSTEBWithoutTrayQty
TotalBackpackQty	PaxID	TotalBackpackInTrayQty + TotalBackpackWithoutTrayQty
TotalOtherBagQty	PaxID	TotalOtherBagInTrayQty + TotalOtherBagWithoutTrayQty
TotalShoesAtDivestingQty	PaxID	TotalShoesInTrayQty + TotalShoesWithoutTrayQty
TotalShoesQty	PaxID	TotalShoesInTrayQty + TotalShoesWithoutTrayQty + TotalShoesInTrayRescanQty

VarName (SubCode; ff)	Ref.-ID	Beschreibung
<u>TotalItemsQty</u>	PaxID	TotalElectronicsQty + TotalLAGBagQty + TotalBabyFoodQty + TotalMedicineQty + TotalJacketQty + TotalBeltQty + TotalOtherClothingQty + TotalPersonalItemsQty + TotalTrolleyQty + TotalHandbagQty + TotalPlasticbagQty + TotalSTEBQty + TotalBackpackQty + TotalOtherBagQty + TotalShoesQty
<u>TotalSimpleTrolleyQty</u>	PaxID	TotalTrolleyWithoutTrayQty + (AnzahlTrolleyPerXrayItemQty[XrayItemType<>8]=1)
<u>TotalSimpleHandbagQty</u>	PaxID	TotalHandbagWithoutTrayQty + (AnzahlHandbagPerXrayItemQty[XrayItemType<>8]=1)
<u>TotalSimpleBackpackQty</u>	PaxID	TotalBackpackWithoutTrayQty + (AnzahlBackpackPerXrayItemQty[XrayItemType<>8]=1)
<u>TotalSimpleShoesQty</u>	PaxID	TotalShoesWithoutTrayQty + (AnzahlShoesPerXrayItemQty[XrayItemType<>8]=1)
<u>TotalVariaItemsQty</u>	PaxID	TotalItemsQty - TotalXrayItemQty
<u>TotalVariaTrayQty</u>	PaxID	TotalXrayItemQty - TotalSimpleTrolleyQty - TotalSimpleHandbagQty - TotalSimpleBackpackQty - TotalSimpleShoesQty
<u>TotalRecomposedXrayItemQty</u>	PaxID	TotalXrayItemQty - TotalManualSearchQty

D-VI Methodische Hinweise zur Interrater Reliabilität

Cohen's Kappa (κ) wird für Daten mit einem nominalen Skalenniveau verwendet und geht zurück auf die Arbeit von Cohen (1960). Bei zwei Ratern wird die Anzahl der Übereinstimmungen mit der Anzahl der unterschiedlichen Antworten unter Berücksichtigung von Zufallsübereinstimmungen und der Gesamtzahl der Beobachtungen in Beziehung gesetzt (Heyman et al., 2014). Cohens κ kann einen Wert zwischen -1 und +1 annehmen, wobei ein Wert um 0 keinen Zusammenhang zwischen den Urteilen der beiden Rater angibt. In dieser Studie wurden ungewichtete Cohens κ mit der `CohenKappa()`-Funktion des R-Packages 'DescTools' (Signorell, 2016) bestimmt.

Für intervallskalierte Daten bietet sich die Prüfung mittels *Intraclass correlation* (ICC; Shrout & Fleiss, 1979) an. Der ICC-Wert stellt die Stärke des Zusammenhangs von kardinalskalierten Urteilen zweier Beobachter dar (Döring & Bortz, 2016). Auch der ICC kann Werte zwischen -1 und 1 annehmen; 0 deutet wiederum auf keinen Zusammenhang hin. Die ICC Werte wurden mit der `icc()`-Funktion des Packages 'psych' (Revelle, 2015) berechnet. Die Auswahl des berücksichtigten Referenzwerts ICC3 beruht auf Unterscheidungen von Shrout und Fleiss (1979). Datenpunkte, welche nur von einem Rater erhoben wurden, erhielten beim anderen Rater einen Wert Null. Gegenüber einer ausschliesslichen Berücksichtigung von Daten, welche von beiden Ratern berücksichtigt wurden, führt dieses Vorgehen zu konservativen ICC-Werten.

Gemäss Cicchetti (1994) werden Cohens κ und ICC-Koeffizienten mit einem Wert zwischen .4 und .59 als schwach und Werte zwischen .6 und .74 als gut eingeschätzt, während Werte $>.75$ als exzellent gelten. Aktuelle Quellen erachten Werte $>.7$ (Döring & Bortz, 2016), bzw. $>.8$ (vgl. Heyman et al., 2014), als sehr gut. Eine hohe Übereinstimmung kann allgemein als Hinweis gedeutet werden, dass das Beobachtungssystem problemlos angewendet werden kann und zu messgenauen Daten führt. Tiefe Werte deuten auf ein unklares Beobachtungssystem oder eine zu geringe Schulung der Rater hin (Döring & Bortz, 2016; Heyman et al., 2014).

Beide Koeffizient-Berechnungen gehen von normalverteilten Daten aus. Heyman et al. (2014) beschreiben, dass schiefe Verteilungen der Grunddaten die berechneten IRR-Koeffizienten tendenziell unterschätzen.

D-VII Detailergebnisse zu Fluggast- und Gepäck-Charakteristiken

Verteilungen der Anzahl 'X-ray items'

Die Abb. 30, Abb. 31, Abb. 32 und Abb. 33 stellen die Abweichungen der gewählten Verteilungen gegenüber den empirischen Daten dar (s. Kap. 2.2.2.4).

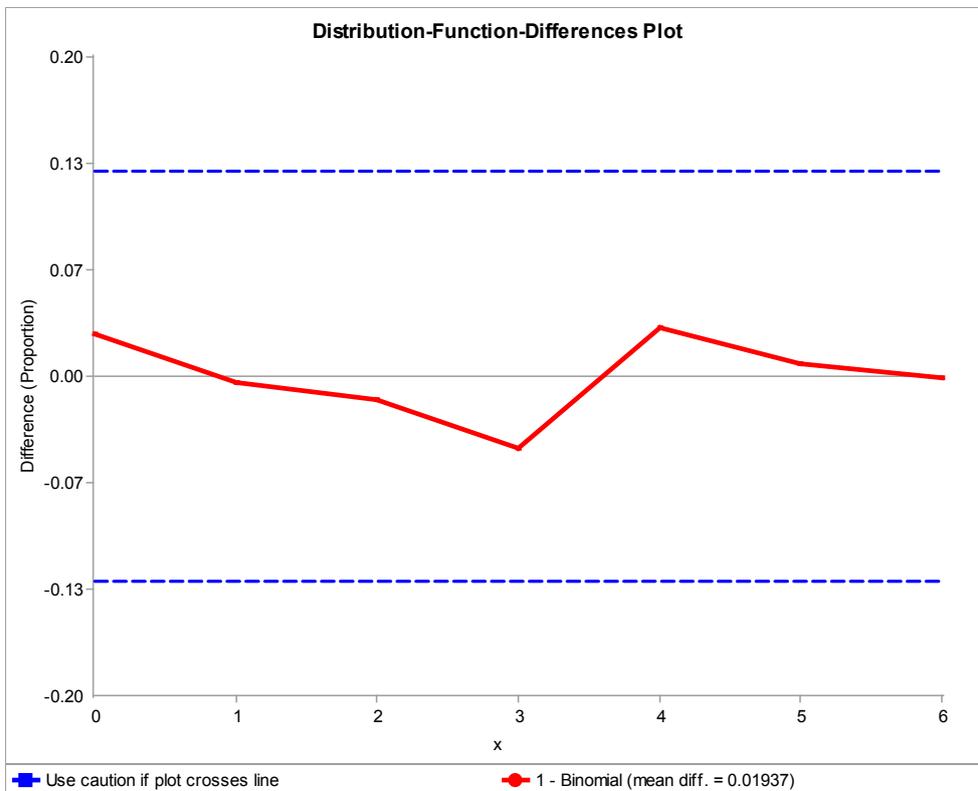


Abb. 30: Differenzplot für die Anzahl X-ray items; VA I, Erwachsene, weiblich

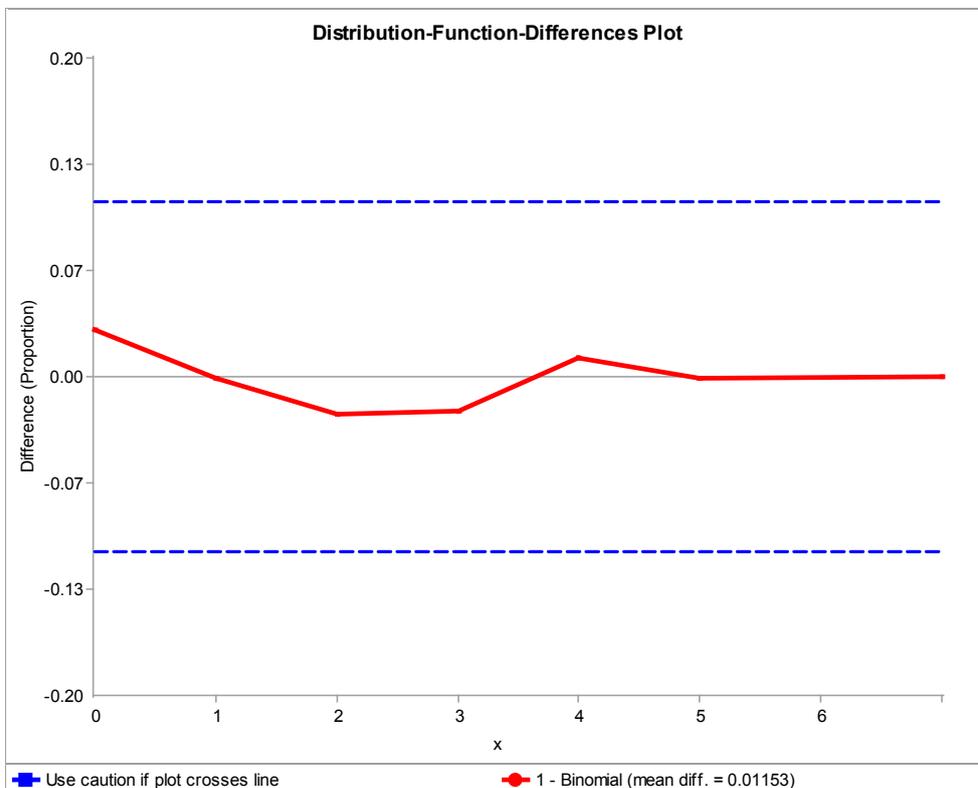


Abb. 31: Differenzplot für die Anzahl X-ray items; VA I, Erwachsene, männlich

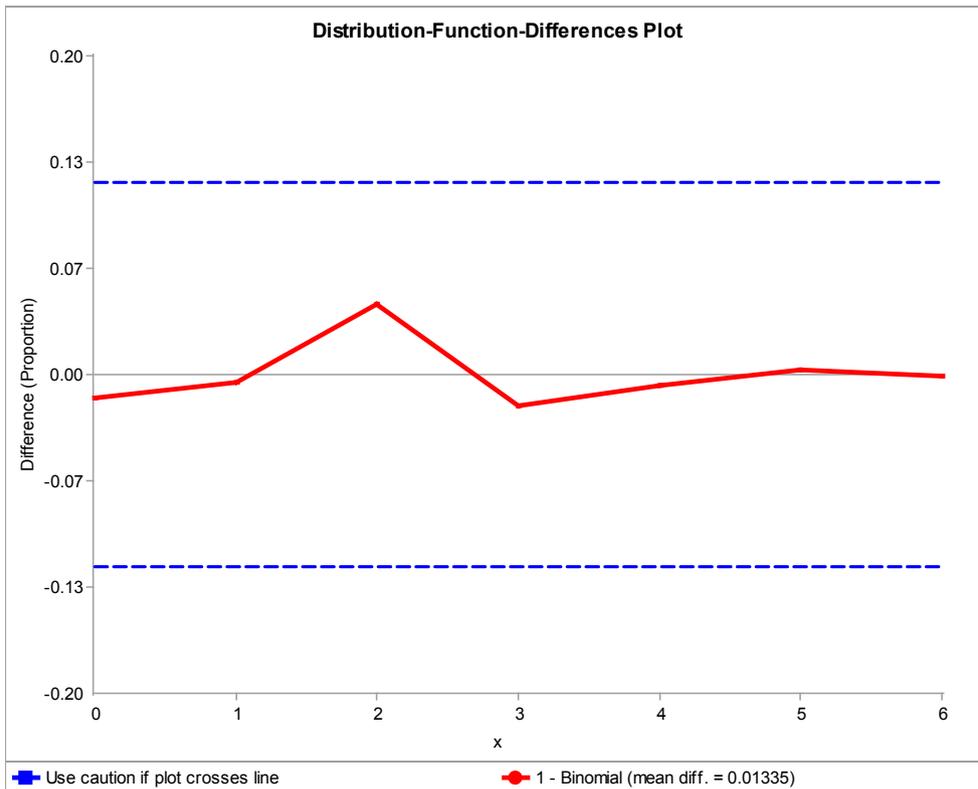


Abb. 32: Differenzplot für die Anzahl X-ray items; VA II, Erwachsene, weiblich

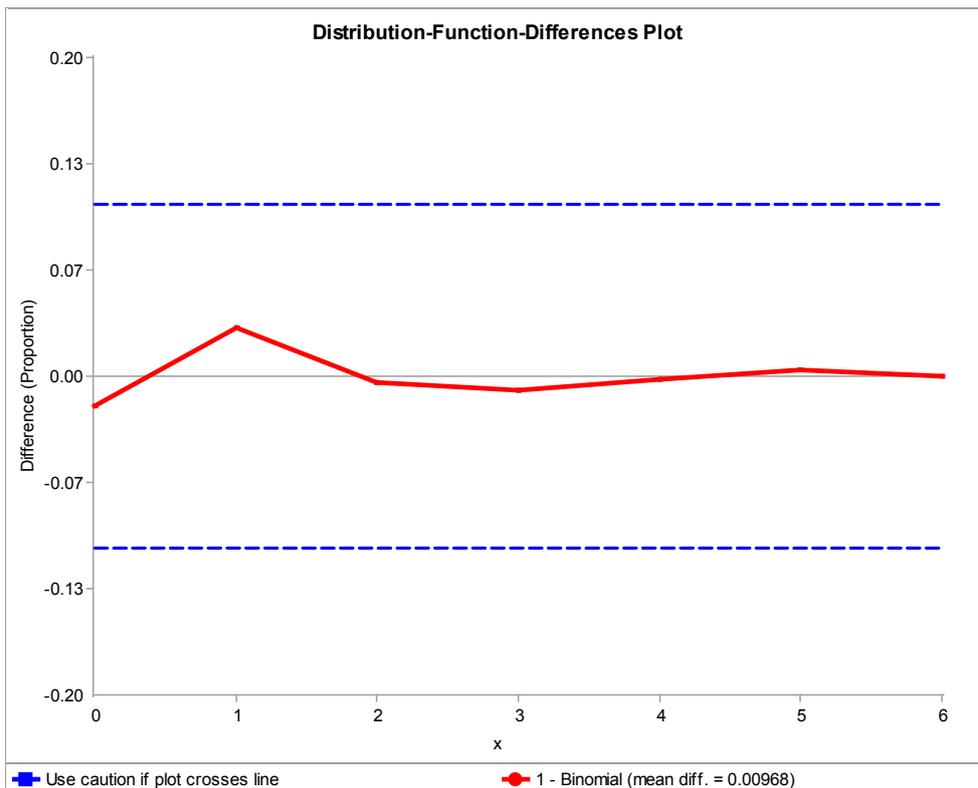


Abb. 33: Differenzplot für die Anzahl X-ray items; VA II, Erwachsene, männlich

Gruppenunterschiede bei 'X-ray item Typus'

Folgend sind die Ergebnisse der Gruppenunterschiede des X-ray item Typus (Tab. 19) dargestellt.

Tab. 19: Unterschiede (Ebene VA und Geschlecht) bei X-ray items Anzahl und Typus

	VA I		VA II	
	Weiblich	Männlich	Weiblich	Männlich
Simples X-ray item				
Trolley	37 → 11%	50 → 13%	42 → 13%	57 → 14%
Rucksack	16 → 5%	40 → 10%	16 → 5%	40 → 10%
Tasche	49 → 14%	23 → 6%	36 → 11%	33 → 8%
Schuhe	43 → 13%	17 → 4%	39 → 12%	7 → 2%
Varia-Tray	196 → 57%	259 → 67%	196 → 60%	266 → 66%
Test auf Unterschiede	Exakter Fisher-Test: $p < .001^{***}$		Exakter Fisher-Test: $p < .001^{***}$	
	Joint Dependence (p-Wert simuliert; 10'000 Replikationen): $p = .44$			

Gruppenunterschiede bei 'Anzahl items in Varia-Trays'

Die Ergebnisse zur Anzahl items pro Varia-Tray (TotalVariaItemsQty) ist auf folgender Tab. 20 dargestellt.

Tab. 20: Unterschiede der Anzahl items in Varia-Tray

	VA I		VA II	
	Weiblich; n=196	Männlich; n=259	Weiblich; n=195	Männlich; n=266
Anzahl items in Varia-Tray	$M=2.19$ ($SD=1.22$) [1,7]	$M=2.53$ ($SD=1.78$) [1,12]	$M=2.43$ ($SD=1.40$) [1,12]	$M=2.60$ ($SD=1.73$) [1,9]
1 item	62	100	42	91
2 items	75	56	82	68
3 items	37	40	47	34
4 items	11	30	10	36
5 items	7	12	7	20
6 items	1	14	3	8
7 items	3	2	3	5
8 items	0	4	0	1
9 items	0	0	0	3
12 items	0	1	1	0
Test auf Unterschiede	Exakter Fisher-Test: $p < .001^{***}$		Mann-Whitney-U-Test: $U=98028$, $p = .08$	
	Mann-Whitney-U-Test: $U=24161$, $p = .36$		(Anzahl items pro VA; beide Geschlechter jeweils zusammengefasst)	

Zuweisungen von item Typus

Um die Simulation auch visuell möglichst realitätsnah erscheinen zu lassen, wurden die item-Typen in den gemischten Trays anhand der empirischen Daten der VA I bestimmt. Tab. 21 stellt die erfassten Häufigkeiten (als Summe) und die entsprechende Wahrscheinlichkeit dar, unabhängig vom Geschlecht. Die Typen-Namen entsprechend den erfassten Variablen (s. Tab. 13 in Anhang D-IV).

Tab. 21: Häufig- und Wahrscheinlichkeiten für ein gemischtes Tray pro X-ray item

	Beobachtete Häufigkeit	Wahrscheinlichkeit p
ElectronicsPerXrayItemQty	244	.13
TrolleyPerXrayItemQty	8	.00
HandbagPerXrayItemQty	190	.10
PlasibagPerXrayItemQty	22	.01
STEBPerXrayItemQty	0	.00
BackpackPerXrayItemQty	32	.02
LAGBagPerXrayItemQty	157	.08
BabyFoodPerXrayItemQty	9	.00
MedicinePerXrayItemQty	0	.00
ShoesPerXrayItemQty	44	.02
JacketPerXrayItemQty	535	.28
BeltPerXrayItemQty	197	.10
OtherClothingPerXrayItemQty	138	.07
PersonalItemsPerXrayItemQty	329	.17

D-VIII Detailergebnisse zur Exploration von Prozessmodellen

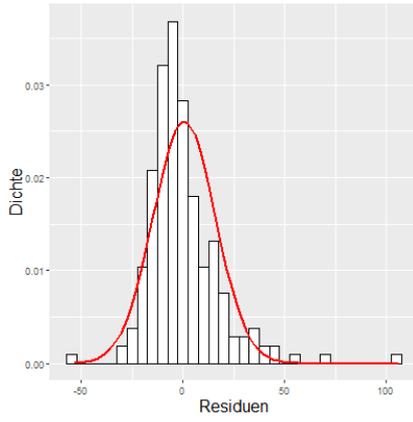
Die in Klammern genannten Variablen sind in Anhang D-IV beschrieben.

Modell der Zeitperiode 'Divesting'; VA I

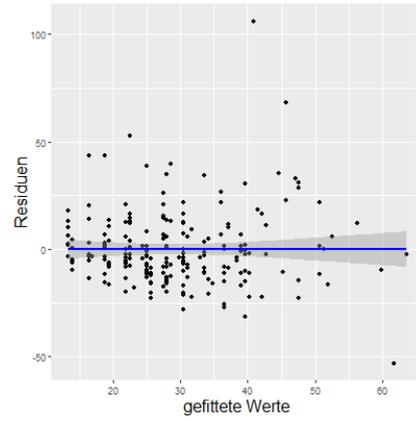
Tab. 22: Details zum Modell der Zeitperiode 'Divesting'

Einschlusskriterien:	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fluggäste der VA I, 2. Erwachsene/r (PaxType=3), 3. Fluggast hatte items bei sich (TotalItemsQty>=1), 4. analysierter Fluggast-Vorgänger vorhanden (TotalAttendedDivestingTime>0), 5. während Divesting nicht von LineStopped betroffen (PaxDivestingIgnore=0) <p>→ $n=212$ (84%)</p>		
AV:	<i>beaufsichtigte Divesting Zeit</i> (TotalAttendedDivestingTime)		
	$M= 29.41$ s ($SD= 20.22$ s) [2.20 s, 147.0 s]		
untersuchte UV:	(PaxSex)	weiblich: $n=94$ (44%)	männlich: $n=118$ (56%)
	(TotalItemsQty)	$M= 6.19$ ($SD= 2.60$)	[2, 16]
	(TotalTrayQty)	$M= 2.55$ ($SD= 1.05$)	[1, 6]
	(TotalXrayItemQty)	$M= 3.33$ ($SD= 1.29$)	[1, 8]
	(TotalShoesQty)	$M= .41$ ($SD= .54$)	[0, 2]
	(TotalElectronicsInTrayQty)	$M= .53$ ($SD= .68$)	[0, 4]
	(TotalJacketInTrayQty)	$M= 1.26$ ($SD= .61$)	[0, 3]
	(TotalPlasticbagInTrayQty)	$M= .05$ ($SD= .23$)	[0, 2]
	Anzahl items in Varia-Trays (TotalItemsQty-TotalXrayItemQty)	$M= 2.86$ ($SD= 2.04$)	[0, 11]
Gewählte Modellparameter:	AV: <i>beaufsichtigte Divesting Zeit</i> (TotalAttendedDivestingTime) UV: 1. <i>Anzahl X-ray items</i> (TotalXrayItemQty) 2. <i>Anzahl items in Varia-Trays</i> (TotalVariaItemsQty)		
Fallausschluss:	Cooks-Wert (cooks.distance>1): kein Wert ist >1 (vgl. Fussnote ⁴⁶ , S. 42)		
Linearität, Multikollinearität:			
Autokorrelation:	Durbin-Watson Wert=2.42 ($p=.002^{**}$) → ok; vgl. Fussnote ⁴⁹ , S. 43 Dennoch deutet der signifikante p -Wert der Autokorrelation auf einen spannenden Zusammenhang hin, welcher im Rahmen dieser Arbeit nicht im Detail untersucht wurde: Die <i>beaufsichtigte Divesting Zeit</i> hängt mit der Vorgängerdauer zusammen. Dies kann bspw. zustande kommen, wenn ein Fluggast, bzw. ein/e Lader/in, nach einer langen Periode des Vorgängers den Prozess schneller abwickelt.		

Normalverteilung der Residuen:

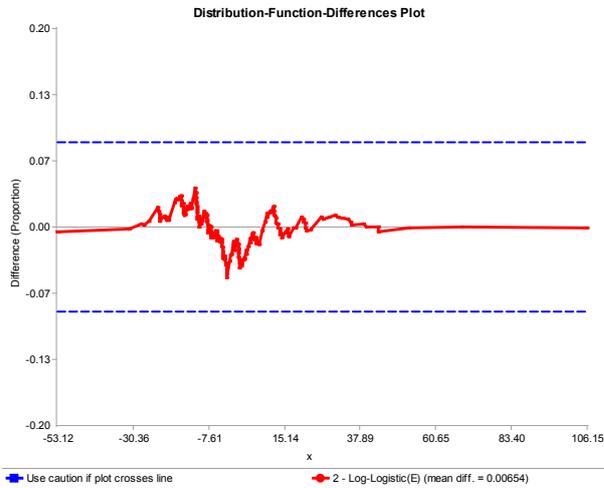


Homoskedastizität:



Breusch-Pagan Test; $BP(2)=13.84$: $p < .001$ ***
 → Heteroskedasizität

Differenzplot der gewählten Residuen-Verteilung



Differenz der gewählten gegenüber der empirischen
 Verteilung der Residuen: loglogistic(-58.14, 55.64, 6.58)

Wahrscheinlichkeiten für 'X-ray alarm resolution'; pro X-ray item; VA I

Tab. 23: Prävalenz-Unterschiede für X-ray alarm resolution nach X-ray item Typus

	VA I		VA II	
	Fallzahl	Anteil {Prävalenz}	Fallzahl	Anteil {Prävalenz}
Simples X-ray item				
Trolley	13	12%	13	25%
Rucksack	13	12%	13	19%
Tasche	13	21%	13	19%
Schuhe	13	0%	13	3%
Varia-Tray	13	55%	13	34%

Test auf Unterschiede

Exakter Fisher-Test: $p=.68$ (Bezogen auf Prävalenzen)

Anmerkungen. Die in geschweiften Klammern {} dargestellte Zahl entspricht der Prävalenz im Verhältnis zur erhobenen Anzahl des X-ray item Typus. Der Typus Schuh (unterstrichen) wurde aufgrund der Fallzahl nicht ins Modell aufgenommen; entsprechend wurden die Prävalenzen nicht im exakten Fischer-Test berücksichtigt.

Verteilung der Zeitperiode 'Metal alarm resolution'

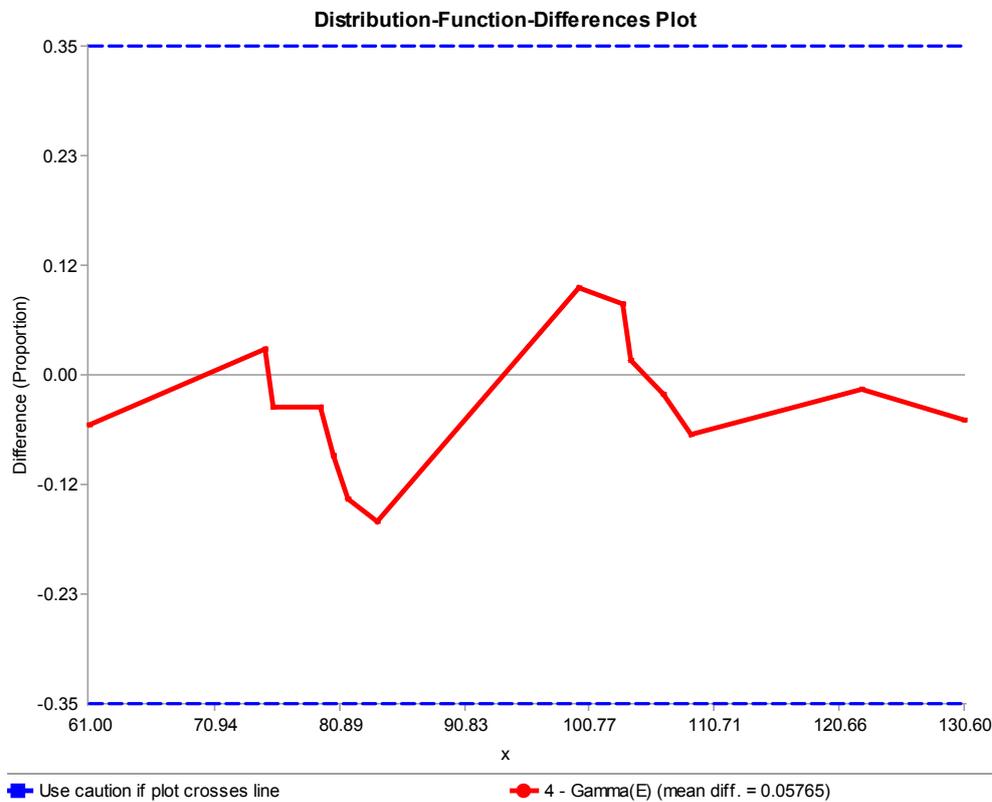


Abb. 34: Differenzplot zur Zeitperiode 'Metal alarm resolution'

Verteilung der Zeitperiode 'ETD Kontrolle, ohne Gepäck'

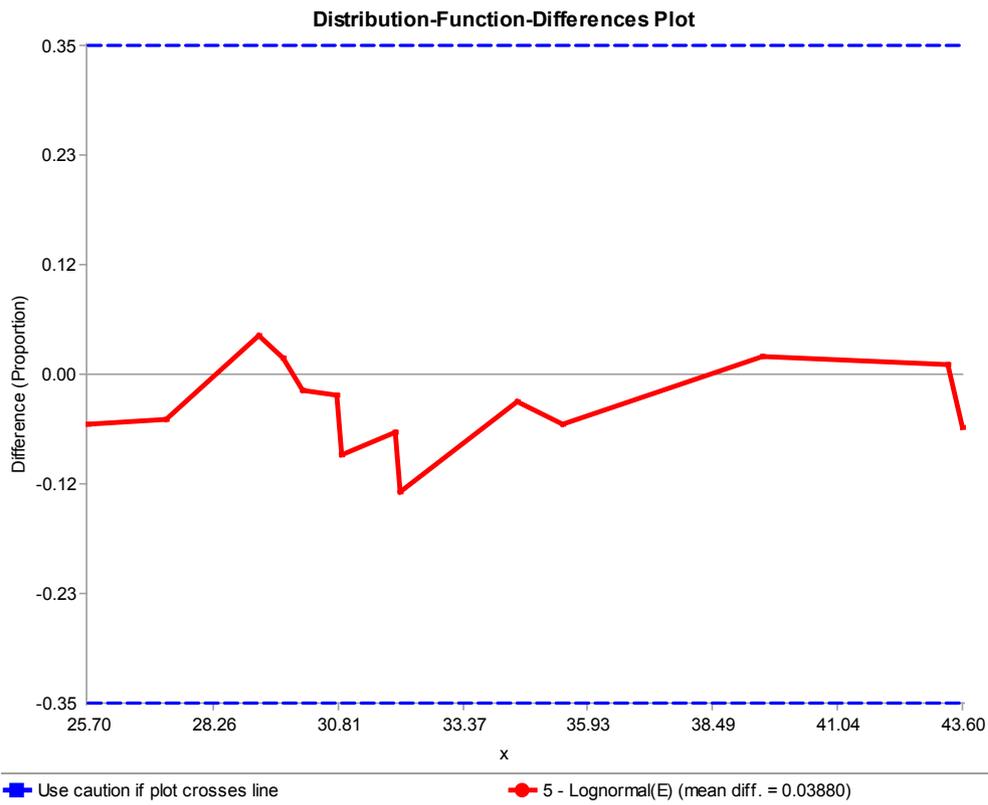


Abb. 35: Differenzplot zur Zeitperiode 'ETD Kontrolle, ohne Gepäck'

Modell der Zeitperiode 'ETD Kontrolle, mit Gepäck'; VA I

Tab. 24: Details zum Modell der Zeitperiode 'ETD Kontrolle, mit Gepäck'

Einschlusskriterien:

1. Fluggäste der VA I,
2. Erwachsene/r (PaxType=3),
3. Fluggast hatte einen Quoten-Alarm (PaxWTMDAlarmType=8),
4. der ETD Randomizer bestimmte eine Prüfung mit Gepäck (ETDType=2)

→ $n=7$

AV: *ETD Zeit mit Gepäck* (ETDPrimaryTime)
 $M=82.34$ s ($SD= 28.90$ s) [46.1 s, 139.9 s]

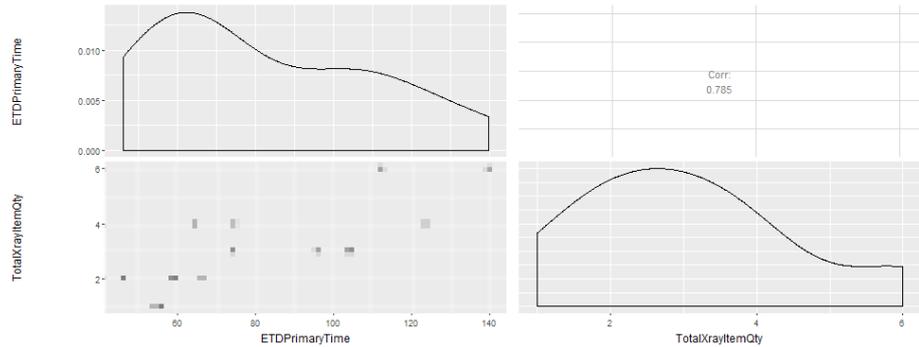
untersuchte UV:

(PaxSex)	weiblich: $n=94$ (44%)	männlich: $n=118$ (56%)
(TotalItemsQty)	$M= 6.19$ ($SD= 2.60$)	[2, 16]
(TotalTrayQty)	$M= 2.55$ ($SD= 1.05$)	[1, 6]
(TotalXrayItemQty)	$M= 3.33$ ($SD= 1.29$)	[1, 8]

Gewählte Modellparameter: AV: *ETD Zeit mit Gepäck* (TotalETDPrimaryTime)
 UV: 1. *Anzahl X-ray items* (TotalXrayItemQty)

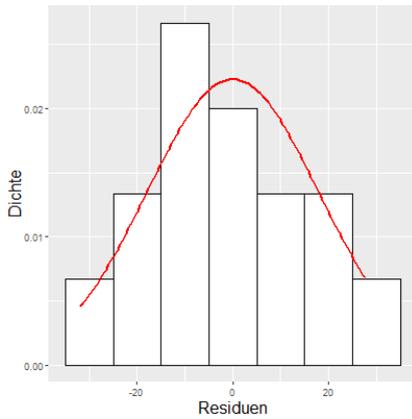
Fallausschluss: Cooks-Wert (cooks.distance>1): kein Wert ist >1 (vgl. Fussnote⁴⁶, S. 42)

Linearität: (teilweise verpixelt; μ^{14})

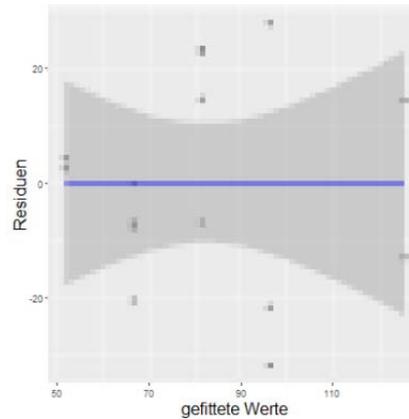


Autokorrelation: *Durbin-Watson Wert*=2.01 ($p=.94$) → ok (vgl. Fussnote⁴⁹, S. 43)

Normalverteilung der Residuen:

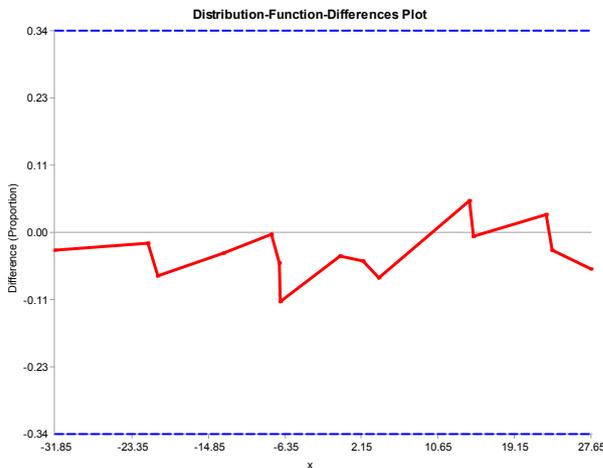


Homoskedastizität: (verpixelt; μ^{14})



Brusch-Pagan Test; $BP(1)=2.10$; $p=.14$ → ok

Differenzplot der gewählten Residuen-Verteilung



Use caution if plot crosses line
 mit Verteilungskurve: normal(0.00, 17.90)

Modell der Zeitperiode 'Recomposing'; VA I

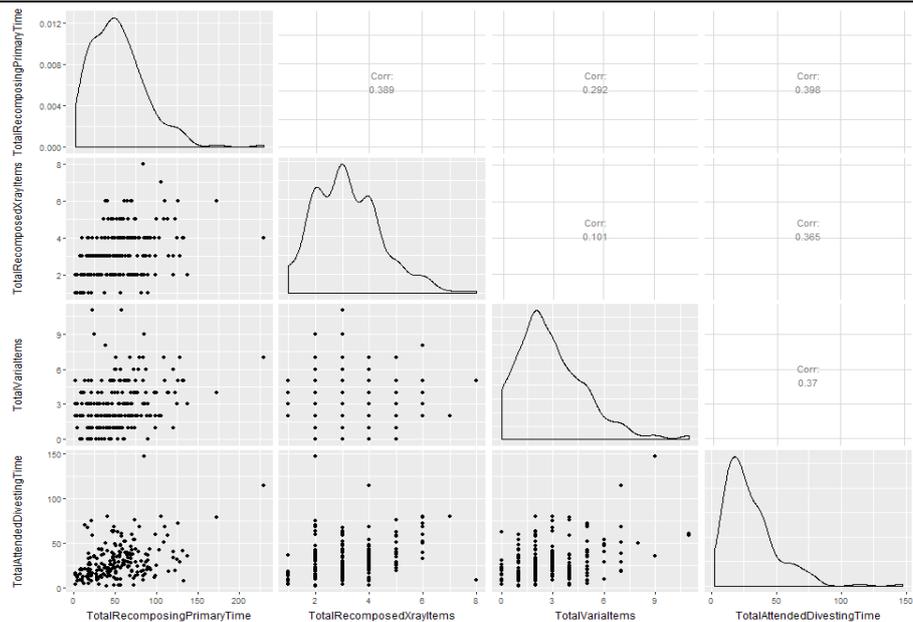
Tab. 25: Details zum Modell der Zeitperiode 'Recomposing'

Einschlusskriterien:	1. Fluggäste der VA I, 2. Erwachsene/r (PaxType=3), 3. Fluggast hatte items bei sich (TotalItemsQty>=1) , 4. (TotalAttendedDivestingTime>0), 5. (PaxDivestingIgnore=0) → n=212 (84%)		
AV:	<i>Recomposing Zeit</i> (TotalRecomposingPrimaryTime) M= 53.45 s (SD= 33.64 s) [2.40 s,229.20 s]		
untersuchte UV:	(PaxSex)	weiblich: n=94 (44%)	männlich: n=118 (56%)
	(TotalItemsQty)	M= 6.19 (SD= 2.59)	[2, 16]
	(TotalTrayQty)	M= 2.55 (SD= 1.05)	[1, 6]
	(TotalXrayItemQty)	M= 3.33 (SD= 1.29)	[1, 8]
	(TotalShoesQty)	M= .41 (SD= .54)	[0, 2]
	(TotalElectronicsInTrayQty)	M= .53 (SD= .68)	[0, 4]
	(TotalJacketInTrayQty)	M= 1.26 (SD= .61)	[0, 3]
	<i>beaufsichtigte Divesting Zeit</i> (TotalAttendedDivestingTime)	M= 29.41 s (SD= 20.22 s)	[2.20 s, 147.00 s]
	<i>Anzahl recomposed X-ray items</i> (TotalRecomposedXrayItemQty)	M= 3.17 (SD= 1.26)	[0, 8]
	<i>Anzahl items in Varia-Trays</i> (TotalVariaItemsQty)	M= 2.86 (SD= 2.04)	[0, 11]

Gewählte Modellparameter: AV: *Recomposing Zeit* (TotalRecomposingPrimaryTime)
 UV: 1. *Anzahl recomposed X-ray items* (TotalRecomposedXrayItemQty)
 2. *Anzahl items in Varia-Trays* (TotalVariaItemsQty)
 3. *beaufsichtigte Divesting Zeit* (TotalAttendedDivestingTime)

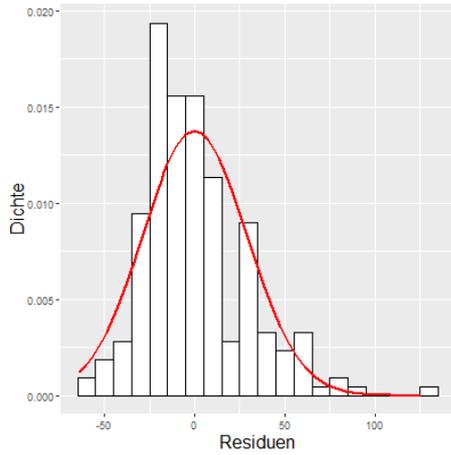
Fallausschluss: Cooks-Wert (cooks.distance>1): kein Wert ist >1 (vgl. Fussnote⁴⁶, S. 42)

Linearität, Multikollinearität:

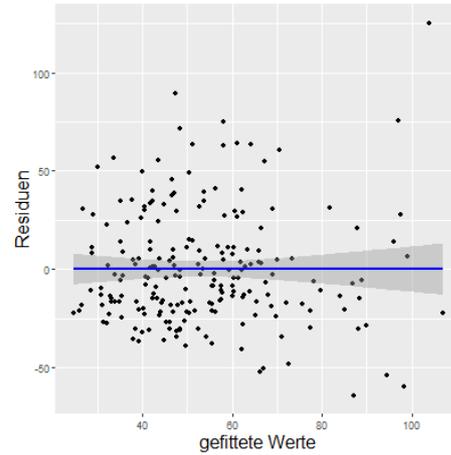


Autokorrelation: *Durbin-Watson Wert*=1.65 ($p=.01$) → ok (vgl. Fussnote⁴⁹, S. 43)
 Jedoch deutet der signifikante p-Wert auf eine vorliegende Autokorrelation hin; es gibt Abhängigkeiten der Residuen von einem Fluggast zum Vorgänger.

Normalverteilung der Residuen:

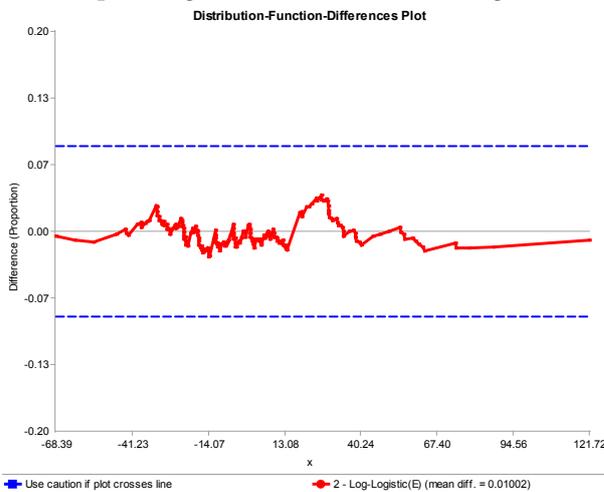


Homoskedastizität:



Breusch-Pagan Test; $BP(3)=24.12$: $p < .001$ ***;
 → Heteroskedasizität

Differenzplot der gewählten Residuen-Verteilung



mit Verteilungskurve: $\text{loglogistic}(-76.16, 71.37, 4.63)$

Modell der Zeitperiode 'X-ray alarm resolution'; pro X-ray item; VA I

Tab. 26: Details zum Modell der Zeitperiode 'X-ray alarm resolution'; pro X-ray item

Einschlusskriterien:

1. X-ray items der VA I,
2. Ausgewählt für X-ray alarm resolution (ManualSearchPerXrayItemQty=1)
3. ist ein simples X-ray item oder ein Varia-Tray

→ $n=33$ (5%; vgl. Tab. 19, Tab. 22)

AV: *X-ray alarm resolution Zeit* (ManualBaggageSearchXrayItem[x]Time), $x=1\dots 10$
 $M= 98.31$ s ($SD= 41.80$ s) [19.20 s, 201.20 s]

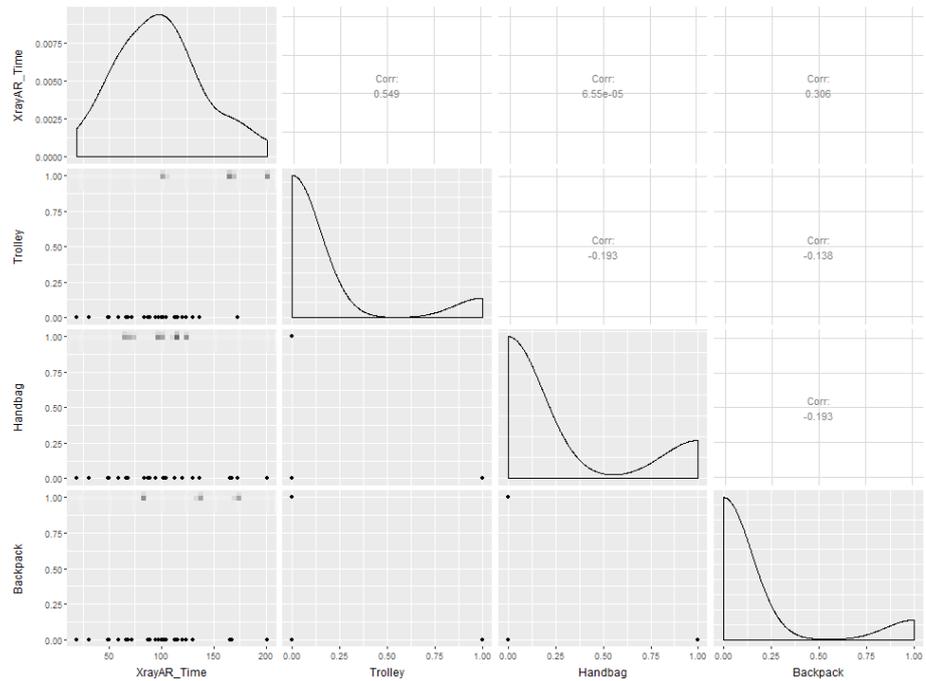
untersuchte UV:

X-ray item ist ein Varia-Tray	$n=13$ vgl. Tab. 22, S. 119
X-ray item ist ein Trolley	$n=13$ vgl. Tab. 22, S. 119
X-ray item ist eine Tasche	$n=13$ vgl. Tab. 22, S. 119
X-ray item ist ein Rucksack	$n=13$ vgl. Tab. 22, S. 119
X-ray item sind Schuhe	$n=13$ vgl. Tab. 22, S. 119

Gewählte Modellparameter: AV: *X-ray alarm resolution Zeit* (ManualBaggageSearchXrayItem[1...10]Time)
 UV: 1. X-ray item ist ein Trolley (TotalSimpleTrolleyQty)
 2. X-ray item ist eine Tasche (TotalSimpleHandbagQty)
 3. X-ray item ist ein Rucksack (TotalSimpleBackpackQty)

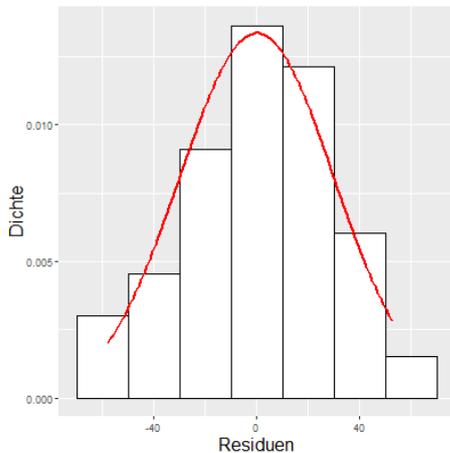
Fallausschluss: Cooks-Wert (cooks.distance>1): kein Wert ist >1 (vgl. Fussnote⁴⁶, S. 42)

Linearität, Multikollinearität: (teilweise verpixelt; n^{15})

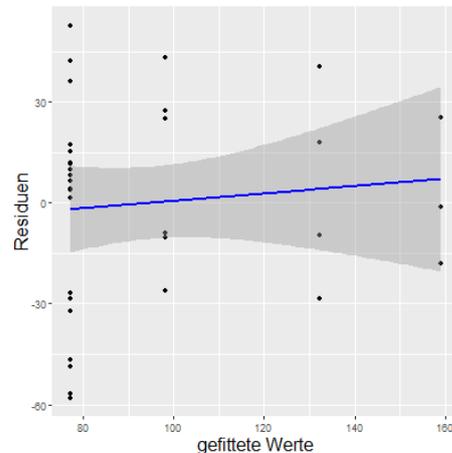


Autokorrelation: Durbin-Watson Wert=2.16 ($p=.72$) → ok (vgl. Fussnote⁴⁹, S. 43)

Normalverteilung der Residuen:

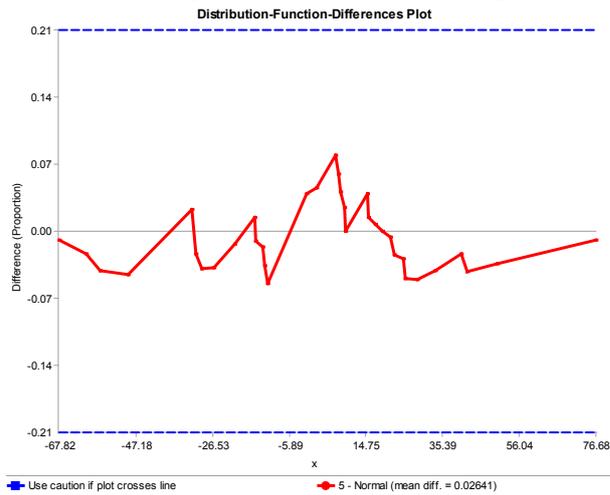


Homoskedastizität:



Breusch-Pagan Test; $BP(3)=5.93$; $p=.11$; → ok

Differenzplot der gewählten Residuen-Verteilung



mit Verteilungskurve: normal(0.00, 32.59)

Verteilung der Zeitperiode 'Recomposing nach X-ray alarm resolution'

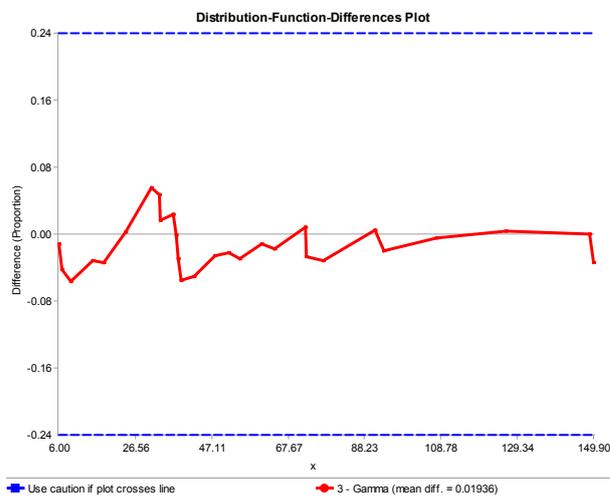


Abb. 36: Differenzplot zur Zeitperiode 'Recomposing nach X-ray alarm resolution'

E Details zur Implementierung und Validierung

E-I Details zur Implementierung in der Simulation

Folgend wird kurz auf eine Auswahl von Implementierungen eingegangen.

Implementierung der explorierten und validierten Modelle

Für dichotome *Wahrscheinlichkeiten* (0/1; Ja/Nein) wurde die Bernoulli-Verteilung (vgl. Bungartz et al., 2013, S. 33; Law, 2015, S. 306) hinterlegt, welche mit einer einfachen Wahrscheinlichkeit (s. Formel 2, S. 34) definiert wird. Auf Zufallsbasis gibt die in FlexSim (2016) implementierte Funktion einen entsprechenden Wert zurück, der anhand des Codes den weiteren Prozess bestimmt.

Für *multinomiale Wahrscheinlichkeiten* (bspw. Bestimmung des visualisierten metal alarm Typs: oben, mitte, unten) wurde erst eine Zufallszahl zwischen 0 und 100 generiert und dann mit der summierten Wahrscheinlichkeit der Optionen (in %) verglichen. Übertrifft der generierte Wert die summierte Wahrscheinlichkeit, wird die letztaddierte Wahrscheinlichkeit gewählt und die Funktion abgebrochen.

Diskrete Verteilungen (Wahrscheinlichkeit einer Reihe ganzzahliger Werte) wurden mittels eruiertes Verteilungskurve bestimmt. Exemplarisch wird hiermit eine einfache Option erläutert. Die Binomial-Verteilung (Bungartz et al., 2013, S. 33; Law, 2015, S. 308) entspricht der Summe von n Durchgängen einer Bernoulli-Entscheidung.

Soll ein zufällig *stetiger Wert* (nicht ganzzahlig) ausgegeben werden, spricht man von *stetigen Verteilungen*. Exemplarisch wird hier die Normalverteilung angesprochen. Sie ist definiert durch einen Mittelwert und eine Standardabweichung (Bungartz et al., 2013, S. 36; Law, 2015, S. 292).

FlexSim (2016) kann eine Vielzahl von stetigen und diskreten Verteilungen direkt interpretieren und anwenden (vgl. a. Law, 2015).

Die in Kapitel 2.3 explorierten und validierten *Regressionsmodelle* (für Prozessperioden) wurde anhand der in Formel 4 beschriebenen Arithmetik in die Simulation implementiert:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + \dots + b_jX_j + u$$

Y = Abhängige Variable (AV)

b_0 = Konstantes Glied der Regressionsfunktion

b_j = Regressionskoeffizient ($j = 1, \dots, J$)

X_j = Unabhängige Variable/n (UV; $j = 1, \dots, J$)

u = Fehlerterm

Formel 4: Multiple Regressionsgleichung (nach Backhaus et al., 2016, S. 87)

Der dazugehörige Fehlerterm (Residuen) entspricht den in Kap. 2.3.2 eruierten Verteilungen. Im Falle eines negativen Ergebnisses (Wert <0), entspricht der in der Simulation umgesetzte Wert der benötigten Wegzeit des entsprechenden Objektes. Dies führt zu einer entsprechenden Erhöhung des Mittelwertes über alle Fluggäste.

Graphische Implementierung

FlexSim (2016) erlaubt die Verwendung von vorgegebenen und eigenen 3D-Modellkomponenten. Um eine möglichst realitätsnahe visuelle Darstellung zu erlangen, wurde insb. das Mobiliar der Kontrolllinien und wichtige Informationsträger (bspw. ETD-Gerät) anhand der in Kapitel 2.1.1.3 beschriebenen Erhebungen mit dem Softwarepaket Cinema 4D (s. Anhang F) modelliert. Für ein ressourcenoptimiertes 3D-Rendering während der Laufzeit wurden die Modelle vor dem Import in FlexSim mit der Software AC3D (s. Anhang F)

optimiert. In der im Rahmen dieser Arbeit finalen Version sind bis auf die verwendeten Personen und Transportbänder alle Objekte komplett oder grösstenteils selbst modelliert.

Ergänzende Prozessparameter

In einer 3D-Simulationsumgebung können verschiedenste Parameter manipuliert werden, welche den Outcome in einer Form beeinflussen. Mit den in Kapitel 2.1 bis 2.3 vorgestellten Methoden wurden bereits eine Grosszahl der Prozessparameter ermittelt und definiert. Übergeordnet sind zudem relevante Eigenschaften zu erwähnen, wie bspw. die Bandgeschwindigkeit des Röntgengeräts, welche vor Ort empirisch erhoben wurde (s. Kap. 2.1.1.3), oder die Gehgeschwindigkeit von Fluggästen. Für letztere bezieht sich diese Arbeit auf Daten der Untersuchung von Young (1999), von welcher der Mittelwert für abfliegende Fluggäste von 79.1 m/min (S. 22) als fixer Wert übernommen wurde.

Im Weiteren sind die maximalen Dichten pro Prozess (d. h. parallel abgefertigte Fluggäste pro Prozess) und deren Örtlichkeiten zu definieren: bspw. die maximale Anzahl Fluggäste, welche an einer Linie gleichzeitig mit dem Recomposing-Prozess beschäftigt sein kann. Diese Kenndaten wurden für die relevanten Prozesse einzeln mittels eigens programmierter R-Funktion (ähnlich der Dichte-Bestimmung in Kap. 2.4.1.3) aus den VA-Daten ermittelt und direkt in die Simulation implementiert.

E-II Analyse der Durchsatz-Differenz

Folgend werden vier von mehreren in Betracht gezogenen Erklärungen für die Abweichung des Durchsatzes in der SIM2 gegenüber VA II (s. Kap. 2.4.2.3) beschrieben.

Zusammenhang Linien-Stopps und Durchsatz

Aufgrund der in Kapitel 2.4.2.3 festgestellten Differenz des Durchsatzes der simulierten Daten in Bezug auf die erhobenen Daten, wurden insb. die Linien-Stopps als potenzielle Einflussfaktoren untersucht. Abb. 37 stellt die im Rahmen der Simulations-Validierung simulierten Durchsätze mit jeweils 250 Replikationen dar. Das obere Diagramm (SIM1) basiert auf den Fluggast- und Gepäck-Charakteristiken der VA I, während das Untere (SIM2) auf Daten der VA II beruht. Die Farben repräsentieren die Anzahl Linien-Stopps.

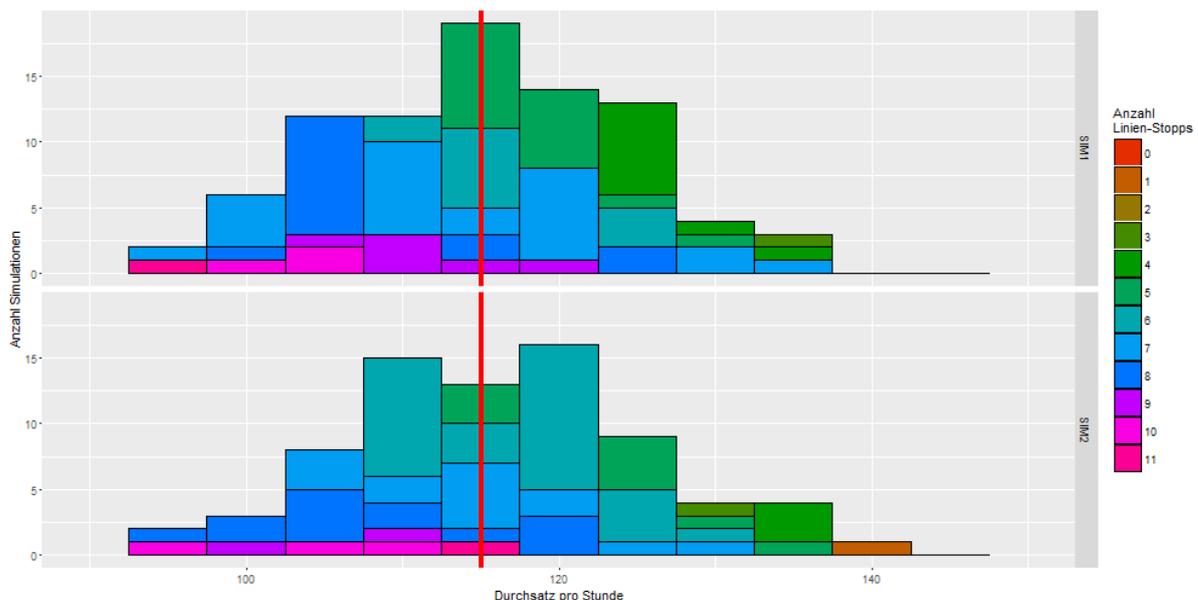


Abb. 37: Simulierter Durchsatz in Beziehung mit der Anzahl Linien-Stopps

Anmerkungen. Das obere Histogramm wurde auf Basis der Fluggast- und Gepäckcharakteristik der VA I erstellt, das untere auf Basis der VA II-Daten. Die Anzahl Linien-Stopps sind farblich codiert. Im Vergleich wird ersichtlich, dass die SIM2 tendenziell mehr Linien-Stopps verzeichnete.

Die in Kapitel 2.4.2.3 dargestellten Fluggast-Dichten und Prozesszeiten der SIM2 sollten im Vergleich zur SIM1 prinzipiell einen höheren Durchsatz bewirken. Dies konnte in der Simulation jedoch nicht bestätigt werden; die Mediane (rote Linien) sind bei SIM1 mit 115.01 Fluggäse/h und SIM2 mit 115.10 Fluggäste/h fast identisch. Gleichzeitig verschieben sich bei SIM2 die farblich dargestellten Anzahl Linien-Stopps nach rechts (s. insb. die Anteile 6-8 Linien-Stopps). Dies kann als Erklärung des tieferen Durchsatzes trotz der tieferen Prozesszeit erachtet werden. Zudem sind dies Hinweise, dass insb. die Frequenz der Linienstopps einen starken Einfluss auf den Durchsatz hat. Da die Linien-Stopps direkt mit der Anzahl durchgeführten X-ray alarm resolutions zusammenhängen, deckt sich diese Erkenntnis auch mit den in Kapitel 1.4.4 erwähnten Resultaten von Dorton und Liu (2016) sowie den Erkenntnissen von Sterchi und Schwaninger (2015).

Um diese Annahme etwas differenzierter zu betrachten, wurde der Schwellwert der Anzahl X-ray items auf dem Bypass-Band (♣⁴) für einen Simulationsdurchgang zu Testzwecken um 1 erhöht (alle anderen Parameter wurden nicht verändert). Abb. 38 stellt die Ergebnisse der aus 250 simulierten Replikationen dar.

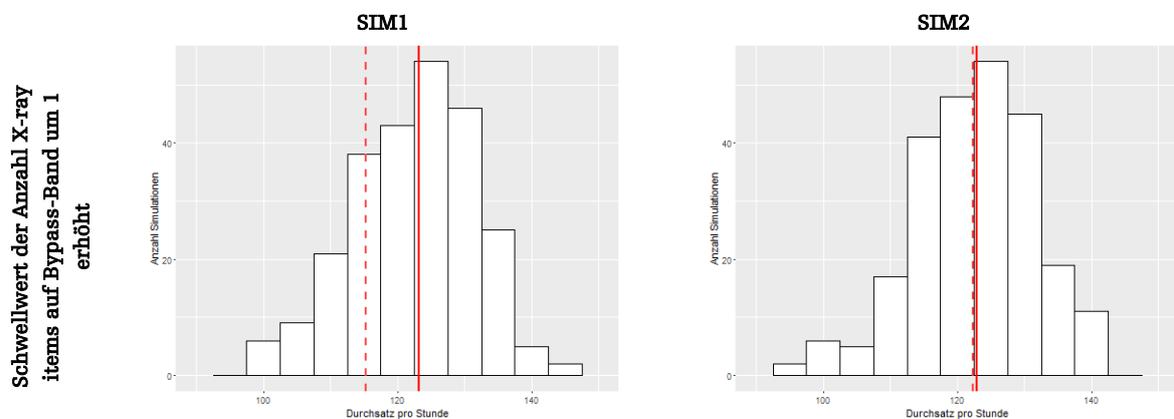


Abb. 38: Durchsatz mit erhöhtem Linien-Stopp Schwellwert

Anmerkung. Die gestrichelte rote Linie \dagger stellt wiederum den in den VA beobachteten Durchsatz dar.

Der Median (rote Linie) verschob sich bei beiden Simulationen um 6% gegenüber den in Kapitel 2.4.2.3 dargestellten Resultaten. Im Rahmen dieser Arbeit wird dieser Effekt nicht weiter untersucht. Er stellt jedoch eine bemerkenswerte Erkenntnis dar.

Hohe Varianz der Simulation

Es ist anzunehmen, dass die in den Diagrammen (bspw. Abb. 37) ersichtliche hohe Varianz des Durchsatzes nicht ganz der Realität entspricht. Die Betrachtung eines ASCs als *soziotechnisches System* (s. Kap. 1.4.1) bietet Erklärungen dazu. Die als Sekundäraufgaben deklarierten Regulationsmechanismen (Steuerung des Inputs, Koordination) können bspw. potentielle Ausreiser in Form von 'problematic passengers' (s. Fussnote⁴, S. 8) abfedern, indem ihnen entsprechende Ressourcen ad hoc zugesprochen werden. Im Rahmen von Simulationsstudien können solche Phänomene nur bedingt abgebildet werden. Eine Inklusion würde insb. die Modellkomplexität erhöhen, was bei Simulationen oftmals nicht gewünscht wird (s. a. Einleitung Kap. 2, Anhang B).

Dabei ist zu berücksichtigen, dass die in Kapitel 2.1.2.3 beschriebene 'funktionsübergreifende Unterstützung' in der Simulation nicht berücksichtigt wurde (s. Kap. 2.2.2.3).

Stichprobe der VA II

Gleichzeitig geht der Autor von der Annahme aus, dass auch die Realität weitere Variabilitäten aufweist: bspw. hervorgerufen durch die Crewkonstellation (s. a. Kap. 2.2.1.1), die

Bedrohungslage (VA II fand wenige Tage nach dem terroristischen Anschlag auf den Flughafen Brüssel statt) oder den Fehlalarmraten der technischen Gerätschaften (bspw. ETD, WTMD; s. STD in Kap. 1.4.2.3). Daher wird der beobachtete Durchsatzwert im Rahmen dieser Arbeit nicht als Vorlage einer möglichen System-Kalibration in Betracht gezogen.

F Verwendete Technik und Software

Diese Studie stützte sich auf einen breiten Technikeinsatz. In den folgenden Abschnitten ist die verwendete Software mit den verwendeten Versionen und technischen Gerätschaften mit den relevanten Settings aufgelistet.

Für das Datenmanagement, die Analysen und die Dokumentation wurde folgende *Software* verwendet:

- **Datenverschlüsselung**
 - TrueCrypt (V. 7.1a für Windows/OSX)
- **Literaturverwaltung**
 - Mendeley (V. 1.15.3 für Windows/OSX)
- **Dokumentation und Illustrationen**
 - Microsoft Word (V. 14.0.7 für Windows; V. 15.19.1 für OSX)
 - Microsoft Visio 2013 (für Windows)
 - Adobe InDesign CC 2015 (V. 19.2.1 für OSX)
 - Adobe Illustrator CC 2015 (V. 11.2.0.99 für OSX)
 - Adobe Photoshop CC 2015 (V. 2015.1.2 für OSX)
- **Datenaufbereitung/-analyse**
 - Microsoft Excel (V. 14.0 für Windows; V. 15.19.1 für OSX)
 - F5 Audiotranskription (V. 1.5.6 für OSX)
 - MAXODA (V. 12.1.0 für Windows/OSX)
 - R Studio (V. 0.99.486 für Windows; V. 0.99.887 für OSX; basierend auf R V. 3.2.2), mit folgenden aktivierten Packages:
 - boot, chron, data.table, DescTools, dplyr, ggplot2, lmtest, plotrix, plyr, psych, reshape2, stats
- **Simulation**
 - FlexSim (V. 16.0.1 für Windows); mit folgenden installierten Modulen:
 - A Star (V. 16.0.0)
 - Conveyor (V. 16.0.0)
 - ProcessFlow (V. 16.0.0)
 - Cinema 4D (R16 für OSX; Student) → Export im *.3ds Format
 - AC3D (V. 7.5.02 für OSX; Trial) → Eckpunkt- und Oberflächen-Optimierungen; Export im *.3ds Format mit FlexSim spezifischen Informationen (in Settings)

F-I Beobachtungsinterviews; Erhebung und Transkription

- **Hardware**
 - 2x A4 Klemmbrett mit Recorderbefestigungen (für Leitfäden)
 - 1x Olympus LS-12 Recorder (Settings: MP3; Eigentum Autor)
 - 1x Olympus WS852 (Settings: MP3; ausgeliehen)

F-II Video; Erhebung und Aufbereitung

- **Hardware**
 - 4x GoPro Hero 4 Silver Edition, mit GoPro Frame, Joby GPod Mini Magnetic, 8'800 mAh PowerBank, 64 GB miniSDKarte (Settings: PAL, 50 fps, 1920x1080 px) → ermöglicht eine autarke Aufnahmezeit von 4:30h
 - 1x GoPro Hero 4 Black Edition, mit GoPro Frame, Joby GPod Mini Magnetic, 8'800 mAh PowerBank, 64GB miniSDKarte (Settings: PAL, 50 fps, 1920x1080 px; Eigentum Autor) → ermöglicht eine autarke Aufnahmezeit von 4:30h

- 1x GoPro Hero 2, GoPro BatteryPack, mit GoPro UW Gehäuse, Joby GPod Mini Magnetic, 8'800 mAh PowerBank, 32 GB SDKarte (Settings: PAL, 50 fps, 1280x720 px; Eigentum Autor) → ermöglicht eine autarke Aufnahmezeit von knapp 4:30h
- 1x GoPro Remote Control → für Start/Stop-Funktion aller GoPro Hero 4
- 1x Apple iPad Air 2 mit GoPro App (V. 2.12; Eigentum Autor)
→ für Ausrichtung der GoPro Hero 4
- 1x MacBook Pro Retina, i7, 2.5 GHz, 4 Core, 16 GB Ram (Eigentum Autor)
→ für Video-Schnitt und Renderings
- **Software**
 - Adobe Premiere Pro CC 2015 (V. 9.2.0; für OSX; für Synchronisation und Schnitt aller Kanäle auf einem Stream; Output: PAL, 50 fps, 2460x1080 px, H.264, 10 MBit/s)

F-III Simulationen und Analysen

- **Hardware**
 - 1x MacBook Pro Retina 15", i7, 2.5 GHz, 4 Core, 16 GB Ram (Eigentum Autor; s. Anhang F-II) → für R-Analysen und 3D-Modellierungen; in Kombination mit:
 - 1x iMac 27", i7, 2 Core, 2.6 GHz, 8 GB Ram (Eigentum Autor)
→ als stand-alone bei 3D-Optimierungen sowie als 2. Display mit dem MacBook Pro
 - 1x DELL Latitude E7250, i7, 2.6 GHz, 4 Core, 16 GB Ram (Eigentum FHNW)
→ für Simulations Implementierungen und Debugging, sowie einfachere R-Analysen
 - 1x Desktop Hochleistungsrechner, i7, 4 GHz, 8 Core (Eigentum Oliver Christ, Dozent FHNW-APS) → für Simulationruns mit FlexSim Experimenter

Danksagung

Mit den folgenden Zeilen möchte ich mich bei all den Personen bedanken, die mich während dem Prozess, der zu der vorliegenden Arbeit geführt hat, unterstützt und begleitet haben.

Mein besonderer Dank geht an *Prof. Dr. Adrian Schwaninger*, meiner Betreuungsperson der Hochschule für Angewandte Psychologie FHNW. Seine inspirierende Art, sein Fachwissen, seine kritisch-konstruktiven Hinweise und die Unterstützung bei kleineren und grösseren Herausforderungen haben massgeblich zum Entstehen dieser Arbeit beigetragen.

Die erfolgreiche Umsetzung einer Studie dieser Art ist zudem auch von diversen weiteren Faktoren abhängig. In der vorliegenden Arbeit konnte ich von einem hilfsbereiten und interessierten Netzwerk an Partnern, und damit von einer fruchtbaren und äusserst angenehmen Zusammenarbeit, profitieren. Das grosse Vertrauen, welches mir entgegengebracht wurde, ist besonders zu betonen. Mein Dank gilt insbesondere dem Praxispartner *CASRA*, vertreten durch *Dr. Diana Hardmeier*, sowie allen Mitwirkenden Mitarbeitenden der Forschungspartner: *Flughafen Zürich AG* (vertreten durch *Ronny Grau*) und *FPKOA* (vertreten durch *Stephanie Walter, FPSTA-FE*).

Ein weiteres grosses Dankeschön geht an *Yanik Sterchi*. Sein Fachwissen sowie seine ruhige, motivierende und inspirierende Art haben mich in verschiedensten Phasen des Projekts, insbesondere während der Einarbeitung in R und FlexSim, vor grossen Umwegen bewahrt. Zudem halfen er und *Melina Zeballos* an den Beobachtungsinterviews vor Ort mit und steuerten über den gesamten Projektverlauf wertvolle Inputs bei. *Kaspar Kaufmann* wirkte mit seiner bemerkenswerten ausdauernden Konzentration als Rater II der Videoanalysen massgeblich an einer soliden Datenbasis der Vorstudien 2 bis 4 mit. *Oliver Christ* stellte für die Video-Analysen und Simulationen seinen Desktop-Hochleistungsrechner zur Verfügung, welcher auch für Virtual-Reality Anwendungen ausgelegt ist.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei meiner lieben Frau *Nina* bedanken, die mir während des gesamten Studiums mit bedingungslosem Verständnis und moralischer Unterstützung beiseite stand. Ausserdem durfte ich im Rahmen dieser Arbeit in mehreren Crash-Kursen von ihr viel Neues über die Anwendung der Adobe CC Palette und Cinema 4D lernen.